ОСОБЕННОСТИ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ МАЛЫХ РЕК ВОЛЖСКОГО БАССЕЙНА

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ ВОЛЖСКОГО БАССЕЙНА РАН

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

INSTITUTE OF ECOLOGY OF THE VOLGA RIVER BASIN

SMALL RIVERS IN THE VOLGA BASIN: FRESHWATER ECOSYSTEMS CHARACTERISTICS

Edited by
Corresponding Member of the RAS G.S. Rozenberg,
Doctor of biological sciences T.D. Zinchenko

TOGLIATTI
2011

ОСОБЕННОСТИ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ МАЛЫХ РЕК ВОЛЖСКОГО БАССЕЙНА

Под редакцией
Члена-корреспондента РАН Г.С. Розенберга,
Доктора биологических наук Т.Д. Зинченко

ТОЛЬЯТТИ
2011

УДК 574

Коллектив авторов:

Т.Д. Зинченко, Г.С. Розенберг, Е.В. Абакумов, Э.В. Абросимова, А.Г. Бакиев, Е.В. Белозерова, Е.Г. Бирюкова, Е.С. Богданова, Т.Н. Буркова, Л.А. Выхристюк, Л.В. Головатюк, И.А. Евланов, Г.В. Епланова, А.В. Иванова, А.А. Кириллов, А.В. Крылов, Е.В. Курина, Т.М. Лысенко, А.К. Минеев, А.Е. Митрошенкова, В.П. Моров, О.В. Мухортова, В.Г. Папченков, Н.С. Раков, О.А. Розенцвет, С.В. Саксонов, С.А. Сенатор, М.В. Уманская, А.И. Файзулин, В.А. Цыкало, И.В. Чихляев, В.К. Шитиков

Рецензенты:
доктор биологических наук С.А.Сачков
доктор биологических наук В.И. Матвеев

Особенности пресноводных экосистем малых рек Волжского бассейна / Под ред. Г.С. Розенберга, Т.Д. Зинченко. – Тольятти: Кассандра, 2011. – 322 с., с илл.

ISBN 978-5-91687-068-8

В книге обобщены результаты полевых и экспериментальных исследований одной из равнинных рек Волжского бассейна – реки Сок и ее притоков, некоторые из которых являются эталонными. Приводятся обширные сведения о географическом положении и природных условиях; геологическом и тектоническом строении бассейна р. Сок, антропогенной нагрузке на водосборную площадь; гидрологических и морфометрических характеристиках малых рек и родников. Изучены структурные характеристики планктонных и донных сообществ, состав ихтиофауны. Приведены данные по различным аспектам исследований флоры и растительности долины реки и территории бассейна, включая результаты исследований почв, растительного покрова (с учетом данных по засоленным экотопам). Представлены результаты биохимической оценки водорослей.

Приводятся материалы современного состояния гельминофауны низших наземных позвоночных, амфибий и пресмыкающихся бассейна реки.

Рассматриваются методические аспекты оценки видового богатства сообществ лотических систем и различные статистические закономерности организации таксономической структуры сообществ. Приводится паспорт р. Сок как интегральная оценка экологического состояния реки.

Книга представляет интерес для гидробиологов, гидроэкологов, специалистов рыбохозяйственной науки и охраны окружающей среды.

Small rivers in the Volga basin: freshwater ecosystems characteristics. – Togliatti: Kassandra, 2011. – 322 p.

ISBN 978-5-91687-068-8

© Институт экологии Волжского бассейна РАН, 2011
© Коллектив авторов, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение (*Т.Д. Зинченко, Г.С. Розенберг*)..... 6

Глава 1
Общая характеристика бассейна реки Сок..... 11

1.1. Географическое положение и природные условия (*Л.А. Выхристюк*)..... 11

1.2. Геологическое и тектоническое строение бассейна реки Сок (*В.П. Моров*)..... 16

1.3. Гидрологические и морфометрические характеристики рек Байтуган и Кондурча (*Е.В. Белозерова*)..... 22

1.4. Антропогенная нагрузка на водосборную площадь равнинных рек (*Л.А. Выхристюк, В.А. Цыкало*)..... 27

1.4.1. Река Сок..... 27

1.4.2. Притоки..... 33

1.5. Комплексная оценка экологического статуса реки Сок и ее притоков (*Л.А. Выхристюк, Т.Д. Зинченко*)..... 37

Глава 2
Экологический анализ состояния реки Сок и ее притоков..... 44

2.1. Флора и растительность..... 44

2.1.1. Флора, растительность и характер зарастания реки Сок и ее притоков (*В.Г. Папченков*)..... 44

2.1.2. Растительный покров бассейна реки Сок (*С.А. Сенатор, С.В. Саксонов, А.В. Иванова, Н.С. Раков, Е.В. Абакумов*)..... 65

2.1.3. Характеристика растительности засоленных экотопов долины реки Сок (*Т.М. Лысенко, А.Е. Митрошенкова*)..... 74

2.1.4. Ботаническая характеристика карстовых озер долины реки Сок (*А.Е. Митрошенкова, Е.Г. Бирюкова, Т.М. Лысенко*)..... 83

2.1.5. Бактериопланктон реки Сок и питающих ее родников (*М.В. Уманская)*..... 89

2.1.6. Фитопланктон рек Сок, Байтуган и некоторых родников бассейна (*Т.Н. Буркова*)..... 92

2.1.7. Биохимический портрет растительности реки Сок (*О.А. Розенцвет, Е.С. Богданова*)..... 110

2.2. Биотическое разнообразие экосистемы равнинной реки..... 115

2.2.1. Особенности состава и распределения зоопланктона реки Сок (*А.В. Крылов*)..... 115

2.2.2. Фитофильные сообщества зоопланктона нижнего течения реки Сок (*О.В. Мухортова*)..... 121

2.2.3. Видовой состав и структура сообществ макрозообентоса реки Сок (*Л.В. Головатюк*)..... 128

2.2.4. Биоразнообразие донных сообществ притоков реки Сок (*Л.В Головатюк*)..... 146

2.2.5. Биотические индексы и метрики в оценке качества воды малых рек Нижнего Поволжья (на примере рек Байтуган, Камышла, Сосновка) (*Л.В. Головатюк, Т.Д. Зинченко*)..... 160

2.2.6. Виды-вселенцы макрозообентоса устьевого участка реки Сок (*Т.Д. Зинченко*, *Е.М. Курина*)..... 170

2.2.7. Современное состояние ихтиофауны реки Сок (*И.А. Евланов*, *А.К. Минеев*)..... 172

2.2.8. Гельминтофауна низших наземных позвоночных (Amphibia, Reptilia) поймы реки Сок (*А.А. Кириллов*, *И.В. Чихляев*)..... 178

2.2.9. Амфибии реки Сок и ее притоков: видовой состав, состояние популяций, трофические связи (*А.И. Файзулин*)..... 185

2.2.10. Пресмыкающиеся Сокского бассейна (*А.Г. Бакиев*, *Г.В. Епланова*)..... 188

Глава 3
Методы оценки видового богатства сообществ лотическихсистем..... 192

3.1. Модели оценки видового богатства и показателей разнообразия донных сообществ с учетом выборочного усилия (*В.К. Шитиков, Т.Д. Зинченко*)..... 192

3.2. Ординация участков речной экосистемы на основе выделения устойчивых ассоциаций видов макрозообентоса (*В.К. Шитиков*, *Т.Д. Зинченко, Э.В. Абросимова*)..... 202

3.3. Анализ структурной изменчивости донных сообществ в свете концепций речного континуума и динамики пятен (В.К. *Шитиков*, *Т.Д. Зинченко, Э.В. Абросимова*)..... 214

3.4. Анализ статистических закономерностей организации видовой структуры донных речных сообществ (В.К. *Шитиков*, *Т.Д. Зинченко*)..... 225

3.5. Сукцессии в реках (обзор) (*Т.Д. Зинченко*, *В.К. Шитиков*)..... 236

Заключение (*Г.С. Розенберг*, *Т.Д. Зинченко*)..... 250

Литература..... 253

Приложение (Экологический паспорт реки Сок)
(*Т.Д. Зинченко, Э.В. Абросимова, Т.Н. Буркова, Л.А. Выхристюк, Л.В. Головатюк, М.В. Сидоренко, В.В. Соловьева, А.Ф. Тимохина, М.В. Уманская, В.П. Юнина*)..... 277

ВВЕДЕНИЕ

Исследованию рек в Институте экологии Волжского бассейна РАН на протяжении многих лет (с 80-х годов прошлого столетия) уделяется пристальное внимание. Обусловлено это тем, что проблемы устойчивого экологического и социально-экономического развития отдельных регионов страны на современном этапе тесно связаны (да и не могут быть обособленными) с решением вопросов охраны и реабилитации водоемов и водотоков, в первую очередь, как источников пресной воды. Знания современной оценки экологического состояния рек крайне важны (об этом говорится в «Водном кодексе Российской Федерации» от 03.06.2006 г. № 74-ФЗ и Федеральном законе «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ). Но сложность исследований заключается в том, что эти проблемы затрагивают практически все сферы жизни и требуют междисциплинарного подхода с использованием широкого спектра знаний в экологии, экономике, организации и управлении, производстве, психологии, медицине, архитектуре, образовании, культуре и других дисциплинах (Розенберг и др., 2007).

Чтобы не быть голословными относительно того, что проблемы, связанные с необходимостью исследований малых рек обсуждаются в самых верхних эшелонах власти, мы приводим несколько цитат из выступления заместителя начальника Управления бассейнового планирования Министерства природных ресурсов России (МПР) М.А. Шевченко на Парламентских слушаниях на тему «Экология малых рек России: проблемы и пути их решений» от 18 марта 2004 г. (*напомним, что в 1980 г. был принят документ – Постановление Совета Министров СССР об усилении охраны малых рек от загрязнения, засорения, истощения и о рациональном использовании их водных ресурсов, с изменениями и дополнениями, внесенными Постановлением СМ СССР от 13.06.1988 г. № 740*): «Экологическая проблема малых рек – это наиболее актуальная и злободневная проблема развития водного хозяйства России... Основная тяжесть по использованию и нагрузке ложится на бассейны Каспийского и Азовского морей, где проживает около 80 процентов населения России и сосредоточен её основной промышленный и сельскохозяйственный потенциал, а речной среднегодовой сток составляет только 8 процентов. Речные системы России занимают 11 млн. кв. километров, или 65 процентов её территории… Экологическое состояние малых рек специалистами оценивается как критическое. В ряде регионов Центральной России, Северного Кавказа и уже Дальнего Востока питьевая вода становится дефицитом... Проблема малых рек – проблема регулирования хозяйственной деятельности на всем водосборе... Таких подходов в правовых законодательных актах к решению проблем малых рек пока нет». Из выступления автора мы узнаем, что, «...**всем обществом при активном участии общественных организаций была проделана огромная работа с точки зрения разработки и проведения научных исследований, изучения взаимосвязей, уточнения, что же такое малая река. Но главное – была осуществлена паспортизация малых рек. А в настоящее время фонды во многих субъектах федерации оказались попросту утрачены**». Далее докладчик констатирует, что «программы, которые были утверждены Правительством, фактически остались нереализованными по ряду как объективных, так и причин, связанных с реформированием нашего государственного устройства» (следует признать, что *проделанная работа коллективом ИЭВБ РАН по паспортизации двух рек бассейна Нижней Волги – Чапаевка и Сок – так и осталась невостребованной практиками*). Продолжаем цитировать М.А. Шевченко: «Не удалось создать главного – систему постоянных наблюдений за изменением русловых процессов, гидробиологических, гидрохимических и гидрогеологических режимов малых рек. В лучшем случае и сегодня функционирует один гидрометрический пост наблюдений. И это является одной из главных причин, почему не всегда разработанные материалы имеют эффективность, когда даже вводятся строящиеся объекты. *Малые реки остаются наименее изученными и наиболее уязвимыми от внешних воздействий водными*

объектами. Широкое хозяйственное использование малых рек сопровождается возведением в руслах и на поймах множества гидротехнических сооружений... Предпочтение отдается экономическим интересам и не учитываются экологические требования, предусмотренные действующим законодательством. В результате реализация проектов приводит к дальнейшему ухудшению качества вод, накоплению загрязняющих веществ, органики в донных отложениях, а как следствие – потери биоты малой реки» (***совершенно справедливые замечания, из года в год повторяющееся экологами, которые занимаются исследованиями малых рек***). Далее автором предлагается принять меры... Не будем утомлять читателя перечнем мер, в которых упоминаются и государственный единый мониторинг, унифицирование методик, разработка системы природопользования, государственный контроль за соблюдением действующего законодательства, разработка паспорта малой реки, бассейновый принцип управления водными ресурсами, включая контроль за их состоянием, регулирование финансовых потоков для решения проблем водного хозяйства территорий и др. Оказывается, в настоящий момент нельзя скоординировать действия МПР России, агентств и служб Минфина, Минпромэнерго, Минэкономразвития, Минсельхоза, Минтранса, Минсвязи и субъектов Российской Федерации и органов самоуправления.

Ну, а пока законодатели Государственной думы собираются «осуществить экологическую паспортизацию малых рек и их водосборных территорий с участием общественных организаций, общественности, студентов и школьников», напомним еще и о том, что в последние 10 лет регистрируется прогрессирующее обмеление и исчезновение малых рек. А согласно статье 6 Федерального закона «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ: экологическая паспортизация – это *исключительное право только субъектов Федерации.* А они, эти субъекты, выделяют деньги, со слов М.А. Шевченко, «если у них не отнимут» (council.gov.ru/files/parliament_attend/4.doc [в книге нами приводится «Паспорт экологического состояния р. Сок», выполненный из средств Министерства образования и науки Самарской области, ***которые в 2005 г. еще не отняли...***]).

В предыдущих изданиях (Биоиндикация экологического.., 2007)*, посвященных изучению равнинных рек, были обобщены сведения по биоиндикационным исследованиям ряда малых рек Самарской области и «очень грязной» реки Чапаевка бассейна Нижней Волги, выполненные большим коллективом авторов ряда академических и отраслевых институтов. Следует акцентировать внимание на том, что при исследовании рек осваиваются и познаются общие закономерности организации и эволюции гидроэкосисием (Гидробиологический режим.., 1981; Богатов, 1994; Экологическое состояние.., 1997; Малые реки.., 1998; Ткачев, Булатов, 2002; Экологические проблемы..., 2003; Экологическое состояние.., 2003; Комулайнен, 2004; Завьялов и др.., 2005; Крылов, 2005б; Экосистема малой.., 2007; Пресноводные экосистемы.., 2008; Чебанова, 2009 и др.; Экология малых.., 2011).

Настоящее издание посвящено исследованию одной из равнинных рек Волжского бассейна – реке Сок и её притокам, некоторые из которых остаются и до настоящего времени эталонными водными объектами, на примере которых можно выявить определенные закономерности функционирования равнинных рек, типичных для европейской части России, что и определяет актуальность этого издания.

Река Сок является левым притоком Саратовского водохранилища с естественным режимом регулирования, низкой антропогенной нагрузкой и высокой гидродинамикой водных масс. Берет начало между отрогами Бугульминско-Белебеевской возвышенности и протекает по территории Сокских гор. Поводом для исследований этой реки, пожалуй главным, является тот факт, что из равнинных рек Волжского бассейна она является наиболее чистой (*в современных условиях хозяйственной деятельности найти такую реку – задача не из легких*).

---

* Эта работа в составе исследования «Разработка научных основ и внедрение комплекса методов биомониторинга для устойчивого эколого-экономического развития территорий Волжского бассейна» была отмечена Премией Правительства РФ в области науки и техники за 2010 г.

Вспоминаются исследования малых рек в начале 1990-х годов, в проведении которых принимал участие доктор Х.К.М. Моллер Пилот (Henk K.M. Moller Pillot), известный эколог из Нидерландов. Объехав в составе экспедиционного отряда на судне «Биолог» и моторной лодке реки левобережья и правобережья Куйбышевского и Саратовского водохранилищ, он, поделившись впечатлениями от увиденного, сказал, что в Европе не найти таких чистых незарегулированных рек (*имелись в виду реки Муранка и Сок*). Восторгу его не было границ. Тогда в местной газете «Площадь свободы» вышла статья с интервью, взятым у него, под названием «У вас так, как у нас было 20 лет назад». Речь шла о «грязной» реке Чапаевка и необходимости использования унифицированных методик исследования рек и прекращения сбросов неочищенных стоков. Учитывая, что площадь Нидерландов (41,5 тыс. км^2) сравнима с площадью Самарской области (53,6 тыс. км^2), нам еще понадобится немало времени для осуществления масштабных исследований и внедрения новых эксплуатационных технологий, учитывающих экологическое состояние гидросистем, научно обоснованных методических подходов к оптимизации практического воплощения рационального водопользования на реках.

В издании приводятся обширные сведения о географическом положении и природных условиях; геологическом и тектоническом строении бассейна р. Сок, антропогенной нагрузке на водосборную площадь реки и дана комплексная экологическая характеристика р. Сок и ее притоков, получены данные по ряду гидрологических и морфометрических характеристиках малых притоков и родников верхнего и нижнего течения р. Сок.

Достаточно большой раздел посвящен различных аспектам исследований флоры и растительности долины реки и территории бассейна, включая результаты исследований характеристик почв, растительного покрова (с учетом данных по засоленным экотопам) с указанием флористических особенностей долины реки и карстовых озер. Приводится биохимическая характеристика некоторых растений.

В работе большое внимание уделено изучению пространственной динамики состава, биоразнообразия, структурной и функциональной организации планктонных и донных сообществ реки и ее притоков. Приведены данные по видам-вселенцам устьевого участка реки. Фаунистический анализ лотических систем неотъемлем от рассмотрения проблемы, связанной с типологической классификации водотоков, подходы к решению которой нашли отражение в ряде работ, посвященных исследованию малых рек Волжского бассейна и многолетнему детальному изучению экологического состояния бассейна р. Сок (Экологическое состояние.., 1997; Зинченко, Шитиков, 1999). С целью получения адекватных данных оценки качества воды в книге использованы расчетные показатели ряда общепринятых биотических идентификаторов и метрик, предлагаемых Европейской Рамочной Водной Директивой (Брюссель, Бельгия, 23 октября, 2000 г.; Directive 2000/60/EC of the European Parliament.., 2000).

Приводятся материалы современного состояния ихтиофауны реки, гельминофауны низших наземных позвоночных, амфибий и пресмыкающихся бассейна реки.

Традиционно особое место в книге отводится методическим аспектам оценки видового богатства сообществ лотических систем. Рассмотрены показатели, оценивающие различные статистические закономерности организации таксономической структуры сообществ на примере равнинной реки, имеющей низкую антропогенную нагрузку. На основе конкретных данных гидробиологического мониторинга обсуждается сравнительная эффективность различных методик на примере сообществ макрозообентоса. Анализируются причины недостаточной адекватности существующих методов применительно к водотокам, имеющим четко выраженный продольный градиент природных условий. Приводятся модели оценки видового богатства и показателей разнообразия донных сообществ; используется метод ординации участков речной экосистемы на основе выделения устойчивых ассоциаций видов макрозообентоса; анализируется структурная изменчивость донных сообществ в свете известных концепций «речного континуума» и «динамики пятен».

Дискутируемая проблема сукцессий в проточных водах нашла свое отражение в представленном обзоре с анализом обширной литературы зарубежных и отечественных авторов.

Исследования проводились на р. Сок и территории ее бассейна, включая малые реки Байтуган, Тайдаков, Сосновка, Камышла, Черновка, Малый Сок, Хорошенькая, Кондурча, Сургут, Самара, Каменка, Молочная, Шунгут, Черная**,** Тростянка, отдельные ручьи и родники, а также озера Молочка, Тепловка, Голубое, Подгорное, Безымянное, Барское, Яма, Ильинское.

Организация и проведение многолетних исследований позволили создать экологический паспорт р. Сок, выполненный коллективом сотрудников ИЭВБ РАН по заказу Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Самарской области. Авторы привлекали данные официальной статистики и информацию государственных органов, уполномоченных вести деятельность по мониторингу и охране окружающей среды Самарской области. При создании паспорта были использованы официальные данные Нижневолжского бассейнового водного управления отдела водных ресурсов по Самарской области; ООО «Центр мониторинга водной и геологической среды» (г. Самара); филиала ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии Самарской области» (г. Тольятти).

Многие материалы являются оригинальными, полученными во время экспедиций в различные годы с 1974 по 2010 г. сотрудниками Института экологии Волжского бассейна РАН (г. Тольятти), Института биологии внутренних вод РАН (п. Борок), кафедры гидрологии суши Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (г. Москва), кафедры экологии Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского; естественно-географического факультета Поволжской государственной социально-гуманитарной академии (г. Самара).

Отдельные разделы монографии были поддержаны Программами фундаментальных исследований и грантами:

- Программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Биологическое разнообразие» (раздел «Динамика биоразнообразия и механизмы обеспечения устойчивости биосистем» № 07-04-96610);
- Программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Биологическое разнообразие» (раздел «Особенности экологии и динамики чужеродных видов гидробионтов (зоопланктон, зообентос, рыбы, паразиты рыб) в водоемах Средней и Нижней Волги»);
- Государственной научно-технической программой «Биоразнообразие» (грант 1.3.5.БР, № 88);
- Программой фундаментальных исследований Отдела биологических наук РАН «Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами» (грант 10 002-251/ОБН-2/151-189/220503-184);
- Программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Основные направления фундаментальных исследований» (раздел 6.2. «Закономерности природной и антропогенной трансформации экосистем различного типа и уровня организации бассейна Средней и Нижней Волги» Распоряжение Президиума РАН № 10103-30 от 22.01.07);
- Программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Основные направления фундаментальных исследований» (раздел 6.3. «Видовое и экосистемное биоразнообразие в бассейне Средней и Нижней Волги» Распоряжение Президиума РАН № 10103-30 от 22.01.07);
- Самарским губернским грантом в области науки и техники Министерства образования и науки Самарской области (2011 г.).

Авторы твердо убеждены в том, что совершенных научных работ не бывает, и потому с признательностью примут конструктивные замечания коллег.

Т.Д. Зинченко, Г.С. Розенберг

Глава 1

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАССЕЙНА РЕКИ СОК

1.1. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ

Река Сок, левый приток Саратовского водохранилища, протекает по территории Высокого Заволжья (рис. 1) и берет свое начало в отрогах Южного Урала, на западных склонах Бугульминско-Белебеевской возвышенности Оренбургской области. Бассейн реки занимает территорию двух областей (Оренбургской и Самарской) и Республики Татарстан.

Основные гидрографические параметры реки представлены в табл. 1.

Таблица 1. Гидрографические и гидрологические характеристики р. Сок*

№	Основные показатели	Значения
1	Географические координаты положения бассейна	Исток: 52°45’ в.д., 54°13’ с.ш. Устье: 50°06’ в.д, 53°30’ с.ш.
2	Средняя высота бассейна над уровнем моря, м	140
3	Площадь бассейна реки, км^2	11 870
4	Количество притоков:	91
5	Общее падение реки, м	209
6	Уклон реки, ‰	6-0.1
7	Длина реки, км	375
8	Ширина реки, м в верховье в устьевой части	 0,5 до 100
9	Глубина реки, м: в верховье в устьевой части	 0,3-0,5 2-5
10	Скорость течения (межень), м/с	0,2-0,4
11	Среднегодовой расход воды (м^3/с) с разной степенью обеспеченности (50%, 75%, 95%)* исток устье	 3,19-2,18-1,44 33,1-42,9-15,31
12	Среднегодовая мутность, г/м^3 в верховье в устьевой части	 7,9 12,3
13	Годовой объем сточных вод, поступающих в реку, млн. м^3/год** в среднем за 2001-2007 гг. диапазон в том числе загрязненных в среднем за 2001-2007 гг. диапазон	 15,36 11,99-16,59 4,20 2,80-7,18
14	Масса загрязняющих веществ, поступающих в реку со сточными водами, т/год*** в среднем за 2001-2007 гг. диапазон	 1929,2 878,36-5982,73

Примечание: * – гидрологические параметры здесь и далее приводятся по расчетным данным за 2010 г.; ** – по: Водохозяйственные балансы..., 2005; *** – материалы Госстатотчетов по форме 2 ТП водхоз.

Большая часть водосбора (93%) расположена в пределах Самарской области. Водоток относится к рекам 1-го порядка, находится под влиянием подпора вод Саратовского водохранилища и суточно-недельного регулирования мощности Жигулевского гидроузла.

Река Сок – единственный из средних притоков бассейна Саратовского водохранилища, который слабо подвержен антропогенному воздействию и протекает по естественному руслу, за исключением нижнего течения, где система проток, являющаяся частью сокского устья и протягивающаяся по пойме р. Волги на 4 км ниже современного выхода, ныне перерезана дамбой.

Долина р. Сок широкая (от 0,5 км в верховье до 4-6 км в устьевой части), характеризуется резко выраженной асимметрией поперечного профиля. Пойменная часть водотока на всем протяжении двухсторонняя, с преобладающей шириной 1-2 км, богата многочисленными озерами и старицами, местами заболочена, в многоводные годы затопляется на глубину 1,5-2,5 м. Нижний участок реки затоплен водами Саратовского водохранилища и представляет собой обширный залив со слабым течением (Матвеев, 1990б).

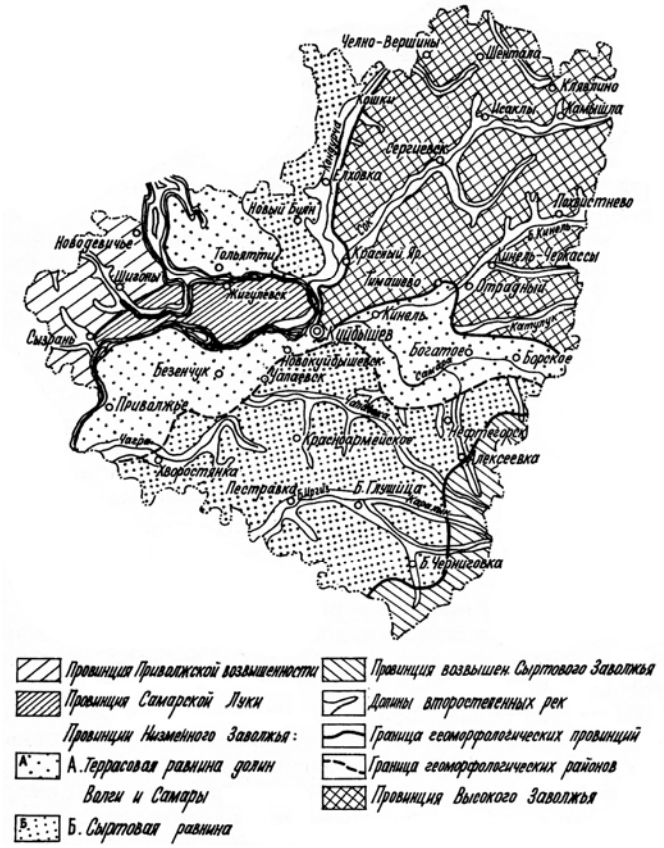


Рис. 1. Геоморфологические провинции Самарской области (по: Захаров, 1990)

Русло реки извилистое, на отдельных участках разделяющееся на рукава. Преобладающая ширина реки 23-35 м, наибольшая (до 100 м) – в устьевой части, минимальная (0,5 м) – в истоке. Глубина реки изменяется в широких пределах – от 0,2-0,5 м в верховье до 2-5 м на остальном протяжении (табл. 1). Берега русла в основном крутые, местами обрывистые, достигающие 2-3 м высоты. Речное дно относительно ровное, преимущественно песчаное.

Рельеф бассейна реки формировался в течение длительного времени, его развитие тесно связано с характером тектонических движений. В современную эпоху главная роль в преобразовании рельефа принадлежит эрозионным процессам – размыву и смыву верхнего слоя земной коры текучими дождевыми и снеговыми водами (Захаров, 1990).

Эрозионные процессы сформировали особый тип рельефа бассейна реки, известный под названием водноэрозионного долинно-балочного. Водосбор реки представляет

собой волнистую равнину, сильно расчлененную долинами притоков, балками и глубокими оврагами, между которыми расположены высокие и узкие кряжи – увалы с покатыми и часто террасированными склонами. *Верхний участок* водосборного бассейна – система массивных плосковершинных «столовых», а местами узких гребневидных междуречий, вершины которых располагаются на высоте от 180 до 300 м над уровнем моря. *Средний* и *нижний участки* имеют более спокойный характер рельефа. Это волнисто-увалистая, нередко всхолмленная местность.

На всей территории, в большей степени в бассейне верхнего течения и низовьях р. Сок, широко распространены карстовые формы рельефа (воронки, впадины различных размеров и глубин), как следствие неглубокого залегания известняков (Холина, 1990). На правом коренном береге река размывает его поднятое крыло, благодаря чему берег здесь крутой и высокий (Сокские горы – 317 м). На склонах Сокских гор наблюдаются эрозионные процессы и выветривание горных пород. В *нижнем течении* долина р. Сок проходит по району распространения Волжских террас, из которых наибольшее развитие имеет 3-я надпойменная терраса, 2-я и 1-я развиты в виде нешироких полос и отдельных фрагментов.

В формировании рельефа существенную роль играют коренные породы пермской системы: известняки, доломиты и песчаники казанского яруса и пестроцветные мергели, глины и известняки татарского яруса. На поверхности водоразделов возвышаются «шишки» (шиханы), т.е. эрозионные останцы высотой до 100 м, сложенные устойчивыми к разрушению породами. Элювий пермских отложений является почвообразующей породой в бассейне р. Сок. «Из неогеновых отложений развиты акчагыльские морские глины, пески и галечники. Слабое развитие рыхлых неогеновых и четвертичных отложений объясняется недавним тектоническим поднятием района» (Захаров, 1990, с. 70).

Поверхность водосбора сложена в основном суглинками и супесчаными грунтами. Наиболее распространенными почвами (64%) в бассейне р. Сок являются черноземы типичные и выщелоченные, преимущественно среднего и тяжелого механического состава, сформированные под злаково-разнотравными степями. Они содержат до 12-15% гумуса. Преобладание среди почвообразующих пород карбонатных отложений обусловило широкое распространение дерново-карбонатных почв, остаточно-карбонатных каменисто-щебенистых черноземов (Холина, 1990).

Климатические условия бассейна р. Сок, как и всей Самарской области, складываются под влиянием Азиатского континента, сильно прогретого летом и охлажденного зимой, а также Атлантического океана, смягчающего температурные контрасты. Воздействие данных факторов создает резко выраженную неустойчивость погоды и возможность глубоких аномалий ее элементов. Характерными чертами климата являются холодная малоснежная зима, жаркое сухое лето, кратковременные весна и осень. В целом климат территории водосбора континентальный, с умеренным увлажнением. Его особенностью является засушливость и большая межгодовая изменчивость, особенно по количеству выпадающих осадков. Для формирования экосистем существенное значение имеют теплоэнергетические характеристики (температура) и атмосферное увлажнение. Годовое количество осадков в бассейне реки – 450-550 м, коэффициент увлажнения (отношение суммы выпадающих за год осадков к годовой испаряемости) – менее 1. Наибольшее количество осадков выпадает в теплый период года (с апреля по октябрь) – до 70% (Иванова, 1990).

«Термический режим воздуха формируется под влиянием климатообразующих факторов разного масштаба. К макромасштабным факторам следует относить атмосферную циркуляцию, радиационный режим и подстилающую поверхность. Так же на термический режим оказывают влияние местные условия: мезорельеф и микрорельеф, растительность, почва, непосредственная близость водоемов» (Ляховская, Сергейчук, 2010).

Средняя годовая температура воздуха изменяется от 2,9°С на севере до 3,9°С на юге. Самый холодный месяц в году – январь (средняя температура – 11,7°С), самый теплый – июль (средняя температура – 20,6°С), сумма биологически активных температур

составляет 2287-2420°, т.е. территория по биоклиматическим условиям относится к зоне лесостепи (Иванова, 1990).

По данным Л.Ф. Ляховской и Е.Е. Сергейчук (2010), отмечена тенденция устойчивого повышения среднегодовой температуры воздуха и годовой суммы атмосферных осадков. В пункте многолетних наблюдений с. Клявлено температура повысилась в конце XX столетия на 1,2°С, а количество осадков увеличилось на 40%. Повышение климатических характеристик более четко прослеживается в холодный период

Гидрографическая сеть бассейна р. Сок широко развита. В реку впадает 91 приток (рис. 2, см. вклейку 1). Наиболее крупным является Кондурча, площадь водосбора которой 4560 км^3, длина 290 км. Бассейн р. Сок богат многочисленными озерами и старицами, построено 9 водохранилищ и 28 прудов, общей емкостью 45,69 млн. м^3. Самое крупное водохранилище Кондурчинское; площадь водного зеркала – 6930 тыс. м^2, объем водной массы – 26,400 млн м^3. Из притоков нами изучены в разной степени детальности 6 водотоков – Байтуган, Кондурча, Сосновка, Хорошенькая, Черновка и Камышла (табл. 2 и 3).

При исследовании гидрографической сети р. Сок основное внимание уделено рекам Байтуган и Кондурча, водосборные бассейны которых отличаются по интенсивности хозяйственной деятельности, физико-географическим условиям, а также по размерам водосборной площади и длине рек (табл. 2; рис. 2, 3, см. вклейку 1).

Таблица 2. Гидрографические и гидрологические параметры рр. Байтуган и Кондурча

№	Показатели	Значения	Показатели	Значения
	р. Байтуган		р. Кондурча	
1	Координаты	54°15' с.ш. 52°21′ в.д.	Координаты	54°21′ с.ш. 51°40′ в.д.
2	Средняя высота бассейна над уровнем моря, м	270	Средняя высота бассейна над уровнем моря, м	200
3	Площадь бассейна реки, км^2	112	Площадь бассейна реки, км^2	4560
4	Уклон реки, ‰	7,7	Уклон реки, ‰	0,59
5	Длина реки, км	20	Длина реки, км	290
6	Ширина реки, м верховье устьевой участок	 0,5 5	Ширина реки, м верховье устьевой участок	 6 50
7	Глубина макс., м	0,7	Глубина макс., м	1,5
8	Скорость течения (межень), м/с	0.20-0.41	Скорость течения (межень), м/с	0,87
9	Среднегодовой сток* 75% обеспеченности, м^3/с устьевой участок	0,34	Среднегодовой сток* 75% обеспеченности, м^3/с верховье среднее течение устьевой участок	 1,93 10,2 11,7
10	Сброс сточных вод, млн м^3 (2006 г)	0	Сброс сточных вод, млн м^3/г (2006 г.)	8,93
11	Сброс ЗВ* со СВ тыс. т/г (2006 г.)	0	Сброс ЗВ со СВ, тыс т/г (2006 г.)	127,87

Примечание: * – по: Водохозяйственные балансы рек..., 2005.

Река Байтуган – верхний приток р. Сок, протекает в лесостепной зоне. По характеру рельефа относится к предгорным рекам (общее падение - 154 м, средний уклон – 7,7‰, скорость течения в меженный период достигает 1,2 м/с). Питание – родниковое. Водосборный бассейн не испытывает техногенного воздействия, сельскохозяйственная нагрузка слабая. Река Байтуган является эталонной для малых водотоков Среднего и Нижнего Поволжья (Зинченко, Головатюк, 2007б).

Таблица 3. Гидрографические характеристики притоков р. Сок (по: Зинченко, 2011)

Характеристики	Река			
	Сосновка	Камышла	Черновка	Хорошенькая
Площадь бассейна, км^2	93	98	329	168
Длина, км	16	20	37	25
Средний уклон, ‰	5,2	7,9	1,9	5,5
Ширина, м				
верховье	1,5	2,0	1,0	0,5
устьевой участок	100,0	5,0		10,0
Глубина, см				
верховье	20	20	20,0	15
устьевой участок	100	80	70	100
Скорость течения, м/с				
верховье	0,30	0,10	0,20	0,15
устьевой участок	0,25	0,20	0,05	-
*Годовой сток 75% обеспеченности, млн м^3	10,10	8,52	10,70	8,52

Примечание: * – по: Водохозяйственные балансы..., 2005.

Самый крупный приток р. Сок – р. Кондурча – имеет длину 290 км, ширину - от 6 м в Шенталинском районе до 50 м перед впадением в р. Сок. В акватории водотока (Сергиевский район) образовано водохранилище для поливных целей. Река широко используется в водохозяйственной деятельности – забор воды и сброс сточных вод.

Реки Камышла и Сосновка расположены в лесостепном районе верхнего течения р. Сок. Длина рек – 20 и 16 км соответственно. Скорость течения в летнюю межень достигает 0,6 м/с, глубины не превышают 1 м. Основными биотопами рек в верховье являются твердые грунты (галька и гравий), в низовье – заиленные суглинки с песком и растительными остатками. Русла рек в нижнем течении перегорожены временными земляными плотинами. По характеру водостока эти водотоки можно отнести к типу предгорных рек.

Притоки среднего течения р. Сок (Черновка, Хорошенькая) расположены в степной части Высокого Заволжья. В их бассейнах практически не сохранились естественные ландшафты, все они трансформированы антропогенным воздействием. Около 60% территории представлено пашнями, 25-27% занимают пастбища, на лесные геосистемы приходится 1-2%. Общая распаханность водосбора составляет 80%. Поверхностный сток в засушливый летний период отдельных лет практически отсутствует (Зинченко, Головатюк, 2000).

Водные ресурсы р. Сок на территории Самарской области в средний по водности год составляют 998,1 млн м^3. Сток реки формируется в основном за счет зимних осадков и подземных вод, поступающих из водоносных горизонтов осадочной толщи; осадки теплого периода на сток существенного влияния не оказывают (Почвы Куйбышевской области, 1985; Устинова и др., 2001).

Водный режим реки и ее притоков характеризуется высоким весенним половодьем, редкими и невысокими летними и осенними паводками и продолжительной летне-осенней и зимней меженью. Наиболее характерной фазой водного режима р. Сок является весеннее половодье, которое начинается в среднем в первых числах апреля и продолжается около 30 дней, его пик наступает в первой половине апреля, затем устанавливается устойчивая и продолжительная межень. В период половодья проходит 60-80% годового стока; доля летне-осеннего стока (от годового) составляет 10-30%. Минимальные расходы летней межени наблюдаются обычно в сентябре, начало зимней межени – середина ноября (табл. 4) (Водохозяйственные балансы.., 2005). Внутри годовое распределение речного стока крайне неравномерно, формируется он почти полностью в период весеннего снеготаяния.

Таблица 4. Водный сток р. Сок в створе 31 км от устья (зона выклинивания подпора Саратовского водохранилища)

Среднегодовой сток					Среднемесячный минимальный			
					Летне-осенний период			Зимний период
Обеспеченность, %	норма	50	75	95	50	75	95	95
$м^3/с$	35,3	33,1	24,9	15,31	10,60	6,60	3,06	2,81
млн $м^3$	1113,0	1044,0	785,0	483,0	27,90	17,4	8,06	7,40

Главной составляющей приходной части водного баланса р. Сок является поверхностный сток (95% от общей приходной части баланса), формирующийся на территории Самарской области. Суммарный расход воды в среднемноголетнем плане составляет 24% от прихода, в том числе на водопотребление расходуется 2,3%, основная часть (21,4%) приходится на санитарный попуск (табл. 5).

Таблица 5. Среднегодовой водохозяйственный баланс р. Сок (по: Водохозяйственные балансы.., 2005)

Приходная часть баланса	
Составляющие	млн. $м^3$/год
Сток с верхнего участка (из Оренбургской области и Кондурчинского водохранилища)	33,879
Сток, формирующийся на территории бассейна Самарской области	964,178
Водоотведение (сброс использованных вод)	15,973
Отдача прудов и водохранилищ	0,022
Итого	**1014,052**
Расходная часть баланса	
Составляющие	млн. $м^3$/год
Водопотребление из поверхностных источников	24,787
Уменьшение поверхностного стока за счет отбора подземных вод	4,037
Санитарный попуск	217,243
Итого	**246,067**
Избыток	+767,985
Степень использования поверхностного стока, %	2,9

Река протекает среди территорий с высокой проницаемостью грунтов, что создает благоприятные условия для пополнения грунтовых вод за счет атмосферных осадков (Ляховская, Сергейчук, 2010). Для бассейна р. Сок характерно обилие подземных вод, приуроченных к водоносному горизонту казанского и татарского ярусов. Глубина залегания вод в зависимости от рельефа меняется от 5-12 до 30-50 м. В верхнем и среднем течении много родников (места разгрузки карбонатных пород казанского яруса). Их вода обогащена серными соединениями. Грунтовые воды выполняют три основные функции: формирование меженного стока реки в течение всего года, увлажнение почво-грунтов после спада полых вод и непосредственно влияют на химический состав речных вод.

1.2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ И ТЕКТОНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ БАССЕЙНА РЕКИ СОК

Тектоническое строение. В тектоническом отношении территория бассейна р. Сок является сложной. В ее пределах выделяют 2 структурных этажа (кристаллический фундамент и осадочный чехол) и до 5 структурных ярусов в составе последнего. *Архейский этаж* имеет блоковое строение с поверхностью фундамента на глубинах от 1650 м на сводах до 2300 м в бортовых частях впадин и 2700 м в Ставропольской депрессии. По основным разломам этаж осложнен крупным, расширяющимся к востоку, Серноводско-Абдулинским авлакогеном субширотного простирания, в котором поверхность фунда-

мента погружается до -3600 м. Выполнение авлакогена терригенными осадками составляет *рифейский* структурный ярус осадочного чехла.

По *среднедевонскому* структурному ярусу выделяется Волго-Сокская палеовпадина северо-восточного простирания. Несмотря на то, что она не выражена в более поздних структурных этажах, ее осевая зона в целом соответствует долине р. Сок. Для *верхнедевонско-нижнекарбонового* структурного яруса определяющей является Камско-Кинельская система прогибов северо-западного простирания, осевая зона которой пересекает долину р. Сок в районе с. Черновка (Хасаев и др., 2006).

Наибольшее значение имеет тектоническое районирование по *среднекарбоново-верхнепермскому* структурному ярусу, по которому нижняя часть бассейна играет роль зоны сочленения 4 крупнейших региональных тектонических элементов, выделяемой под названием Сокской седловины. В качестве положительных элементов выступают Жигулевско-Пугачевский свод на крайнем юге с амплитудой поднятия 200-500 м, осложненный по краю Жигулевским валом, и Южно-Татарский свод на северо-востоке с амплитудой поднятия 200-1000 м, а отрицательных – Мелекесская впадина на северо-западе, с подчиненным элементом – Ставропольской депрессией на юго-западе и Бузулукская впадина на юго-востоке. Большинство локальных структур яруса (валы Елховско-Боровский, Серноводско-Шунгутский, Байтуганский и др.) имеют северо-восточное простирание и ясно выражены в современном рельефе в виде эрозионных останцов и иных форм.

Верхним является *среднеюрско-кайнозойский* структурный ярус, характеризующийся несогласным залеганием и несовпадением структурных планов с предшествующими образованиями.

Новейшая тектоника характеризуется восходящими движениями, амплитуды которых заметно выше в сводовых областях.

История геологического развития территории. В верхнекаменноугольную эпоху рассматриваемая территория была занята морским бассейном, трансгрессировавшим с юго-востока на всю восточную половину Европейской России. Сравнительно мелководный и относительно теплый бассейн сообщался с океаном вдоль современного западного склона Урала.

В начале пермской эпохи произошло значительное поднятие территории на западе и погружение на востоке в условиях лагунного режима; в уфимский век лагунный режим сменился на озерно-континентальный в условиях низкой равнины. В нижнеказанское время установился режим закрытого моря с нормальной соленостью, отгороженного от океана областью узких поднятий в области Южно-Татарского свода и устойчивым массивом суши за пределами территории на юго-западе. С началом верхнеказанского века все море превратилось в обширную лагуну, где в условиях аридного климата отлагались мощные сульфатные толщи гидрохимической свиты. Позже существовала частая смена лагунного и морского режима с циклическим накоплением осадков; при этом соединение с внешним морским бассейном происходило в Приказанском районе. Привнос же терригенного материала, так же как и основной приток пресных вод, происходил со стороны Урала в северо-восточную зону, поэтому в данном направлении в рамках отдельно взятого слоя наблюдается постепенная смена лагунных фаций дельтовыми (Форш, 1955) и затем чисто континентальными. В уржумское время продолжал существовать крупный опресняющийся озерный бассейн, сузившийся в результате поднятия Жигулевско-Пугачевского свода и усиленного накопления терригенной толщи на северо-востоке территории.

Начиная с северодвинского века, территория претерпела заметное поднятие. Остатки опресняющейся лагуны отступили на юго-запад и установился просуществовавший до среднеюрского времени длительный континентальный режим с жарким климатом, приведший к значительной пенепленизации поверхности. Продолжали развиваться заложенные в нижнепермскую эпоху карстовые образования, наиболее значительные в Сокольих горах и в среднем течении р. Сок.

Со средней юры вплоть до начала палеогена область характеризуется неустойчивым тектоническим режимом; в целом характерен режим низкой суши (Иванов, Поляков, 1960).

В эоцене возобновилось поднятие территории. Ее высокое стояние, сопровождавшееся образованием олигоценовой денудационной равнины на абсолютных отметках 200-295 м, а в зоне мощных гипсовых отложений вдоль среднего и нижнего течения р. Сок и сильнейшими карстовыми процессами с чрезвычайно низким базисом эрозии, просуществовало до акчагыльской трансгрессии. Эта трансгрессия охватила территорию лишь частично, в основном затопив западную половину, а на востоке образовав узкие заливы по речным долинам.

В оставшееся время структурные преобразования территории были направлены в целом на повышение уровня рельефа и сопровождались двумя фазами денудации – в плиоцене (проявлена в западной части на абсолютных отметках 150-200 м) и в раннем плейстоцене (в бассейне р. Кондурча на абсолютных отметках 100-140 м). Продолжались ранее начавшиеся карстовые процессы, для юго-западной части территории усиленные позднеплиоценовым морским размывом гипсовых толщ. В ледниковую эпоху территория была слабо затронута изменениями, находясь в континентальных условиях вне зоны материкового обледенения.

Современное геологическое строение. Поверхность территории бассейна р. Сок имеет относительно сложное геологическое строение (по: Государственная геологическая.., 1961; Официальный сайт ВСЕГЕИ http://www.vsegei.ru). Наиболее древними являются отложения *гжельского* яруса верхнего карбона, обнажающиеся в Сокольих горах и на Царевом Кургане. Мощность толщи яруса, лежащей выше уровня Саратовского водохранилища, на горе Тип-Тяв приближается к 100 м. Гжельские слои представлены исключительно морскими карбонатными породами; в них переслаиваются плотные известняки и доломиты, неравномерно содержащие комплекс богатейшей фауны брахиопод, гастропод, кораллов, фораминифер (в первую очередь фузулинид), реже – иглокожих. Довольно характерны кремневые конкреции, залегающие узкими горизонтами.

Каменноугольные отложения перекрыты породами пермского возраста, представленными всеми отделами (снизу вверх: приуральским, биармским, татарским). Нижнепермские отложения согласно налегают на верхнекаменноугольные и по своему литологическому составу близки к ним. В нижней части они представлены распространенными на той же площади известняками и доломитами *ассельского* яруса мощностью до 25 м. Его нижний горизонт относительно легко идентифицируется по обилию длинных (до 13 мм) фузулинид (рода *Daixina* и *Rugosofusulina*), а верхний – по обилию крупных (до 6 мм) сферических фораминифер рода *Schwagerina*. Окремнение вверху проявлено более масштабно, вплоть до того, что карбонатные породы полностью замещены на многометровые по простиранию линзы сплошного кремня.

Следующей в Сокольих горах залегает 10-15-метровая, имеющая лагунное происхождение, толща переслаивания доломитов с гипсами, относимая к *сакмарскому* ярусу нижнепермского отдела. Близ поверхности гипсы выщелочены, а немые доломиты брекчированы. Помимо этого, более мощные сакмарские доломиты частично выступают на поверхность только вблизи устья р. Бузбаш, где хорошо обнажены. Фауна в них крайне угнетена и представлена колониями астреевидных кораллов.

На всей площади распространения коренные каменноугольные и нижнепермские породы близ дневной поверхности обычно сильно разрушены, ощебнены или превращены в доломитовую муку.

Средние ярусы приуральского отдела, распространенные лишь на востоке территории, повсюду полностью перекрыты более молодыми пермскими отложениями.

Склоны долины р. Сок на участке Камышла-Байтуган слагает толща *уфимского* яруса. Она залегает там с перерывом на сакмарских доломитах и представлена терригенными отложениями небольшой мощности. Это часто переслаивающиеся пестроцветные немые алевролиты, глины, мергеля.

Вышележащие отложения *казанского* яруса, относимые ныне к биармскому отделу (Состояние изученности.., 2008), являются для описываемой территории наиболее значимыми. Они подразделяются на два стратиграфических горизонта – немдинский (нижнеказанский подъярус, устар. калиновская свита) и поволжский (верхнеказанский подъярус). Немдинский горизонт несогласно налегает на сильно размытую поверхность доломитов сакмарского возраста, а в зоне развития уфимского яруса – на пестроцветы последнего. Он относительно выдержан по мощности (50-60 м), однако в среднем течении р. Сок она увеличивается вдвое. Нижнеказанские отложения выходят на поверхность вдоль р. Сок и низовий притоков от с. Чекалино до с. Нов. Усманово, а также в Сокольих горах.

М.Э. Ноинский (1924, 1932) и Н.И. Форш (1955) обосновали ритмичность осадконакопления для обоих стратиграфических горизонтов яруса. Согласно этим авторам, вся толща казанских отложений подразделяется на ряд седиментационных циклов, представляющих собой чередование морского и лагунного режимов. В основании каждого цикла лежат мергеля, покрытые доломитами с богатыми биоценозами; выше следуют хемогенные слоистые и оолитовые доломиты с обедненной фауной. Выше по разрезу эта фаза представлена гипсоносными немыми доломитами, а в верхних циклах – и замещающими последние терригенными песчаниками, глинами, алевролитами. Венчают каждый цикл мергеля или доломиты опять с богатой фауной.

Второй закономерностью является постепенное возрастание роли лагунных условий вверх по разрезу. Если нижние циклы в момент максимального развития моря имеют фауну брахиопод в состоянии расцвета при участии моллюсков, мшанок и иглокожих, средние циклы - обильную, но с бедным видовым составом фауну брахиопод и двустворок, то в верхних представлена лишь угнетенная фауна двустворок (с примесью мелких гастропод родов *Murchisonia* и *Loxonema*) и только на узких интервалах.

Третья закономерность – постепенное распространение зоны континентальных отложений, замещающих лагунную фазу цикла, в юго-западном направлении, и соответственное сужение зоны карбонатно-сульфатных отложений.

В составе немдинского горизонта на описываемой территории выделяют (снизу вверх) следующие соответствующие трем циклам слои: байтуганские (сохранились только на востоке), камышлинские и барбашинские. В направлении от Нурлата через Исаклы к Бугуруслану имеется глубокий размыв нижнеказанской толщи, выходящий в котловину в центральной части Бузулукской впадины.

Поволжский горизонт широко проявлен в Сокольих горах и в центральной части бассейна. Он имеет мощность около 80 м, возрастающую в зоне предверхнеказанского размыва до 140 м. В его составе на описываемой территории выделяют (снизу вверх) следующие слои:

- исаклинские, или гидрохимическую свиту (гипсы с прослоями немых доломитов, в зоне размыва - сероцветные песчаники и глины);
- сосновскую свиту, представляющую собой три последовательных седиментационных цикла. Морская фаза здесь имеет небольшое значение и представлена доломитами, лагунная - немыми, часто огипсованными, доломитами, пластами гипса и прослоями тонкоплитчатых пресноводных известняков, на востоке – красноцветными терригенными песчаниками или глинами.

Толща *уржумского* яруса слагает водораздельные высоты на востоке и спускается в долины в нижнем течении рек Сок и Кондурча. Она подразделяется на 2 горизонта. Нижний – нижнеустьинская свита – ранее в Самарско-Оренбургском Заволжье выделялся как сокская свита, причем зачастую в составе казанского яруса (что приводит к разночтениям и в литературе, и в картографическом материале). Верхний горизонт – сухонская свита – соответствует сумме прежних большекинельской и аманакской свит.

Нижнеустьинская свита мощностью около 120 м сложена переслаиванием красноцветных континентальных (глины, алевролиты, реже песчаники) и сероцветных озерно-лагунных пород (мергеля, глинистые доломиты, реже песчаники и серые глины). Бедная

фауна представлена исключительно остракодами и редкими пресноводными двустворками сем. Anthracosiidae. В нижней части свиты местами залегают маломощные гипсовые линзы, ближе к подошве обычны загипсованные доломиты. Сухонская свита сложена красноцветным терригенным комплексом.

Отложения татарского отдела пермской системы (Состояние изученности.., 2008) на описываемой территории распространены менее уржумских. Они слагают плохо обнаженные верхние части водоразделов и представлены *северодвинским* ярусом полной мощностью до 160 м и *вятским* ярусом, частично сохранившимся от размыва в верховьях рек Орлянка и Черновка. Здесь имеются в основном те же терригенные красноцветы, а роль карбонатных пород мала и продолжает снижаться вверх по разрезу, вплоть до полного исчезновения.

Отложения юрской системы сохранились лишь на водоразделе с бассейном р. Самары в виде двух незначительных песчаных останцов южнее сел Шилан и Чапаево, отнесенных к *келловейскому* ярусу среднего отдела.

Отложения неогеновой системы представлены *акчагыльским* региоярусом верхнего плиоцена, главным образом, оставленными одноименной трансгрессией морскими глинами. В первую очередь они выполняют каньонообразные эрозионные врезы в разновозрастные породы: максимальная мощность составляет 330 м у с. Надеждино (Елховский район). В целом палеодолины лежат в пределах современных, но несколько смещены к югу относительно современных русел. Вверх по палеодолине р. Сок акчагыльские осадки достигают с. Саперкино, по палеодолине р. Кондурча – с. Багана. Пятна неогеновых отложений встречаются и на склонах водоразделов.

К *эоплейстоцену* в настоящее время относят 30-метровые аллювиально-делювиальные песчано-глинистые отложения на водоразделах западной части бассейна р. Кондурча.

Неоплейстоценовые отложения представлены аллювием. Практически на всей территории они налегают на более древние отложения с перерывом. Вторая надпойменная терраса на западе района имеет хазарский (среднечетвертичный) возраст. Тыловой шов террасы проходит в районе абсолютной отметки 90±10 м, а мощность достигает 20 м. Возраст первой надпойменной террасы хвалынский (верхнечетвертичный). Ее тыловой шов проходит в районе абсолютной отметки 70 м, мощность аллювия составляет 10-25 м. Кроме того, по склонам широко распространены делювиальные суглинки неоплейстоценового возраста переменной мощности (обычно 5-7, до 12 м) на водораздельных склонах.

В *современном* аллювии рек основное участие принимают пески мощностью до 10 м, редко до 18 м. Нередко в поймах имеются болотные отложения в виде илистых суглинков мощностью до 8 м, иногда с торфом.

Гидрогеология. Рассматриваемая территория находится в юго-восточной части Волго-Камского артезианского бассейна, где верхними региональными водоупорами являются гипсо-ангидритовые пласты нижней перми и гидрохимической свиты казанского яруса. В бассейне р. Сок выделяется целый ряд водоносных комплексов. Их характер для отложений кайнозоя четко привязан к особенностям геологического строения. Напротив, состав вод большинства палеозойских комплексов определяется не столько частными особенностями геологического строения, сколько зональностью водообмена, привязанной в первую очередь к глубине залегания – т.е. в этом случае преобладают региональные факторы. Во всем Сокском бассейне (в меньшей степени – в бассейне реки Кондурчи) определяющую роль в формировании гидрохимической зональности подземных вод зоны активного водообмена играют процессы выноса сульфатов из гипсов и ангидритов, протекающие под воздействием экзогенных процессов и новейших тектонических движений в условиях современного рельефообразования (Мишурин, 2006).

Горизонт *современных* аллювиальных отложений приурочен к поймам рек. Его мощность – до 13 м, водовмещающие породы – тонко- и среднезернистые пески, супеси, суглинки; водоупоры – глины акчагыльского или казанского ярусов. В местах отсутствия

водоупоров горизонт генетически связан с водами казанских отложений по р. Сок и татарских – по р. Кондурча. Водообильность низкая – до 0,1 л/с. Минерализация вод – до 2 г/л, общая жесткость – до 19,2 мг/экв.

Комплекс *верхне-среднечетвертичных* аллювиальных отложений приурочен к древним террасам и в полном объеме развит только на отдельных участках рек Сок и Кондурча; для меньших рек иногда характерен его верхний горизонт. Мощность комплекса до – 12 м, водовмещающие породы – супеси, суглинки, пески; водоупоры – глины акчагыльского или казанского ярусов. Водообильность 0,02-2,0 л/с. Минерализация вод – до 3,6 г/л (обычно 0,3-1 г/л), общая жесткость 5-48 мг/экв.

В местах отсутствия водоупоров четвертичные горизонты генетически связаны с водами казанских отложений по р. Сок и татарских - по р. Кондурча. В таких случаях минерализация вод повышенная и меняет характер с гидрокарбонатной магниево-кальциевой на сульфатно-кальциевую.

Комплекс *акчагыльских* отложений приурочен к песчаным прослоям и линзам среди акчагыльских глин западной части территории, иногда заключающим до 3 разобщенных горизонтов. Мощность комплекса до 300 м, отдельных горизонтов – 2-40 м. Водообильность очень различна и составляет 0,02-2,5 л/с. В пределах водоразделов, где питание осуществляется за счет инфильтрации, распространены сульфатно-гидрокарбонатные воды с минерализацией до 1 г/л; в глубоких горизонтах палеодолин – до 3,5 г/л и общей жесткостью до 38 мг/экв.

Мощный комплекс *татарских* (включая уржумские) отложений развит в основном на водоразделах рек Сок-Большой Черемшан и Сок-Кондурча. Водоносны несколько горизонтов рыхлых песчаников и кавернозных известняков и доломитов; водоупорами служат глины, алевролиты, плотные мергеля. Водообильность – 0,4-0,5 (иногда до 1,7 л/с); наиболее обильно основание северодвинского яруса. Минерализация вод – до 1 г/л, общая жесткость – 3,5-11 мг/экв., особенностью является повышенная магнезиальность.

Комплекс *верхнеказанских* отложений заключает до 3 горизонтов. Значителен только средний горизонт мощностью 10-12 м, приуроченный к карбонатно-терригенным породам сосновской свиты. Его водообильность в восточной части – 0,5-10 л/с, минерализация редко превышает 1 г/л, общая жесткость – 1,2-19 мг/экв. На западе горизонт погружается до 180 м, воды там высокоминерализованные и содержат сероводород.

Комплекс *нижнеказанских* отложений обнажается в долине верхнего и среднего течения р. Сок. Он заключает до 3 горизонтов, часто связанных между собой и с верхнеказанским комплексом. Водовмещающие породы – трещиноватые известняки, доломиты, реже песчаники; водоупоры – глины и алевролиты. В местах неглубокого залегания водообильность – до нескольких л/с, минерализация – 0,3-0,8 г/л, общая жесткость – 5-18 мг/экв. На глубине свыше 150 м воды комплекса сульфатные магниево-кальциевые с минерализацией более 3 г/л, жесткие, часто содержат сероводород в количествах 8-146 мг/экв.; в верхнем течении р. Сок нередки изливы таких вод.

Горизонт *уфимского* яруса мощностью 3-50 м, со средней водообильностью, заключает в линзах песчаников среди глин и алевролитов, как правило, солоноватые жесткие воды с минерализацией около 2 г/л, содержащие сероводород и компоненты нефти. В районе выхода пород на поверхность воды пресные.

В *верхнесакмарском* горизонте у с. Бузбаш весьма водообильны трещиноватые и закарстованные известняки и доломиты; водоупором выступают гипсовые пласты нижних горизонтов яруса. Воды на участке, как исключение, пресные.

В районе Сокольих гор выходит на поверхность водоносный комплекс *нижнепермско-верхнекарбоновых* отложений. В этой зоне он имеет мощность 190-280 м, воды гидрокарбонатно-кальциевые с минерализацией около 1 г/л в местах выхода на поверхность. Верхняя толща в основном безводна. Вмещающими породами являются трещиноватые и кавернозные известняки и доломиты, региональным водоупором служит глинисто-алевролитовая толща каширского горизонта (в нижней части московского яруса

среднего карбона).

Все прочие глубокие горизонты (для восточных районов – включая неклассифицированные нижнепермские) полностью относятся к зонам затрудненного водообмена и застойных вод. С погружением возрастает минерализация, а состав плавно меняется с хлоридно-сульфатного кальциево-натриевого на хлоридно-натриевый. Эти воды часто являются высоконапорными, вплоть до фонтанирования из скважин (Государственная геологическая.., 1960).

Особенности положения и строения бассейна р. Сок. При сопоставлении Сокского бассейна с бассейнами соседних, сравнимых по размерам рек, можно выявить как общие черты, так и специфические особенности.

В первую очередь необходимо учитывать следующий фактор. По географическим условиям бассейн р. Сок можно подразделить на две весьма различающиеся части: бассейн р. Кондурча и собственно Сокский бассейн. Если последний по ряду параметров (рельеф, уклон и строение долины, характер сети притоков и т.п.) типичен для Высокого (лесостепного) Заволжья, то преобладающая часть бассейна р. Кондурчи стоит ближе к равнинным рекам Низкого (степного) Заволжья. Все это обусловлено общим геологическим происхождением, параллельностью геологических процессов и, как следствие, значительным литологическим и геоморфологическим сходством каждой из этих частей. Реки Кондурча, Черемшан, Самара, Чапаевка, Большой Иргиз и другие большей частью лежат в зонах тектонических депрессий; а такие, как Сок, Шешма, Зай, Ик, – напротив, в зонах поднятий.

К специфическим особенностям Сокского бассейна можно отнести природные изливы сероводородных вод и вязких нефтей. Сравнимым в этом плане можно считать лишь бассейн р. Шешмы. Несмотря на то, что с началом нефтедобычи в регионе (конец 1940-1950 гг.) массово возникли масштабные техногенные аналоги и эта особенность нивелировалась, значительная давность существования специфической среды должна была оказать влияние на формирование экосистем.

Другой спецификой является наличие громадного количества гипсов и обширных площадей сульфатного карста в собственно Сокском бассейне. Ни одна из соседних малых рек не может сравниться в этом плане. Наиболее близкой к р. Сок по этому признаку можно считать р. Ирень в Пермском Приуралье, в меньшей степени – районы устьев рек Кама, Ока, нижнее течение р. Сакмара и среднее течение р. Белая. Высокие концентрации сульфатов в воде гораздо в большей степени влияют на жизнедеятельность организмов, нежели общая соленость.

Отличительной особенностью бассейна р. Кондурчи, роднящей ее с бассейном соседнего Большого Черемшана, является минеральный состав акчагыльских (и производных от них) глин. Из-за преобладания в этих глинах монтмориллонита они обладают значительно повышенной адсорбционной и ионообменной способностью, а следовательно, соответствующие реки обладают *весьма выраженной системой самоочищения.*

Таким образом, бассейн р. Сок (особенно без Кондурчинского участка) по комплексу параметров имеет весьма значительные отличия от прочих бассейнов малых рек Самарской области и стоит ближе к речным бассейнам Бугульминско-Белебеевской возвышенности.

1.3. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕК БАЙТУГАН И КОНДУРЧА

Гидролого-морфометрические исследования притока верхнего течения р. Сок – р. Байтуган и нижнего течения – реки Кондурча (рис. 3, см. вклейку), а также некоторых родников, расположенных на водосборной площади этих рек, были проведены летом 2010 г.

В ходе полевых работ определялись скорость течения и расходы воды, мутность, гранулометрический состав взвешенных и влекомых наносов. Расходы воды измерялись

вертушками ГР-21М (фото 1*а*, см. вклейку 1) и ИСП-1 (фото 1*б,* см. вклейку 1). Первый прибор состоит из вертушки и сигнального устройства, которое служит для передачи сигналов при замыкании контактов вертушки. Звуковая сигнализация идет при помощи звонка, к которому подводятся провода от клемм на корпусе вертушки. Замыкание контактов происходит через каждые 20 оборотов лопастного винта вертушки, в результате чего раздается звуковой сигнал. В результате подсчитывается количество оборотов за определенное время (об/с). В дальнейшем используются тарировочные кривые, позволяющие пересчитывать полученные результаты в скорость течения (м/с) (Быков, Васильев, 1977).

Принцип работы вертушки ИСП-1 отличается от описанной выше лишь тем, что в данном случае имеется преобразователь сигналов вертушки ПСВ, с которым она соединена проводами. Каждый оборот лопастного винта вертушки фиксируется. В программе ПСВ встроена тарировочная кривая, что позволяет получать значения скорости течения (м/с).

Количество измерений на выбранных вертикалях определялось глубиной потока. При глубине менее 0,6 м – скорость измерялась на одной точке, при диапазоне глубин 0,6-1,0 м – в 3-х точках, при глубинах более 1 м – в 5-ти точках. Средняя скорость на вертикали рассчитывается по уравнениям с учетом использования весовых характеристик скоростей потока на различных глубинах.

Расходы воды между скоростными вертикалями вычислялись как произведение средней скорости течения между соседними вертикалями на площадь поперечного сечения между ними, вычисленного в результате промеров дна. Для крайних вертикалей скорость течения на них умножалась на 0,7÷0,8 в зависимости от характера берега. Расход воды вычислялся как сумма частных расходов воды между скоростными вертикалями.

В случаях, когда измерение расходов воды с помощью вертушки было невозможно, скорость воды определяли поплавками.

Определение мутности воды проводили двумя способами: прямым и косвенным. К первому виду относится непосредственное измерение мутности S, которое включает отбор проб воды, их фильтрование и взвешивание фильтра с твердым осадком. Косвенный способ измерения основан на способности взвешенных частиц рассеивать свет, т.е. определяется количество света, прошедшее сквозь жидкость (пробу), в результате чего получается оптическая мутность T. Измерения относительной мутности воды проводились мутномером HACH 2100P. Для измерения мутности воды достаточно поместить на несколько секунд кювету с пробой в прибор, на экране выводится значение относительной мутности в единицах NTU (нефелометрические единицы мутности).

Для пересчета полученных величин оптической мутности в содержание взвешенных частиц построили зависимость $S = f(T)$ (рис. 4). На основе уравнения регрессии можно переходить от величин относительной мутности к фактической:

$$S = 0{,}92T + 4{,}45\,, \qquad (2.1)$$

где S - значение мутности, в г/м^3, а T - значения относительной мутности воды в NTU.

Гранулометрический состав русловых отложений измерялся медом просеивания через сита с различными размерами отверстий.

Пересчет морфометрических показателей рек проводился с помощью программы ArcGIS. Для этого были «склеены» топографические карты масштаба 1:100 000, на которых изображены бассейны исследуемых водотоки (рис 5, вклейку 1). Далее в программе проводилась топографическая привязка карт к системе координат. После привязки были оцифрованы водосборы и реки, определены с помощью программы площади водосборов и длины рек, а также нанесены фактические точки проведенных измерений, полученные с помощью GPS-приемника. На основе полученных данных были рассчитаны модули стока, определены уклоны, построены продольные профили рек и вычислены расстояния от устьев рек до промерных точек.

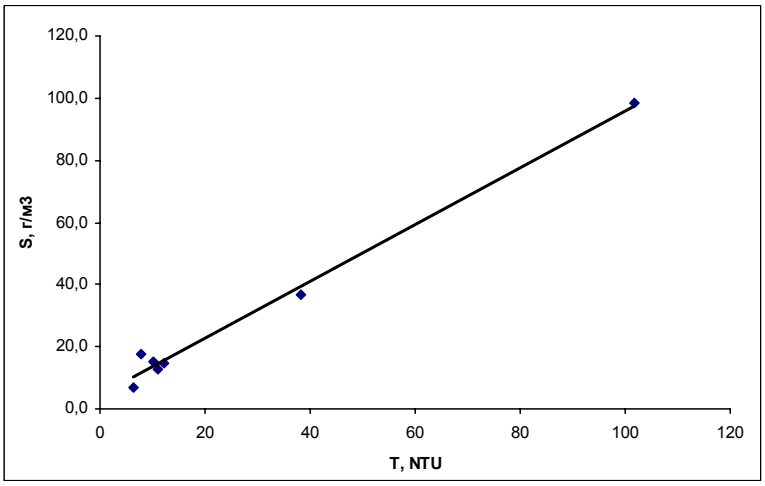


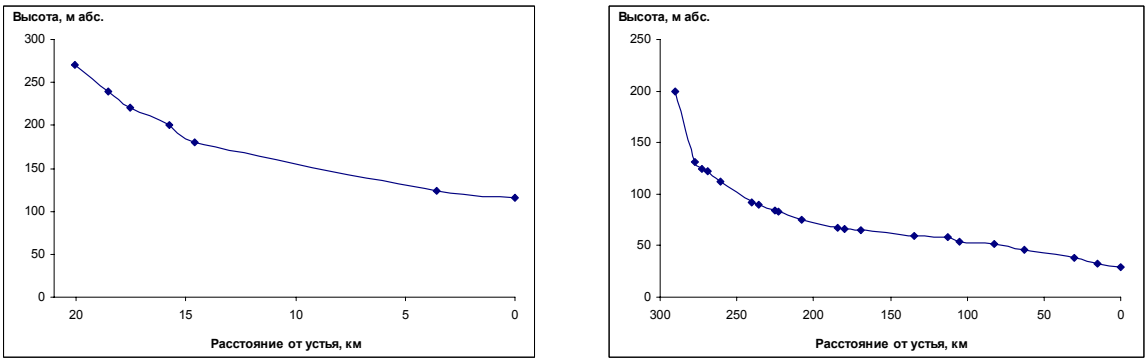
Рис. 4. Зависимость $S = f(T)$ для рек бассейна р. Сок (Кондурча, Байтуган)

Для изучаемых рек были уточнены некоторые гидрографические характеристики, полученные на основе измерений по топографическим картам, изображающим состояние местности на конец 80-х годов XX в. (табл. 6).

Таблица 6. Морфометрические показатели исследуемых рек

Морфометрические показатели	Байтуган		Кондурча	
	Наши данные	Литературные данные	Наши данные	Литературные данные
Длина, км	20	22	290	324
Площадь бассейна, км^2	112	140	4560	4360
Высота истока, м	270	–	200	–
Высота устья, м	*116*	–	29,2	–
Падение, м	154	170	171	–
Уклон, ‰	7,7	0,90%	0,59	0,07%

По результатам измерений длин рек и высоты их урезов были построены продольные профили рек (рис. 6). Для них характерны выработанные продольные профили, что говорит о динамическом равновесии русел водотоков. Вогнутый профиль, число Фруда, равное 0,03, порядок реки по А. Шайдеггеру < 2, а также соотношение площади бассейна и уклона говорят о том, что р. Байтуган имеет равнинный (а не предгорный, как считалось ранее) тип речного русла (Маккавеев, Чалов, 1986).



а *б*

Рис. 6. Продольные профили рек Байтуган (*а*), Кондурча (*б*)

Величины расходов воды рек Кондурча и Байтуган имеют тенденцию нарастания вниз по течению рек, связанную с впадением притоков, а также с дренированием водоносных горизонтов. И лишь в нижнем течении р. Байтуган (ниже с. Красный Яр) наблюдается уменьшение расхода воды (табл. 7) на 15% (рис. 7, см. вклейку 1). Потери стока связаны с наличием бобровой плотины, в результате чего создается подпор, приводящий к растеканию воды по пойме на участке реки выше плотины, что вызывает дополнительные потери за счет инфильтрации и повышенного испарения, связанного с увеличением площади водной поверхности. К устью расход воды в реке составляет 0,13 $м^3$/с.

Расход воды в р. Кондурча в устье достигает 3,37 $м^3$/с. На участке, где река протекает в пределах Республики Татарстан и приграничной территории, отмечается снижение расхода вод с 0,29 до 0,21 $м^3$/с, или 27 % (рис. 8, см. вклейку 1). Это вызвано влиянием антропогенной нагрузки, главным образом за счет интенсивного ведения сельского хозяйства на водосборе. В нижнем течении происходит значительное увеличение расхода воды, которое связано с впадением крупных притоков. Модуль стока р. Байтуган составляет 1,13 л/с·$км^2$, что на 0,40 л/с·$км^2$ больше, чем у р. Кондурча, модуль стока которой равен 0,74 л/с·$км^2$.

Дебит воды родников колебался в широких пределах от 1 л/с до 330 л/с. Значительные величины (220-330 л/с) отмечены в нижнем и среднем течении р. Кондурча, в бассейне р. Байтуган у с. Красный Яр – дебит воды составил 23 л/с.

Таблица 7. Расходы воды и некоторые морфометрические показатели русел рек Кондурча, Байтуган

Стан-ция	Место отбора проб	Расстояние от устья, км	Расход, $м^3$/с	Скорость на стрежне, м/с	Максимальная глубина, м	Ширина, м
р. Байтуган						
2	Исток, 1,5 км ниже с. Ерилкино	17,0	0,002	0,15	0,22	1,2
3	5 км ниже с. Ерилкино	13,2	0,036	0,30	0,17	1,6
4	1 км выше с. Красный Яр	11,1	0,087	0,41	0,20	1,7
6	3 км ниже с.Красный Яр	7,77	0,074	0,33	0,15	3,5
7	2 км выше плотины у с. Татарский Байтуган	4,86	–	*<0,1*	*>0,9*	*1,6*
7а	Выше с. Татарский Байтуган, ниже плотины	3,12	–	0,20	*>0,3*	*6,0*
8	Устье, с. Татарский Байтуган	2,33	0,127	0,18	0,31	4,6
р. Кондурча						
1*	Исток	276	0,001	0,14	0,05	0,65
2*	Выше с. Кр. Строитель	246	0,100	0,06	1,80	4,5
1	с. Кр. Строитель, 100 м выше моста	218	0,103	0,08	0,70	7,6
2	с. Светлое озеро, 200 м выше моста	203	0,295	0,68	0,30	11
3	с. Нижний Нурлат, 200 м выше моста, перекат	179	0,267	0,09	0,97	9,0
4	с. Тенево, 200 м ниже моста	156	0,215	0,09	0,72	9,5
5	г. Кошки, мост	101	0,676	0,37	0,70	8,2
6	с. Нижняя Кондурча, мост, перекат	46,5	1,44	0,87	0,38	12,3
7	с. Калиновка, ниже моста	31,3	3,20	0,83	0,55	12,2
8	с. Ст. Буян, 1 км выше моста	20,1	3,29	0,32	0,88	21,1
9	Устье, с. Кондурчинское, выше моста	4,39	3,37	0,50	0,50	31

Средняя величина концентрации взвешенных наносов на р. Байтуган равна 16,0 г/м^3. Диапазон мутности воды составляет 30 г/м^3 и изменяется от 6,93 до 36,7 г/м^3. Минимальная величина мутности отмечается в истоке реки, а далее наблюдается закономерное увеличение мутности по длине реки в связи с увеличением водности (рис. 9, см. вклейку 1; табл. 8). Небольшое снижение концентрации взвешенных наносов в среднем течении связано с наличием бобровой плотины, из-за которой происходит уменьшение транспортирующей способности потока. После бобровой плотины мутность вновь увеличивается и достигает своего максимума перед водохранилищем с земляной плотиной, расположенной выше с. Татарский Байтуган. В водохранилище происходит перехват наносов, поэтому ниже по течению мутность уменьшается почти в 4 раза.

В р. Кондурча среднее значение мутности составляет 22,7 г/м^3, а наименьшее значение (10,8 г/м^3) – в районе с. Тенево. Пик мутности относится к участку с врезанным неустойчивым руслом и легкоразмываемыми подстилающими породами в районе с. Светлое озеро (рис. 8). В остальных створах величина мутности воды регистрируется ниже среднего значения. Это связано с тем, что русловые отложения не переходят во взвешенное состояние с увеличением водности, поскольку донные субстраты представлены крупными фракциями. При определении гранулометрического состава были построены для исследуемых рек кумулятивные кривые (рис. 9; см. вклейку 1), что позволило установить значительную роль в составе русловых наносов гравия и крупнозернистого песка.

Таблица 8. Значения мутности воды рек Кондурча, Байтуган и характеристики русловых отложений

Станция	Расстояние от устья, км	Оптическая мутность, NTU	Мутность, г/м^3	Средний диаметр частиц грунта, мм	Тип отложений
р. Байтуган					
2	17,0	6,46	**6,93**	2,79	гр+г
3	13,2	11,3	14,8	3,44	гр
4	11,1	10,2	13,8	1,79	гр
6	7,77	17,4	20,4	6,18	гр+г
7	4,86	38,3	**36,7**	–	–
7а	3,12	5,52	9,51	–	–
8	2,33	5,97	9,92	5,16	гр+г
р. Кондурча					
1*	276	14,5	17,7	0,84	грп
2*	246	12,2	**14,9**	–	–
1	218	17,6	20,6	1,16	к
2	203	102	**98,4**	2,71	к
3	179	15,5	18,6	0,54	ск
4	156	6,96	10,8	1,15	к
5	101	10,9	**12,8**	0,78	к
6	46,5	10,7	14,3	6,32	гр+г
7	31,3	9,01	12,7	2,33	гр+г
8	20,1	7,70	**17,6**	0,36	с
9	4,39	7,00	10,9	0,95	грп

Примечание: Жирным шрифтом отмечены точки, в которых мутность определяли фактическим способом; с – среднезернистый, ск – средне-крупнозернистый, к – крупнозернистый, грп – гравелистый песок, г – галечник.

1.4. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА РЕКИ СОК И ЕЕ ПРИТОКОВ

В последнее время все большую актуальность приобретают исследования такого объекта, как малые реки. Их изучение, как первичных звеньев гидрологических сетей, определяющих качество вод средних и крупных рек, является одной из актуальных задач экологии водных систем.

«Проблема» малых рек существует практически во всех регионах. Экосистемы таких вододотоков являются весьма «ранимыми». Их состояние определяется особенностями водосборной площади, масштабом и характером антропогенных воздействий и химическим составом генетически различных типов вод, питающих их, а, именно: атмосферных осадков, почвенных и грунтовых потоков (Заславская, 2001). Экстенсивная эксплуатация природных ресурсов в бассейнах малых рек в конечном итоге приводит к истощению и загрязнению водных ресурсов, ухудшению качества воды и нарушению состояния водной экосистемы в целом.

1.4.1. Река Сок

Объектом изучения выбрана одна из стратегически важных водных артерий Самарской области - река Сок. Исследования проводились в 1998-1999 гг. на ключевых участках реки. В 2007 г. в летнюю межень (наиболее жесткий по водности период) выполнена детальная съемка на 14 станциях, расположенных по длине реки от истока до устья (рис. 10) с учетом морфологических и гидрологических особенностей участков, интенсивности антропогенного воздействия на них:

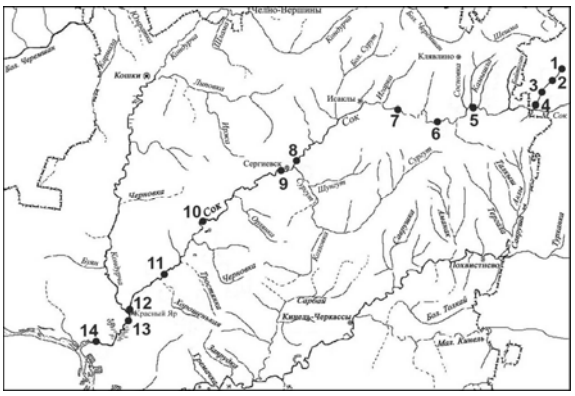
- участок *верхнего течения* реки (ст. 4, 5) – от истока реки до с. Ново-Ермаково, находится под воздействием поверхностного рассредоточенного стока;
- участок *среднего течения* реки (ст. 6-11) – ниже с. Ново-Ермаково до с. Красный Яр, испытывающий пресс сточных вод от Сергиевской коммунальной компании и МПП ЖКХ «Суходол»;
- участок *нижнего течения* (ст. 12-14) – ниже с. Красный Яр до устья реки, находится под влиянием потока загрязняющих веществ, поступающего с вышерасположенного участка реки, и подпорных, менее минерализованных водных масс Саратовского водохранилища.

Исследовались следующие показатели воды: минерализация, макрокомпонентный состав, биогенные и органические вещества, составляющие газового режима (pH, растворенный кислород), микроэлементы. Химический состав донных отложений (микроэлементы, органическое вещество, фенолы, СПАВ) изучался на ключевых станциях в верховье, среднем и нижнем течении. Анализы выполнены аккредитованной лабораторией ООО «Центр мониторинга водной и геологической среды» (г. Самара).

Использованы данные наблюдений за химическим режимом реки, водопотреблением и водоотведением госстатотчетов предприятий по форме 2 ТП водхоз за 2000-2004 гг., а также материалы НИИ гигиены и экологии человека ГОУ ВПО «Самарский государственный медицинский университет» за июль 2007 г. (Оценка эколого-гигиенического.., 2007).

На гидрохимический фон р. Сок, формирующийся за счет поступления химических веществ с притоками, поверхностным стоком и в результате выщелачивания выстилающих речную долину осадочных пород, оказывает влияние и хозяйственная деятельность на водосборе.

Рис. 10. Схема расположения станций отбора проб на р. Сок



Воды р. Сок нейтральные и слабощелочные (рис. 11). Крайние значения изменения концентраций водородных ионов лежат в пределах 6,82-8,60. Наиболее низкий водородный показатель (преобладание pH 7,00) характерен для района непосредственного сброса сточных вод в реку; в верхнем и нижнем течении вода характеризуется слабощелочной реакцией.

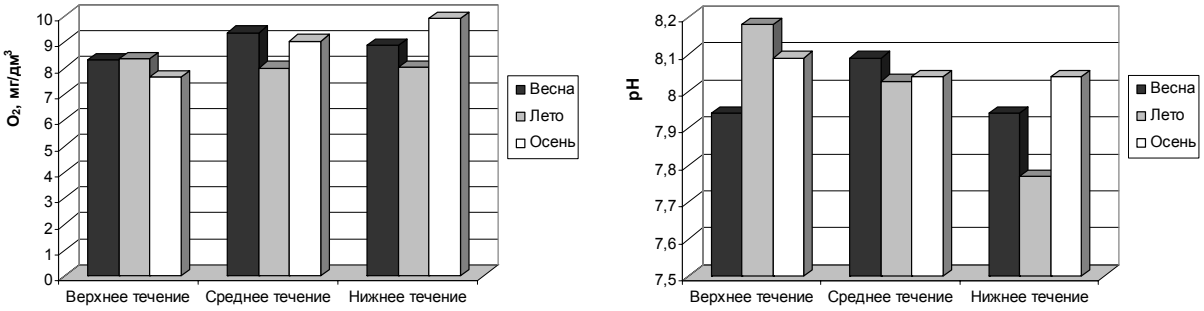


Рис. 11. Сезонная динамика растворенного кислорода и показателя активной реакции воды р. Сок

По величине общей минерализации (321-970 мг/дм^3) р. Сок – это пресный водоток с наибольшими ее значениями (800-977 мг/дм^3) в среднем течении (табл. 9), как результат влияния сбросов неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод промышленно-коммунального происхождения. Содержание и соотношение макрокомпонентов, характеризующих минерализацию, определяется прежде всего структурными особенностями пород береговой зоны и подстилающими дно водотока породами, а также характером техногенного воздействия на реку. По солевому составу вода р. Сок в верхнем и нижнем течении относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция, в среднем течении преобладают сульфаты, среди катионов выделяется Ca, за ним следует Na^++K^+ (табл. 9).

Таблица 9. Макрокомпонентный состав р. Сок

Участок реки	Компонент, мг/ дм^3						Сумма ионов
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^++K^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	
Верхнее течение	105,4	29,1	26,0	19,0	178,0	206,3	563,8
Среднее течение	168,0	38,0	48,6	34,0	392,5	241,0	922,1
Нижннее течение	77,0	43,7	23,0	32,7	98,2	175,3	449,9

Соответственно росту минерализации изменяется и жесткость воды. На верхнем участке реки вода характеризуется как жесткая (6,0-8,6 мг-экв/дм^3); на среднем, в районе ниже сбросов стоков, переходит в разряд очень жесткой (11,0-13,0 мг-экв/дм^3); в приустьевом участке вода смягчается до 4,6-6,8 мг-экв/дм^3 за счет разбавления подпорными водами Саратовского водохранилища.

Растворенный кислород в водах реки находится в пределах, благоприятных для существования и развития гидробионтов, что характерно для равнинных рек Среднего Поволжья. Концентрация кислорода (насыщение воды O_2 было не ниже 74%), соответствует требованиям, предъявляемым к относительно чистым водам. Локально, в районе непосредственного влияния сточных вод, насыщение кислородом речных вод снижалось до 36%.

Определенного тренда в изменении содержания O_2 по длине реки не выявлено; отмечена относительно невысокая вариабельность концентрации кислорода (рис. 12). Сезонная динамика содержания O_2 характеризуется незначительными отклонениями, которые на различных участках составляют 2-5%.

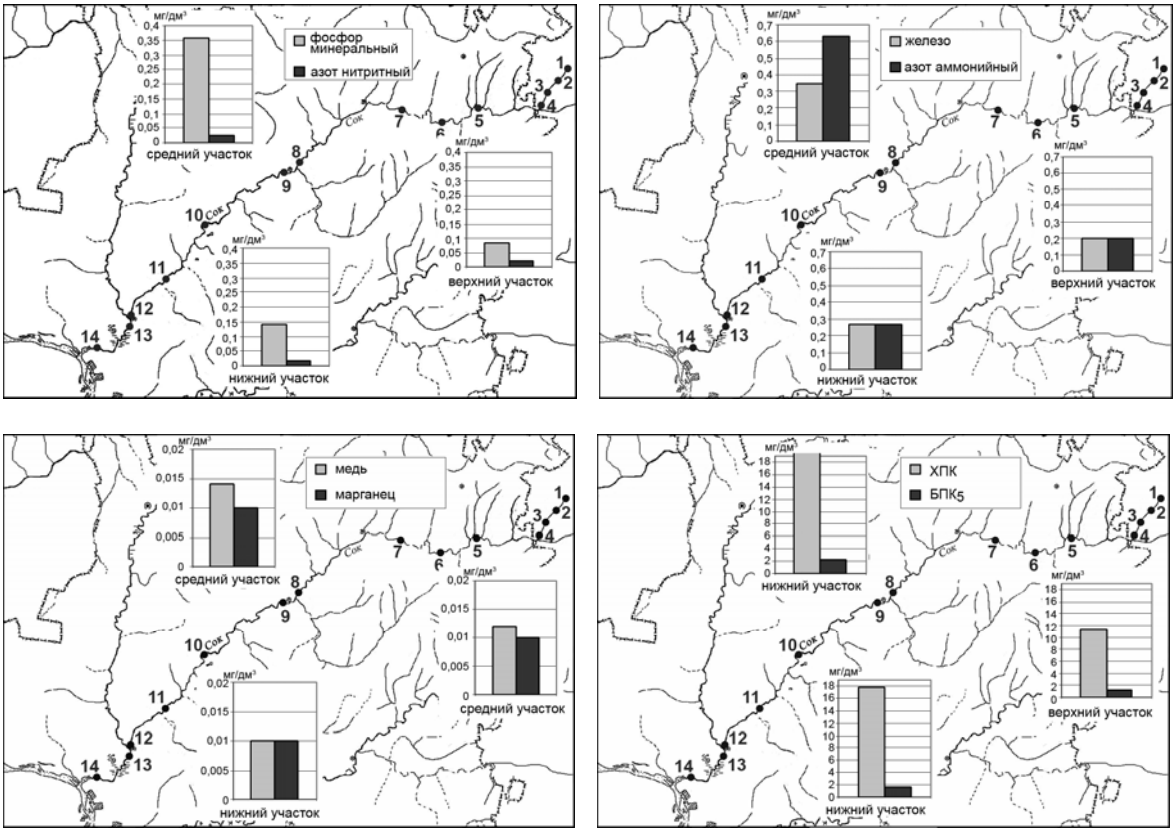


Рис. 12. Пространственная динамика концентрации химических компонентов в воде р. Сок

Биогенные вещества (соединения азота и фосфора), присутствующие в природных водах, играют существенную роль в процессах, протекающих в водотоках, особенно при зарегулировании рек. Чрезмерное накопление биогенных соединений может привести к качественной деградации водного объекта (Самарина, 2008). Степень насыщенности воды основными биогенными элементами (фосфор, азот) природного и антропогенного генезиса наряду с абиотическими факторами (гидрологические, климатические, морфометрические) в значительной степени определяют развитие фитопланктона и трофический статус равнинных рек.

Концентрация фосфатов в умеренно загрязненной воде р. Сок изменяется в широких пределах – от 0,054 до 0,820 мг/дм^3. Преобладают величины менее 0,120 мг/дм^3. В среднем течении на участке, находящемся под непосредственным влиянием сточных вод, отмечается превышение нормативного показателя (ПДК) $P\text{-}PO_4$ в 3,4-4,1 раза (табл. 10; рис. 12). Незначительное превышение (1,5-2,0 ПДК) наблюдается в приустьевой части реки, что, возможно, объясняется поступлением обогащенных фосфатами вод вышерасположенного участка реки.

По содержанию фосфатов в воде согласно классификации В.Д. Тейлора с соавторами (Taylor et al., 1980), р. Сок относится к водотокам эвтрофного типа. Однако типичных признаков эвтрофирования на протяжении всей реки не отмечено. Надо полагать, что применение этой классификации для незарегулированных равнинных рек с высокими скоростями течения не целесообразно.

Таблица 10. Средние концентрации (2000-2007 гг.) фосфатного фосфора (мг/дм^3) в воде р. Сок

Сезон	Участок реки		
	Верхнее течение	Среднее течение	Нижнее течение
Весна	0,074	0,200/0,760	0,109
Лето	0,086	0,160/0,371	0,210
Осень	0,087	0,177/0,483	0,110

Примечание: Перед чертой – выше сброса СВ, за чертой – ниже сброса СВ.

Изменение содержания в воде минеральных форм азота (нитритный, нитратный и аммонийный азот) носит достаточно сложный характер, в целом сохраняя ту же тенденцию, что и для фосфатного фосфора: ярко выраженный рост концентраций триады азота на участке воздействия сточных вод при относительно низких значениях в верховье и приустьевой части реки (табл. 11; рис. 12).

Таблица 11. Распределение концентраций форм азота в воде различных участков р. Сок за вегетационный период 2000-2004 гг.

Участок реки	Нитритный азот, мг/дм^3		Нитратный азот, мг/дм^3		Аммонийный азот, мг/дм^3	
	Диапазон колебаний	Среднее значение	Диапазон колебаний	Среднее значение	Диапазон колебаний	Среднее значение
Верхнее течение	0,014-0,083	0,022	1,20-2,90	1,98	0,19-0,30	0,20
Среднее течение*	0,010-0,018 0,020-0,120	0,015 0,036	0,90-1,80 1,09-10,40	1,41 3,17	0,21-0,36 0,52-2,18	0,29 0,97
Нижнее течение	0,009-0,030	0,018	0,23-1,43	0,62	0,00-0,56	0,27

Примечание: над чертой – выше сброса СВ, под чертой – ниже сброса СВ.

Содержание минеральных форм азота в воде не превышало нормативных уровней, за исключением среднего течения. Высокое содержание азотистых соединений ($N\text{-}NO_2$ выше ПДК в 1,8-6 раз, $N\text{-}NH_4$ - в 2,2-5,6 раза и $N\text{-}NO_3$ – в 1,1 раза) в средней части реки – результат постоянного их притока в реку со сточными водами точечных и диффузных источников.

Процентное соотношение NH_4/NO_3, позволяющее в определенной степени судить о процессе минерализации азота (Оценка эколого-гигиенического.., 2007), свидетельствует о разной степени активности реки к самоочищению на отдельных ее участках. В верховье и в среднем течении, выше стока СВ, это соотношение не превышает 23%, что говорит об относительно благоприятных условиях минерализации азота. Нижняя часть среднего течения и приустьевой участок относятся к области замедленной интенсивности процессов самоочищения водотока (отношение NH_4/NO_3 достигает 40-44%).

Содержание органического вещества (по ХПК) в водах реки имеет широкий диапазон величин – от 10,25 до 21,82 мг О/дм^3 (с преобладающими значениями ниже ПДК). Некоторое повышение концентраций общего органического вещества до 1,2-1,5 ПДК в среднем и нижнем течении реки – результат влияния хозяйственно-бытовых сточных вод (табл. 12; рис. 12).

Величины лабильной фракции органического вещества ($БПК_5$) в большинстве случаев не достигают 2 мг/дм^3, что характерно, по классификации С.М. Драчева (1964), для достаточно чистых водоемов. Незначительное ухудшение воды наблюдается в весенне-осенний сезоны в нижнем течении реки (табл. 13).

Таблица 12. Концентрации органического вещества в воде р. Сок (мг О/дм^3) в июле 2007 г.

Участок реки	ХПК	
	Среднее значение	Диапазон колебаний
Верхнее течение	11,31	10,25-12,47
Среднее течение	19,86	11,54-21,01
Нижнее течение	17,75	14,54-21,82

Таблица 13. Величина БПК$_5$ (мг/дм^3) в воде разных участков р. Сок

Участок реки	Весна		Лето		Осень	
	Среднее значение	Диапазон изменения	Среднее значение	Диапазон изменения	Среднее значение	Диапазон изменения
Верхнее течение	1,73	1,41-2,34	1,42	1,20-1,64	1,53	0,90-1,86
Среднее течение	1,44	1,05-1,22	1,34	1,39-1,84	1,43	0,70-1,82
Нижнее течение	2,08	1,90-2,58	2,09	0,90-3,90	1,23	1,10-1,40

Из неспецифических органических соединений исследовались нефтепродукты и фенолы, содержание которых не достигают ПДК. В верхней и средней части водотока концентрации нефтепродуктов находятся в пределах 0,01-0,05 мг/дм^3, в нижней – 0,04-0,09 мг/дм^3. И только на участке непосредственного воздействия сточных вод отмечено повышенное их количество – 0,085 мг/дм^3 (1,7 ПДК). Фенольные соединения в незначительных количествах (0,0005-0,0008 мг/дм^3) обнаружены в низовье реки

Приоритетными загрязняющими веществами, накапливающимися в воде на всем протяжении р. Сок и превышающими в разной степени нормативные показатели, являются медь, железо, марганец и нитритная форма азота. На среднем и нижнем участках число ЗВ, концентрации которых выше или равны ПДК, возрастает за счет фосфатов, аммонийного азота, органического вещества (ХПК, БПК$_5$), нефтепродуктов (НПР), фенолов и цинка (табл. 14). В целом вода р. Сок, оцениваемая по индексу загрязнения (ИЗВ) (Временные методические.., 1986) на основе комплекса вышеуказанных контролируемых показателей, наиболее превышающих ПДК, характеризуется как «умеренно загрязненная» и «загрязненная» (Выхристюк и др., 2001), что обусловлено условиями формирования стока на водосборе и локальным антропогенным воздействием.

Снижение качества воды в среднем течении – результат влияния точечных источников загрязнения. В зоне подпора (устьевая часть реки) состояние водных масс улучшается, что связано не столько с изменением характера антропогенной нагрузки, сколько с изменением гидрологического режима, обусловившего разбавление загрязненных речных вод водохранилищными.

Таблица 14. Качество воды р. Сок

Показатели	Участок реки		
	Верхнее течение	Среднее течение	Нижнее течение
ИЗВ	1,0	3,47	2,46
Класс качества воды	II	IV	III
Характеристика воды	Чистая	Загрязненная	Умеренно загрязненная
Основные загрязняющие вещества (в ПДК)	Cu (12), Fe (2), N-NO_2 (1,1), Mn (ПДК)	Cu (14), Fe (3,5), P-PO_4 (1,8), N-NH_4 (1,6), ХПК (1,3), БПК$_5$ (1,2), N-NO_2 (1,2), Mn (ПДК), фенолы (ПДК)	Cu (10), Fe (2,7), ХПК (1,2), НПР* (1,2), Mn (ПДК), Zn (ПДК), фенолы (ПДК)

Примечание: * – НПР – нефтепродукты.

Установленная закономерность изменения качества воды по длине реки подтверждается использованием других методических подходов к определению экологического состояния р. Сок. Применены Индекс экологического состояния рек по гидрохимическим показателям (ИЭС), ранее успешно применяемый при оценке качества вод рек Волжского бассейна (Зинченко и др., 2000; Выхристюк и др., 2001; Гелашвили и др., 2002) и нормативные критерии (табл. 15) оценки экологической обстановки водных объектов (Критерии оценки.., 1992).

Таблица 15. Сравнительная оценка экологического состояния р. Сок, выполненная разными методами

Методы	Верхнее течение	Среднее течение	Нижнее течение
ИЗВ	Чистая	Загрязненная	Умеренно загрязненная
ИЭС	Относительное экологическое благополучие	Чрезвычайная экологическая ситуация	Относительное экологическое благополучие
Критерии оценки.., 1992	Относительно удовлетворительная экологическая ситуация	Напряженная экологическая ситуация	Относительно удовлетворительная экологическая ситуация

Донные отложения р. Сок, как продукт седиментации минеральной и органической составляющих взвешенного материала, обогащены целым рядом химических соединений, которые в процессе обмена ими в системе «вода-донные отложения» могут оказывать в разной степени негативное влияние на качество воды реки.

В равнинной р. Сок грунты представлены разнотипными осадками и в разной степени обогащены органическим веществом. В верхнем участке в составе грунтов преобладают в основном каменисто-галечно-песчаные осадки. Средний участок имеет пестрое покрытие дна: в русловой части – илисто-песчаные и глинистые отложения, в прибрежье – песчаные грунты с присутствием растительных остатков. В приустьевой части распространены заиленные пески и черные илы. Илисто-песчаные и илистые отложения, обладающие более высокими сорбционными способностями к депонированию химических веществ (чем мельче осадок, тем выше его сорбционная способность), содержат более высокие концентрации органических веществ и элементов-токсикантов.

Как следует из табл. 16, грунты реки аккумулируют значительные количества органических веществ и железа, в меньшей степени – марганца и нефтепродуктов. Уровень содержания других токсических загрязнителей относительно не высок.

Таблица 16. Содержание химических веществ в заиленных грунтах р. Сок

Загрязняющее вещество	Содержание, мг/кг с.г.*		Загрязняющее вещество	Содержание, мг/кг с.г.*	
	Диапазон колебаний	Среднее значение		Диапазон колебаний	Среднее значение
Органическое вещество (ХПК)**	34 400-90 400	49 547	Медь	1,4-15,5	7,2
Железо	10 000-15 000	11 967	аСПАВ**	4,6-11,2	7,0
Марганец	250-680	411	Свинец	0,4-7,5	3,2
Нефтепродукты**	31,0-161,3	112,5	Фенолы**	0,0-1,0	0,24
Цинк	2,2-31,5	11,0	Кадмий	0,01-0,2	0,10

Примечание: * – с.г. – сухой грунт, ** – по: Оценка эколого-гигиенического.., 2007.

Наиболее загрязнен практически всеми исследованными компонентами средний участок реки, подверженный непосредственному влиянию сбросов сточных вод. Значения коэффициентов донной аккумуляции (КДА) илистых отложений реки свидетельствуют, в основном, об удовлетворительной экологической ситуации речных грунтов, за исключением органического вещества, железа, марганца и нефтепродуктов, содержание которых создают в осадках напряженную и чрезвычайную экологическую ситуацию (табл. 17).

Таблица 17. Экологическое состояние донных отложений среднего и нижнего течения р. Сок

Загрязняющее вещество	КДА	Экологическая ситуация	Загрязняющее вещество	КДА	Экологическая ситуация
Органическое вещество	$5{,}0 \cdot 10^4$	Чрезвычайная	Медь	0,7·10	Относительно удовлетворительная
Железо	$1{,}2 \cdot 10^4$	Чрезвычайная	аСПАВ	0,7·10	Относительно удовлетворительная
Марганец	$4{,}1 \cdot 10^2$	Напряженная	Свинец	0,3·10	Относительно удовлетворительная
Нефтепродукты	$1{,}1 \cdot 10^2$	Напряженная	Фенолы	0,02·10	Относительно удовлетворительная
Цинк	1,1·10	Относительно удовлетворительная	Кадмий	0,01·10	Относительно удовлетворительная

По сравнению с ранее изученными равнинными реками Самарской области (Головатюк, Зинченко, 2004; Зинченко, 2007; Зинченко, Головатюк, 2007а,б,в; Выхристюк, Ромашкова, 2007; Выхристюк и др., 2008) р. Сок в меньшей степени подвержена антропогенному воздействию. Верховье реки практически не испытывает техногенного пресса (точечные источники загрязнения отсутствуют) и относится к относительно чистым водотокам (II класс качества) с удовлетворительной экологической ситуацией.

1.4.2. Притоки

Изучение притоков р. Сок осуществлялось при проведении комплексных экспедиций сотрудниками ИЭВБ РАН в летний сезон. Гидрохимические исследования р. Байтуган проводились в 1999, 2002 и 2006 гг. на 4 станциях, расположенных по длине реки от истока до устья. Материалом для характеристики экологического состояния воды и донных отложений р. Кондурча послужили данные экспедиционных исследований 2002 и 2007 гг.; привлечены также материалы НИИ гигиены и экологии человека (Оценка эколого-гигиенического.., 2007) и ОАО «Институт Средволгогипроводхоз» (Водохозяйственные балансы.., 2005) (рис. 13).

Левобережные притоки Сосновка, Камышла, Черновка и Хорошенькая, относящиеся к категории малых водотоков (длина от 16 до 37 км), обследованы в июне 1987 г. Результаты представлены в табл. 18, 19. Воды рек в исследуемый период слабощелочные, достаточно насыщены растворенным кислородом. Концентрации общего фосфора (20-120 мкг/дм^3) и фосфатов (6-40 мкг/дм^3) невелики, что свидетельствует о слабой антропогенной нагрузке фосфорными соединениями.

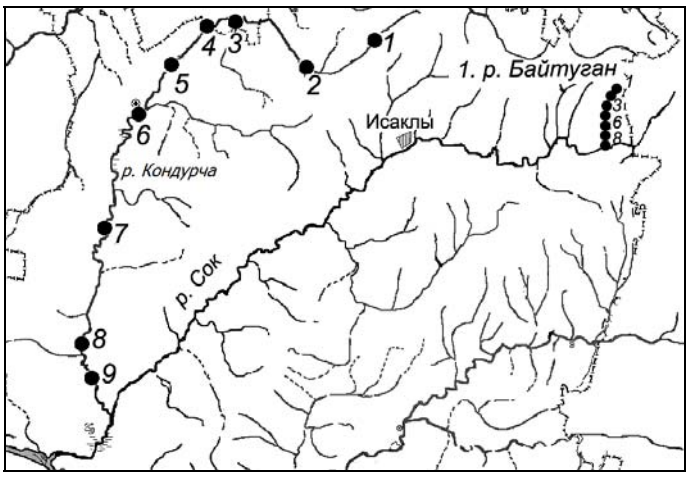


Рис. 13. Станции отбора проб на реках Кондурча и Байтуган

Таблица 18. Некоторые показатели воды притоков р. Сок (июнь 1987 г.)

Река	Глубина, см	Показатели						
		S, см	T,°C	pH	O_2, мг/дм^3	O_2, %	$P_{общ.}$, мкг/дм^3	P-PO_4, мкг/дм^3
р. Сосновка								
ст. 1 (1 км ниже истока)	20	20	13,9	8,2	12,6	119	78	30
ст. 2 (с. Нов. Сосны)	20	20	14,0	8,1	9,8	93	18	10
ст. 3 (с. Ст.. Сосны)	20	20	18,0	8,1	9,4	97	22	10
ст. 4 (ниже с. Ст. Сосны)	20	20	16,5	8,1	9,8	98	20	11
ст 5 (1,5 км ниже с. Софьино)	100	50	19,5	8,2	14,8	156	15	6
р. Камышла								
ст. 1 (исток)	20	20	9,0	7,7	10,8	92	95	35
ст. 2 (с. Семенкино)	50	50	8,4	7,9	11,8	99	44	-
ст. 3 (с. Ново Семенкино)	50	50	14,5	7,9	10,2	98	78	-
ст 4 (1,5 км ниже с. Ново Семенкино)	70	70	12,1	8,0	10,8	98	39	15
ст. 5 (3 км ниже с. Давлеткулово)	40	40	11,3	8,0	10,4	93	44	20
ст. 6 (с. Камышла)	80	80	13,1	8,0	9,8	97	78	31
р. Черновка								
ст. 1 (исток)	20	20	19,0	7,7	5,1	53	47	10
ст. 2 (с. Березовка)	20	20	21,6	8,3	8,3	91	109	-
ст. 3 (7 км ниже с. Березовка)	50	25	24,2	8,1	7,1	81	51	17
ст. 4 (9 км ниже с. Березовка)	50	50	24,5	8,2	11,1	128	79	-
ст. 5 (запруда, с. Кряково)	70	50	21,6	7,8	8,5	93	90	40
ст. 6 (пойма (запруда) у с. Черновка)	60	30	18,9	7,9	7,1	74	38	15
ст. 7 (с. Черновка)	60	40	20,5	8,1	8,7	93	22	?
р. Хорошенькая								
ст. 1 (исток)	15	15	10,5	7,9	10,0	88	96	30
ст. 2 (2 км от истока)	100	15	17,0	7,9	4,6	46	120	-
ст. 3 (запруда 200 м выше плотины)	100	30	19,1	8,4	9,3	97	38	18
ст. 4 (150 м ниже плотины)	20	20	18,5	8,3	9,1	94	63	20
ст. 5 (с. Хорошенькое)	100	25	18,1	8,4	9,4	97	84	32

Примечание: S – прозрачность.

Таблица 19. Ионный состав воды р. Черновка (1988 г.)

Участок реки	Ионный состав, мг/дм^3						
	HCO_3^-	SO_4^-	Cl^-	Ca^+	Mg^+	$Na+K^+$	Сумма
Верхнее течение	570,4	47,4	17,7	99,4	73,4	-	808,3
Среднее течение	746,0	6,0	113,4	81,8	59,8	188,8	1205,8

Река Байтуган. Водные массы реки относятся к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, в летнюю межень имеют повышенную минерализацию до 612 мг/дм^3 (табл. 20). Отмечено возрастание минерализации от истока к устью на 110 мг/дм^3, что связано с изменением типов осадочных пород, слагающих водосборный бассейн реки.

Таблица 20. Ионный состав воды р. Байтуган (2006 г.)

Участок реки	Ионный состав, мг/дм^3						
	HCO_3^-	SO_4^-	Cl^-	Ca^+	Mg^+	Na^++K^+	Минерализация
2	214	82	14	64	32	32	502
4	232	151	14	96	37	14	583
6	244	139	21	92	39	27	611
8	274	128	18	96	37	22	612

По уровню активной реакции воды реки на всем протяжении характеризуются как слабощелочные (табл. 21); содержание биогенных, органических веществ и микроэлементов ниже существующих нормативных показателей, что указывает на слабую степень загрязнения. Наблюдаемые повышенные концентрации меди (2 ПДК) и марганца (9-11

ПДК) обусловлены высоким природным фоном содержания этих элементов. Существенных колебаний концентраций гидрохимических веществ по длине реки не отмечено за исключением органического вещества, железа и марганца.

Таблица 21. Гидрохимические показатели р. Байтуган (июнь 2006 г.)

Компонент	№ станции отбора проб и ее местоположение			
	2 (1,5 км ниже с. Ерилкино)	**4 (выше с. Красный Яр)**	**6 (3 км ниже с. Красный Яр)**	**8 (с. Байтуган, выше моста)**
Температура, ^{0}C	12,6	15,2	16,9	18,2
Прозрачность, см	10	15	20	30
pH,	8,48	8,25	8,24	8,34
O_2, %	110	122	106	74
ХПК, мг О/дм^3	15,0	20	15	28
ПО, мг О/дм^3	1,6	1,9	1,3	2,7
Минерализация, мг/дм^3	502	583	611	612
Cl, мг/дм^3	14	14	21	18
SO_2, мг/дм^3	82	151	139	128
$N\text{-}NH_4$, мг/дм^3	0,05	0,04	0,07	0,05
$N\text{-}NO_2$, мг/дм^3	0,023	0,023	0,02	0,017
$N\text{-}NO_3$, мг/дм^3	-	3,6	1,9	1,6
Жесткость, мг-экв/ дм^3	5,8	7,8	7,8	7,8
Ca, мг/дм^3	64	96	92	96
HCO_3, мг/дм^3	214	232	244	274
Fe, мг/дм^3	0,12	0,24	0,23	0,22
Cr 6^+, мкг/дм^3	10	10	10	10
$Cr_{общ.}$, мкг/дм^3	10	10	10	10
Cu, мкг/дм^3	2	2	2	2
Cd, мкг/дм^3	5	5	5	5
Ni, мкг/дм^3	9,9	9,9	9,9	9,9
Zn, мкг/дм^3	5	5	5,2	5,5
Pb, мкг/дм^3	2	2	2	2
Mn, мкг/дм^3	9,9	110	110	90
НПР*, мг/дм^3	0,02	0,02	0,02	0,024
H_2S, мг/дм^3		0,002	0,002	0,002
$P_{мин}$, мг/дм^3	0,1	0,1	0,22	0,18
СПАВ, мг/дм^3	0,01	0,01	0,01	0,01
Фенолы, мг/дм^3	0,001	0,001	0,001	0,001
Mg, мг/дм^3	32	36,5	39	36,5
Na^++K^+, мг/дм^3	31,7	13,5	26,9	22,4
Тип грунта	камни+песок	заил. песок +глина	песок+глина+ гравий	ил+песок

Примечание: * – НПР – нефтепродукты.

Река Кондурча – пресный водоток (общая минерализация в период наблюдений не превышала 549 мг/дм^3), достаточно насыщенный кислородом (65-152%), с концентрацией водородных ионов 8,0-8,8 (слабощелочная вода), в районе сброса сточных вод pH – 6,36-6,42 (закисленные воды) (табл. 22). Качество воды на всем протяжении водотока характеризует реку как умеренно загрязненную; величины ИЗВ находятся в пределах 1,7-2,0. Основными загрязняющими веществами являются аммонийный азот (0,5-1,9 ПДК), органическое вещество (1,4-2,3 ПДК – для ХПК и 1,6-2,9 – для $БПК_5$), фенолы (1-4 ПДК), медь (1-6 ПДК).

Донные отложения р. Кондурча в ее русловой части на глубинах 1-3 м представлены в основном черными илами (ст. 1, 2, 4, 6), для которых характерна высокая сорбционная способность; на ст. 3 дно покрыто глинистыми грунтами, на ст. 5 – песчаными.

Степень загрязнения донных осадков, за исключением органического вещества, невелика (табл. 23 и 24).

Таблица 22. Гидрохимические показатели р. Кондурча (июль 2007 г.)

Компонент	Станции отбора проб воды					
	1	2	3	4	5	6
O_2, мкг/дм^3	14/05	7,67	6,62	5,98	8,35	7,21
O_2, %	152	86	74	65	90	75
ХПК, мкО/дм^3	21	21	34	24	27	21
$БПК_5$, мкгО/дм^3	3,62	3,78	3,51	3,22	4,94	5,84
$N\text{-}NH_4$, мкг/дм^3	0,45	0,61	0,76	0,52	0,39	0,20
$N\text{-}NO_3$, мкг/дм^3	0,98	1,62	2,24	0,69	0,80	1,72
Cl, мкг/дм^3	2,9	5,8	13,4	16,9	17,0	12,5
SO_4, мкг/дм^3	104,9	138,0	108,5	142,8	164,0	75,6
Фенолы, мкг/дм^3	0,002	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001
НПР, мкг/дм^3*	0,13	0,07	0,05	0,05	отс.	отс.
аСПАВ, мкг/дм^3	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,01
Zn, мкг/дм^3	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Cu, мкг/дм^3	0,003	0,004	0,002	0,004	0,002	0,006
Pb, мкг/дм^3	0.0002	0,0006	0,0001	0,0003	0,0003	0,0001
Cd, мкг/дм^3	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
∑Ионов, мкг/дм^3	491	494	549	508	511	498

Примечание: Станции: 1 – с. Челновершины; 2 – с. Мамыково; 3.2 км ниже р/ц Кошки; 4 – граница Кошкинского и Елховского р-ов; 5 – 2 км ниже р/ц Елховка, 6 – 1 км выше впадения р. Кондурча в р. Сок; * – нефтепродукты.

Таблица 23. Содержание химических веществ (мг/кг) в русловых донных осадках р. Кондурча

Показатель	Станции отбора проб					
	1	2	3	4	5	6
ХПК	39 200	24 800	20 000	58 400	24 800	16 800
Фенолы	0,21	0	0,74	0	0,18	0,20
НПР	149,7	110,9	21,9	55,3	45,3	73,8
аСПАВ	9,5	6,6	3,1	4,0	8,3	3,2
Cu	5,27	4,31	3,79	3,70	8,01	3,03
Zn	6,65	10,54	2,56	5,11	2,54	1,83
Cd	0,010	0,120	0,010	0,180	0,184	0,010
Pb	0,70	1,83	1,69	1,61	0,54	0,66

Примечание: Местоположение станций см. табл. 22.

Таблица 24. Величины коэффициентов (К) и суммарного показателя (СПЗ) загрязнения донных отложений на участках р. Кондурча

Вещество	$C_{фон}$*, мг/кг	Верхнее течение (ст. 1, 2)**		Среднее течение (ст. 3-5)		Нижнее течение (ст. 6)	
		$C_{факт}$, мг/кг	К	$C_{факт}$, мг/кг)	К	$C_{факт}$, мг/кг	К
НПР	150	130	2,6	40,8	0,8	73,8	1,47
Фенолы	0,05	0,10	2,0	0,31	6,2	0,20	0,20
Медь	21	4,8	0,2	5,24	0,25	3,03	0,14
Цинк	30	5,5	0,18	3,4	0,11	1,83	0,06
Кадмий	0,16	0,07	0,23	0,12	0,75	0,10	0,06
Свинец	10	1,3	0,13	1,3	0,13	0,66	0,07
СПЗ			**0,34**		**3,24**		**0,81**

Примечание: * – $C_{фон}$ – по: Волга: независимые.., 1994; ** – местоположение станций см. табл. 22.

Одним из показателей, характеризующих уровень аномальности содержания загрязняющих веществ в донных осадках, принят коэффициент концентрации (К) (Волга: независимые.., 1994), который рассчитывается как сумма отношений концентраций анализируемых веществ в пробе к фоновому их значению. Величины суммарного загрязнителя (СПЗ) осадков р. Кондурча не превышают 8, что, согласно классификации состояния грунтов, свидетельствует об их слабом загрязнении (табл. 24).

По длине реки наиболее загрязнены донные отложения среднего участка как результат приема более высоких объемов сточных вод и количества в них загрязняющих веществ, сбрасываемых предприятиями Кошкинского района.

Проведенный анализ комплекса гидрофизических, гидрологических и гидрохимических показателей на период до 2008 г., сравнение их с аналогичными метриками для выбранных участков (верхнее, среднее и нижнее течение) реки и ее водосборного бассейна, позволяет констатировать, что верховье р. Сок (ст. 1-4), а также приток Байтуган *являются эталонными водотоками.* Установленные районы исследования соответствуют требованиям, предъявляемым к выбору эталонного речного участка (Семенченко, 2004). Предложенная спецификация эталонных показателей может служить адекватной оценкой для определения экологического статуса водного объекта Нижнего Поволжья[*].

1.5. АНТРОПОГЕННАЯ НАГРУЗКА НА ВОДОСБОРНУЮ ПЛОЩАДЬ РАВНИННЫХ РЕК

«Антропогенные факторы, которые в последние годы по значимости становятся сопоставимыми с природными, влияют на химический состав вод как в результате непосредственного сброса сточных вод и неорганизованных стоков так и вследствие глобальных изменений окружающей среды и климата» (Моисеенко и др., 2006).

Проблема влияния хозяйственной деятельности на качество воды малых и средних рек приобрела большую остроту в регионах с высокой плотностью населения. Небольшие речные бассейны весьма чувствительны к антропогенной нагрузке и, несмотря на достаточно высокую способность к самоочищению воды, отвечают на эту нагрузку негативными изменениями, которые проявляются ухудшением или ограничением водопользования населением.

В настоящее время отведение сточных вод (СВ) в водные объекты рассматривается одним из основных фактором, оказывающим влияние на формирование качества воды. Особое значение оно имеет для малых и средних рек в силу небольших расходов и объемов воды в них (Заславская, Захарова, 1999; Скорняков, 1999).

Одним из методов оценки антропогенного пресса на бассейн реки являются разработки В.А. Скорнякова (1999), которые на примере р. Чапаевка (Выхристюк и др., 2007), показали высокую корреляционную связь между величиной антропогенной нагрузки и качеством воды и, как следствие, состоянием бентосных организмов. Методика базируется на системе балльной оценки вклада различных факторов, вызывающих загрязнение рек, что позволяет определить степень интенсивности влияния хозяйственной деятельности на водосборной территории водного объекта.

---

[*] Согласно данным государственного мониторинга, проводимого подразделениями Приволжского УГМС в 2009 г. (Пресс-релиз. Экологическая обстановка.., 2010), произошли изменения в гидрологическом и гидрохимическом режимах рек Самарской области. Отмечено возрастание загрязнения рек, в том числе и р. Сок, качество воды которой на участках, подверженных влиянию сточных вод, перешло от класса «***загрязненная***» к классу ***«грязная».*** Одна из причин, наиболее вероятная, происходящие изменения климатических условий в Самарской области. Наблюдаемый в 2008-2009 гг. весенне-летний дефицит осадков и увеличение температуры воды привели к снижению водности рек, в некоторых случаях к резкому обмелению, особенно малых водотоков, что способствовало замедлению природных процессов самоочищения и, соответственно, ухудшению состояния водных масс.

Оценка нагрузки загрязнения определяется по двум основным типам источников загрязнения: от точечных (фиксированных) и рассредоточенных (диффузных) источников. Точечные источники, являясь контролируемыми, оказывают локальное загрязняющее воздействие. Наибольшая сложность расчета антропогенного воздействия на бассейн реки возникает при оценке поступления загрязняющих веществ (ЗВ) от слабо изученных «диффузных» источников загрязнения природных вод, таких как сток с территорий сельскохозяйственных полей, сельских населенных пунктов, садово-огородных участков, от рекреационной нагрузки на водный объект и др. Определение их роли в загрязнении затруднено из-за выраженной неустойчивости во времени и отсутствием четкой локализации поступления загрязнителей (Бойченко и др., 1986). Наличие статистических данных значительно упрощает количественную оценку этой составляющей антропогенной нагрузки. При отсутствии фактических данных в каждом конкретном случае их значения определяются с помощью опубликованных картографических материалов.

Из трех рассмотренных рек – Сок, Кондурча и Байтуган – только последняя не испытывает техногенного воздействия, относится к предгорным водотокам с чистой водой и является эталонной для малых рек Средней и Нижней Волги (Зинченко, Головатюк, 2007).

Антропогенная нагрузка на бассейн р. Сок. Река Сок, как и большинство водных объектов Самарской области, находится под воздействием точечных источников (техногенная нагрузка), несущих со сточными водами токсические загрязнители, и рассредоточенных (поверхностный сток) от сельского населения, земледелия, животноводства и рекреационной деятельности, поставляющих биогенные компоненты, которые в значительной степени обуславливают потенциальную возможность эвтрофирования водотока.

По сравнению с другими водными артериями Самарской области исследуемый водоток в меньшей степени подвержен воздействию точечных источников сбросов сточных вод (табл. 25).

Таблица 25. Сброс сточных вод (СВ) и загрязняющих веществ (ЗВ) в некоторые реки Волжского бассейна в 2006 г.

Река	СВ, млн. м^3/год	ЗВ, т/год
Кривуша	40,60	87445,2
Чапаевка	9,85	12206,3
Сок	2,85	972,5

Основной техногенный поток сточных вод и загрязняющих веществ в р. Сок идет от мелких промышленных предприятий областного и районного масштаба и с коммунально-бытовыми стоками городов и поселков. Общий объем сточных вод, сбрасываемых в реку, в среднем за 2001-2007 гг. составил 15,36 млн м^3/год из них загрязненной (требующей очистки) – 4,20 млн м^3/год. Межгодовая динамика объемов СВ невелика и колеблется в пределах 11,99-16,59 млн.м^3/год. За исследуемый период в общем количестве сточных вод произошло снижение (в 2,4 раза) загрязненных стоков, что связано с уменьшением доли неочищенных и недостаточно очищенных вод (табл. 26). Значительно (в 6,8 раза) снизилось и количество загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами (табл. 27, рис. 14).

Приоритетными компонентами, сбрасываемыми в реку со сточными водами, являются сульфаты, хлориды, органическое вещество ($БПК_5$) и биогенные соединения (азот нитратный и аммонийный, общий фосфор). Фенолы, пестициды, микроэлементы (медь, цинк, никель, хром, кадмий, марганец) в стоках не обнаружены.

Река Сок эксплуатируется не только как приемник сточных вод, но также служит источником водопотребления на поливные цели, на хозяйственно-бытовое и промышленное водоснабжение. Потребление воды, используемой в народном хозяйстве (табл. 26), составило 33,4-42,8 млн м^3/год (2001-2007 гг.).

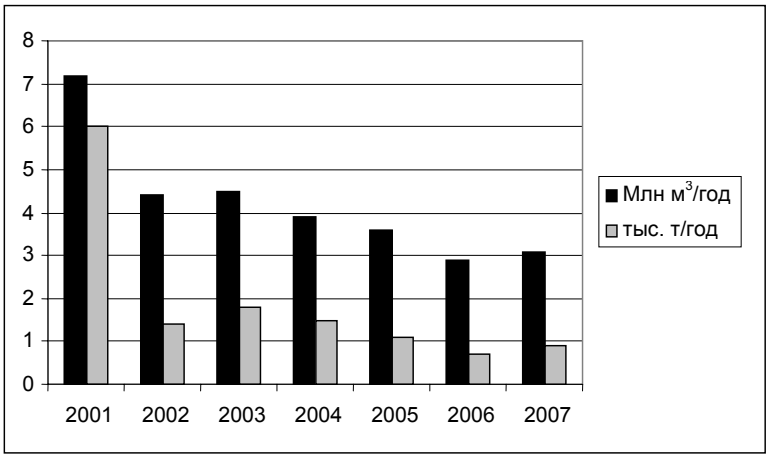


Рис. 14. Межгодовая динамика сброса загрязненных сточных вод (млн $м^3$/год) и загрязняющих веществ (тыс. т/год) в р. Сок

Таблица 26. Межгодовая динамика водопотребления и сброса сточных вод в р. Сок (млн $м^3$/год) (данные госстатотчетов по форме 2 ТП Водхоз)

Год	Водо-потребление	Общий сброс сточных вод	Сброс загрязненной воды			Нормативно чистой
			Всего	Без очист-ки	Недостаточно очищенной	
2001	34,59	16,20	7,18	3,38	3,80	9,44
2002	33,93	16,59	4,42	0,36	4,05	12,17
2003	42,80	16,50	4,48	0,40	4,07	12,02
2004	40,13	15,90	3,88	0,41	3,48	12,02
2005	33,36	11,99	3,56	0,42	3,13	8,44
2006	40,04	14,87	2,85	0,28	2,56	12,02
2007	37,19	15,08	3,05	0,44	2,62	12,02

Таблица 27. Многолетняя динамика сброса загрязняющих веществ (ЗВ) со сточными водами в р. Сок (т/год*)* (данные госстатотчетов по форме 2 ТП Водхоз)

Вещество	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
$БПК_{полн}$	140	40	60	50	30	30	30
Сульфаты	3890	880	1060	860	600	600	520
Хлориды	1900	420	470	460	302	240	230
$P_{общ.}$	7,0	8,0	7,59	6 ,60	19,55	5,04	3,00
Азот аммон.	9,43	6,92	7,37	5,91	5,06	5,05	5,59
Азот нитрат.	33,71	35,15	144,45	87,02	98,59	91,05	87,89
$Fe_{общ.}$	1,46	1,01	0,95	0,86	0,65	0,55	0,76
Азот нитрит.	0,58	0,30	0,60	0,68	0,97	0,41	0,61
СПАВ	0,54	0,59	0,60	0,54	0,41	0,42	–
Итого	5982,73	1391,97	1751,56	1471,61	1055,65	972,52	878,36

Техногенная нагрузка на бассейн р. Сок определена на основе расчета двух показателей (S_G и S_v), характеризующих степень влияния точечных источников сбросов СВ на качество воды рек (Скорняков, 1999; см. табл. 28 и 29.):

1. Показатель S_G, характеризующий условную массу ЗВ сточных вод, поступающих в реку

$$S_G = G_{с.в}/TQ_{ср}, \text{ г/м}^3,$$

где $G_{с.в}$ – условная (приведенная) масса ЗВ, сбрасываемая в поверхностные водные объекты со СВ, т/год; $G_{с.в} = \Sigma(G_i/ПДК_i)$, где G_i – годовая масса *i*-го ЗВ, т/год, $ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация этого вещества в воде, мг/$дм^3$; $Q_{ср}$ – средний годовой расход воды в реке, $м^3$/с; $T – 31{,}56 \cdot 10^6$ с.

2. Показатель S_v – условный объем сточных вод, приходящихся на кубометр речного стока:

$$S_v = (V_{с.в}/TQ_{ср}) \cdot 10^3, \text{ л/м}^3,$$

где $V_{с.в}$ – условный объем сточных вод, млн $м^3$.

Таблица 28. Балльная оценка условной массы загрязняющих веществ и условного объема сточных вод

S_G, г/м^3	S_v, л/м^3	Баллы	S_G, г/м^3	S_v, л/м^3	Баллы
<0,01	<1	1	10-50	100-250	6
0,01-0,1	1-10	2	50-100	250-500	7
0,1-0,5	10-25	3	100-500	500-750	8
0,5-1	25-50	4	500-1000	750-1000	9
1-10	50-100	5	>1000	>1000	10

Техногенная нагрузка на бассейн реки составила по показателю S_G = 1,19 г/м^3 (5 баллов), по – S_v = 61,3 л/м^3 (5 баллов) (см. табл. 28). По сумме баллов р. Сок попадает в основном в разряд водотоков со слабой интенсивностью техногенной нагрузки. Распределение ее по участкам неравномерно; основная доля (92%) сосредоточена в средней части реки. Наблюдаемая динамика снижения сбросов сточных вод (табл. 27) не проявилась на показателях категория реки и степени интенсивности нагрузки на водоток (табл. 30).

Таблица 29. Определение категории реки по степени антропогенной нагрузки

Сумма баллов	Категория реки по степени нагрузки	Характеристика интенсивности антропогенной нагрузки	Сумма баллов	Категория реки по степени нагрузки	Характеристика интенсивности антропогенной нагрузки
<5	<I	Очень слабая	15-20	IV	Значительная
5-10	II	Слабая	20-30	V	Большая
10-15	III	Умеренная	>30	VI	Чрезвычайно большая

Таблица 30. Изменение интенсивности техногенной нагрузки по длине р. Сок в 2001 и 2007 гг.

Участок реки	S_v		S_G		Категория реки по степени нагрузки	Интенсивность нагрузки
	л/м^3	балл	г/м^3	балл		
Верхнее течение	0 0	0 0	0 0	0 0	I I	Очень слабая
Среднее течение	56,4 60,6	5 5	1,1 22,4	3 6	III III	Умеренная
Нижнее течение	4,9 5,3	2 2	0,09 1,9	2 5	II II	Слабая

Примечание: Над чертой – 2007 г., под чертой – 2001 г.

Воздействие площадных (рассредоточенных) источников загрязнения оценивалось по поступлению ЗВ от населенных пунктов, не имеющих очистных сооружений, смыва удобрений (органических и минеральных) с сельскохозяйственных полей (табл. 31), рекреационного и рыбного использования реки.

Расчет ЗВ, поступающих от населенных пунктов, определяется по формуле

$$П_н = Н_с/F, \text{ чел/км}^2.$$

Для характеристики интенсивности загрязнения рек вследствие сельскохозяйственного производства используются два показателя:

- условное поголовье скота на 1 км^2 рассчитывается по формуле с учетом следующих коэффициентов: для крупного рогатого скота - 1,0, для свиней - 0,6 и мелкого рогатого скота - 0,1

$$Ж = \sum(Ж_{крс}+Ж_{св}+Ж_{мрс})/F, \text{ гол/км}^2;$$

- распаханность речного бассейна с учетом интенсивности земледелия, связанного с количеством вносимого удобрения.

Таблица 31. Исходные данные для расчета антропогенной нагрузки на р. Сок от рассредоточенных источников загрязнения (по: Самарский статистический ежегодник, 2007)

Показатель	Размерность	Величина
Площадь бассейна	F, км^2	11 870
Площадь, занятая под сельскохозяйственное производство	F_c, км^2	5698
Количество сельского населения	Н, чел.	86800
Распаханность бассейна	П,%	53
Количество удобрений, вносимых на поля*	т/год	$\frac{2644}{78}$
Количество крупного рогатого скота	Жкрс, тыс. голов	39,0
Количество свиней	Жсв, тыс. голов	17,4
Количество мелкого рогатого скота	Жмрс, тыс. голов	10,6

Примечание: над чертой – минеральные удобрения, под чертой – органические удобрения.

При использовании реки в целях рекреации и рыбного хозяйства добавляется 1 балл для каждого вида загрязнения (Скорняков, 1999).

Расчеты показали, что поступление ЗВ с поверхностным стоком от каждого вида рассредоточенных источников находится в пределах одного балла; суммарная антропогенная нагрузка от рассредоточенных источников не превышает 5 баллов (табл. 32).

Таблица 32. Антропогенная нагрузка (в баллах) на бассейн р. Сок

Вид нагрузки	Участки реки		
	Верхнее течение	Среднее течение	Нижнее течение
Точечные источники загрязнения			
S_G	0	3	2
Sv	0	5	2
Итого	0	8	4
Рассредоточенные источники загрязнения			
Сельское население	1	1	1
Животноводство	1	1	1
Земледелие	1	1	1
Рекреация	1	1	1
Рыбоводство и рыболовство	0	0	1
Итого	4	4	5
Всего	**4**	**12**	**9**

Таким образом, основным источником загрязнения р. Сок в среднем и нижнем течении являются сточные воды; верхний участок находится под воздействием поверхностного рассредоточенного стока (табл. 32). По степени интенсивности антропогенной нагрузки на бассейн реки выделяются три зоны: очень слабая нагрузка – верхнее течение, слабая – нижнее течение и умеренная – среднее течение (табл. 33).

Таблица 33. Изменение интенсивности суммарной антропогенной нагрузки по длине р. Сок

Участок реки	Балл	Категория реки по степени нагрузки	Интенсивность нагрузки
Верхнее течение	4	I	очень слабая
Среднее течение	12	III	умеренная
Нижнее течение	9	II	слабая

Антропогенная нагрузка на бассейн р. Кондурча. Река Кондурча используется как приемник загрязнений с площади бассейна и предприятий местного значения, а также в поливных целях, любительском рыболовстве, рекреации. Оценить степень влияния загрязняющих веществ, поступающих с водосборной территории реки, не представляется

возможным из-за отсутствия необходимых материалов. Можно предположить, что антропогенная нагрузка от рассредоточенных источников не превышает 5 баллов, как и в случае его оценки для всей речной сети Сока.

Техногенная нагрузка от точечных источников. В среднем за период с 2002 по 2006 г. общий объем водоотведения составил 17,66 тыс. $м^3$/год, сброс сточных вод – 8,93 млн. $м^3$/г, загрязняющих веществ – 127,87 т/год (табл. 34). Преобладающими загрязнителями, поступающими в реку со сточными водами, являются нитратный азот, органическое вещество, азот аммонийный, общий фосфор.

Техногенное воздействие, оказываемое на р. Кондурча в целом, оценено в 6 баллов, что относит ее к водотокам II категории со «слабой» антропогенной нагрузкой (табл. 35). При оценке техногенного пресса на отдельные участки реки картина не изменилась (табл. 36), несмотря на то, что наибольший вклад в загрязнение вносят предприятия (табл. 34, предприятия 3-6), расположенные в среднем течении реки.

Таблица 34. Сброс сточных вод и загрязняющих веществ в р. Кондурча в 2006 г. (материалы госстатотчетов предприятий по форме 2ТП Водхоз)

Предприятия, сбрасывающие сточные воды в р. Кондурча									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**Итого**
Сброс сточных вод, тыс. $м^3$/г									
	121,2	4,0	8437	26,1	92,6	161,2	42,5	43,0	8928
Сброс загрязняющих веществ, т/г									
$БПК_{пол.}$	0,44	0,09	–	1,43	5,72	0,97	0,3	1,04	9,99
НПР	0,07	-	–	0	–	0,006	–	0,007	0,083
ВВ	0,78	0,07	–	1,2	2,81	1,49	0,5	1,66	8,51
SO_4	–	0,45	–	3,0	6,36	21,61	4,1	11,92	47,44
Cl	–	0,42	–	2,13	6,0	25,57	2,4	3,47	40,0
$P_{общ.}$	0,199	0,005	–	0,091	0,063	0,650	0,040	0,077	1,13
$N\text{-}NH_4$	0,079	0,002	–	0,577	0,044	0,18	0,077	0,824	1,78
$N\text{-}NO_3$	6,09	0,060	–	0,011	1,77	10,23	0,36	0,088	18,61
$N\text{-}NO_2$	0,011	0,0002	–	0	0,006	0,039	0,005	0,023	0,08
СПАВ	0,009	0,0005	–	0,016	0,013	0,018	0,004	0,027	0,09
Fe	0,018	0,001	–	0,026	0,038	0,045	0,006	0,022	0,16
Всего загрязняющих веществ									127,87

Примечание: 1 – ЖКХ (Челно-Вершинский р-н); 2 – ОАО маслосырзавод (Челно-Вершинский р-н); 3 – СПК рыбхоз Чесноковскмй (Елховский р-н); 4 – Елховское ПО ЖКХ; 5 – ОАО Маслозавод (Кошкинский р-н); 6 – МП ПО ЖКХ (Кошкинский р-н); 7 – ЗАО КДОЛСТ (Красноярский р-н); 8 – МУП Жилкомсервис (Красноярский р-н).

Таблица 35. Расчет техногенной нагрузки на р. Кондурча

Показатель нагрузки	**Формула расчета**	**Числовое значение**	
$S_{G,}$ учитывающий массу ЗВ	$S_G = G_{C.B/}TQcp$	0,07 г/$м^3$	2 балла
Sv, учитывающий годовой объем СВ	$Sv = (Vc.в./TQcp)\cdot 10^3$	32 л/$м^3$	4 балла
Сумма баллов			6 баллов
Интенсивность нагрузки (см. табл. 5)	Слабая техногенная нагрузка		

Таблица 36. Техногенная нагрузка на бассейн р. Кондурча

Участок реки	Sv, учитывающий объем СВ		S_G, учитывающий массу ЗВ		Сумма баллов	Категория реки	Интенсивность нагрузки
	л/м^3	балл	г/м^3	балл			
Верхнее течение	2,1	2	0,14	3	5	II	слабая
Среднее течение	27,1	4	0,28	3	7	II	слабая
Нижнее течение	1,24	2	0,10	3	5	II	слабая

Впервые проведенная количественная оценка антропогенной нагрузки на равнинные реки Нижней Волги позволила определить степень ее интенсивности на отдельные участки реки, выявить приоритетность источников в загрязнении вод и их вклад в общий антропогенный пресс на водосборный бассейн водотока. Исследованные реки (или участки рек) по степени суммарной нагрузки загрязняющими веществами относятся в основном к водотокам первой и второй категории со «слабой» и «очень слабой» интенсивностью хозяйственного воздействия на водные объекты и могут рассматриваться как эталонные (р. Байтуган, верховье р. Сок).

Авторы выражают благодарность студенту 2-го курса естественно-географического факультета Поволжской государственной социально-гуманитарной академии Пахомову Алексею Александровичу за собранные им из разных источников материалы, необходимые для определения роли «диффузных» («рассредоточенных») источников, загрязняющих р. Сок.

Глава 2

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РЕКИ СОК И ЕЕ ПРИТОКОВ

2.1. ФЛОРА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

2.1.1. Флора, растительность и характер зарастания реки Сок и ее притоков

Комплексное изучение растительного покрова р. Сок было проведено в 1974 г. путем маршрутного обследования с картированием и описанием водных и прибрежно-водных фитоценозов. Обследование основной части реки частью было сплошным, когда река проходилось на лодке, и фрагментарным, когда русло верхней части реки картировалось периодически на протяжении 3-5 км с последующим пропуском 10-15 км. В последнем случае, там, где это возможно, вдоль пропускаемого участка проезжали на автомашине в непосредственной близости от реки, визуально оценивая характер ее долины, поймы и русла, определяя таким образом соответствие их подобным элементам закартированного участка. При обработке полевых материалов результаты подсчетов на картируемых участках интерполировались на пропущенные с учетом этих визуальных наблюдений.

В процессе маршрутного обследования на каждый километровый отрезок реки (при сплошном) или на 3-5-километровые участки ее (при фрагментарном обследовании) составлялись схемы зарастания русла. Для такой работы перед полевым выездом были подготовлены выкопировки с карты масштабом 1:100 000. На выкопировке русло реки делилось на сантиметровые отрезки, равные 1 км в натуре. Километровые сегменты русла с характерными для них изгибами с выкопировки переносились в тетрадь в увеличенном виде. В поле в пределах этих участков уточнялись контуры русла реки и расположение ее излучин. На них указывалась ширина русла реки и наносились контуры растительных сообществ с условным обозначением их доминантов и содоминантов. Густотой штриховки контура помечалось обилие растений того или иного вида. Оценка ширины реки и размеров фитоценозов производились глазомерно. Достаточная точность их достигалась путем соответствующих тренировок и периодическими проверками с помощью прямых измерений. Схемы зарастания выполнялись с соблюдением масштаба. При этом масштабы по длине и ширине были разными, что позволяло отобразить на схеме все разнообразие сообществ водных растений.

Одновременно с составлением схем зарастания через каждые 20-40 км на наиболее заросшем или интересном по разнообразию растительности участке реки производились массовые описания водных фитоценозов, определялась их продуктивность, измерялись глубины воды по ширине русла, по диску Секки определялись ее прозрачность, скорость течения и отбирались пробы воды на общий химический анализ.

Описание водной растительности производилось на серии площадок в 4 $м^2$, закладываемых во всех фитоценозах описываемого участка, охватывая в среднем около 60-80% их площади (от 10% в обширных однородных сообществах до 100% в сообществах с высокой мозаичностью или малой площадью). В зависимости от ширины сообществ, площадки имели стороны 2 х 2 м, 1 х 4 м, либо 0,5 х 8 м (Папченков, 1979, 2001).

При описании фитоценозов составлялся список видов макрофитов, отмечались их фенофаза и проективное покрытие каждого вида, максимальная высота растений, количество побегов и их сырая биомасса. Для определения высоты, количества и биомассы растений, в пределах площадки описания закладывались 4 регулярно распределенные укосные площадки по 0,25 $м^2$ каждая (0,5 х 0,5 м) (Папченков, 1979), на которых у самого дна (если это гелофиты) и в пределах ограниченного рамкой столба воды (если это погружен-

ные гидрофиты) срезались все растения и в ряде случаев выкапывались подземные органы. Каждый укос в отдельности разбирался по видам растений, подсчитывалось число побегов (для кувшинковых и стрелолиста – число листьев и цветоносов), с точностью до 10 г взвешивалась их сырая масса, измерялась высота наиболее развитых побегов. Все данные заносились в бланк описания, где также отмечалась глубина воды и тип грунта на месте описания. Отобранные укосы сохранялись в качестве проб для их дальнейшего лабораторного исследования.

Материалы картирования и данные, полученные с укосных площадок, использовались для определения запасов водных растений в русле реки. Подсчет площадей фитоценозов производился на схеме зарастания километрового участка реки с помощью палетки. Для перевода полученной величины площади контура сообщества на схеме в соответствующую натуральную величину можно пользоваться формулой

$$S = (1000/Дсх \cdot Шр/Шсх)/25 \cdot n \cdot 1 \text{ см}^2,$$

где S – реальная площадь измеряемого контура, м^2; 1000 – реальная длина участка реки, м; Дсх – длина участка реки на схеме, см; Шр – реальная ширина реки, м; Шсх – ширина русла на схеме, см; 25 – число малых клеток палетки в 1 см^2; n – число малых клеток палетки, закрывающих площадь измеряемого контура; 1 см^2 – площадь большой клетки палетки (Папченков, 1981). В общем виде она выглядит как: $S = (Мд \cdot Мш)/25 \cdot n \cdot 1$ см^2, где Мд и Мш – соответственно, масштабы по длине и ширине участка реки на схеме (Папченков, 2001).

При обработке схем зарастания на каждый километр русла рассчитывался показатель фитомассы (Пф). Для этого сумма фитомассы макрофитов на участке (ΣМ) делилась на площадь (S): Пф = ΣМ/S, кг/м^2. По этому показателю определялись интенсивность зарастания как реки в целом, так и ее отдельных участков, производилась разбивка русла реки на участки с разной интенсивностью зарастания (Папченков, 1985а). Для характеристики интенсивности зарастания водотоков и их участков пользовались следующей шкалой: 0 – не зарастающие участки (0 кг/м^2), 1 – почти не зарастающие (менее 0,10 кг/м^2), 2 – очень слабо зарастающие (0,11-1,0 кг/м^2), 3 – слабо зарастающие (1,01-2,0 кг/м^2), 4 – умеренно зарастающие (2,01-3,0 кг/м^2), 5 – значительно зарастающие (3,01-4,0 кг/м^2), 6 – сильно зарастающие (4,01-5,0 кг/м^2), 7 – очень сильно зарастающие (более 5,0 кг/м^2).

Проведенные по описанной выше методике полевые исследования растительного покрова р. Сок показали его сложную структуру и высокую степень разнообразия.

Флора бассейна реки не выделяется высоким богатством среди флор других речных бассейнов Среднего Поволжья – ее составляют 177 видов сосудистых растений из 88 родов и 51 семейства. Ниже эти показатели только у флоры бассейна р. Самары (Папченков, 2001). Флора самой р. Сок также не находится в числе наиболее богатых. В ее составе 130 видов водных, воздушно-водных и заходящих в воду околоводных сосудистых растений из 75 родов и 39 семейств 3-х отделов: Equisetophyta (3 вида), Polypodiophyta (1 вид) и Magnoliophyta (126 видов, 67 из которых представляют класс Magnoliopsida и 59 – Liliopsida). 73% видов этой флоры представлены во флоре водотоков всего бассейна р. Сок. Еще более высока доля (91%, 70 из 77 видов) флоры реки в бассейновой флоре по водной ее составляющей (табл. 37). Невысокий уровень богатства флоры показывает насыщенность родов и семейств видами и семейств родами. Во флоре р. Сок среднее число видов в семействе равно 3,3, видов в роде – 1,7, родов в семействе – 1,9, тогда как в среднем для всех рек Среднего Поволжья* эти показатели соответственно равны 5,2, 2,3 и 2,3 (Папченков, 2001).

Более половины видов флоры водотоков бассейна и самой р. Сок (соответственно, 54% и 60%) входит в состав первых по числу видов семейств (табл. 38). Первые три се-

* В настоящее время нет общепринятого мнения относительно расположения бассейна р. Сок в границах Средней или Нижней Волги (*примечание редактора*).

мейства (*Cyperaceae* – 14, *Poaceae* – 13 и *Potamogetonaceae* – 10 видов) и их порядок расположения характерны для всей флоры водоток Среднего Поволжья. Во флоре бассейна на третьей позиции с 11 видами *Polygonaceae*, занимающее во флоре водотоков региона шестое место (Папченков, 2001).

Таблица 37. Флористическое разнообразие растительного покрова р. Сок и водотоков ее бассейна

Показатели	р. Сок		Бассейн р. Сок	
	Вся флора	Водная флора	Вся флора	Водная флора
Число семейств	39	27	51	26
Число родов	75	45	88	42
Число видов	130	77	177	70
Число видов на одно семейство	3,3	2,9	3,5	2,7
Число видов на один род	1,7	1,7	2,0	1,7
Число родов на одно семейство	1,9	1,7	1,7	1,6

Родовой спектр флоры по порядку расположения ведущих родов соответствует таковому в «норме» для региона лишь для флоры водотоков бассейна р. Сок, тогда как во флоре реки он довольно своеобразен и совпадает с «нормой» лишь по положению первых двух родов (табл. 38) (Папченков, 2001).

Таблица 38. Ведущие по числу видов семейства и рода флоры

Флора р. Сок				Флора водотоков бассейна р. Сок			
Cyperaceae	14	*Potamogeton*	10	*Cyperaceae*	17	*Potamogeton*	10
Poaceae	13	*Carex*	6	*Poaceae*	17	*Carex*	9
Potamogetonaceae	10	*Persicaria*	5	*Polygonaceae*	11	*Salix*	7
Polygonaceae	8	*Salix*	4	*Potamogetonaceae*	10	*Persicaria*	6
Asteraceae	8	*Juncus*	4	*Asteraceae*	8	*Epilobium*	6
Ranunculaceae	6	*Rumex*	3	*Ranunculaceae*	7	*Rumex*	5
Lamiaceae	6	*Ranunculus*	3	*Brassicaceae*	7	*Juncus*	5
Brassicaceae	5	*Scirpus*	3	*Salicaceae*	7	*Rorippa*	4
Lemnaceae	4	*Lemna*	3	*Lamiaceae*	6	*Veronica*	4
Scrophulariaceae	4	*Sparganium*	3	*Onagraceae*	6	*Batrachium*	3
Всего	78	Всего	44	Всего	96	Всего	59
%	60	%	59	%	54	%	67

Экологическая структура флоры р. Сок и водотоков бассейна этой реки не вполне традиционна – обычно заходящие в воду береговые растения бывают представлены большим числом видов, чем водные (Папченков, 2001). В данном случае, хотя и не намного, но преобладают водные растения (см. табл. 40). Тем ни менее, традиционно преобладающим экотипом во флоре реки и ее бассейна являются гигрофиты (41% и 42% соответственно), вторую позицию занимают гидрофиты (23% и 24%), третью – гигрогелофиты (20% и 18%) (табл. 39).

Виды водной флоры представлены во всех пяти классах встречаемости (табл. 39). Среди гидрофитов, или настоящих водных растений, наиболее часто встречающимися растениями в русле р. Сок являются *Lemna minor* L., *L. trisulca* L. – ряски маленькая и трехдольная, *Nuphar lutea* (L.) Smith – кубышка желтая, *Nymphaea candida* J. Presl – кувшинка чисто-белая, *Potamogeton lucens* L., *P. pectinatus* L., *P. perfoliatus* L. – рдесты блестящий, гребенчатый и пронзеннолистный, а также *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid – многокоренник обыкновенный. Среди гелофитов к числу обычных на реке относятся высокотравные *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. – тростник обыкновенный, *Scirpus lacustris* L. – камыш озерный и *Typha angustifolia* L. – рогоз узколистный, а также низкотравные гелофиты *Sagittaria sagittifolia* L. – стрелолист обыкновенный и *Sparganium emersum* Rehm. – ежеголовник всплывший. В числе гигрогелофитов растений этого класса встречаемости нет.

Таблица 39. Экологическая структура и встречаемость видов флоры р. Сок и водотоков ее бассейна

	Река Сок		Бассейн р. Сок	
Число видов по экотипам:	**Число**	**%**	**Число**	**%**
I - гидрофиты	30	23	43	24
II - гелофиты	14	11	17	10
III - гигрогелофиты	26	20	32	18
I-III - водные растения	70	54	92	51
IV - гигрофиты	53	41	74	42
V - гигромезо- и мезофиты	7	5	11	6
IV-V - околоводные растения	60	46	85	49
Сумма:	130	100	177	100
Число видов по классам встречаемости:				
1 - очень редко	27	21	59	33
2 - редко	35	27	46	26
3 - умеренно	45	35	34	20
4 - часто	11	8	18	10
5 - очень часто (обычный вид)	12	9	20	11
Сумма:	130	100	177	100

Часто встречающихся гидрофитов, слагающих флору р. Сок, всего 5: *Callitriche palustris* L. – водяная звездочка болотная, *Ceratophyllum demersum* L. – роголистник темно-зеленый, *Elodea canadensis* Michx. – элодея канадская, *Hydrocharis morsus-ranae* L. – водокрас лягушечий, *Myriophyllum spicatum* L. – уруть колосистая. Среди гелофитов такую встречаемость имеют 4 вида: высокотравный *Scirpus tabernaemontani* C.C. Gmel. – камыш Табернамонтана и низкотравные *Alisma plantago-aquatica* L. – частуха подорожниковая, *Butomus umbellatus* L. – сусак обыкновенный и *Equisetum fluviatile* L. – хвощ приречный. Среди гигрогелофитов таких вида 2: *Carex acuta* L. – осока острая и *Eleocharis palustris* (L.) Roem. et Schult – ситняг болотный.

Большинство водных растений во флоре реки имеет умеренную встречаемость. Среди гидрофитов это *Batrachium trichophyllum* (Chaix) Bosch – шелковник волосолистный, *Myriophyllum verticillatum* L. – уруть мутовчатая, *Potamogeton berchtoldii* рдест Берхтольда Fieb., *P. crispus* L. – рдест курчавый, *P. natans* L. – рдест плавающий, *P. nodosus* Poir. – рдест узловатый, *Persicaria amphibia* (L.) S.F. Gray – горец земноводный. Этот класс встречаемости имеют и высокотравные гелофиты: *Glyceria maxima* (C. Hartm.) Holmb – манник большой и *Typha latifolia* L. – рогоз широколистный; низкотравный гелофит *Sparganium erectum* L. – ежеголовник прямой, а также гигрогелофиты *Agrostis stolonifera* L. – полевица побегообразующая, *Bolboschoenus planiculmis* (F. Schmidt) Egor. – клубнекамыш плоскостебельный, *B. maritimus* (L.) Palla s.l. – клубнекамыш морской, *Carex acutiformis* Ehrh. – осока заостренная, *C. riparia* Curt – осока береговая, *C. vesicaria* L. – осока пузырчатая *C. pseudacorus* L. – ирис ложноаировый, *Lythrum salicaria* L. – дербенник иволистный, *Oenanthe aquatica* (L.) Poir. – омежник водный, *Sium latifolium* L. – поручейник широколистный.

В качестве редких водных растений на р. Сок отмечены гидрофиты *Callitriche cophocarpa* Sendtner, *Lemna gibba* L., *Najas major* All., *Potamogeton friesii* Rupr., *P. pusillus* L., *P. trichoides* Cham. et Schlecht., *Salvinia natans* (L.) All., *Utricularia vulgaris* L., *Zannichellia palustris* L. Очень редким гидрофитом на реке является *Batrachium circinatum* (Sibth.) Spach. В составе гелофитов к редким видам относится *Sparganium neglectum* Beeby, к очень редким – *Scolochloa festucacea* (Willd.) Link. Среди гигрогелофитов редкими являются *Carex rostrata* Stokes, *Eleocharis acicularis* (L.) Roem. et Schult., *Glyceria fluitans* (L.) R. Br., *Hippuris vulgaris* L., *Rorippa amphibia* (L.) Bess., *Veronica beccabunga* L.; очень редкими - *Caltha palustris* L., *Cardamine amara* L., *Cicuta virosa* L., *Ranunculus lingua* L., *Rumex aquaticus* L., *R. hydrolapathum* Huds. и *Veronica anagallis-aquatica* L.

В составе заходящих в воду береговых гигрофитов и мезофитов часто встречающихся в водной среде видов нет. Для этой группы растений характерна умеренная (22 ви-

да), редкая (17 видов) и очень редкая (15 видов) встречаемость. Наиболее заметными среди имеющих умеренную встречаемость, являются ивы S*alix triandra* L. и *S. viminalis* L., крупные зарослевые виды *Petasites spurius* (Retz.) Reichenb. – белокопытник ненастоящий, *Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert – двукисточник тростниковый, *Scirpus sylvaticus* L., а также *Lycopus europaeus* L., *Mentha arvensis* L., *R. maritimus* L., *Scutellaria galericulata* L., *Stachis palustris* L. и др. Подавляющее большинство редких и очень редких в р. Сок видов являются растения, редко заходящие в воду, но нередкие или достаточно обычные в других местообитания: *Chenopodium glaucum* L., *Persicaria lapathifolia* (L.) S.F. Gray, *P. minor* (Huds.) Opiz, *Rorippa palustris* (L.) Bess., *Salix alba* L., *Symphytum officinale* L. и др. Истинно же редкими в бассейне являются *Epilobium smyrneum* Boiss. et Balansa и *Leersia oryzoides* (L.) Sw.

В целом очень редкими и редкими является 48% видов флоры р. Сок и 59% видов флоры водотоков бассейна этой реки, к часто встречаемым и обычным относится 17% и 21% видов, соответственно (табл. 39). Список флоры р. Сок и ее бассейна представлен в конце раздела (табл. 41).

На большинстве рек бассейна р. Сок развивается богатая водная растительность. Фитоценозы рек отличаются большим разнообразием. В них доминируют как гелофиты (рогоз узколистный, тростник обыкновенный, камыш озерный, ежеголовники прямой и всплывший), так и многие гидрофиты (кубышка желтая, кувшинка чисто-белая, рдесты гребенчатый, блестящий, пронзеннолистный, узловатый и др.). На р. Сок сообщества гидрофитов значительно преобладают над сообществами гелофитов. Растительность реки характеризуется сообществами 61 ассоциации 24 формаций. Ее можно представить в виде следующей классификационной схемы.

Тип растительности. Водная растительность – Aquiphytosa

A. Группа классов и **I**. Класс формаций. Настоящая водная (гидрофитная) растительность – Aquiphytosa genuina

1. Группа формаций гидрофитов, свободно плавающих в толще воды – Aquiherbosa genuina demersa natans.

Сообщества этой группы формаций не имеют своего четко выделяющегося пояса и встречаются при глубинах до 3-3,5 м.

1. Формация роголистника темно-зеленого – Ceratophylleta demersi

1. Ассоциация Ceratophylletum demersi. Очень часто встречается на плесовых глубоководных участках реки и заметно реже на участках со значительным течением. В ее фитоценозах отмечено 18 видов макрофитов. Кроме роголистника темно-зеленого, имеющего проективное покрытие от 60% до 100%, наиболее часто, с проективным покрытием менее 10%, встречаются *Lemna minor* и *Spirodela polyrhiza*. Средняя биомасса сообществ ассоциации на 1 м^2 составляет 4,3 кг сырой и 0,22 кг абсолютно сухой массы, 0,16 кг органического вещества и 674 ккал/м^2 энергии.

2. Ассоциация Hydrocharito-Ceratophylletum demersi. Отмечена для ряда глубоководных плесов р. Сок. Характерно наличие доминирующего яруса роголистника с проективным покрытием 90-100% и содоминирующего яруса водокраса обыкновенного (5-90%) с многокоренником обыкновенным и ряской маленькой (от 1% до 40-60%). Всего в фитоценозах ассоциации отмечено 12 видов макрофитов. Средняя надземная сырая биомасса равна 7,9 кг/м^2, в абсолютно сухая – 0,4 кг/м^2, органическое вещество – 0,33 кг/м^2, энергетический эквивалент – 1390 ккал/м^2.

2. Группа формаций погруженных укореняющихся гидрофитов – Aquiherbosa genuina submersa radicans

Основная группа формаций гидрофитов по распространению, разнообразию и роли в сложении растительного покрова. Образует зону растительности между свободным от зарослей дном и зоной укореняющихся гидрофитов с плавающими на воде листьями.

2. Формация рдеста блестящего – Potameta lucentis

3. Ассоциация Potametum lucentis. Широко распространена как по отмелям с глубиной до 1 м, так и на плесах с глубиной воды 1,5-3,5 м. В последнем случае сообщества сложены лишь рдестом блестящим с проективным покрытием 70-100%, средней сырой биомассой 7,5 кг/м^2 (от 0,9 до 11,2 кг/м^2), абсолютно сухой - 1,2 кг/м^2, органическим веществом - 0,89 кг/м^2, валовой энергией вещества - 3750 ккал/м^2. Для мелководного варианта сообществ ассоциации характерен широкий размах варьирования проективного покрытия (20-100%) и присутствие в ценозах единичных экземпляров 2-6 сопутствующих видов (это могут быть рясковые, *Ceratophyllum demersum, Utricularia vulgaris, Hydrocharis morsus-ranae, Nuphar lutea, Persicaria amphibium, Alisma plantago-aquatica, Butomus umbellatus, Sagittaria sagittifolia, Sparganium erectum*). Средняя биомасса сообществ этого варианта, соответственно, равна 5,4 кг/м^2 (от 0,4 до 7,2 кг/м^2), 0,6 кг/м^2, 0,44 кг/м^2, 1860 ккал/м^2.

3. Формация рдеста пронзеннолистного – Potameta perfoliati

4. Ассоциация Potametum perfoliati. Представлена перекатным вариантом чистых сообществ рдеста пронзеннолистного, занимающих песчано-каменистые перекаты и стремнины с песчаным дном; и вариантом почти чистых сообществ, характерных для слаботекущих вод. В последних, помимо *Potamogeton perfoliatus* (проективное покрытие 80-90%), с покрытием менее 10% обычно встречаются *Ceratophyllum demersum, Spirodela polyrhiza, Lemna minor, L. trisulca* и другие виды макрофитов. Средняя надземная биомасса сообществ ассоциации в сыром виде равна 4,0 – 4,9 кг/м^2; в абсолютно сухом - 432 г/м^2, в органическом веществе - 340 г/м^2, в валовой энергии - 1435 ккал/м^2.

5. Ассоциация Lemno-Potametum perfoliati. На реке встречается в виде узких прибрежных сообществ с малопродуктивным ярусом свободно плавающих на поверхности воды *Lemna minor* и *Spirodela polyrhiza*, иногда с небольшим количеством *Hydrocharis morsus-ranae*, и доминирующим ярусом рдеста пронзеннолистного, имеющего проективное покрытие 60-80%. Приурочены к глубинам до 40 см и бедным песчаным, суглинистым или слабо заиленным грунтам. Продукция таких сообществ не высокая, примерно вполовину меньшая, чем у ценозов предыдущей ассоциации.

6. Ассоциация Myriophyllo spicati-Potametum perfoliati. Ее сообщества изредка встречаются на песчано-каменистых перекатах р. Сок. В них доминирует (40-60% проективного покрытия) *Potamogeton perfoliatus*, содоминирует (10-30%) – *Myriophyllum spicatum*, нередко присутствует (до 10-20%) *Potamogeton pectinatus*.

7. Ассоциация Potametum lucentis-perfoliati. Встречается как на плесах, так и на перекатных участках реки почти по всей ее длине при глубине 40-60 (до 120) см. В сообществах ассоциации доминирует *P. perfoliatus* (около 80% проективного покрытия) и в значительном количестве (около 20%) встречается *P. lucens*. При слабом течении в ценозах в небольшом количестве могут присутствовать рясковые и роголистник темно-зеленый.

8. Ассоциация Potametum pectinati-perfoliati. Часто встречается как на плесах, так и на перекатах реки. Сообщества располагаются на слабо заиленных или незаиленных грунтах при глубине от 10-20 до 40 см. Обычно сообщества 2-видовые (70-100% покрытия – у *P. perfoliatus* и 30-60% – у *P. pectinatus*). Реже к этим растениям в небольших количествах примешивается *Lemna minor*, единичные экземпляры *Butomus umbellatus* и *Sparganium emersum*. Ценозы ассоциации обычно небольшие по площади, но высокопродуктивные: их надземная сырая биомасса достигает 8,8 кг/м^2, абсолютно сухая – 1,4 кг/м^2, запасы органического вещества – 1,18 кг/м^2, запасы валовой энергии – почти 5000 ккал/м^2.

4. Формация рдеста курчавого – Potameta crispi

9. Ассоциация Potametum crispi. Представлена пятнами небольших чистых ценозов *Potamogeton crispus*, изредка встречающихся в условиях песчаных и песчано-илистых грунтов и заметного течения при глубине до 1 м. Средняя биомасса в сыром, сухом виде, органическом веществе и энергии 6,75 (от 2,5 до 11,25) кг/м^2; 1,25 кг/м^2; 1,03 кг/м^2 и 4340

ккал/м^2, соответственно.

5. Формация рдеста гребенчатого – Potameta pectinati

10. Ассоциация Potametum pectinati. Самая обычная для реки. Сообщества чаще одновидовые, плотные (90-100% покрытия), небольшие по площади. Средняя надземная биомасса ценозов в сыром виде равна 2,1 (от 1,2 до 3,75) кг/м^2, в абсолютно сухом – 258 г/м^2, в органическом веществе – 207 г/м^2, в энергетическом эквиваленте – 874 ккал/м^2.

11. Ассоциация Lemno-Potametum pectinati. Иногда встречается в заногах реки на песчано-илистых грунтах при глубине до 1 м. В составе сообществ, помимо рдеста гребенчатого (покрытие около 85%), обычны *Spirodela polyrhiza, Lemna minor* и *L. trisulca* (от 10% до 50%) и могут присутствовать *Ceratophyllum demersum, Utricularia vulgaris, Salvinia natans, Phalaroides arundinacea*. Показатели биомассы: 2,1 кг/м^2; 148 г/м^2; 142 г/м^2 и 600 ккал/м^2.

6. Формация урути колосистой – Myriophylleta spicata

12. Ассоциация Myriophylletum spicati. Весьма характерна для перекатов р. Сок. Обычно она представлена сообществами чистой или почти чистой урути колосистой со 100%-ным проективным покрытием. Сырая надземная биомасса таких сообществ – 9,6 кг/м^2, абсолютно сухая – 1,1 кг/м^2, запас органического вещества – 965 г/м^2, валовая энергия – 4070 ккал/м^2.

13. Ассоциация Spirodelo-Myriophylletum spicati. Обычна для участков реки с песчано-илистыми грунтами и глубиной 30-60 см. В ценозах, помимо урути колосистой (90-100%), присутствует *Spirodela polyrhiza* и другие рясковые, отмечен *Hydrocharis morsus-ranae*. Средняя сырая надземная биомасса фитоценозов – 8,6 кг/м^2, абсолютно сухая – 920 г/м^2, запас органического вещества – 800 г/м^2, валовая энергия – 3390 ккал/м^2.

7. Формация шелковника волосолистного – Batrachieta trichophylli

14. Ассоциация Batrachietum trichophylli. Встречается по перекатным и быстротечным участкам. Ценозы обычно имеют 100%-ное проективное покрытие.

8. Формация элодеи канадской – Elodeeta canadensis

15. Ассоциация Elodeetum canadensis. Распространена широко. Обычно занимает прибрежную полосу с глубиной до 60 см (реже – глубже). Представлена либо чистыми, либо почти чистыми сообществами с проективным покрытием элодеи 80-100%. Сопутствующие виды разнообразны (в описаниях отмечено 15 таксонов), но все они не имеют проективного покрытия более 5%. Средняя сырая биомасса ценозов – 3,6 кг/м^2, абсолютно сухая – 370 г/м^2, запас органического вещества – 305 г/м^2, валовая энергия – 1290 ккал/м^2.

16. Ассоциация Lemno-Elodeetum canadensis. Характерна для заводей реки с глубиной до 1 м. Проективное покрытие элодеи 30-95%, рясковые имеют 40-60%-ное покрытие, иногда в них с покрытием до 30% встречается водокрас лягушачий, часто – роголистник темно-зеленый. Средняя сырая надземная биомасса этих ценозов – 3,3 (от 1,1 до 4,9) кг/м^2, абсолютно сухая – 320 г/м^2, запас органического вещества – 257 г/м^2, валовая энергия – 1085 ккал/м^2.

3. Группа формаций укореняющихся гидрофитов с плавающими на воде листьями – Aquiherbosa genuina radicans foliis natantibus

Сообщества этой группы формаций знаменуют собой переход между погруженными в воду и воздушно-водными растениями. Это ставит их ценозы на условном профиле дна между фитоценозами типичных гидрофитов и сообществами гелофитов. Предельные глубины распространения отдельных экземпляров растений этого экотипа могут превышать 3 м, но основная часть их сообществ располагается при глубине 80-160 см.

9. Формация кубышки желтой – Nuphareta luteae

17. Ассоциация Nupharetum luteae. Нередки как одновидовые фитоценозы данного типа, так и с примесью других макрофитов. Наиболее обычен вариант прибрежных сообществ, развивающихся на илистых и песчано-илистых грунтах при глубине 0,5-2 м. Но в средней части реки встречен погруженный вариант ценозов ассоциации, развивающийся

на песчаном грунте при глубине до 3,2 м в условиях сильного течения и высоко прозрачной воды. При этом у кубышки были развиты только очень крупные, нежные погруженные листья, сплошным ковром покрывающие дно реки. Средняя сырая надземная биомасса сообществ ассоциации при среднем проективном покрытии 75% (50-100%) равна 5,6 кг/м^2, абсолютно сухая – 930 г/м^2, запас органического вещества – 811 г/м^2, валовая энергия – 3422 ккал/м^2.

18. Ассоциация Lemno-Nupharetum luteae. Встречается на плесовых участках рек на песчаных, песчано-илистых и сильно заиленных грунтах при глубине от 5-10 до 160 см. Практически вся масса растений находится в одном ярусе, где в качестве содоминантов кубышки (20-90%) выступают ряска маленькая и многокоренник, часто занимающие всю свободную поверхность воды. Реже многочисленны также ряска трехдольная и водокрас обыкновенный. Другие макрофиты (*Ceratophyllum demersum, Elodea canadensis, Potamogeton pectinatus, Salvinia natans, Callitriche cophocarpa, Sagittaria sagittifolia*) встречаются в небольшом количестве. Биомасса сообществ равна 4,0 кг/м^2; 560 г/м^2; 488 г/м^2; 2060 ккал/м^2.

19. Ассоциация Ceratophyllo-Nupharetum luteae. Нередка на речных плесах при глубине до 180 см. Проективное покрытие кубышки – 55% (30-90%), роголистника темно-зеленого – 70 (30-100%). Часто в этих сообществах отмечается многокоренник (до 80%), могут присутствовать *Lemna minor, L. trisulca, Salvinia natans, Myriophyllum spicatum, Potamogeton lucens, P. pectinatus, P. perfoliatus, Butomus umbellatus, Sagittaria sagittifolia*. Показатели биомассы ценозов: 7,5 кг/м^2 (от 3,25 до 11,5 кг/м^2); 1,1 кг/м^2; 840 г/м^2; 3530 ккал/м^2.

20. Ассоциация Potameto lucentis-Nupharetum luteae. Очень часто встречается на участках реки с песчаным грунтом при глубине от 80 до 250 см. Сообщества либо двувидовые, либо с примесью *Myriophyllum spicatum, Ceratophyllum demersum, Spirodela polyrhiza, Hydrocharis morsus-ranae*. Проективное покрытие кубышки – 30-100%, рдеста блестящего – 10-60%. Средняя надземная биомасса 6,6 кг/м^2 (от 2,8 до 12,0 кг/м^2); 1,0 кг/м^2; 885 г/м^2; 3730 ккал/м^2.

21. Ассоциация Potameto pectinati-Nupharetum luteae. Отмечена на песчаных грунтах при глубине 40-110 см и наличии течения от слабого до умеренного. Сообщества двувидовые или с примесью рясковых. Встречается три их варианта: 1) кубышка – до 100% проективного покрытия, рдест гребенчатый – 10-20%, 2) обратное соотношение и 3) оба вида могут иметь по 60-70% покрытия. Последний вариант имеет низкую сырую надземную биомассу (6,3 кг/м^2), второй – наиболее высокую (до 11,0 кг/м^2), первый – промежуточную (7,7 кг/м^2). Средняя надземная биомасса сообществ равна 8,3 кг/м^2; 1,2 кг/м^2; 1,0 кг/м^2; 4220 ккал/м^2.

22. Ассоциация Potameto natanti-Nupharetum luteae. Нередко встречается на илистые и песчано-илистых грунтах плесов при глубине 40-160 см. Сообщества часто состоят из сочетания густых пятен кубышки и рдеста с проективным покрытием по 40-60%. Промежутки между пятнами занимает плотный покров из *Lemna minor* и *Spirodela polyrhiza* с примесью *Hydrocharis morsus-ranae*. В подводном ярусе обычен *Ceratophyllum demersum* (до 90-95%). Нередки варианты сообществ со значительным преобладанием кубышки над рдестом и наоборот. Последний вариант (20-25% кубышки и 80-85% рдеста плавающего) наиболее продуктивен (16,9 кг/м^2;2,4 кг/м^2; 2,0 кг/м^2; 8530 ккал/м^2).

23. Ассоциация Nyphaeto-Nupharetum luteae. Обычна в условиях илистых грунтов плесов при глубине воды 100-270 см. Чаще кубышка желтая (40-90%) преобладает над кувшинкой (10-40%), реже доминирует кувшинка (40-60% при 10-40% кубышки). Кроме этого в фитоценозах часто присутствуют *Ceratophyllum demersum* (до 50%), *Spirodela polyrhiza* (до 30%) и *Lemna minor* (до 10%). В отдельных ценозах могут быть обильны (20-80%) *Myriophyllum verticillatum, Potamogeton lucens, Utricularia vulgaris* и встречены *Lemna trisulca, Potamogeton crispus, P. pectinatus, P. natans, Sagittaria sagittifolia, Sparganium emersum*. Надземная биомасса сообществ 5,6 кг/м^2; 900 г/м^2; 796 г/м^2; 3360 ккал/м^2.

24. Ассоциация Sagittarieto-Nupharetum luteae. Встречается на различных грунтах при глубине от 10 до 130 см. Проективное покрытие кубышки от 20% до 80%, стрелолиста – от 5% до 40%. Среди 18 других видов, отмеченных в сообществах, местами особенно обильны *Spirodela polyrhiza* (до 60%), *Lemna minor* (до 40%), *Elodea canadensis* (до 30%), *Potamogeton natans* (до 20%), *P. lucens* (до 15%), *Hydrocharis morsus-ranae* (до 10%). С покрытием от 1% до 5% иногда в них встречаются *Butomus umbellatus, Carex acuta, Cicuta virosa, Equisetum fluviatile, Sparganium emersum*. Обилие других макрофитов незначительно. Надземная биомасса ценозов в среднем – 6,0 кг/м^2; 0,9 кг/м^2, 0,77 кг/м^2 и 3260 ккал/м^2.

25. Ассоциация Sparganieto emersi-Nupharetum luteae. Отмечена в условиях разннооразных грунтов при глубине воды 95-135 см. Состав сообществ: *Nuphar lutea* – 10-60%, *Sparganium emersum* – 30-95% (все листья плавающие на поверхности воды), *Potamogeton lucens* – 0-40%, *P. pectinatus* и *Hydrocharis morsus-ranae* – до 10%, *Sagittaria sagittifolia* и *Spirodela polyrhiza* – до 5%, *Lemna minor*, *Ceratophyllum demersum, Sparganium erectum*. Надземная сырая биомасса сообществ в среднем равна 6,3 кг/м^2; 1,0 кг/м^2; 880 г/м^2; 3730 ккал/м^2.

10. Формация кувшинки чисто-белой – Nyphaeeta candidae

26. Ассоциация Nymphaeetum candidae. Часто встречается на р. Сок в условиях илистого грунта и глубины 1,5-2,5 м. Обычно сообщества одновидовые, с проективным покрытием 20-60%, иногда с небольшим участием ряски маленькой и многокоренника. В очень редких случаях покрытие может достигать 100%. Сырая биомасса одного из таких сообществ была равна 16,5 кг/м^2, абсолютно сухая – 2,9 кг/м^2, запас органического вещества – 2,6 кг/м^2, валовая энергия – 11000 ккал/м^2. Средние величины биомассы сообществ ассоциации в 2 раза ниже.

27. Ассоциация Ceratophyllo-Nymphaeetum candidae. Отмечена для заводей и илистых, песчано-илистых и песчаных прибрежий среднего течения р. Сок при глубине воды 110-210 см. Проективное покрытие кувшинки в фитоценозах в среднем около 40% (20-70%), роголистника темно-зеленого – около 80% (20-100%). Постоянным их компонентом является также многокоренник обыкновенный (от + до 20%). Часто встречаются *Lemna minor* и *Hydrocharis morsus-ranae* (не более 5-10%), иногда бывает заметно участие *Myriophyllum verticillatum* (до 10%), отмечены *Lemna trisulca* и *Salvinia natans.* Средняя сырая надземная биомасса сообществ ассоциации равна 6,3 кг/м^2, абсолютно сухая – 0,7 кг/м^2, запас органического вещества – 630 г/м^2, валовая энергия – 2650 ккал/м^2.

28. Ассоциация Potameto lucentis-Nymphaeetum candidae. Нередко встречается на илистых грунтах при глубине 80-120 см. Проективное покрытие кувшинки – в среднем около 40%, рдеста блестящего – до 80%. Обычно в сообществах ассоциации бывают представлены рясковые, имеющие покрытие до 40%, реже отмечается роголистник темно-зеленый (до 5 %). Измеренная в таком ценозе сырая надземная биомасса была равна 5,2 кг/м^2, абсолютно сухая – 605 г/м^2, запас органического вещества – 485 г/м^2, валовая энергия – 2050 ккал/м^2.

11. Формация рдеста плавающего – Potameta natantis

29. Ассоциация Potametum natantis. По речным плесам на илистых и песчано-илистых грунтах при глубине 30-160 см. Рдест плавающий обычно имеет высокое проективное покрытие - в среднем около 80-90% при варьировании от 40% до 100%. Другие, не всегда присутствующие в сообществах виды малообильны. Ценозы высокопродуктивны. Их средняя сырая надземная биомасса равна 11,0 кг/м^2, абсолютно сухая - 1,85 кг/м^2, запас органического вещества - 1,55 кг/м^2, валовая энергия - 6530 ккал/м^2.

12. Формация рдеста узловатого – Potameta nodosi

30. Ассоциация Potametum nodosi. Характерна для средних рек лесостепного и степного Заволжья, изредка встречается в русле р. Сок. Обычно одновидовые либо с незначительной примесью других погруженных гидрофитов сообществ рдеста узловатого встречаются в тех же условиях, что и сообщества предыдущей ассоциации.

4. Группа формаций гидрофитов свободно плавающих на поверхности воды – Aquiherbosa genuina natans

13. Формация ряски маленькой и многокоренника – Lemno minori-Spirodeleta.

31. Ассоциация Lemno minori-Spirodeletum. Сообщества ассоциации широко распространены вдоль берегов реки, в заногах. Они наиболее обычны при глубине воды от 0 до 80 см. Обычно *Lemna minor* и *Spirodela polyrhiza* встречаются вместе и образуют плотный покров на поверхности воды, в котором может преобладать как многокоренник, так и ряска маленькая. Наиболее типично 60%-ное проективное покрытие многокоренника и 40%-ное – ряски. Кроме доминантов, в сообществах ассоциации отмечены *Lemna trisulca, Utricularia vulgaris, Salvinia natans*. Средние данные по биомассе: 0,9 кг/м^2; 62 г/м^2; 53 г/м^2; 224 ккал/м^2.

Б. Группа классов. Прибрежно-водная растительность – Aquiherbosa vadosa.

II. Класс формаций. Воздушно-водная (гелофитная) растительность – Aquiherbosa helophyta

Формирует ярко выраженный пояс макрофитов, большая часть надземных органов которых возвышается над водной поверхностью. Он располагается от уреза воды до глубины 60-100 см с проникновением отдельных куртин этих растений на более значительную глубину (на р. Сок отдельные побеги тростника были отмечены при глубине 190 см).

5. Группа формаций низкотравных гелофитов – Aquiherbosa helophyta humilis.

Сообщества формаций данной группы распределены по всему спектру глубин, занимаемых ценозами воздушно-водных растений, но в хорошо сформированном растительном покрове с выраженным зональным распределением они всегда располагаются перед фитоценозами высокотравных гелофитов со стороны открытой акватории.

14. Формация частухи подорожниковой – Alismateta plantago-aquaticae

32. Ассоциация Alismatetum plantago-aquaticae. Встречается обычно при глубине от 0-20 до 80 см на различных (но чаще илистых) грунтах. Сообщества ассоциации слагают *Alisma plantago-aquatica* (40-80%), *Bidens tripartita* (от 0-1% до 20-50%), *B. cernua* (0-5%), *Lythrum salicaria* (до 5%), *Oenanthe aquatica* (0-5%), *Ranunculus sceleratus* (+), *Butomus umbellatus* (+), *Carex acuta* (+), *Spirodela polyrhiza* (5-10%), *Lemna minor* (2-5%), *L. trisulca* (0-5%). Показатели надземной биомассы сообществ: 1,3 кг/м^2 (0,8-1,8 кг/м^2), 150 г/м^2 (90-210 г/м^2); 130 г/м^2 (80-180 г/м^2); 550 ккал/м^2 (340-760 ккал/м^2).

15. Формация стрелолиста обыкновенного – Sagittarieta sagittifoliae.

33. Ассоциация Sagittarietum sagittifoliae. Встречается при глубине от 0 до 80 см на песчано-илистых и песчаных грунтах. В сообществах помимо стрелолиста (40-95%) присутствует *Lemna minor* (10-40%) и *Spirodela polyrhiza* (0-50%), в единичных экземплярах отмечаются различные гелофиты и гигрофиты. Надземная биомасса сообществ равна 5,1 кг/м^2 (2,2-10,2 кг/м^2); 770 г/м^2 (200-1610 г/м^2); 710 г/м^2 (184-1490 г/м^2); 3000 ккал/м^2 (780-6300 ккал/м^2).

34. Ассоциация Potameto-Sagittarietum sagittifoliae. Характерна для илистых и песчано-илистыхгрунтов и глубины воды 40-80 см. Проективное покрытие стрелолиста 10-40%, рдеста блестящего – 50-80%. Часто много ряски маленькой и ряски трехдольной (до 100%). В отдельных сообществах ассоциации отмечены *Persicaria amphibia* (до 50%), *Myriophyllum verticillatum* (до 20%), *Batrachium circinatum* (до 10%), *Spirodela polyrhiza* (до 20%), *Oenanthe aquatica* (до 5%), *Butomus umbellatus* (+) и *Rorippa amphibia* (+). Показатели биомассы: 3,5 кг/м^2 (2,2-4,9 кг/м^2); 400 г/м^2 (190-600 г/м^2); 340 г/м^2 (170-500 г/м^2); 1450 ккал/м^2 (720-2120 ккал/м^2).

35. Ассоциация Butomo-Sagittarietum sagittifoliae. Характерна для песчано-илистых и илистых прибрежий реки и речных заног. Глубина воды – от 0 до 80 см. Проективное покрытие стрелолиста 20-80%, сусака – 20-40%. В сообществах обычна *Lemna minor* (1-50%), часто отмечается *Spirodela polyrhiza* (до 45%), иногда обильны *Potamogeton lucens* (до 60%), *P. natans* (до 50%), *Elodea canadensis* (до 40%), встречаются *Ceratophyllum demersum, Hydrocharis morsus-ranae, Lemna trisulca, Callitriche cophocarpa, Equisetum fluvia-*

tile, Agrostis stolonifera, Leersia oryzoides. Надземная биомасса – 9,15 кг/м^2 (4,0-13,5 кг/м^2); 1,4 кг/м^2 (0,7-2,4 кг/м^2); 1,27 кг/м^2 (0,65-2,1 кг/м^2); 5360 ккал/м^2 (2740-8730 ккал/м^2).

16. Формация ежеголовника всплывшего – Sparganieta emersi

36. Ассоциация Sparganietum emersi. В условиях различных грунтов при глубине от 0 до 130 см. Проективное покрытие ежеголовника всплывшего – от 15 до 95%. Может присутствовать от 2 до 5 малообильных видов; наиболее часто отмечается роголистник темно-зеленый. Средняя сырая надземная биомасса ценозов ассоциации – 4,4 кг/м^2, абсолютно сухая – 540 г/м^2, запас органического вещества – 490 г/м^2, валовая энергия – 2060 ккал/м^2.

37. Ассоциация Hydroherboso-Sparganietum emersi. Отмечена при глубине воды более 80 см. В сложении сообществ, кроме ежеголовника всплывшего (20-95%), большую роль играют погруженные гидрофиты, из которых наиболее обильны *Elodea canadensis* (40-60%), *Myriophyllum verticillatum* (20-95%), *Potamogeton crispus* (20-80%). В отдельных фитоценозах много *Ceratophyllum demersum* (до 80%), *Lemna trisulca* (до 60%), *Myriophyllum spicatum* (до 40%), *Potamogeton lucens* (до 20%), *P. pectinatus* (до 20%). Прочие 12 отмеченных видов макрофитов малообильны. По уровню продукции подобна предыдущей (сырая надземная биомасса в среднем равна 4,7 кг/м^2).

17. Формация ежеголовника прямого – Sparganieta erecti

38. Ассоциация Sparganietum erecti. Занимает местообитания с песчаным, песчано-илистым и илистым грунтами при глубине воды от 0 до 50-85 см. В небольших количествах в фитоценозах могут присутствовать различные гидрофиты, гелофиты и гигрофиты. Проективное покрытие ежеголовника – от 30% до 80%. Показатели биомассы ценозов ассоциации: 5,3 кг/м^2 (2,7-9,8 кг/м^2); 630 г/м^2; 550 г/м^2; 2340 ккал/м^2.

39. Ассоциация Hydroherboso-Sparganietum erecti. Распространена по илистым, песчано-илистым и песчаным грунтам прибрежий преимущественно при глубине 40-90 см. Кроме ежеголовника прямого (30-60%), всегда обильны рясковые и 1-3 вида погруженных гидрофитов с покрытием 20-80%, чаще всего это *Ceratophyllum demersum, Elodea canadensis, Myriophyllum spicatum, Potamogeton lucens, Utricularia vulgaris*. Биомасса таких сообществ колеблется в очень широких пределах: от 1,8 до 9,3 кг/м^2 (в среднем 4,6 кг/м^2); 183-780 г/м^2 (416 г/м^2); 144-670 г/м^2 (352 г/м^2); 610-2830 ккал/м^2 (1485 ккал/м^2).

40. Ассоциация Agrostio stoloniferae-Sparganietum erecti. Встречается у берегов на различных грунтах, при глубине до 40-60 см. В сообществах покрытие ежеголовника 20-40%; разнообразны гигрофиты и постоянно встречается *Agrostis stolonifera* (до 20%). Биомасса сообществ не высока: в среднем 4,0 кг/м^2; 380 г/м^2; 330 г/м^2; 1390 ккал/м^2.

18. Формация хвоща приречного – Equiseteta fluviatilis

41. Ассоциация Equisetetum fluviatilis. Характерна для песчаных и песчано-илистых наносов недавно возникших речных заног. Наиболее обычны они при глубине 30-60 см. Проективное покрытие – от 60% до 100%. Чаще всего его ценозы одновидовые, но при небольшой глубине в них могут быть отмечены разнообразные макрофиты. Показатели биомассы низкие: в среднем 1,1 кг/м^2; 190 г/м^2, 162 г/м^2; 680 ккал/м^2.

42. Ассоциация Heteroherboso-Equisetetum fluviatilis. Объединяет сообщества мелководий рек со слабыми выходами ключей, с грубодетритно-илистыми, насыщенными окислами железа отложениями на дне при глубине воды 0-20 см (наибольшая глубина – 40 см). Флористический список сообществ ассоциации содержит более 40 видов. Кроме хвоща приречного (30-40%), наиболее часто встречаются и бывают обильны (5-10, иногда до 40%) *Agrostis stolonifera, Alisma plantago-aquatica, Carex acuta, Cirsium setosum, Eleocharis palustris, Elodea canadensis, Galium palustre, Hippuris vulgaris, Lemna minor, Poa palustris, Rorippa palustris, Sagittaria sagittifolia, Scirpus sylvaticus, Spirodela polyrhiza, Stachys palustris*; часты, но необильны: *Iris pseudacorus, Ranunculus sceleratus, Veronica anagallis-aquatica*. Надземная биомасса сообществ в среднем равна 2,2 кг/м^2 (хвощ дает около 250 г/м^2); 420 г/м^2; 384 г/м^2; 1620 ккал/м^2.

6. Группа формаций высокотравных гелофитов – Aquiherbosa helophyta procera

Сообщества этой группы являются фоновыми для зоны воздушно-водных растений и в целом для водоема. Средняя оптимальная глубина воды для них равна 20-40 см, но очень часто краевые части их фитоценозов находятся в условиях глубины в 1 м и более.

19. Формация камыша озерного – Scirpeta lacustris

43. Ассоциация Scirpetum lacustris. Очень широко распространена. Встречается на различных грунтах при глубине до 80 см. Сообщества чистые, почти чистые, либо ряскковые (в речных заводях). Проективное покрытие камыша – 50-90%. Средние величины биомассы равны 4,4 кг/м^2; 2,4 кг/м^2; 2,2 кг/м^2; 9175 ккал/м^2.

44. Ассоциация Nuphareto-Scirpetum lacustris. Встречается на различных грунтах при глубине 40-80 см. Проективное покрытие камыша – от 20% до 80%, кубышки желтой – от 5-10% до 40-50 %, встречаются кувшинка (20-30%), водокрас (2-30%), ряска маленькая (2-10%) и многокоренник (до 50%), роголистник и рдест блестящий (около 10%). Средняя биомасса равна 5,3 кг/м^2 (3,4- 8,75 кг/м^2); 1,4 кг/м^2; 1,28 кг/м^2; 5400 ккал/м^2.

45. Ассоциация Heteroherboso-Scirpetum lacustris. Распространена у берегов реки при глубине от 0-20 см до 40-50 см. Из 40 отмеченных в сообществах ассоциации видов, кроме камыша озерного (30-85%), наиболее заметны (до 10-30%) и часто встречаются *Butomus umbellatus, Equisetum fluviatile, Glyceria maxima, Hydrocharis morsus-ranae, Lemna minor, Phalaroides arundinacea, Typha angustifolia, Spirodela polyrhiza,* реже – *Ceratophyllum demersum, Nuphar lutea, Phragmites australis, Sagittaria sagittifolia, Sparganium erectum*. Биомасса сообществ равна 5,7 кг/м^2 (1,0-12,6 кг/м^2); 35 кг/м^2; 1,28 кг/м^2; 5400 ккал/м^2.

20. Формация рогоза узколистного – Typheta angustifoliae

46. Ассоциация Typhetum angustifoliae. Встречается на различных грунтах, при глубинах от 0 см до110 см. Проективное покрытие растений в фитоценозах – от 20% до 90%. Сообщества обычно односоставные или с небольшим присутствием ряскковых, роголистника темно-зеленого и других гидрофитов, единичными экземплярами *Carex acuta, Equisetum fluviatile, Phalaroides arundinacea*. Биомасса сообществ равна 5,5 кг/м^2 (1,8-17,4 кг/м^2); 720 г/м^2 (236-2250 г/м^2); 670 г/м^2 (220-2100 г/м^2); 2830 ккал/м^2 (930-8860 ккал/м^2).

47. Ассоциация Ceratophyllo-Typhetum angustifoliae. Широко распространена по плесовым участкам реки на песчаных, песчано-илистых и илистых грунтах при глубинах от 0 до 110 см. В сообществах обычно хорошо развит погруженный ярус, чаще всего представленный сочетанием *Ceratophyllum demersum* (30-80%) и *Lemna trisulca* (до 70%), и имеется плотный покров ряскковых на поверхности воды. Биомасса сообществ равна 8,4 кг/м^2 (от 1,2 до 13,7 кг/м^2), 1025 г/м^2, 950 г/м^2, 4010 ккал/м^2.

48. Ассоциация Nuphareto-Typhetum angustifoliae. На р. Сок встречается особенно часто. Обычна на песчаных и песчано-илистых грунтах при глубине 60-80 см. Проективное покрытие рогоза узколистного 10-40% (максимальное – 60%), кубышки желтой – 5-40%. Часто обильны ряскковые (*Spirodela polyrhiza* – 30-60%, *Lemna minor* – 10-30%) и водокрас (до 20%). Иногда отмечаются *Ceratophyllum demersum* (до 10%), *Nymphaea candida* (до 5%), *Alisma plantago-aquatica* (до 40%), *Sparganium erectum* (до 5%), *Sagittaria sagittifolia* и *Lythrum salicaria* (до 10%). Биомасса равна 5,7 кг/м^2 (3,9-7,8 кг/м^2); 1080 г/м^2; 1015 г/м^2; 4280 ккал/м^2.

49. Ассоциация Sparganieto erecti-Typhetum angustifoliae. Связана с илистыми грунтами и глубиной воды до 50 см. Проективное покрытие рогоза и ежеголовника в среднем около 40% и 35% соответственно. Бывают обильны *Ceratophyllum demersum* (20-40%), *Spirodela polyrhiza* (до 40%), *Hydrocharis morsus-ranae* (до 20%), часто встречается *Lemna minor* (до 2%). Биомасса сообществ равна 6,5 кг/м^2 (5,3-8,3 кг/м^2); 1020 г/м^2; 960 г/м^2; 4040 ккал/м^2.

50. Ассоциация Scirpeto lacustris-Typhetum angustifoliae. Отмечается на различных (но чаще на илистых) грунтах при глубине воды от 10-30 до 80-110 см. Проективное покрытие рогоза 30-80%, камыша озерного – 15-40%. На мелких местах в ценозах присутствует осока острая (1-3%). Другие виды по встречаемости и обилию малозначительны. Биомасса сообществ равна 8,55 кг/м^2 (5,6-10,9 кг/м^2); 1,9 кг/м^2; 1,7 кг/м^2; 7290 ккал/м^2.

21. Формация тростника южного - Phragmiteta australis.

51. Ассоциация Phragmitetum australis. Одна из самых обычных на реке, как на плесовых, так и на перекатных участках, при глубине от 0 до 150 см. В зарослях тростника [среднее проективное покрытие – 94%, надземная биомасса – 7,5 кг/м^2 (5,0-10,5 кг/м^2); 2,5 кг/м^2; 2,15 кг/м^2; 9090 ккал/м^2] могут присутствовать различные виды водных и околоводных растений.

52. Ассоциация Spirodelo-Phragmitetum australis. Связана с защищенными участками мелководий с глубиной воды 40-80 см. Среднее проективное покрытие тростника в сообществах около – 50 %, многокоренника обыкновенного – 30-90%, ряски маленькой – до 80%. Биомасса равна 2,4 кг/м^2 (0,9-3,6 кг/м^2); 456 г/м^2; 423 г/м^2; 1785 ккал/м^2.

53. Ассоциация Ceratophyllo-Phragmitetum australis. На р. Сок отмечена в условиях песчаных и песчано-илистых грунтов при глубине до 90 см. Проективное покрытие роголистника темно-зеленого в среднем около 70%, тростника – около 50%. В наводном ярусе обычны водокрас (5-80%), многокоренник (до 10%), ряска маленькая (1%). Биомасса равна 6,4 кг/м^2 (4,95-9,4 кг/м^2); 1,14 кг/м^2; 1,03 кг/м^2; 4340 ккал/м^2.

54. Ассоциация Nuphareto-Phragmitetum australis. Часто встречается на суженных участках русла р. Сок с сильным течением и быстрым нарастанием глубины от берега. В таких условиях сообщества тростника (проективное покрытие – 25-70%) с кубышкой желтой (5-80 %), доходящие до глубины 140 см, имеют ширину 2-3 м. В отдельных ценозах при слабом развитии кубышки обильны *Hydrocharis morsus-ranae* (5-80%), *Spirodela polyrhiza* (40-80%), *Lemna minor* (20-30%). При разреженном тростнике в сложении сообществ участвуют *Sparganium erectum* (до 20%), *Ceratophyllum demersum* (до 10%), *Potamogeton pectinatus* (до 5%), *Sagittaria sagittifolia* (до 3%) и другие макрофиты. Биомасса ценозов: 4,0 кг/м^2 (2,9-6,1 кг/м^2); 850 г/м^2; 760 г/м^2; 3220 ккал/м^2.

55. Ассоциация Equiseto fluviatilis-Phragmitetum australis. Занимает прибрежья с глубиной до 70 см и сильно заиленным дном. Проективное покрытие тростника - 70-90%, хвоща – 20-40%. Очень часто имеет высокое обилие ряска трехдольная (70-95%). На небольшой глубине обычна *Carex acuta* (до 10%) и различные гигрофиты. По уровню продуктивности ассоциация близка к предыдущей.

56. Ассоциация Scirpeto lacustris-Phragmitetum australis. Изредка встречается на илистых грунтах при глубине 0-80 см. Покрытие тростника – 60%, камыша озерного – 50%. Другие виды в сообществах большой роли не играют. Биомасса фитоценозов равна 6,6 кг/м^2 (4,0-8,3 кг/м^2); 2,26 кг/м^2; 2,08 кг/м^2; 8780 ккал/м^2.

57. Ассоциация Typheto angustifoliae-Phragmitetum australis. Встречается на песчаных, песчано-илистых и илистых грунтах при глубине до 1 м. Первый ярус таких сообществ, имеющий проективное покрытие 50-80% и высоту 1,5-2,5 м, сложен тростником и рогозом узколистным, к которым иногда примешивается *Phalaroides arundinacea*. Биомасса: 5,6 кг/м^2; 790 г/м^2; 736 г/м^2; 3105 ккал/м^2.

III. Класс формаций. Гигрогелофитная растительность – Aquiherbosa hygrohelophyta.

Данный класс формаций представляет экотонную растительность урезов воды. Относящиеся к нему фитоценозы характерны для пограничной линии между водой и сушей и мелководий с глубиной 10-20 (40) см. В условиях последних значительные по площади сообщества образуют лишь некоторые из гигрогелофитов.

22. Формация осоки острой – Cariceta acutae.

58. Ассоциация Caricetum acutae. Характерна для зоны уреза воды. В сообществах осоки острой (проективное покрытие около – 100%), встречаются многие береговые гигрофиты и мезофиты. Фитомасса сообществ равна 2,8 кг/м^2; 530 г/м^2; 485 г/м^2; 2050 ккал/м^2.

59. Ассоциация Equiseto fluviatilis-Caricetum acutae. Присуща узкой прибрежной полосе с глубиной воды до 30 см. Кроме осоки острой (60-90%), в фитоценозах существенна роль *Equisetum fluviatile* (до 20-40%), часто присутствуют *Phalaroides arundinacea* (до 15%), *Lythrum salicaria, Stachys palustris, Carex rostrata, C. vesicaria* (до 2-5%) и ряд

других береговых и водных растений. Биомасса: 5,3 кг/м^2; 1000 г/м^2; 920 г/м^2; 3880 ккал/м^2.

23. Формация ситняга болотного – Eleocharieta palustris.

60. Ассоциация Eleocharietum palustris. Широко распространена по урезу воды и на мелководьях с глубиной до 20-40 см. Видовой состав сообществ не богатый (до 10 видов). Проективное покрытие *Eleocharis paluctris* – от 10% до 60-80%. Средняя надземная фитомасса равна 1,1 кг/м^2; 210 г/м^2; 192 г/м^2; 810 ккал/м^2.

24. Формация полевицы побегообразующей – Agrosteta stoloniferae.

61. Ассоциация Agrostetum stoloniferae. Представлена почти чистыми сообществами с проективным покрытием полевицы 85-100%. Широко распространена по отмелям с глубиной 5-10 см. Обычно тянется очень узкой (около 0,5 м ширины) полосой вдоль обнаженных отлогих берегов, песчаных и каменистых кос, осередышей и пляжей. Средняя фитомасса ее сообществ равна 1,85 кг/м^2; 160 г/м^2; 107 г/м^2; 452 ккал/м^2.

Расположение и обилие сообществ приведенных выше ассоциаций определяют характер зарастания русла реки.

Зарастание водных объектов – процесс появления и развития растительного покрова на какой-либо акватории; длительный процесс трансформации водного объекта в торфяник в условиях ежегодного развития и отмирания в водоемах и водотоках водных растений, остатки которых заполняют их ложе. На реке процессы зарастания в принципе не могут привести к полному заполнению русла растительными остатками, поскольку водный поток задолго до этого пробьет себе новое русло, а староречья будут зарастать по озерному, а не по речному типу. Речной растительный покров находится в состоянии постоянного обновления и в целом отличается молодостью, для него характерна контрастная разновозрастность по участкам реки, обусловленная деятельностью русловых процессов. То есть, разновозрастность не последовательная, имеющаяся в сукцессионном ряду образующих зоны сообществ, а возникающая в результате постоянного появления и зарастания новых русловых участков.

На плесовых участках многих средних рек нередко можно встретить распределение водных и прибрежно-водных фитоценозов напоминающее типичное поясное. Но эта поясность (или зональность) очень часто представляет собой не сукцессионный ряд, а результат распределения растений разных экологических групп по оптимальным для них глубинам на начальном этапе заселения прибрежных мелководий нового участка русла реки, новых отмелей, кос, осередышей. И только в условиях речных заводей и заног, т.е. на участках долго не меняющего своего положения широкого русла (как с медленно, так и с быстро текущим водным потоком) начинается процесс наступления гелофитных сообществ на гидрофитные, т.е. идет процесс направленных смен фитоценозов.

Примеры ложно-сукцессионого и сукцессионного рядов водных и прибрежно-водных фитоценозов приведены на рис. 15 и 16, отображающим профили русла р. Сок на разных его участках. Первые – обычно короткие (неполночленные), представленные чистыми зарослями, двувидовыми контактными сообществами или маловидовыми монодоминантными ценозами, характеризующими первую фазу зарастания – фазу инвазии и формирования сообществ. Два таких ряда демонстрирует профиль А (177-й км р. Сок), на котором от левого берега к открытой воде идут сообщества: Potametum lucentis → Potameto lucentis-Nupharetum luteae → Nupharetum luteae (погруженный вариант); от правого берега - Phragmitetum australis → Nupharetum luteae.

Другие (профили Б-Г) – образованы сформированными многовидовыми сообществами и являют собой вторую фазу зарастания – фазу направленных смен фитоценозов. На многих водотоках Среднего Поволжья, в том числе и на р. Сок, первая фаза зарастания редко переходит во вторую. Для большинства рек характерно не поясное, а ленточное расположение фитоценозов, группировок и разрастающихся клонов макрофитов, которые, чередуясь, тянутся вдоль берегов водотоков. В этих ленточно-расположенных цено-

зах на достаточно интенсивно зарастающих реках или их участках хорошо прослеживаются эндоэкогенетические ряды постепенно усложняющихся сообществ одной формации, но не смен ценозов одной формации ценозами другой. Исключение составляют лишь такие средние реки, как р. Сок, на протяженных плесовых участках которой вторая фаза зарастания отмечается довольно часто. Но и здесь преобладает 2-3-зональное расположение фитоценозов над типичным для озер 3-5-зональным. Причем очень часто последовательность зон нарушена, и крайними в ряду фитоценозов чаще всего оказываются не погруженные гидрофиты, а растения с плавающими на воде листьями. Это хорошо видно по профилям, изображенным на рис. 15 и 16.

На профиле Б (рис. 15) (это, как и профили В и Г, 152-й км р. Сок – участок очень сильного зарастания) распределение сообществ от правого берега через осередыш к открытой воде следующее: Heteroherboso-Typhetum angustifoliae → Sparganietum erecti → Typheto angustifoliae-Phragmitetum australis → Typhetum angustifoliae → Ceratophyllo-Nupharetum luteae → Nuphareto-Typhetum angustifoliae → Phragmitetum australis → Potameto lucentis-Nupharetum luteae → Nupharetum luteae.

Профиль В (рис. 16) со сплошным зарастанием русла. Основной поток воды идет у правого берега, по направлению к которому от левого берега последовательно располагаются сообщества Sparganietum emersi → Sparganieto emersi-Nupharetum luteae → Nupharetum luteae → Potameto lucentis-Nupharetum luteae → Nupharetum luteae.

Профиль Г с осередышем и сплошным зарастанием (рис. 16). Поток разбит на две части. От правого берега к левому идут: Nupharetum luteae → Nupharetum luteae (погруженный вариант) → Nyphaeto-Nupharetum luteae → Lemno-Nupharetum luteae → Spiro-delo-Phragmitetum australis → Equiseto fluviatilis-Phragmitetum australis → Phragmitetum australis → Sparganieto emersi-Nupharetum luteae → Sparganietum emersi (гидрофитный вариант).

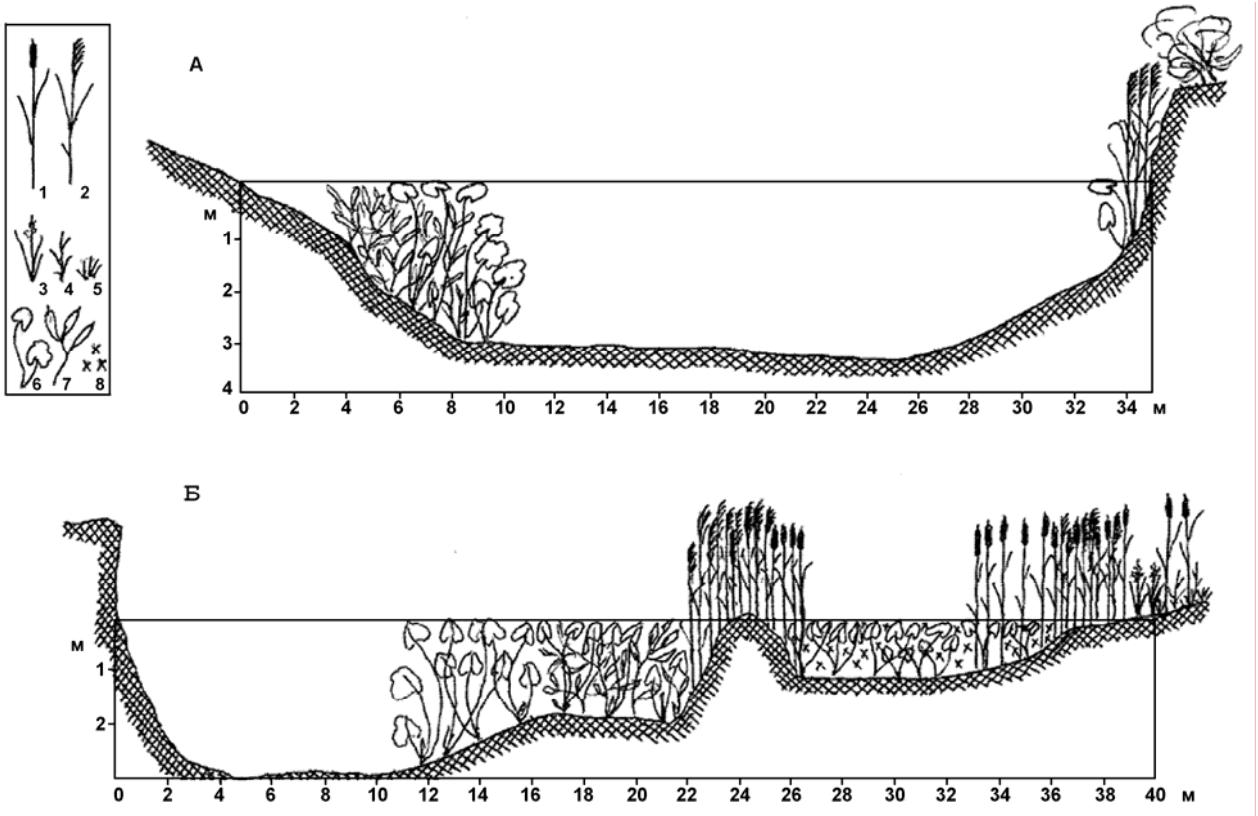


Рис. 15. Распределение сообществ макрофитов по ширине русла р. Сок (профили А и Б):
1 – рогоз узколистный, 2 – тростник южный, 3 – ежеголовник прямой, 4 – разнотравье, 5 – осоки, 6 – кубышка желтая (плавающий и погруженный лист), 7 – рдест блестящий, 8 – роголистник темно-зеленый.

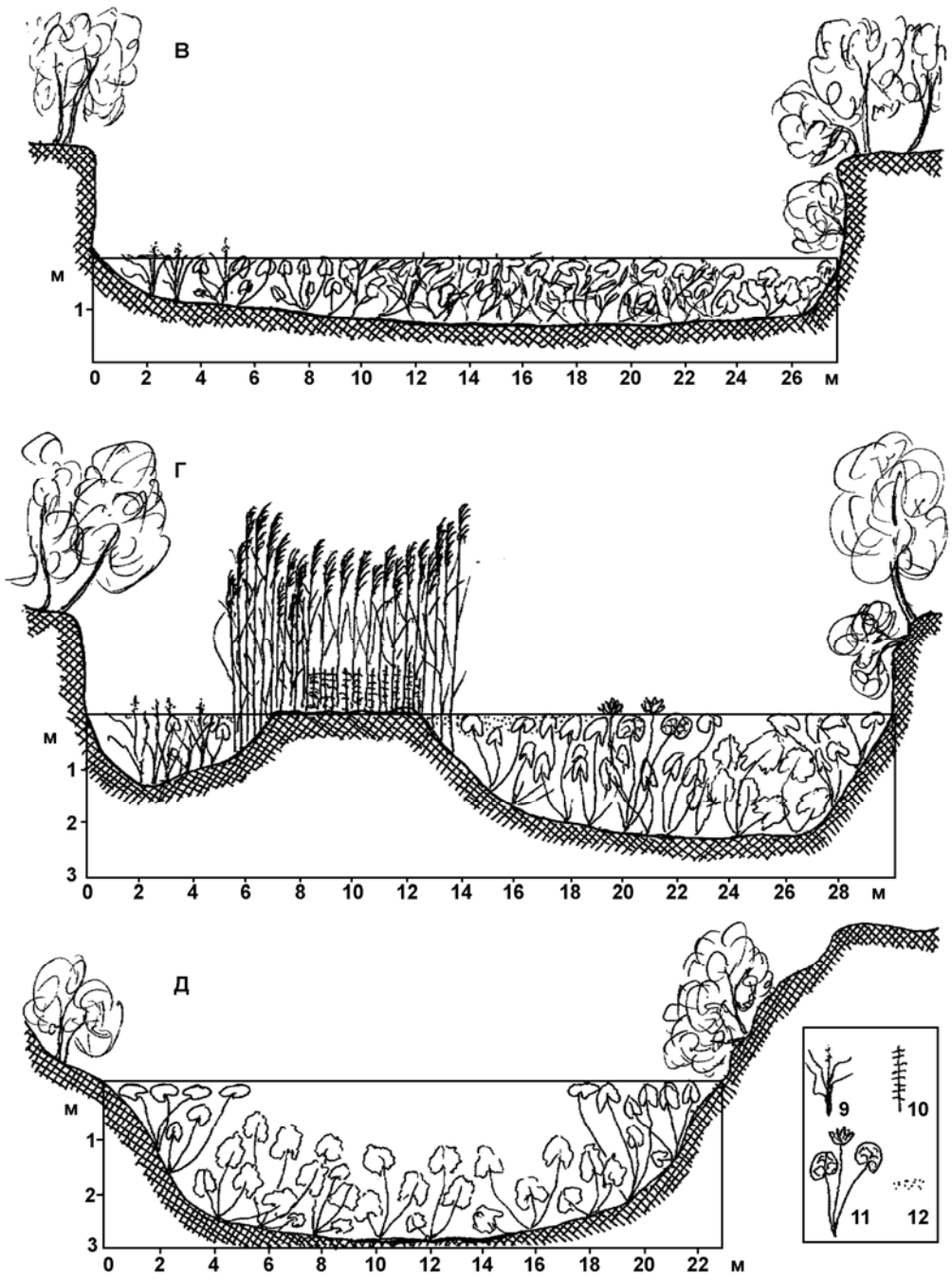


Рис. 16. Распределение сообществ макрофитов по ширине русла р. Сок (профили В-Д):
обозначения те же, что и на рис. 15, но дополнительно: 9 – ежеголовник всплывший, 10 – хвощ приречный, 11 – кувшинка чисто-белая, 12 – рясковые

Такая картина преобладания сообществ кубышки желтой и расположение их у границы полей макрофитов характерны практически для всех зарастающих средневолжских рек. Иногда, как крайний вариант, кубышка может занимать все живое сечение русла рек, что демонстрирует профиль Д, выполненный на 103-м км р. Сок (рис. 16).

Среди других сукцессионных рядов сообществ (без участия ценозов кубышки) в качестве наиболее часто встречаемых на плесовых участках реки можно отметить следующие: 1) Caricetum acutae → Lemno-Elodeetum canadensis → Ceratophylletum demersi; 2) Eleocharietum palustris → Butomo-Sagittarietum sagittifoliae → Potametum pectinati-perfoliati → Potametum perfoliati; 3) Hydroherboso-Sparganietum erecti → Potametum lucentis-perfoliati → Potametum lucentis; 4) Heteroherboso-Equisetetum fluviatilis → Phragmitetum

australis → Potametum pectinati; 5) Eleocharietum palustris → Equisetetum fluviatilis → Hydroherboso-Sparganietum emersi → Scirpetum lacustris → Potametum lucentis-perfoliati.

Последний вариант чаще встречается в речных заводях и заногах, для которых также характерны такие ряды, как: 1) Hydroherboso-Sparganietum erecti → Sagittarieto-Nupharetum luteae → Lemno-Nupharetum luteae → Ceratophylletum demersi; 2) Equisete-tum fluviatilis → Hydroherboso-Sparganietum emersi → Spirodelo-Myriophylletum spicati → Myriophylletum spicati; 3) Caricetum acutae → Lemno-Elodeetum canadensis → Elodeetum canadensis; 4) Equiseto fluviatilis-Caricetum acutae → Equiseto fluviatilis-Phragmitetum australis → Potametum lucentis-perfoliati → Potametum lucentis; 5) Typheto angustifoliae-Phragmitetum australis → Hydroherboso-Sparganietum erecti → Potametum perfoliati; 6) Caricetum acutae → Equisetetum fluviatilis → Nuphareto-Scirpetum lacustris → Potameto natanti-Nupharetum luteae → Potametum natantis и т.д.

На сильно зарастающих участках р. Сок хорошо видна значительная роль в сложении водных фитоценозов погруженной формы кубышки желтой и гидрофитных форм (развиваются только погруженные и плавающие на воде листья) стрелолиста обыкновенного, сусака зонтичного, ежеголовника всплывшего. Наиболее характерные для р. Сок, как и многих других рек Среднего Поволжья, формации макрофитов на условном профиле длительно зарастающего русла будут расположены следующим образом: Cariceta acutae (или сообщества гигрофитов) → Typheta angustifoliae (либо Phragmiteta australis или Scirpeta lacustris, либо Equiseteta fluviatilis) → Sparganieta erecti (Sagittarieta sagittifoliae, Sparganieta emersi) → Potametum perfoliati (P. pectinati, P. lucentis и т.п.) → Nupharetum luteae. То есть, по урезу воды располагаются осоки или береговые гигрофиты, далее идут высокотравные воздушно-водные растения, затем низкотравные гелофиты, погруженные укореняющиеся гидрофиты и кубышка. Это говорит о часто имеющей место невыдержанности сукцессионных рядов сообществ, в которых крайнюю позицию занимают не сообщества погруженных гидрофитов, а ценозы кубышки желтой.

Зарастание водоемов и водотоков – это прежде всего процесс продукционный. Именно продукционные характеристики отдельных растений и образуемых ими сообществ во многом определяют степень выраженности процесса, интегрированным выражением которого является показатель интенсивности зарастания, рассчитываемый в кг сырой надземной массы макрофитов на 1 м^2 акватории (Пф).

Значительной интенсивностью зарастания в бассейне выделяется р. Сургут (Пф = 3,74 кг/м^2). Река Сок относится к умеренно зарастающим водотокам (Пф = 2,97 кг/м^2), имеющим наряду с участками слабого и умеренного зарастания большие участки с зарастанием сильным и очень сильным. Прочие реки бассейна зарастают слабо (например, Пф р. Кондурчи = 1,05 кг/м^2). Запасы биомассы водных растений в руслах основных рек бассейна приведены в табл. 40.

Таблица 40. Запасы сырой надземной биомассы в руслах водотоков бассейна р. Сок

Река	Запасы биомассы по экогруппам, т							Всего, т	Биомасса		Длина участка реки, км
	1	2	3	4	5	6	7		т/км	кг/м^2	
Сок	305	6357	4072	57	1640	9735	597	22763	59,90	2,97	380
Сургут	0	75	239	10	261	2476	79	3140	31,4	3,74	100
Кондурча	18	13	109	16	136	1105	139	1536	4,8	1,05	320
По району	323	6445	4420	83	2037	13316	815	27439	34,3	2,30	800

Примечание: 1 – гидрофиты, свободно плавающие в толще воды, 2 – погруженные укореняющиеся гидрофиты, 3 – укореняющиеся гидрофиты с плавающими на воде листьями, 4 – гидрофиты, свободно плавающие на поверхности воды, 5 – низкотравные гелофиты, 6 – высокотравные гелофиты, 7 – гигрогелофиты.

Основной вклад в макрофитную продукцию р. Сок (в расчете на сырую надземную биомассу) дают 12 видов водных растений: рогоз узколистный (18,8%), тростник обыкновенный (18,0%), рдест гребенчатый (13,5%), кувшинка чисто-белая (12,0%), рдест блестящий (10,1%), кубышка желтая (5,2%), камыш озерный (4,9%), ежеголовник всплывший (4,1%), рдест пронзеннолистный (3,7%), роголистник темно-зеленый (1,3%), клубнекамыш морской (1,2%), ежеголовник прямой (1,0%). Прочие виды вместе дают 6,2% биомассы макрофитов реки и каждый из них менее 1%.

Большая часть растительной массы сосредоточена в русле реки ниже устья р. Сургут. Здесь два участка (между речкой Каменкой и д. Потаповка и в районе деревень Елшанка и Чекалино) с очень сильным зарастанием (Пф = 6,1 кг/м^2), между ними и выше до устья р. Сургут, а также ниже Каменки до с. Красный Яр расположены участки со значительной и сильной интенсивностью зарастания (3,6-4,7 кг/м^2), ниже Красного Яра до устья река практически не зарастает, выше р. Сургут река имеет слабое зарастание (1,2-1,6 кг/м^2) с одним участком ниже с. Исаклы умеренного зарастания (2,9 кг/м^2).

Таблица 41. Список флоры реки Сок

Таксоны	Экотип	р. Сок	Бассейн р. Сок
Equisetophyta			
Equisetaceae			
Equisetum arvense L.	V	2	2
E. fluviatile L.	II	4	5
E. palustre L.	IV	3	1
Polypodiophyta			
Salviniaceae			
Salvinia natans (L.) All.	I	2	2
Magnoliophyta			
Magnoliopsida			
Nymphaeaceae			
Nuphar lutea (L.) Smith	I	5	5
Nymphaea candida J. Presl.	I	5	5
Ceratophyllaceae			
Ceratophyllum demersum L.	I	4	5
Ranunculaceae			
Batrachium circinatum (Sibth.) Spach	I	1	1
B. divaricatum (Schrank) Wimm.	I	–	2
B. trichophyllum (Chaix) Bosch	I	3	2
Caltha palustris L.	III	1	1
Ranunculus lingua L.	III	1	1
R. repens L.	IV	2	2
R. sceleratus L.	III	3	3
Caryophyllaceae			
Myosoton aquaticum (L.) Moench	IV	1	1
Chenopodiaceae			
Chenopodium glaucum L.	IV	1	2
Polygonaceae			
Persicaria amphibia (L.) S.F. Gray	I	3	4
P. hydropiper (L.) Spach	IV	3	4
P. lapathifolia (L.) S.F. Gray	IV	1	3
P. maculata (Rafin.) A. et D. Love	IV	–	1
P. minor (Huds.) Opiz	IV	1	1
P. tomentosa (Schrank) Bicknell	IV	3	4
Rumex aquaticus L.	III	1	1
R. confertus Willd.	V	–	1
R. crispus L.	V	–	1
R. hydrolapathum Huds.	III	1	2
R. maritimus L.	IV	3	4

Продолжение табл. 41

Brassicaceae			
Cardamine amara L.	III	1	1
C. dentata Schult.	IV	1	2
Lepidium latifolium L.	IV	1	1
Rorippa amphibia (L.) Bess.	III	2	2
R. × anceps (Wahlenb.) Reichenb.	IV	–	1
R. brachicarpa (C.A. Mey.) Hayek	IV	–	2
R. palustris (L.) Bess.	IV	1	3
Salicaceae			
Salix alba L.	IV	1	2
S. cinerea L.	IV	2	2
S. dasyclados Wimm.	IV	–	1
S. pentandra L.	IV	–	1
S. × rubens Schrank	IV	–	2
S. triandra L.	IV	3	5
S. viminalis L.	IV	3	3
Primulaceae			
Lysimachia nummularia L.	IV	2	2
L. vulgaris L.	IV	2	2
Rosaceae			
Potentilla anserina L.	V	3	3
Lythraceae			
Lythrum salicaria L.	III	3	4
L. virgatum L.	IV	–	1
Onagraceae			
Epilobium adenocaulon Hausskn.	IV	3	3
E. hirsutum L.	IV	2	2
E. palustre L.	IV	–	1
E. pseudorubescens A. Skvortsov	IV	–	1
E. smyrneum Boiss. et Balansa	IV	1	1
E. tetragonum L.	IV	–	2
Haloragaceae			
Myriophyllum spicatum L.	I	4	4
M. verticillatum L.	I	3	3
Hippuridaceae			
Hippuris vulgaris L.	III	2	2
Apiaceae			
Cicuta virosa L.	III	1	1
Oenanthe aquatica (L.) Poir.	III	3	3
Sium latifolium L.	III	3	3
Rubiaceae			
Galium palustre L.	IV	3	3
G. trifidum L.	IV	–	1
G. uliginosum L.	IV	–	1
Boraginaceae			
Myosotis caespitosa K.F. Schultz	IV	2	2
M. palustris (L.) L.	IV	2	2
Symphytum officinale L.	IV	1	1
Solanaceae			
Solanun dulcamara L.	IV	2	2
Scrophulariaceae			
Limosella aquatica L.	IV	2	2
Veronica anagallis–aquatica L.	III	1	1
V. beccabunga L.	III	2	4
V. heureca (M. Fisch.) Tzvel.	IV	2	2
V. longifolia L.	V	–	1

Продолжение табл. 41

Lentibulariaceae			
Utricularia vulgaris L.	I	2	2
Lamiaceae			
Lycopus europaeus L.	IV	3	4
L. exaltatus L. fil.	IV	1	1
Mentha arvensis L.	IV	3	4
M. longifolia (L.) Huds.	IV	1	1
Scutellaria galericulata L.	IV	3	3
Stachis palustris L.	IV	3	4
Callitrichaceae			
Callitriche cophocarpa Sendtner	I	2	2
C. palustris L.	I	4	4
Asteraceae			
Bidens cernua L.	IV	3	3
B. radiata Thuill.	IV	1	1
B. tripartita L.	IV	3	3
Gnaphalium uliginosum L.	IV	3	3
Inula britannica L.	V	2	2
Petasites spurius (Retz.)Reichenb.	IV	3	3
Senecio tataricus Less.	IV	1	2
Tussilago farfara L.	V	1	1
L i l i o p s i d a			
Butomaceae			
Butomus umbellatus L.	II	4	5
Alismataceae			
Alisma gramineum Lej.	II	–	2
A. lanceolatum With.	II	–	1
A. plantago–aquatica L.	II	4	5
Sagittaria sagittifolia L.	II	5	5
Hydrocharitaceae			
Elodea canadensis Michx.	I	4	4
Hydrocharis morsus–ranae L.	I	4	4
Stratiotes aloides L.	I	–	1
Juncaginaceae			
Triglochin palustre L.	IV	2	2
Potamogetonaceae			
Potamogeton berchtoldii Fieb.	I	3	3
P. crispus L.	I	3	3
P. friesii Rupr.	I	2	2
P. lucens L.	I	5	5
P. natans L.	I	3	4
P. nodosus Poir.	I	3	3
P. pectinatus L.	I	5	5
P. perfoliatus L.	I	5	5
P. pusillus L.	I	2	2
P. trichoides Cham. et Schlecht.	I	2	3
Zannichelliaceae			
Zannichellia palustris L. s.l.	I	2	2
Najadaceae			
Najas major All.	I	2	2
Iridaceae			
Iris pseudacorus L.	III	3	3
Juncaceae			
Juncus ambiguus Guss.	IV	3	3
J. articulatus L.	IV	3	3
J. compressus Jacq.	IV	3	3

Окончание табл. 41

J. filiformis L.	IV	–	1
J. nastantus V.Krecz. et Gontsch.	IV	2	2
Cyperaceae			
Bolboschoenus maritimus (L.) Palla s.l.	III	3	3
B. planiculmis (F. Schmidt) Egor.	III	3	3
Carex acuta L.	III	4	5
C. acutiformis Ehrh.	III	3	3
C. cespitosa L.	IV	–	1
C. hirta L.	V	–	2
C. leporina L.	IV	–	1
C. pseudocyperus L.	IV	2	2
C. riparia Curt.	III	3	3
C. rostrata Stokes	III	2	2
C. vesicaria L.	III	3	3
Cyperus fuscus L.	IV	2	2
Eleocharis acicularis (L.) Roem. et Schult.	III	2	2
E. palustris (L.) Roem. et Schult.	III	4	5
Scirpus lacustris L.	II	5	5
S. sylvaticus L.	IV	3	5
S. tabernaemontani C.C. Gmel.	II	4	3
Poaceae			
Agrostis. gigantea Roth	V	1	2
A. stolonifera L.	III	3	4
Alopecurus aequalis Sobol.	IV	2	1
A. geniculatus L.	IV	–	1
Bromopsis inermis (Leyss.) Holub	V	1	1
Catabrosa aquatica (L.) Beauv.	III	–	3
Deschampsia cespitosa (L.) Beauv.	IV	–	1
Echinochloa crusgalli (L.) Beauv.	IV	2	2
Elytrigia repens (L.) Nevski	V	3	3
Glyceria fluitans (L.) R. Br.	III	2	2
G. maxima (C. Hartm.) Holmb	II	3	4
G. notata Chevall.	IV	–	1
Leersia oryzoides (L.) Sw.	IV	1	1
Phalaroides arundinacea (L.) Rauschert	IV	3	4
Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud.	II	5	5
Poa palustris L.	IV	2	1
Scolochloa festucacea (Willd.) Link	II	1	1
Araceae			
Calla palustris L.	III	–	1
Lemnaceae			
Lemna gibba L.	I	2	1
L. minor L.	I	5	5
L. trisulca L.	I	5	5
Spirodela polyrhiza (L.) Schleid.	I	5	5
Sparganiaceae			
Sparganium emersum Rehm.	II	5	5
S. erectum L.	II	3	4
S. neglectum Beeby	II	2	2
Typhaceae			
Typha angustifolia L.	II	5	5
T. latifolia L.	II	3	3
T. laxmannii Lepech.	II	–	1
		130	177

2.1.2. Растительный покров бассейна реки Сок

Бассейн р. Сок большей частью располагается в Самарской области и характеризуется высокой освоенностью – площадь сельскохозяйственных угодий составляет 10026,42 км^2, или 77,7% от всей территории (Атлас земель.., 2002). Сохранившаяся естественная растительность представлена в основном широколиственными, реже – сосново-широколиственными лесами, луговыми, каменистыми и кустарниковыми песчаными степями. Небольшая доля в сложении растительного покрова приходится на сообщества переувлажненных и водных биотопов.

Согласно ботанико-географическому районированию (Растительность европейской.., 1980), большая часть бассейна р. Сок лежит в зоне луговых степей, меньшая – в зоне широколиственных лесов и относится к Заволжско-Приуральской подпровинции Восточноевропейской лесостепной провинции Евразиатской степной области (табл. 43). С точки зрения почвенно-географического районирования бассейн р. Сок находится на границе Прикондурчинской лесостепи с преобладанием темно-серых почв и черноземов выщелоченных и лесостепи Высокого Заволжья с преобладанием темно-серых почв и черноземов обыкновенных. Кроме того, В.А. Носин (Почвы Куйбышевской.., 1949) отмечает для этой территории существенную долю почв с выраженными признаками гидроморфизма.

Таблица 42. Географическое положение бассейна р. Сок с учетом ботанико-географического районирования (по: Растительность европейской.., 1980)

Категории ботанико-географического районирования	Единицы ботанико-географического районирования					
	Бассейн р. Сок	Прилегающие к бассейну р. Сок				
		с севера		с юга	с запада	с востока
Область	Евразиатская степная	Евразиатская таежная	Европейская широколиственная	Евразиатская степная	Евразиатская степная	Евразиатская таежная
Провинция	Восточноевропейская лесостепная	Урало-Западносибирская таежная	Восточноевропейская	Заволжско-Казахстанская степная	Восточноевропейская лесостепная	Урало-Западносибирская таежная
Подпровинция	Заволжско-Приуральская	Камско-Печерская-Западноуральская	Среднерусская	Ергенинско-Заволжская	Среднерусская	Камско-Печерская-Западноуральская

Лесистость Сокского бассейна составляет более 15,1%, что превышает средний показатель для Самарской области – 12,8% (Государственный доклад.., 2010), достигая максимальной величины в северо-восточной части бассейна – Камышлинском (20,7%) и Шенталинском (24,9%) районах. Лесная растительность представлена как плакорными (водораздельными) лесами, прежде игравшими наибольшую роль в сложении растительного покрова, так и долинными лесами. Наибольшей лесистостью отличается междуречье Сока и Кондурчи, где леса встречаются разрозненными массивами, что характерно для всего бассейна в целом. Наиболее крупные лесные массивы расположены в окрестностях сел Бол. Микушкино, Ниж. Якушкино, Нов. Боголюбовка, Саперкино (Исаклинский район), Бол. Каменка (Красноярский район), с. Красный Городец, между селами Студеный Ключ и Отрада (Сергиевский район).

Помимо естественных лесных массивов на территории бассейна р. Сок высока доля искусственных насаждений, среди которых особое место занимает группа Шиланских лесных полос (Красноярский район), заложенная Н.К. Генко и объявленная памятником природы регионального значения (Реестр особо охраняемых.., 2010). Здесь представлены

насаждения из *Quercus robur* L., *Betula pendula* Roth, *Ulmus laevis* Pall., *Pinus sylvestris* L., *Acer platanoides* L., *Fraxinus lanceolata* Borkh. с примесью *Ulmus minor* Mill. и *Tilia cordata* Mill. Общая площадь лесных полос – около 1400 га (Хавроньин, 1995).

Широколиственные леса. Суровость климатических условий обуславливает отличительные особенности заволжских широколиственных лесов, в связи с чем дуб уступает или делит эдификаторную роль с липой (Растительность европейской.., 1980). Основными породами являются *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., *Acer platanoides* L. и *Populus tremula* L., к ним примешиваются *Betula pendula* Roth, *Ulmus laevis* Pall., на опушках – *Acer tataricum* L. Сообщества широколиственных лесов, как правило, одноярусные; подлесок различной густоты из *Corylus avellana* L., *Euonymus verrucosus* Scop., *Frangula alnus* Mill., *Padus avium* Mill., *Rhamnus cathartica* L., *Rosa majalis* Herrm., *Sorbus aucuparia* L., *Ulmus laevis* Pall., иногда – *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Woloszcz.) Klaskova, *Genista tinctoria* L., *Rubus idaeus* L., *Viburnum opulus* L.

Характерными местообитаниями широколиственных лесов являются равнинные территории междуречий, пологие водосборные склоны с темно-серыми умеренно-увлажненными лесными почвами на красноцветных глинах и тяжелых суглинках пермского периода (Природа Куйбышевской.., 1990), в долинах рек, балок и оврагов, большая их часть имеет вторичный характер. Эти темно-серые почвы выделяются в настоящее время в отдельный род (Абакумов и др., 2009) темно-серых краснопрофильных почв (фото 2, см. вклейку 1).

Для травянистого покрова широколиственных лесов характерна значительная степень участия лесостепных и степных видов. В роли доминантов и содоминантов зачастую выступают *Aegopodium podagraria* L., *Betonica officinalis* L., *Carex pilosa* Scop., *Convallaria majalis* L., *Galium odoratum* (L.) Scop., *Pteridium aquilinum* (L.) Kithn, *Stellaria holostea* L. Практически во всех сообществах встречаются *Carex rhizina* Blytt ex Lindbl., *Fragaria viridis* Duch., *Geum urbanum* L., *Glechoma hederacea* L., *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Melica nutans* L., *Poa nemoralis* L., *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *Pulmonaria obscura* Dumort., *Pyrethrum corymbosum* (L) Scop. При изреженном древесном ярусе происходит олуговение и остепнение, появляются такие виды, как *Achillea millefolium* L., *Adenophora liliifolia* (L.) A. DC., *Agrimonia eupatoria* L., *Artemisia vulgaris* L., *Astragalus cicer* L., *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Campanula bononiensis* L., *Centaurea scabiosa* L., *Dactylis glomerata* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Hypericum perforatum* L., *Origanum vulgare* L., *Poa angustifolia* L., *Sanguisorba officinalis* L., *Securigera varia* (L.) Lassen, *Vicia cracca* L., *Vincetoxicum albowianum* (Kusn.) Pobed., *Xanthoselinum alsaticum* (L.) Schur. По тенистым и более влажным участкам изредка встречаются такие виды, как *Actaea spicata* L., *Anemonoides ranunculoides* (L.) Holub, *Campanula glomerata* L., *C. rapunculoides* L. и *C. trachelium* L., *Corydalis solida* (L.) Clairv., *Galium boreale* L., *Heracleum sibiricum* L., *Milium effusum* L., *Paris quadrifolia* L., *Polygonatum multiflorum* (L.) All., *Rubus caesius* L., *R. saxatilis* L., *Scrophularia nodosa* L., *Viola mirabilis* L.

К редким и находящимся под угрозой исчезновения растениям, занесенным в Красные книги Российской Федерации (2008) и Самарской области (2007), относятся спорадически распространенные по всей территории Самарской области *Chrysocyathus vernalis* (L.) Holub, *Epipactis helleborine* (L.) Crantz., *Lilium martagon* L., *Majanthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt, *Fritillaria ruthenica* Wikatr., *Stipa pennata* L., *Lilium martagon* L., *Polemonium caeruleum* L., а также встречающиеся в основном в бассейне р. Сок *Cacalia hastata* L., *Pleurospermum uralense* Hoffm. и *Dictamnus gymnostylis* Stev.

Осветленные широколиственные леса тяготеют к водосборам, расчлененным густой сетью оврагов, балок и лощин, и приурочены к темно-серым и темно-серым краснопрофильным почвам и черноземам глинисто-иллювиальным и глинисто-иллювиальным краснопрофильным (Абакумов и др., 2010). Они представлены *дубравами коротконожковыми*, *орляковыми*, *бересклетово-ландышевыми*, *разнотравными*, а также *липово-*

ландышевыми, *липово-звездчатко-ландышевыми*, *лещиново-ландышевыми*, *кленово-подмаренниковыми.* По днищам балок и их северным склонам встречаются *дубравы кленово-снытево-ландышевые, орляково-ландышевые, кленово-лещиново-ландышевые, бересклетово-снытевые, снытево-ландышевые* и *снытевые*. Чистые дубовые леса практически не встречаются, что связано с хозяйственной деятельностью человека (вырубкой, пожарами, выпасом скота и пр.). Встречаются дубравы с примесью *Populus tremula* L. или *Betula pendula* Roth. На месте дубрав развиваются вторичные липовые, дубово-липовые, березово-липовые, кленово-липовые, липово-кленовые, дубово-кленовые, березовые и осиновые леса.

Широколиственные леса, в основном порослевого происхождения, слагаются кленово-липовыми сообществами, как правило, сильно затененными. Как и дубравы, по более холмистым местам обитания, на пологих склонах, переходящих в сглаженные лощины, встречаются кленовники, развивающиеся, в основном, на месте сведенных дубовых лесов. К клену иногда примешиваются *Tilia cordata* Mill., *Betula pendula* Roth и *Populus tremula* L. Подлесок в таких лесах развит слабо. Наиболее широко распространены *кленовники ландышевые* и *подмаренниковые*; по днищам и нижним частям склонов лесных оврагов и балок встречаются *кленовники липово-снытевые*.

Липовые леса приурочены к серым почвам и черноземам глинисто-иллювиальным оподзоленным. Помимо липы в сложении древесного яруса принимают участие *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L. и *Populus tremula* L. На пологих выровненных склонах водоразделов, а также на платообразных вершинах узких междуречий малых рек встречаются *липняки кленово-ландышевый*, *волосистоосоковый*, *кленово-звездчатковый*, *подмаренниковые*, *кленово-лещиново-ландышевый*, *лещиново-ландышевый*, *снытево-звездчатковый*, *лещино-подмаренниково-ландышевый*, *лещиново-звездчатково-подмаренниковый*, *осиново-лещиново-подмаренниково-ландышевый* и *осоково-снытевый*. В более влажных местах обитания встречаются *липняки снытевые* и *лещиново-снытевые*.

Осиновые леса произрастают по днищам лесных оврагов и балок, а также по западинам на водораздельных плато. В составе древостоя также встречаются *Acer platanoides* L. и *Tilia cordata* Mill., иногда выходя в роль доминантов, при этом травяной покров изреживается. В месте перехода водораздельных плато в склоны усиливается участие *Quercus robur* L., а на склонах с щебнистыми маломощными почвами возрастает обилие *Corylus avellana* L. Наиболее распространенными сообществами являются *осинники липово-подмаренниковые*, *лещиново-снытевые*, *липово-ландышевые*, *подмаренниково-звездчатковые*, *снытево-ландышевые*, *снытевые*.

На месте сведенных дубовых лесов и липняков возникают березняки, которые зачастую характеризуются разреженными древостоями паркового типа. К березе иногда примешиваются *Tilia cordata* Mill. и *Acer platanoides* L., единично – *Quercus robur* L. Весьма распространенными сообществами березняков являются *липово-подмаренниковые*, *коротконожковые* и *коротконожково-разнотравные*.

Байрачные леса встречаются по степным балкам (фото 3, см. вклейку 1), для которых, так же как для плакорных и долинных, характерно уменьшение количества неморальных европейских видов и увеличение роли лесостепных и степных элементов. Для этих лесов характерны темно-серые почвы с признаками гидроморфизма и темногумусовые стратоземы.

Большей частью байрачные леса представлены *дубняками чернокленовыми*, особенностью которых является присутствие *Acer tataricum* L., *Quercus robur* L., с участием в виде примеси *Tilia cordata* Mill., *Ulmus laevis* Pall., *Sorbus aucuparia* L., *Padus avium* Mill. Своеобразие условий местообитаний (особенности освещения, гидрологический режим и почвообразовательных процессы) накладывает отпечаток на характер лесов – они становятся разреженными и зачастую не образуют сомкнутого яруса. Изреженность древесных насаждений способствует проникновению под их полог степных кустарников – *Amygdalus nana* L., *Cerasus fruticosa* Pall., *Prunus spinosa* L., *Spiraea crenata* L. По крутым склонам

произрастают березняки и дубово-березовые леса. В травянистом ярусе наряду с *Aegopodium podagraria* L., *Carex pilosa* Scop., *Convallaria majalis* L., *Poa nemoralis* L., *Phlomoides tuberosa* (L.) Moench, *Pyrethrum corymbosum* (L.) Scop., *Viola mirabilis* L. встречаются узколистные злаки – *Festuca valesiaca* Gaudin., *Koeleria cristata* (L.) Pers., *Stipa lessingiana* Trin. et Rupr., *S. pennata* L. и др.

Сосновые леса располагаются в долинах рек Сок и Кондурча, произрастая на дерново-подзолах и темно-серых супесчаных почвах, сформировавшихся на древнеаллювиальных или эоловых дюнных песках и плотных карбонатных дериватах, а также на относительно выровненных платообразных склонах, сложенных дериватами красноцветных пород, преимущественно в средней части бассейна (Сергиевский и Клявлинский районы). Отдельные участки сосновых лесов объявлены памятниками природы: Сосновый древостой естественного происхождения, Бор-Игарский сосняк, Камышлинское чернолесье с остатками тайги, Калиновский ельник (Реестр особо охраняемых.., 2010).

Чистые сосновые леса встречаются редко, преимущественно здесь представлены сложные и остепненные боры с участием во втором ярусе *Betula pendula* Roth, *Tilia cordata* Mill. и *Populus tremula* L. Зачастую ярус подлеска почти не сформирован или весьма изрежен и представлен *Euonymus verrucosus* Scop., *Frangula alnus* Mill., *Rhamnus cathartica* L., *Rosa majalis* Herrm., *Sorbus aucuparia* L.; в подросте – *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth, *Populus tremula* L., иногда – *Tilia cordata* Mill. и *Quercus robur* L.

В травяном покрове часто в качестве доминантов и содоминантов выступают *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Convallaria majalis* L., *Pteridium aquilinum* (L.) Kithn; из злаков встречаются *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub, *Festuca valesiaca* Gaudin., *Koeleria glauca* (Spreng.) DC., *Melica nutans* L. и *M. transsilvanica* Schur; из разнотравья – *Acetosa pratenis* Mill., *Achillea millefolium* L., *Antennaria dioica* (L.) Gaertn., *Betonica officinalis* L., *Campanula persicifolia* L., *Carex rhizina* Blytt ex Lindbl., *Centaurea marschalliana* Spreng., *Dracocephalum ruyschiana* L., *Euphorbia semivillosa* Prokh., *Fragaria vesca* L., *F. viridis* Duch., *Galium odoratum* (L.) Scop., *Geranium sanguineum* L. и *G. sylvaticum* L., *Helichrysum arenarium* (L.) Moench., *Pilosella officinarum* F. Schulz et Sch. Bip., *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *Potentilla argentea* L., *Pseudolysimachion spicatum* (L.) Opiz., *Pulmonaria angustifolia* L., *Rubus saxatilis* L., *Solidago virgaurea* L., *Vincetoxicum hirundinaria* Medik., *Viola canina* L.; из бобовых – *Amoria fragifera* (L.) Roskov и *A. montana* (L.) Sojak, *Lathyrus vernus* (L.) Bernh. Показателем нарушенности сосновых лесов является присутствие в них таких сорно-рудеральных видов, как *Agrimonia eupatoria* L., *Artemisia austriaca* Jacq., *Cynoglossum offcinale* L., *Urtica dioica* L. и др.

Характерной особенностью сосновых лесов является относительно небогатый видовой состав, а в некоторых случаях и их остепнение, что выражается в наличии таких видов из кустарников и полукустарничков, как *Cerasus fruticosa* Pall., *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Woloszcz.) Klaskova, *Genista tinctoria* L., *Onosma simplicissima* L.; из разнотравья – *Asparagus officinalis* L., *Centaurea sumensis* Kalen., *Pimpinella saxifraga* L.

Среди растений, встречающихся в сосновых лесах бассейна р. Сок и занесенных в Красные книги Российской Федерации (2008) и Самарской области (2007): *Cephalanthera rubra* (L.) Rich., *Chimaphila umbellata* (L.) W. Barton, *Dictamnus gymnostylis* Stev., *Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br., *Hypopitys monotropa* Crantz, *Orthilia secunda* (L.) Garcke, *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Pulsatilla patens* (L.) Mill. и др. Здесь располагается крупнейший на юго-востоке Европейской России изолированный фрагмент ареала реликтового вида *Globularia punctata* Lapeyr.

Наиболее распространенными сообществами сосновых лесов являются *сосняки разнотравные*, тяготеющие к крутым дренированным склонам, *вишнево-ландышевые* (разновидностями данного сообщества являются *вишнево-разнотравный* и *осиново-вишнево-разнотравный*), *орляковые* и *вишнево-наземновейниковые*. При возрастании роли березы формируются сосново-березовые сообщества – *березово-вишнево-вейниковые*, *березово-вишнево-разнотравные*.

Луговые степи. Плакоры, лесные поляны и опушки, безлесные склоны водоразделов, днища балок и оврагов заняты различными сообществами луговых степей, представленными в основном ковыльно-богаторазнотравным, каменистым и кустарниковым, реже - песчаным вариантами. Они располагаются в местах распространения черноземов глинисто-иллювиальных, миграционно-мицелярных, иногда – дисперсно-карбонатных (фото 4, см. вклейку 1), различных по гранулометрическому составу.

Облик луговых степей формируют обильное многовидовое разнотравье и ковыли (аспектируют как перистые *Stipa lessingiana* Trin. et Rupr. и *S. pennata* L., так и неперистый *S. capillata* L.). Среди разнотравья явно выделяются и аспектируют весной *Chrysocyathus vernalis* (L.) Holub, *Potentilla arenaria* Borkh., представители родов *Gagea* Salisb., *Viola* L., *Allysum* L.; летом – *Filipendula vulgaris* Moench, *Fragaria viridis* Duch., *Galium verum* L., *Gypsophila altissima* L., *Medicago falcata* L., *Melampyrum argyrocomum* (Fisch. ex Ledeb.) K.-Pol., *Salvia nutans* L. и *S. tesquicola* Klok. et Pobed., *Scabiosa ochroleuca* L., *Thymus marschallianus* Willd. и *T. bashkiriensis* Klok. et Shost., *Trifolium alpestre* L., *T. medium* L. и *T. pratense* L.; поздним летом и в начале осени – *Aster amellus* L., *Galatella villosa* (L.) Reichenb. fil. и *G. angustissima* (Tausch) Novopokr. (фото 5, см. вклейку 1).

В травостое с разной степенью обилия обязательно присутствуют корневищные злаки *Agropyron pectinatum* (Bieb.) Beauv., *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub и *B. riparia* (Rehm.) Holub, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Schedonorus pratensis* (Huds.) Beauv. и дерновинные *Dactylis glomerata* L., *Poa angustifolia* L., *Festuca valesiaca* Gaudin., *Helictotrichon pubescens* (Huds.) Pilg., *Phleum phleoides* (L.) Karst. Из бобовых - *Amoria repens* (L.) Presl, *Astragalus austriacus* Jacq., *A. cicer* L. и *A. testiculatus* Pall., *Medicago lupulina* L., *Melilotus albus* Medik. и *M. officinalis* (L.) Pall., *Vicia cracca* L. Разнотравье представлено *Achillea millefolium* L. и *A. setacea* Waldst. et Kit., *Agrimonia eupatoria* L., *Anthemis tinctoria* L., *Asparagus officinalis* L., *Campanula sibirica* L., *Centaurea ruthenica* Lam., *C. scabiosa* L. и *C. sumensis* Kalen., *Cichorium intybus* L., *Cirsium esculentum* (Siev.) C.A. Mey., *Dracocephalum ruyschiana* L., *Euphorbia virgata* Waldst. et Kit., *Falcaria vulgaris* Bernh., *Fragaria viridis* Duch., *Inula aspera* Poir., *Galium tinctorium* (L.) Scop., *Geranium sanguineum* L., *Odontites vulgaris* Moench, *Ononis arvensis* L., *Pastinaca sativa* L., *Potentilla argentea* L., *Pyrethrum corymbosum* (L.) Scop., *Salvia verticillata* L., *Senecio jacobaea* L. и *S. schvetzovii* Korsh., *Verbascum lychnitis* L., *Knautia arvensis* (L.) Coult, *Lavatera thuringiaca* L., *Picris hieracioides* L., *Pimpinella saxifraga* L., *Phlomoides tuberosa* (L.) Moench, *Plantago media* L., *Stachys recta* L., *Tanacetum vulgare* L., *Taraxacum serotinum* (Waldst. et Kit.) Poir., *Thalictrum minus* L., *Trommsdorfia maculata* (L.) Bernh., *Viscaria viscosa* (Scop.) Aschers.

Одной из характерных черт луговых степей является уменьшение роли европейских и увеличение восточноевропейско-азиатских элементов. Такие европейски виды, как *Salvia pratensis* L., *Galatella lynosiris* (L.) Reichenb. fil. и *Euphorbia zhiguliensis* Prokh., имеют в Заволжье ограниченное распространение, и, напротив, виды преимущественно азиатского происхождения в Предволжье становятся редкими: *Aconogonon alpinum* (All.) Schur, *Allysum lenense* Adams, *Artemisia armeniaca* Lam., *A. latifolia* Ledeb., *A. sericea* Web., *Astragalus helmii* Fisch., *Camphorosma songorica* Bunge, *Carex pediformis* C.A. Mey., *Goniolimon elatum* (Fisch. ex Spreng.) Boiss., *Hedisarum razoumovianum* Fisch. et Helm., *Helictotrichon schellianum* (Hack.) Kitag. и *H. desertorum* (Less.) Nevski *Linum uralense* Juz., *Scabiosa isetensis* L., *Stipa anomala* P. Smirn. и *S. korshinskyi* Roshev. Такие виды, как *Eremogone coriniana* (Fisch. ex Fenzl) Ikonn., *Medicago cancellata* Bieb., *Oxytropis hippolyti* Boriss. и *O. spicata* (Pall.) O. et B. Fedtsch., *Thymus bashkiriensis* Klok. et Shost., не переходят р. Волгу. Другим ярким примером, отмеченным нами ранее (Сенатор и др., 2010), является резкое снижение видового состава и активности в Заволжье неморальной ранневесенней свиты эфемероидов – представителей родов *Anemonoides* Mill., *Corydalis* DC., *Gagea* Salisb. и других видов (*Aconitum septentrionale* Koelle, *Actaea spicata* L., *Asarum europaeum* L. и др.). С другой стороны, виды восточной миграции в Заволжье обычны, но, переходя

р. Волгу, становятся малочисленными и неактивными (*Alyssum lenense* Adams., *Clausia aprica* (Stephan) Korn.-Trotzk., *Scabiosa isetensis* L. и др.). На эту отличительную особенность луговых степей обратила внимание Т.И. Исаченко (Растительность европейской.., 1980).

Наиболее характерными сообществами луговых степей являются *разнотравно-ковыльные* (*Stipa pennata* L. и *S. lessingiana* Trin. et Rupr.), *разнотравно-тырсовые*, *типчаково-разнотравные*, *солонечниково-ковыльные* (*Stipa pennata* L., *S. pulcherrima* Koch.) *опушенноовсецово-разнотравные*, *вейниково-разнотравные*, *разнотравно-узколистномятликовые*, *ковыльно-типчаковые* (*Stipa capillata* L., *S. lessingiana* Trin. et Rupr., *S. zalesskii* Wilensky), *полынково-тимьяново-ковыльные* (*Thymus bashkiriensis* Klok. et Shost., *Stipa pennata* L. и *S. lessingiana* Trin. et Rupr.), *стоповидноосоково-ковыльные* (*Stipa pennata* L., *S. lessingiana* Trin. et Rupr.) сообщества; по опушкам встречаются *кострецово-разнотравные* (*Bromopsis inermis* (Leys.) Holub) и *лабазниково-узколистномятликовые* сообщества. В результате хозяйственной деятельности (выпас скота, распашки, пожары и пр.) происходит выпадение характерных видов ковылей, разнотравья и сообщества заменяются маловидовыми – *тырсово-типчаковыми*, *полынково-типчаковыми* и др. Увеличивается обилие и роль однолетних и малолетних растений: *Draba nemorosa* L., *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., *Alyssum desertorum* Staph, *Androsace maxima* L., *Meniocus linifolius* (Steph.) DC., *Berteroa incana* (L.) DC. и пр. На более нарушенных участках возрастает роль сорных и непоедаемых, зачастую колючих растений – *Carduus acanthoides* L. и *C. crispus* L., а также *Artemisia absinthium* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., виды родов *Polygonum* L., *Plantago* L.

Кустарниковые степи. Участки кустарниковых степей чаще встречаются по склонам речных долин и балок, весьма редко – на плакорах, на почвах черноземного типа, иногда могут занимать и более бедные субстраты (органо-аккумулятивные серогумусовые и темно-гумусовые почвы на различных породах). Для них, помимо присутствия кустарников (*Caragana frutex* (L.) C. Koch., *Cerasus fruticosa* Pall., *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Woloszcz.) Klaskova, *Genista tinctoria* L., *Spiraea crenata* L. и *S. hypericifolia* L., *Prunus spinosa* L.), характерно наличие степных злаков и разнотравья. Одними из наиболее распространенных сообществ являются *тырсово-узколистномятликовые с чилигой*, *полынково-типчаково-ковыльные с участием кустарников* и пр. Состав травяного яруса несколько схож с луговыми степями, из злаков здесь отмечаются *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Stipa capillata* L., из разнотравья - *Knautia arvensis* (L.) Coult., *Lavatera thuringiaca* L., *Origanum vulgare* L., *Phlomoides tuberosa* (L.) Moench, *Securigera varia* (L.) Lassen, *Seseli libanotis* (L.) Koch, *Stachys recta* L., *Veronica teucrium* L., *Xanthoselinum alsaticum* (L.) Schur и др.

Каменистые степи. Под каменистыми степями подразумевается особый тип растительности, покрывающий каменистые вершины и склоны холмов в степной области на востоке европейской части России (Коржинский, 1901). Участки каменистых степей приурочены к щебнистым маломощным почвам (петроземам, литоземам и темно-гумусовым краснопрофильным) и обнажениям пород и наиболее часто встречаются по крутым склонам южной экспозиции (фото 6, см. вклейку 1). Растительные сообщества каменистых степей Заволжья изучены недостаточно (Матвеев и др., 1979; Ильина и др., 2005 и др.). Большая часть сообществ каменистых степей занесена в «Зеленую книгу Самарской области» (2006). Из злаков здесь представлены *Agropyron pectinatum* (Bieb.) Beauv., *Festuca valesiaca* Gaudin., *Koeleria cristata* (L.) Pers., *Stipa korshinskyi* Roshev.; из разнотравья – *Campanula sibirica* L., *Carex pediformis* C.A. Mey., *Centaurea sumensis* Kalen., *Echinops ruthenicus* Bieb., *Euphorbia seguieriana* Neck., *Galium octonarium* (Klok.) Soo, *Pimpinella tragium* Vill., *Salvia stepposa* Shost., *Scabiosa ochroleuca* L., *Scorzonera purpurea* L., *Vincetoxicum albowianum* (Kusn.) Pobed.; из полукустарничков – *Onosma simplicissima* L., *Scabiosa isetensis* L., *Thymus marschallianus* Willd. По нарушенным участкам встречаются

Artemisia absinthium L. и *A. austriaca* Jacq., *Berteroa incana* (L.) DC., *Consolida regalis* S.F. Gray, *Polygonum aviculare* L., *Setaria pumila* (Poir.) Schult.

Ряд видов растений луговых, кустарниковых и каменистых степей считаются редкими и находятся под угрозой исчезновения, они занесены в Красные книги Российской Федерации (2008) и Самарской области (2007): *Alyssum gymnopodum* P. Smirn., *Aster alpinus* L., *Campanula wolgensis* P. Smirn., *Chrysocyathus vernalis* (L.) Holub и *Ch. volgensis* (DC.) Holib., *Ephedra distachya* L.*Gladiolus tenuis* Bieb., *Globularia punctata* Lapeyr., *Linum flavum* L.*, Stipa korshinskyi* Roshev., *S. pennata* L., *S. pulcherrima* C. Koch, *Thymus bashkiriensis* Klok. et Shost. и пр.

Песчаные степи. Имеют ограниченное распространение на рассматриваемой территории и располагаются в основном в нижнем течении рек Сок и Кондурча. Занимают песчаные и легкосупесчаные почвы с низким содержанием гумуса и с признаками оподзоливания, возникшие, по-видимому, на месте сведенных сосновых лесов. Отличительной чертой песчаных степей является, как правило, значительная изреженность сообществ и бедность видового состава.

Наиболее характерными видами данного варианта степной растительности являются *Achillea nobilis* L., *Artemisia marschalliana* Spreng., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Chondrilla juncea* L., *Dianthus arenarius* L. *Festuca polesica* Zapal., *Helichrysum arenarium* (L.) Moench., *Herniaria glabra* L., *Kochia laniflora* (S.G. Gmel.) Borb., *Koeleria sabuletorum* (Domin) Klok., *Linaria vulgaris* Mill., *Poa angustifolia* L., *Polygonum aviculare* L., *Potentilla arenaria* Borkh. и *P. humifusa* Willd. ex Schlecht., *Sedum acre* L., *Stipa pennata* L.; из кустарников – *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Woloszcz.) Klaskova.

На территории бассейна р. Сок зарегистрированы степные растительные сообщества, признанные нуждающимися в охране (Зеленая книга.., 2006): злаково-разнотравно-полынковые с прутняком, тонконогово-полынковые, ковылково-разумовско-копеечниковые, кострецово-солонечниковые, кострецово-тырсовые, солонечниково-ковылковые, солонечниково-типчаковые, солонечниково-тырсовые, крупноцветковоко-пеечниково-ковылковые, остролодочниково-типчаковые, перистоковыльно-солонечниковые, перистоковыльно-тимьяновые, перистоковыльно-эфедровые, полынково-солонечниковые, полынно-солонечниковые с эфедрой (хвойником двуколосковым), подмаренниково-разнотравные, разнотравно-тонконоговые, разнотравно-тонконогово-типчаковые, разнотравно-перистоковыльные, разнотравно-полынковые с эфедрой, разнотравно-типчаковые с участием степных кустарников, скабиозово-полынковые, типчаково-ковылковые, типчаково-тырсовые, чабрецово-ковылковые, яркоцветноостролодочниковые.

Растительность пойм. Представлена разнотравно-злаковыми лугами и пойменными лесами, получившими наибольшее распространение в долине р. Сок. Располагается на почвах от черноземовидных (аллювиальных серо-гумусовых и темно-гумусовых, органо-аккумулятивных серо-гумусовых) до болотистых, иногда чередуясь с пятнами солонцеватых почв и солонцов темных и солонцов квазиглеевых (фото 7 и 8; см. вклейку 1).

В речных поймах распространена луговая растительность, представленная на более сухих участках клеверо-полевицевыми и разнотравно-узколистномятликово-пырейными, узколистномятликово-безостнокострецовыми, разнотравно-узколистномятликово-безостнокострецовой, разнотравно-безостнокострецовыми, а в приречных участках – сообществами камыша лесного с некоторыми осоками, осоково-разнотравно-злаковыми, разнотравно-полевицевыми, разнотравно-осоковыми, лисохвостовыми, осоковыми, ситняговыми, мятликовыми лугами.

Лугам сопутствуют пойменные леса, по опушкам которых встречаются заросли кустарников. В прирусловой части, как правило, встречаются осокоревые и ветловые леса со слаборазвитым подлеском, в притеррасной части – черноольховые леса, а в условиях, переходных от прирусловых к центральным, – вязовые. Наиболее часто встречающимися лесными сообществами являются ольховые, пушистоберезово-ольховые, ольхово-

вязовые, осинники, липовые, осиново-липовые, ивово-березовые, ветлово-осокоревые. В нижнем течении р. Сок распространение получили дубовые и вязовые леса.

Древесный ярус пойменных лесов состоит из *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Betula pendula* Roth и *B. pubescens* Ehrh., *Populus tremula* L., *P. nigra* L., *Quercus robur* L., *Salix acutifolia* Willd., *S. alba* L., *Tilia cordata* Mill., *Ulmus laevis* Pall. В подлеске – *Salix cinerea* L., *S. triandra* L., *S. viminalis* L., *Crataegus sanguinea* Pall., *Rhamnus cathartica* L., *Frangula alnus* Mill., *Acer tataricum* L., *Padus avium* Mill., *Ribes nigrum* L., *Cerasus fruticosa* Pall., *Spiraea crenata* L., *Euonymus verrucosus* Scop., *Rosa majalis* Herrm., *Rubus caesiu*s L. При этом приречные участки пойменных лесов характеризуются полным или почти полным отсутствием подлеска, а видовой состав кустарников наиболее богат и разнообразен в дубравах и вязовых лесах, а также на суходольных лугах.

Для травяного покрова характерно сочетание гигро- и мезофильных видов (*Agrostis gigantea* Roth, *A. stolonifera* L., *Calamagrostis canescens* (Web.) Roth, *Cenolophium denudatum* (Hornem.) Tutin, *Convallaria majalis* L., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Galium boreale* L., *G. rubioides* L., *Impatiens noli-tangere* L., *Lythrum salicaria* L., *Inula helenium* L., *Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert, *Poa palustris* L.), с мезоксерофильными и ксерофильными (*Achillea millefolium* L., *Artemisia vulgaris* L., *Asparagus officinalis* L., *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Cichorium intybus* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Festuca sulcata* (Hackel.) Nym., *F. valesiaca* Gaudin., *Hordeum bogdanii* Wilensky, *Limonium gmelinii* (Willd.) O. Kuntze, *Poa angustifolia* L., *Salvia tesquicola* Klok. et Pobed.). В нарушенный травостой происходит внедрение сорно-рудеральных растений.

В.Е. Тимофеевым (1961) детально изучена долина р. Сок, и на основе закономерностей размещения растительных комплексов по элементам рельефа были выделены четыре «растительных района»: 1 – от восточной границы Самарской (ранее Куйбышевской) области до с. Ново-Ермаково (Камышлинский район), 2 – между селами Ново-Ермаково и Исаклы (Камышлинский и Исаклинский районы), 3 – между селами Исаклы и Сергиевск (Исаклинский и Сергиевский районы), 4 – от с. Сергиевск до устья реки (Сергиевский и Красноярский районы).

Особенности растительного покрова засоленных экотопов долины р. Сок, а также прибрежно-водная и водная растительность рассмотрены в главе 2 (подразделы 2.1.1 и 2.1.3) настоящей монографии.

Растительный покров бассейна р. Сок сильно преобразован в результате хозяйственной деятельности человека. Об этом можно судить по степени трансформации природных ландшафтов, участии синантропных сообществ и сегетально-рудеральных видов в сложении растительного покрова, а также по площади и репрезентативности особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

Степень антропогенной трансформации природно-территориальных комплексов бассейна р. Сок можно выразить через коэффициент антропогенной трансформации природных комплексов, представляющий собой отношение суммы площадей «антропогенных» земельных угодий (пашня, земли под дорогами и застройкой, нарушенные земли и пр.) к сумме площадей «природных» угодий (земли с естественным или искусственно созданным растительным покровом, водной поверхностью и пр.). Согласно данным (Атлас земель.., 2002), коэффициент антропогенной трансформации природных комплексов достигает максимальных показателей в Елховском и Челно-Вершинском административных районах, минимальные значения характерны для Исаклинского, Красноярского и Шенталинского районов (табл. 43). Средний показатель для территории бассейна р. Сок составляет 1,5, что несколько ниже среднего значения для Самарской области в целом (1,6).

Значительную часть сельскохозяйственных угодий в бассейне р. Сок составляет пашня – 73,7%, пастбища и сенокосы занимают 25,4% (Атлас земель.., 2002).

Таблица 43. Антропогенная трансформация природных ландшафтов в административных районах Самарской области, расположенных в бассейне р. Сок (по: Атлас земель.., 2002)

Административный район	Общая площадь района, га	Коэффициент трансформации природных ландшафтов	Земельные угодья	
			«природные», га	«антропогенные», га
Елховский	120 112	2,2	37 504	82 608
Исаклинский	157 730	1,2	71 599	86 131
Камышлинский	82 348	1,3	35 975	46 373
Клявлинский	125 555	1,4	51 840	73 715
Кошкинский	164 663	2,0	54 102	110 561
Красноярский	247 889	1,2	115 281	132 608
Сергиевский	275 571	1,5	108 141	167 430
Челно-Вершинский	116 235	2,2	36 656	79 579
Шенталинский	133 816	1,2	60 715	73 101
Итого:	1 423 919	1,5	571 813	852 106

В среднем и верхнем течении р. Сок пахотные земли занимают выположенные вершинные поверхности и пологие слабо расчлененные склоны междуречий, а также речные террасы. В нижнем течении р. Сок и бассейне р. Кондурча они располагаются на широких плоских и плоско-выпуклых вершинных поверхностях междуречий и широких речных террасах. Распаханность территории в нижнем течении рек Сок и Кондурча составляет менее 50%, в верхнем и среднем течении р. Сок – 50-60%, в среднем и верхнем течении р. Кондурча – 60-70%. Пахотные и залежные земли подвергаются интенсивным эрозионным процессам (фото 9, см. вклейку 1).

Наибольшее распространение пастбища получили в среднем и верхнем течении р. Сок, занимая переувлажненные участки речных пойм и днища крупных балок и оврагов, достигая 25-28% удельного веса в площади сельскохозяйственных угодий. В нижнем течении рек Сок и Кондурча пастбища, как правило, занимают склоны наиболее крупных оврагов, их доля составляет здесь 20-30%. Минимальная площади пастбищные земли занимают в верховьях р. Кондурча 18-20%. Сенокосы получили наибольшее распространение в среднем течении р. Сок, занимая переувлажненные участки речной долины, однако доля их в общей площади сельскохозяйственных угодий незначительна, максимальные значения составляют около 3,0%.

Сообщества синантропной растительности не были предметом специального изучения на рассматриваемой территории, однако отдельные сведения о сегетально-рудеральных и адвентивных видах можно найти в работах С.В. Саксонова с соавторами (2005, 2007) и Н.С. Ильиной с соавторами (2008). Эти сообщества получили широкое распространение в бассейне р. Сок и приурочены прежде всего к населенным пунктам, транспортным коммуникациям, местам рекреации и прочим хозяйственно освоенным землям. В их состав входят как апофитные виды (*Artemisia austriaca* Jacq., *Cichorium intybus* L., *Carduus acanthoides* L., *Pastinaca sativa* L., *Arctium tomentosum* Mill. и др.), так и адвентивные, представляющие большую угрозу для аборигенной флоры. Среди последних – *Acer negundo* L., *Amaranthus retroflexus* L., *Ambrosia trifida* L., *Atriplex patens* (Litv.) Iljin, *Bromus arvensis* L. и *B. japonicus* Thunb., *Camelina silvestris* Wallr., *Cannabis ruderalis* Janisch., *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Consolida regalis* S.F. Gray, *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv., *Sonchus arvensis* L., *Stachys annua* (L.) L., *Thlaspi arvense* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Viola arvensis* Murr. и др. Низкая культура земледелия и землепользования, высокая плотность транспортных магистралей, отведение площадей под строительные и промышленные площади позволяют этим сообществам занимать все бóльшие территории.

В настоящее время не известно более эффективной системы охраны растительного покрова, чем организация особо охраняемых природных территорий. В бассейне р. Сок

ООПТ представлены 58 памятниками природы регионального значения, из которых 56 расположены на территории Самарской области и 2 – на территории Оренбургской. Общая площадь ООПТ составляет 93,68 км^2, или 0,8% от площади бассейна р. Сок (средний показатель для Самарской области – 2,5%).

Среди памятников природы лесной растительности – Калиновский ельник (Шенталинский район), Микушкинская тенистая дубрава, Микушкинский липовый древостой (Исаклинский район), Камышлинская кленово-ясменниковая дубрава, Камышлинское чернолесье с остатками тайги (Камышлинский район), Дубовый древостой, Дубовый древостой, смешанный с липой и кленом (Красноярский район). Наиболее сохраненные лесные массивы имеются также на территории комплексных памятников природы Дубрава водоохранная (Челно-Вершинский район), Ульяновско-Байтуганское междуречье (Клявлинский район) и др. К группе степных памятников природы можно отнести Гору Высокую и Горную степь на р. Казачке (Сергиевский район).

К группе водных памятников природы относятся различные родники, источники и озера, например: Якушкинский серный источник и Ключ Студеный в окрестностях Серноводска (Сергиевский район), родники Озын-тау и Шарлак (Камышлинский район), озера Голубое (Сергиевский район), Молочка и Солодовка (Исаклинский район). К комплексным памятникам природы относятся Дубрава водоохранная (Челновершинский район), Нефтяной овраг (Сергиевский район), Ульяновско-Байтуганское междуречье (Клявлинский район), Ольхово-березовая пойма (Исаклинский район), Гора Куротас-Чагы (Камышлинский район), Царев Курган (Красноярский район), Верховье реки Козловки (Кинель-Черкасский район) и др.

При всех своих несомненных достоинствах сеть ООПТ в бассейне р. Сок несовершенна. На наш взгляд она не отражает всего ландшафтного и биологического разнообразия бассейна р. Сок – отдельные местности заслуживают сохранения сложившихся природно-территориальных комплексов. Так, нами (Саксонов и др., 2007) предложено считать заповедным район, в котором расположен памятник природы Озеро Молочка (фото 10, см. вклейка 1). Данный район находится в границах ветланд Солодовка – устье р. Черной – оз. Молочка и представляет собой водно-болотный комплекс Солодовка с растительными сообществами его склонов, озеро Молочка и прилегающее к нему болото, а также растительные сообщества шихана у впадения р. Черной в р. Сургут.

2.1.3. Характеристика растительности засоленных экотопов долины реки Сок

Исследования растительного покрова проводились в долине р. Сок в Сергиевском районе Самарской области. В геоморфологическом отношении изученная территория находится в провинции Высокого Заволжья, и делится р. Сок на левобережье, или водораздел рек Сок–Большой Кинель и правобережье – водораздел рек Сок-Кондурча. В свою очередь, левобережная часть территории расчленяется на более мелкие участки реками Сургут и Шунгут. В ботанико-географическом отношении рассматриваемая территория располагается в лесостепной зоне (Геоботаническое районирование.., 1947).

На изученном участке долины р. Сок наибольшее распространение имеют луговые степи и их петрофитный вариант. Луговые степи представлены главным образом богаторазнотравно-типчаково-ковыльными сообществами, они сопровождают леса, образуя поляны и опушки. Петрофитные степи чаще встречаются по склонам холмов, сыртов и речных долин. В травостое степей преобладают ковыли, типчак и большое количество видов мезофильного разнотравья (лабазник шестилепестный, клевер горный, подмаренник настоящий, шалфей луговой, мордовник обыкновенный, оносма простейшая, грудница мохнатая, различные виды астрагалов, ирис низкий, люцерна румынская и т.д.). Для них также характерны заросли степных кустарников, растущих в основном на склонах водоразделов, балок и долин, вблизи лесных опушек и различного рода понижениях.

Среди лесов преобладают широколиственные леса, в прошлом главным образом с господством дуба черешчатого. Спутниками дуба являются клен платановидный, вязы шершавый и гладкий, яблоня дикая; из кустарников – лещина обыкновенная и бересклет бородавчатый. Одновременно наблюдается проникновение под полог дубовых лесов боярышника кровяно-красного, свидины, жимолости татарской. Встречаются здесь и липовые леса, которые в настоящее время занимают значительно больший процент площади по сравнению с дубовыми лесами. В состав липняков входят: липа мелколистная, дуб обыкновенный, в небольшом количестве – клен платановидный, береза повислая и осина. Подлесок этих насаждений состоит из бересклета бородавчатого, крушины ломкой, жестера слабительного, иногда рябины обыкновенной, черемухи обыкновенной, клена татарского, шиповника коричного, жимолости татарской и др. В настоящее время имеются значительные площади искусственно созданных сосновых лесов на относительно выровненных платообразных склонах.

Луговая растительность представлена преимущественно пойменными лугами. В нижних частях долин рек Сургут и Шунгут в составе растительного покрова отмечены галофитные сообщества, формирование которых вызвано выходами на дневную поверхность минерализованных грунтовых вод, вызывающими засоление почв. Ценозы галофитов образованы в основном гемикриптофитами, что характерно для сообществ засоленных почв долин равнинных рек лесостепной зоны в Поволжье.

В почвенном покрове исследуемого района преобладают черноземы, среди которых распространены тучные разновидности выщелочных и типичных черноземов с содержанием гумуса свыше 10%. По мере продвижения с севера на юг тучные разновидности выщелоченных черноземов теряют свое господствующее положение и, уступая место обыкновенным черноземам, встречаются лишь отдельными контурами на высоких водораздельных плато. В условиях пересеченного рельефа, где в качестве почвообразующей основы выступают карбонатные породы, распространены черноземы карбонатные. Темно-серые слабо оподзоленные почвы встречаются лишь под лесами.

Геоботанические исследования засоленных экотопов проводились в среднем течении долины р. Сок на участках, испытывающих влияние минерализованных подземных вод, поступающих из казанских отложений верхнего отдела пермской системы. Изученная территория располагается в окрестностях населенных пунктов Серноводск, Суходол и Сургут (рис. 17) – в поймах рек Сургут (левобережный приток р. Сок), Шунгут и Молочная (правобережные притоки р. Сургут). Река Молочная является памятником природы областного значения (Памятники природы.., 1986). Она берет начало от водостока Серного озера, протекает по территории старинного Нижнего парка санатория «Сергиевские Минеральные Воды» и впадает в р. Сургут в ее нижнем течении. Ширина р. Молочной – 10-18 м, глубина – до 1 м. Берега топкие, дно илистое, сложено черной целебной грязью. Приближаясь к р. Сургут, она сужается до 2-3 м, а глубина ее возрастает до 2 м.

На засоленных экотопах в августе 2000-2001 гг. было выполнено 55 геоботанических описаний, из них в данной работе мы используем 51. Также в пойме р. Молочная в 1 км юго-западнее пос. Серноводск был заложен геоботанический профиль и 2 почвенных разреза, в генетических горизонтах которых отбирались пробы почв и затем анализировались в лаборатории Института почвоведения Университета Хоэнхайм (Штутгарт, Германия) на содержание ионов водорастворимых солей с помощью ионного хроматографа Dionex-100. Геоботанические описания выполнялись в рамках естественных контуров растительных сообществ по стандартным методикам. В камеральных условиях геоботанические описания были внесены в программу TURBOVEG (Hennekens, 1996a) и затем обработаны с помощью программы MEGATAB (Hennekens, 1996b). Выделение синтаксонов проводилось на основе эколого-флористического подхода (Braun-Blanquet, 1964), названия фитосоциологических единиц даны в соответствие с «Международным кодексом фитосоциологической номенклатуры» (ICPN; Weber et al., 2000). Проективное покрытие видов растений в таблицах приведено в баллах по модифицированной шкале Б.М. Мир-

кина (Миркин и др., 1989). Система синтаксонов дана в соответствие со списком SynBioSys Eu (www.synbiosys.alterra.nl/synbiosyseu), латинские названия растений – по сводке С.К. Черепанова (1995), названия почв – по «Классификации и диагностики почв СССР» (Егоров и др., 1977).

Растительный покров изученной территории представлен главным образом луговыми и прибрежно-водными сообществами. На отдельных участках пойм рек Сургут, Шунгут и Молочная было отмечено слабое засоление почв и присутствие ценозов галофитов.

Проведенные геоботанические исследования, последующий анализ собранных данных и сравнение их с литературными сведениями (Карпов, Миркин, 1985; Лысенко и др. 2003, 2008; Лысенко, Митрошенкова, 2004; Лысенко, 2009; Golub, 1994, 1995; Golub et al., 2003) позволили установить новые местонахождения сообществ субассоциации *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae* Golub et Saveljeva in Golub 1994 *melilotetosum dentati* Lysenko et al. 2008, отмечавшихся ранее в нижнем течении долины р. Сок – окрестностях сел Кривое Озеро и Потапово Красноярского района Самарской области (Лысенко и др., 2008).

Установленные различия во флористическом составе и экологических характеристиках сообществ дали основания для выделения одного нового варианта и двух новых субассоциаций названной ассоциации.

Наибольшее распространение на изученных участках долины реки Сок имеют сообщества *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae* Golub et Saveljeva in Golub 1994 *melilotetosum dentati* Lysenko et al. 2008 v. typica (табл. 44, оп. 1-7; рис. 17 и 18). Диагностические виды: *Plantago cornuti, Festuca arundinacea, Melilotus dentatus.* Сообщества достаточно богаты в видовом отношении - среднее число видов составляет 22. Травянистый покров сомкнут, имеет высокое проективное покрытие (95-100%) и разделен на 3 четко выраженных подъяруса. Первый, характеризующийся высотой 100-120 см и невысокой сомкнутостью, образован *Festuca arundinacea* и *Sanguisorba officinalis*. Второй подъярус густой, высотой 60-70 см, сложен *Plantago cornuti, Melilotus dentatus*, *Geranium collinum*, *Achillea millefolium*, *Poa pratensis*, *Astragalus sulcatus*, *Euphorbia virgata* и *Tanacetum vulgare*. В составе третьего подъяруса, высотой до 30 см, отмечены *Glaux maritima*, *Eremopyrum triticeum*, *Cirsium esculentum* и *Puccinellia distans*. В ценозах доминируют *Geranium collinum* и *Plantago cornuti*. Сообщества приурочены к увлажненным местообитаниям долины р. Сургут с аллювиальными луговыми солончаковатыми почвами сульфатного типа засоления. Поверхность почвы неровная, с крупными кочками и большим количеством растительного опада. Фитоценозы подвержены влиянию слабого выпаса, травостой испытывает слабое угнетение. Сообщества описаны в окрестностях пос. Серноводск, в долине р. Сургут, на подтопленном участке Нижнего парка санатория «Сергиевские минеральные воды» близ Серного озера и в пойме р. Молочной.

На более засоленных экотопах, отмеченных в пойме р. Шунгут, распространены сообщества *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae melilotetosum dentati* v. *Juncus gerardii* (табл. 44, оп. 8-14; рис. 17). Диагностический вид: *Juncus gerardii.* Более жесткие условия существования обусловливают меньшее флористическое богатство сообществ, чем у ценозов предыдущего синтаксона – среднее число видов составляет 13. Травянистый покров сомкнут, характеризуется высоким проективным покрытием (95-100%) и разделен на 2 подъяруса. Первый, имеющий высоту до 130 см и небольшую сомкнутость, образован *Festuca arundinacea.* Второй подъярус, высотой до 60 см, более густой, сложен *Juncus gerardii, Potentilla anserina* и *Glaux maritima.* Доминирующими видами в ценозах выступают *Potentilla anserina* и *Juncus gerardii*. Сообщества приурочены к сырым местообитаниям в пойме р. Шунгут с аллювиальными луговыми солончаковыми почвами. На поверхности почвы отмечены крупные кочки, полностью покрытые вегетативными органами растений. Ценозы описаны в 5 км к юго-востоку от пос. Серноводск в пойме

р. Шунгут. Изученная территория используется для выпаса, травостой испытывает слабое угнетение.

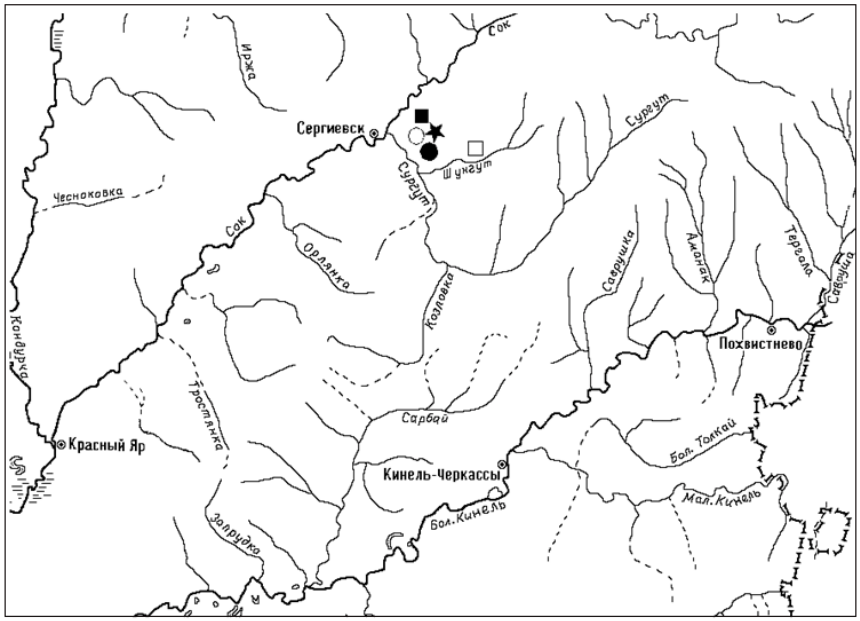


Рис. 17. Размещение изученных сообществ в долине р. Сок:
○ - сообщества *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae melilotetosum dentati* v. typica
□ - сообщества *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae melilotetosum dentati* v. *Juncus gerardii*
★ - сообщества *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae artemisietosum abrotani*
■ - сообщества *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae ononietosum intermediae*
● - сообщества *Inulo salicinae-Saussuretum amarae*

На луговых участках поймы р. Молочная в окрестностях пос. Серноводск описаны сообщества *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae ononietosum intermediae* subass. nov. hoc loco (табл. 45, оп. 1-12; номенклатурный тип (holotypus) – оп. 6; рис. 17 и 18). Диагностический вид: *Ononis intermedia.* Ценофлора сообществ довольно богата - среднее число видов составляет 19. Ценозы характеризуются высоким проективным покрытием (95-100%) и сомкнутым травянистым покровом, четко разделенным на 3 подъяруса. Первый подъярус, довольно густой, высотой до 120 см, образован *Ononis intermedia, Artemisia abrotanum, Festuca arundinacea* и *Sanquisorba officinalis.* Второй подъярус, более густой, имеющий высоту до 60-70 см, сложен *Achillea millefolium*, *Euphorbia virgata*, *Geranium collinum*, *Vicia cracca* и *Melilotus dentatus*. Третий подъярус, высотой 15-30 см, составляют *Cirsium esculentum*, *Plantago salsa*, *Eremopyrum triticeum* и *Odontis vulgaris*. В сообществах доминируют *Ononis intermedia*, *Plantago cornuti* и *Festuca arundinacea*. Экотопы характеризуются хорошим увлажнением и слабым засолением почв. Присутствие в составе ценозов в небольших количествах диагностических видов кл. *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Klika et Hadač 1944 *Senecio jacobaea*, *Festuca valesiaca*, *Achillea nobilis* и *Koeleria cristata* свидетельствуют о процессах остепнения экотопов.

В поймах рек Молочная и Сургут в окрестностях пос. Серноводск на луговых участках с хорошим увлажнением и незначительным засолением почв распространены сообщества *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae artemisietosum abrotani* subass. nov. hoc loco (табл. 45, оп. 13-22; номенклатурный тип (holotypus) – оп. 19; рис. 17 и 18). Диагностический вид: *Artemisia abrotanum.* Флористическое богатство невысоко – среднее число видов составляет 14. Травостой характеризуется большой сомкнутостью и высоким проективным покрытием (95-100%), разделен на 2 подъяруса. Первый подъярус, достигающий высоты 130 см, образован *Artemisia abrotanum* и *Festuca arundinacea*. Второй

подъярус, высотой 20-50 см, слагают *Geranium collinum*, *Vicia cracca*, *Althaea officinalis*, *Euphorbia virgata*, *Xanthoselinum alsaticum* и *Elytrigia repens*.

На самых сырых участках с аллювиальными лугово-болотными почвами с очень слабым засолением в пойме р. Молочная в окрестностях пос. Серноводск встречаются сообщества *Inulo salicinae-Saussuretum amarae* ass. nov. hoc loco (табл. 46, оп. 1-15; номенклатурный тип (holotypus) – оп. 6; рис. 17). Диагностические виды: *Inula salicina, Saussurea amara.* Ценофлора сообществ небогата – среднее число видов равно 15. Травостой сомкнут и имеет высокое проективное покрытие (95-100%), четкого разделения на подъярусы не отмечено. В сообществах доминируют *Saussurea amara* и *Bolboschoenus maritimus*.

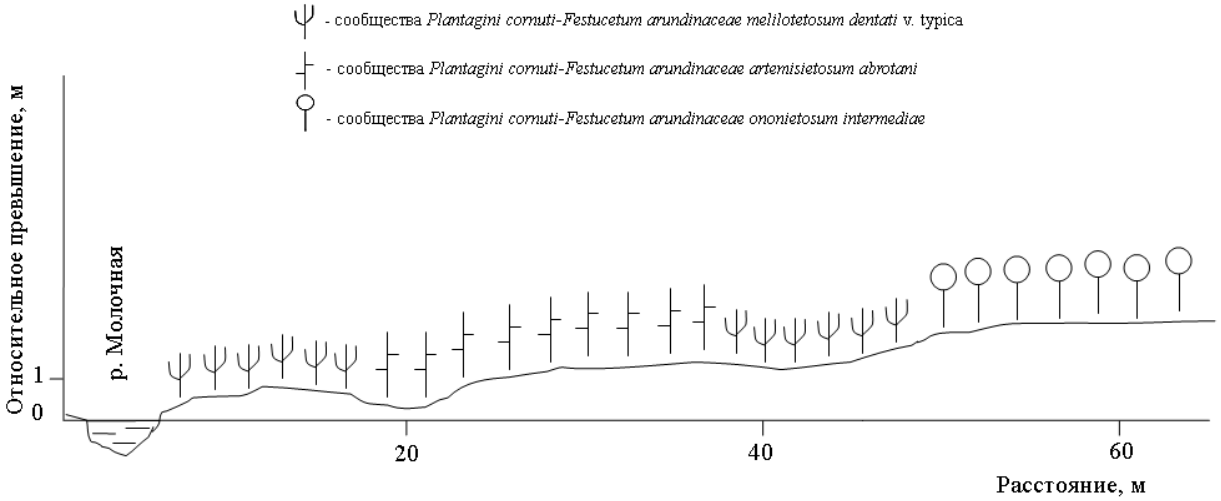


Рис. 18. Размещение растительных сообществ в долине р. Молочная

Установленные в бассейне р. Сок фитосоциологические единицы характеризуют естественную растительность засоленных экотопов, которая является редким компонентом растительного покрова ненарушенных равнинных рек бассейна р. Волга в пределах лесостепной зоны, однако дополняет целостное представление о фиторазнообразии этого региона.

Синопсис изученных сообществ имеет следующий вид: *Festuco-Puccinellietea* Soó 1968, *Cirsietalia esculenti* Mirkin et Golub in Golub 1994, *Cirsion esculenti* Golub 1994, *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae* Golub et Saveljeva in Golub 1994 *melilotetosum dentati* Lysenko et al. 2008 v. typica, *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae* Golub et Saveljeva in Golub 1994 *melilotetosum dentati* Lysenko et al. 2008 v. *Juncus gerardii*, *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae ononietosum intermediae* subass. nov. hoc loco, *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae artemisietosum abrotani* subass. nov. hoc loco, *Inulo salicinae-Saussuretum amarae* ass. nov. hoc loco.

В результате проведенных исследований получены новые сведения о растительности засоленных почв в пределах Самарской области и установлено нахождение новых местообитаний описанных ранее фитосоциологических единиц и дано описание нескольких новых. Опубликование этих сведений и включение полученных данных в Европейскую биологическую информационную систему SynBioSys Europe позволит сделать их общедоступными для широкого круга исследователей в России и за рубежом.

Таблица 44. Субассоциация *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae* Golub et Saveljeva in Golub 1994 *melilotetosum dentati* Lysenko et al. 2008

Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae melilotetosum dentati																
	v. typica								**v. *Juncus gerardii***							
	25.07.2001	05.08.2000	05.08.2000	25.07.2001	08.08.2000	08.08.2000	08.08.2000	Постоянство	07.08.2000	07.08.2000	07.08.2000	07.08.2000	05.08.2000	05.08.2000	07.08.2000	Постоянство
Размер площадки, м^2	100	25	30	12	12	15	4		15	25	25	25	6	6	9	
ОПП, %	95	100	100	90	100	95	100		100	100	100	95	100	100	100	
Число видов в описании	32	35	31	19	17	14	17		13	12	15	15	12	10	11	
Номер в TURBOVEG	33	18	4	36	41	42	43		27	28	29	30	25	26	32	
Номер описания	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**		**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	
Д.в. *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae melilotetosum dentati* v. typica																
Melilotus dentatus MA	+	+	1	+	+	1	1	100$^+$	1	.	1	1	1	+	1	86^1
Plantago cornuti FP	1	1	1	2	.	1	3	86^1	1	.	+	1	.	.	.	43
Festuca arundinacea MA	1	3	.	1	2	1	2	86^1	2	2	.	3	.	.	.	43
Д.в. *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae melilotetosum dentati* v. *Juncus gerardii*																
Juncus gerardii Jm FP	.	.	.	.	.	1	.	14	1	1	1	1	1	1	1	100^1
Д.в. *Juncetea maritimi*																
Potentilla anserina	.	+	1	.	.	.	.	29	3	3	1	1	1	.	3	86^1
Glaux maritima	.	.	.	.	.	.	.	14	1	1	1	1	1	1	.	86^1
Bolboschoenus maritimus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	.	1	.	43
Triglochin maritimum	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	1	.	.	1	43
Eleocharis uniglumis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	29
Д.в. *Festuco-Puccinellietea*																
Geranium collinum	+	1	1	1	1	1	1	100^1	1	.	.	1	.	.	.	29
Eremopyrum triticeum	.	1	.	.	.	3	2	43	.	.	.	.	.	.	.	.
Cirsium esculentum	.	+	+	.	.	.	.	29	.	+	.	+	.	.	.	29
Puccinellia distans	.	.	.	.	.	1	.	29	.	1	.	.	.	.	.	14
Taraxacum bessarabicum	.	.	.	.	.	.	+	29	.	1	.	.	.	.	.	14
Plantago salsa	.	.	.	.	.	1	1	29	.	.	.	.	.	.	.	.
Eryngium planum	1	.	.	.	.	.	.	14	.	.	.	.	.	.	.	.
Limonium gmelinii	.	.	.	.	1	.	.	14	.	.	.	.	.	.	.	.
Д.в. *Molinio-Arrhenatheretea*																
Achillea millefolium	1	+	+	+	1	1	.	86$^+$	.	.	.	.	.	.	.	.
Poa pratensis	1	1	.	.	1	1	1	71^1	.	.	.	.	.	.	.	.
Sanguisorba officinalis	1	+	1	1	.	.	.	57$^+$	.	.	.	.	.	.	.	.
Trifolium pratense	.	+	1	.	.	+	.	43	.	.	.	.	.	.	.	.
Vicia cracca	.	+	+	1	.	.	.	43	.	.	.	.	.	.	.	.
Ranunculus acris	.	1	.	1	.	.	.	29	.	.	.	.	+	+	.	29
Althaea officinalis	.	+	.	.	.	.	.	14	.	.	.	.	.	.	.	.
Inula britannica	.	.	.	1	.	.	.	14	.	.	.	.	.	.	.	.
Leontodon autumnalis	.	+	.	.	.	.	.	14	.	.	.	.	.	.	1	14
Ranunculus repens	.	.	1	.	.	.	.	14	3	.	1	1	.	.	.	43
Д.в. *Festuco-Brometea*																
Senecio jacobaea	1	+	.	1	1	.	.	57$^+$	.	.	.	.	.	.	.	.
Campanula sibirica	+	.	.	.	.	.	.	14	.	.	.	.	.	.	.	.
Polygala comosa	+	.	.	.	.	.	.	14	.	.	.	.	.	.	.	.

Окончание табл. 44

Номер описания	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**		**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	
Прочие виды																
Pimpinella saxifraga	1	+	+	+	1	+	.	86^{+}	.	.	.	.	.	.	.	.
Astragalus cicer	1	+	.	.	3	1	+	71^{+}	.	.	.	.	.	.	.	.
Euphorbia virgata	1	.	1	+	1	.	1	71^{1}	.	.	.	.	.	.	.	.
Astragalus sulcatus	1	1	.	.	+	.	1	57^{+}	.	.	.	.	.	.	.	.
Cirsium arvense	.	.	+	1	1	.	.	43	.	.	.	.	.	.	.	.
Picris hieracioides	+	1	.	+	.	.	.	43	.	.	.	.	.	.	.	.
Tanacetum vulgare	.	.	+	+	.	.	1	43	.	.	.	.	.	.	.	.
Elytrigia repens	.	.	1	.	.	.	+	29	1	.	.	.	.	.	.	14
Xanthoselinum alsaticum	1	.	.	.	1	.	.	29	.	.	.	+	.	.	.	14
Galium boreale	.	+	+	.	.	.	.	29	.	.	+	.	.	.	.	14
Agrostis gigantea	.	1	1	.	.	.	.	29	.	.	.	.	.	.	.	.
Artemisia abrotanum	+	.	+	.	.	.	.	29	.	.	.	.	.	.	.	.
Atriplex tatarica	.	.	.	+	.	.	+	29	.	.	.	.	.	.	.	.
Dactylis glomerata	.	+	2	.	.	.	.	29	.	.	.	.	.	.	.	.
Galium verum	1	.	.	+	.	.	.	29	.	.	.	.	.	.	.	.
Glechoma hederacea	.	+	1	.	.	.	.	29	.	.	.	.	.	.	.	.
Inula salicina	.	+	1	.	.	.	.	29	.	.	.	.	.	.	.	.
Ononis intermedia	1	3	.	.	.	.	.	29	.	.	.	.	.	.	.	.
Plantago major	.	+	+	.	.	.	.	29	.	.	.	.	.	.	.	.
Rumex confertus	.	.	+	1	.	.	.	29	.	.	.	.	.	.	.	.
Carex melanostachya	1	.	.	.	.	.	.	14	.	1	.	.	.	1	.	29
Odontites vulgaris	.	+	.	.	.	.	.	14	.	.	1	.	.	1	.	29
Polygonum aviculare	.	.	.	.	.	.	+	14	1	1	.	.	.	.	.	29
Scorzonera parviflora	.	.	.	.	.	.	.	14	.	.	1	1	.	.	.	29
Atriplex prostrata	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	1	.	.	.	.	43
Agrostis stolonifera	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	4	1	43
Amoria fragifera	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	29
Bidens tripartita	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	2	29
Plantago intermedia	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	29
Scirpus tabernaemontanii	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	.	.	29
Xanthium strumarium	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	1	29
Triglochin palustre	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	29

Примечание: С постоянством менее 20% в описаниях были встречены: *Adenophora lilifolia* 3 (+), *Aegopodium podagraria* 2 (+), *Agrostis tenuis* 7 (1), *Alopecurus arundinaceus* 3, 8 (1), *Artemisia absinthium* 1 (+), *A. vulgaris* 5 (1), *Astragalus danicus* 1 (+), *Bromopsis inermis* 3 (1), *Chamaecytisus ruthenicus* 3 (1), *Centaurea scabiosa* 3 (+), *Cirsium incanum* 11 (1), *C. vulgare* 1 (+), *Cichorium intybus* 1 (+), *Convolvulus arvensis* 1 (+), *Epipactis helleborine* 3 (1), *Erigeron acris* 1 (+), *Equisetum pratense* 14 (+), *Euphorbia uralensis* 2 (+), *Heracleum sibiricum* 4 (+), *Galatella rossica* 3 (1), *Inula helenium* 11 (3), *I. hirta* 1 (+), *Juncus atratus* 12 (1), *Linaria vulgaris* 5 (1), *Lycopus exaltatus* 12 (1), *Lythrum salicaria* 10 (+), *Medicago lupulina* 2 (+), *M. romanica* 1 (1), *Melilotus albus* 1 (1), *Pastinaca sativa* 2 (+), *Plantago maxima* 7 (+), *P. media* 2 (+), *Polygala vulgaris* 2 (+), *Potentilla argentea* 1 (+), *Phragmites australis* 5 (1), *Seseli libanotis* 3 (+), *Sium sisaroideum* 2 (+), *Tephroseris czernijevi* 6 (1), *Thesium arvense* 1 (+), *Trifolium alpestre* 5 (1), *Typha laxmannii* 12 (4). Локалитеты описаний: Самарская область, Сергиевский район, окрестности пос. Серноводск, пойма р. Молочная – оп. 1-7; 5 км к юго-востоку от пос. Серноводск, пойма р. Шунгут – оп. 8-14. Авторы описаний Т.М. Лысенко, А.Е. Митрошенкова. Принятые сокращения: *FP* – д.в. класса *Festuco-Puccinellietea, MA* – д.в. класса *Molinio-Arrhenatheretea*.

Таблица 45. Субассоциации *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae* Golub et Saveljeva in Golub 1994 *ononietosum intermediae* subass. nova hoc loco и *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae* Golub et Saveljeva in Golub 1994 *artemisietosum abrotani* subass. nov. hoc loco

Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae																							
	ononietosum intermediae													***artemisietosum abrotani***										
Дата	08.08.2000	08.08.2000	08.08.2000	08.08.2000	08.08.2000	05.08.2000	05.08.2000	05.08.2000	25.07.2001	05.08.2000	05.08.2000	05.08.2000	Постоянство	08.08.2000	08.08.2000	08.08.2000	08.08.2000	08.08.2000	08.08.2000	08.08.2000	25.07.2001	25.07.2001	08.08.2000	Постоянство
Размер площадки, м^2	9	25	16	4	9	25	25	25	4	25	4	9		9	6	4	4	9	9	9	12	9	8	
ОПП, %	100	100	100	95	95	100	100	90	100	100	95	95		100	100	95	95	95	90	95	95	100	100	
Число видов в описании	16	21	16	16	22	24	26	23	15	18	15	19		18	17	16	14	11	10	14	20	10	14	
Номер в TUBOVEG	39	44	38	45	46	19	20	21	37	22	23	24		47	48	49	50	52	54	51	34	35	40	
Номер описания	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**		**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	
Д.в. *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae ononietosum intermediae* subass. nova																								
Ononis intermedia	1	1	1	1	2	2	3	1	1	3	1	1	100[1]	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Astragalus cicer	1	1	1	1	1	+	+	+	.	.	.	.	67[+]	.	.	.	.	.	.	.	1	4	1	30
Д.в. *Plantagini cornuti-Festucetum arundinaceae artemisietosum abrotani* subass. nov.																								
Artemisia abrotanum	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	1	25	.	1	1	1	1	+	3	1	1	.	80[1]
Plantago cornuti FP	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	3	3	100[1]	1	.	1	1	3	3	+	1	.	1	80[1]
Festuca arundinacea MA	2	3	2	1	1	1	1	1	+	3	.	1	92[1]	2	.	.	.	.	.	2	2	.	1	40
Д.в. *Juncetea maritimi*																								
Potentilla anserina	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	+	25	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	10
Bolboschoenus maritimus	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	.	3	.	.	.	.	.	.	.	4	20
Д.в. *Festuco-Puccinellietea*																								
Geranium collinum	1	1	1	1	1	1	1	+	1	1	1	1	100[1]	1	1	1	1	1	1	+	+	.	1	90[1]
Cirsium esculentum	.	.	.	.	.	1	1	.	+	1	1	1	50	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	10
Plantago salsa	.	1	1	3	2	1	.	+	.	.	.	.	50	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Eremopyrum triticeum	.	.	.	1	1	1	1	.	.	.	1	.	42	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Eryngium planum	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	17	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Limonium gmelinii	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Д.в. *Molinio-Arrhenatheretea*																								
Achillea millefolium	1	1	+	1	1	1	1	1	+	+	.	.	83[1]	+	.	.	.	.	.	.	1	.	1	30
Sanguisorba officinalis	1	1	.	.	.	.	1	1	1	1	.	+	58[+]	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	10
Vicia cracca	+	.	.	1	.	1	.	1	+	.	.	1	50	1	1	1	1	.	3	+	.	.	.	60[+]
Melilotus dentatus	1	1	.	.	1	.	+	+	.	.	.	.	42	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	10
Poa pratensis	.	1	.	.	.	.	1	.	.	.	1	1	33	.	.	2	.	1	2	.	.	.	.	30
Ranunculus acris	.	.	.	.	.	1	+	.	.	.	1	1	33	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Althaea officinalis	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	17	1	+	1	1	.	.	+	1	1	.	70[+]
Trifolium pratense	.	.	.	.	.	.	1	.	.	+	.	.	17	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Leontodon autumnalis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lysimachia vulgaris	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	10
Ranunculus repens	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Valeriana officinalis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	+	.	3	.	.	.	40
Lysimachia nummularia	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	1	.	.	+	.	.	.	30
Д.в. *Festuco-Brometea*																								
Senecio jacobaea	1	.	1	1	+	1	1	1	.	.	.	.	58[+]	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	20
Festuca valesiaca	.	.	.	.	.	.	1	1	.	1	.	.	25	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Achillea nobilis	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Koeleria cristata	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Прочие виды																								
Euphorbia virgata	1	1	+	1	+	.	1	1	.	+	1	1	83[1]	1	1	1	1	.	+	.	1	.	1	70[1]
Odontites vulgaris	.	.	1	1	+	1	1	1	.	+	1	.	67[+]	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Inula hirta	.	.	.	.	1	1	2	3	.	.	+	1	50	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	20

Окончание табл. 45

Номер описания	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**		**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	
Thalictrum simplex	.	.	.	.	1	1	1	+	+	1	.	.	50	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	20
Xanthoselinum alsaticum	1	.	+	.	+	.	.	.	.	1	1	+	50	1	+	1	.	1	+	+	.	+	.	70^{+}
Pimpinella saxifraga	.	.	1	1	+	1	.	1	.	.	.	.	42	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	10
Astragalus sulcatus	1	.	2	.	.	1	1	1	.	.	.	.	42	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	10
Calamagrostis epigeios	3	1	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	33	1	1	1	.	.	+	.	1	.	.	50
Cirsium arvense	.	+	.	.	1	.	.	.	.	+	.	+	33	1	+	.	1	.	.	.	1	1	.	50
Galium boreale	.	1	.	1	.	1	1	.	.	.	.	.	33	1	3	1	.	.	.	.	.	.	1	40
Agrostis gigantea	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1	1	3	25	3	1	.	.	.	.	+	.	.	.	30
Cichorium intybus	.	.	.	.	+	+	.	+	.	.	.	.	25	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Dactylis glomerata	.	.	.	.	.	1	1	.	+	.	.	.	25	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Picris hieracioides	.	1	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	25	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Elytrigia repens	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1	17	1	1	.	1	1	+	.	+	.	.	60^{+}
Galatella rossica	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	17	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Glechoma hederacea	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	17	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Alopecurus arundina-ceus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	8	1	1	1	1	.	.	.	.	.	.	40
Fallopia convolvulus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	8	.	1	.	1	.	.	+	.	.	1	40
Tanacetum vulgare	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	1	.	1	.	+	.	.	.	.	.	30
Veronica longifolia	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	1	1	.	.	.	.	.	.	40
Agrostis tenuis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	1	.	.	.	.	.	30
Phragmites australis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	1	30
Stachys palustris	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	+	.	20
Urtica dioica	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	1	20

Примечание: с постоянством менее 20% в описаниях были встречены: *Artemisia vulgaris* 13 (1), *Bromopsis inermis* 17 (1), *Campanula glomerata* 6 (1), *Carex riparia* 21 (1), *Cirsium canum* 4 (1), *Convolvulus arvensis* 1 (+), *Epilobium palustre* 8 (+), *Erigeron acris* 3 (+), *Euphorbia uralensis* 9, 21 (1), *Heracleum sibiricum* 22 (+), *Galium verum* 5 (+), *Inula salicina* 9 (1), *Kadenia dubia* 2 (1), *Lythrum salicaria* 2 (+), *Medicago romanica* 4 (1), *Pastinaca sylvestris* 6 (+), 21 (1), *Rosa majalis* 7 (+), *Rumex confertus* 20 (+), *Securigera varia* 19 (+), *Seseli libanotis* 20 (+), *Sium sisaroideum* 2, 19 (1), *Tephroseris czernijevi* 3 (+), *Trifolium alpestre* 7 (1). Локалитеты описаний: Самарская область, Сергиевский район, окрестности пос. Серноводск, поймы р. Молочная и Сургут – оп. 1-22. Авторы описаний: Т.М. Лысенко, А.Е. Митрошенкова. Принятые сокращения: *FP* Номер описания д.в. класса *Festuco-Puccinellietea, MA* – д.в. класса *Molinio-Arrhenatheretea.*

Таблица 46. Ассоциация *Inulo salicinae-Saussuretum amarae* ass. nov. hoc loco

Дата	05.08.2000															Постоянство
Размер площадки, м^2	30	81	50	80	48	64	30	35	54	60	30	81	48	3	35	
ОПП, %	100	100	100	100	100	100	100	95	100	100	100	100	100	100	100	
Число видов в описании	16	22	12	18	18	23	19	18	15	13	12	11	11	14	8	
Номер в TURBOVEG	3	14	15	16	10	11	12	1	2	6	9	13	5	8	7	
Номер описания	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	
Д.в. *Inulo salicinae-Saussuretum amarae* ass. nov.																
Saussurea amara	1	1	.	.	2	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	87^2
Inula salicina	+	1	1	1	1	1	1	1	.	.	+	1	.	.	+	73^1
Thalictrum simplex	.	1	.	1	+	1	+	1	.	1	1	.	1	+	.	67$^+$
Д.в. *Juncetea maritimi*																
Bolboschoenus maritimus	.	1	1	1	1	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	93^1
Potentilla anserina	1	1	.	1	1	1	.	1	1	1	1	.	1	1	1	80^1
Triglochin maritimum	.	.	.	.	1	1	.	.	.	1	1	.	.	.	.	27
Eleocharis uniglumis	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	7
Д.в. *Festuco-Puccinellietea*																
Plantago cornuti	1	3	4	1	1	1	1	1	+	+	.	1	1	1	1	93^1
Geranium collinum	+	1	1	1	1	1	.	.	+	+	.	.	1	1	.	67$^+$
Cirsium esculentum	1	1	.	.	.	+	+	.	.	+	.	+	.	.	.	40
Juncus gerardii Jm	.	.	.	1	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	20
Д.в *Molinio-Arrhenatheretea*																
Ranunculus repens	1	.	1	1	1	1	1	1	1	.	1	.	1	1	.	73^1

Окончание табл. 46

Номер описания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Ptarmica vulgaris	.	.	1	4	2	.	1	.	.	1	1	1	.	1	+	60^{1}
Althaea officinalis	.	.	+	+	+	1	+	1	+	.	.	+	+	.	.	60^{+}
Vicia cracca	.	+	.	.	+	1	+	+	.	.	.	+	.	.	.	40
Sanguisorba officinalis	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	1	.	20
Achillea millefolium	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	7
Lysimachia vulgaris	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7
Ranunculus acris	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7
Прочие виды																
Agrostis gigantea	1	1	1	.	1	1	1	1	1	1	1	.	.	.	1	73^{1}
Elytrigia repens	3	1	.	.	1	1	1	1	1	.	1	.	1	.	.	67^{1}
Euphorbia virgata	+	1	1	1	.	+	1	1	+	.	.	+	.	+	.	67^{+}
Xanthoselinum alsaticum	.	+	.	+	+	1	+	+	+	+	.	.	.	+	.	60^{+}
Alopecurus arundinaceus	1	.	.	.	.	1	1	1	1	1	1	1	1	.	.	60^{1}
Cirsium arvense	+	+	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	33
Fallopia convolvulus	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	1	1	.	1	.	33
Artemisia abrotanum	.	+	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	27
Bromopsis inermis	3	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	27
Galatella rossica	+	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20
Lythrum salicaria	.	.	+	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	20
Rumex confertus	.	.	.	1	+	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	20
Atriplex prostrata	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	13
Calamagrostis epigeios	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	13
Lepidium latifolium	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	13
Urtica dioica	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	13

Примечание: с постоянством менее 20% в описаниях были встречены: *Bidens tripartita* 8 (1), *Centaurea scabiosa* 2 (+), *Convolvulus arvensis* 4 (1), *Galium boreale* 15 (+), *Ononis intermedia* 2 (+), *Polygonum aviculare* 1 (+), *Tephroseris czernijevi* 2 (+). Локалитеты описаний: Самарская область, Сергиевский район, окрестности пос. Серноводск, пойма р. Молочная - оп. 1-15. Авторы описаний: Т.М. Лысенко, А.Е. Митрошенкова. Принятые сокращения: *Jm* – д.в. класса *Juncetea maritimi.*

2.1.4. Ботаническая характеристика карстовых озер долины реки Сок

Исследования проводились в Высоком Заволжье в пределах Сергиевского района Самарской области. Согласно физико-географическому районированию данная территория входит в Сокский возвышенно-равнинный лесостепной район с грядовоувалистым рельефом и густой сетью речных долин (Физико-геграфическое районирование.., 1964; Захаров, 1971). Река Сок является здесь наиболее крупной, а в ее пойме расположены многочисленные озера-старицы. Повышенная увлажненность района, лесостепной ландшафт, обилие ключей и родников обеспечивают этой реке круглогодичное питание.

Для Сергиевского района характерно также обилие подземных вод, которые, выходя на поверхность, дают начало многочисленным источникам. Их воды, поступающие из нижнеказанских отложений, отличаются высокой минерализацией, жесткостью и значительным содержанием сероводорода. По своему химическому составу они делятся на карбонатно-кальциевые и сульфатно-кальциевые. Озера Серное и Голубое, р. Молочная и Михайловский сероводородный источник в связи с их уникальностью имеют статус памятников природы областного значения.

В формировании современного рельефа существенную роль играют коренные пермские породы. В северо-западной части района по правому берегу р. Сок расположены Сокские горы, или яры, их высоты не более 200-250 м. Микрорельеф выражен очень разнообразными элементами – небольшими хребтами, отрогами с каменисто-щебнистыми откосами, куполообразными возвышенностями, небольшими перевалами и разнообразными повышениями и понижениями. Изрезанность рельефа дополняют многочисленные овраги, балки и лога. Кроме того, часто встречаются беспорядочно разбросан-

ные по склонам и спускам приуроченные к вершинам оврагов, не имеющие выходов воронкообразные провалы правильной формы, а также пещеры, возникшие в результате карстовых процессов при выщелачивании растворимых горных пород - известняков, доломитов, гипсов.

Для всей территории Сергиевского района характерно развитие карстовых форм рельефа. Но особенно энергично карст развивается в местах распространения гипса и гипсоносной толщи. Широкое развитие карстовых воронок характерно для южных, юго-восточных и юго-западных склонов Серноводской и Якушкинской возвышенностей. Карстовые воронки встречаются группами и в одиночку. По своему размеру они бывают большие и малые, глубокие и мелкие. Почти все воронки, расположенные на склонах возвышенностей, сухие. Воронки, вытянутые в цепочку, часто дают начало образованию оврагов.

Карст в Сергиевском районе различен как по возрасту, так и по форме. Более древний карст приурочен к абсолютным отметкам выше 150-160 м и развит в прослоях гипса и доломита верхнеказанского подъяруса верхней перми. Современный карст приурочен к отметкам ниже 150 м абсолютной высоты и развит в гипсах и ангидритах с прослоями доломитов. По своей морфологии разновозрастные карсты отличаются друг от друга. Склоны воронок древнего карста пологие, заросшие. Размеры их различные, диаметр достигает 50-60 м и более. Воронки современного карста асимметричные, с крутыми, порой отвесными склонами, в которых обнажаются гипсы и доломиты. Эти воронки образуют большие группы, так называемые поля, расположенные по склонам возвышенностей. Диаметр их – от 3 до 25 м, глубина – от 1,5 до 15-25 м. Цепочки карстовых воронок обычно указывают направления движения инфильтрационных вод.

Карстовые воронки развиты также в поймах и руслах рек, где часто можно наблюдать провалы и западины, которые способствуют образованию озер различных размеров и глубины (Ступишин, 1967). Примером таких озер можут служить оз. Тепловка в пойме р. Сок, воронки округлой формы сечением 4-9 м в пойме р. Сургут (глубина 5-9 м), оз. Голубое в долине р. Шунгут и т.д.

Изучение фиторазнообразия озер проводилось нами в 1996-1997 гг. Флористическими и геоботаническими описаниями было охвачено 5 пойменных водоемов левобережной части среднего течения р. Сок. Описания выполнялись в рамках естественных контуров растительных сообществ по стандартным методикам (Полевая геоботаника, 1959; Ярошенко, 1961, Шенников, 1964; Воронов, 1973; Алехин, 1987). Обилие видов в описаниях указывалось по шкале Друде: sol (*solitariae*) – редко; sp (*sparsae*) – в небольшом количестве, рассеянно; cop1 (*copiosae1*) – довольно много; cop2 (*copiosae2*) – много; cop3 (*copiosae3*) – очень обильно, но нет смыкания; soc (*socialis*) – растения образуют фон, смыкаются надземными частями. Латинские названия растений приведены в работе в соответствии со сводкой С.К. Черепанова (1995), названия почв - по «Классификации и диагностике почв СССР» (1977). После названия растений в скобках перечислено их обилие, высота в метрах и фенофаза на момент описания. Для некоторых видов геоботанические критерии не указаны.

Растительный покров изученной территории слагают пойменные лесные, луговые и прибрежно-водные сообщества (Митрошенкова, Бирюкова, 1997). Исследованные озера расположены вблизи русла реки, в зоне типичной поймы. Они существуют в своей естественной среде обитания, удалены от проселочных дорог и автотрасс, малодоступны для посещений, поэтому влияние антропогенного фактора на данные водоемы нами не зафиксировано.

Озеро Подгорное расположено в 3,2 км юго-восточнее с. Боровка. Водоем карстового происхождения, округлой формы. Питание подземное, с одним стоком. Длина береговой линии озера – ≈319 м, размер – 80×60 м. Берега топкие, местами слегка заболоченные.

С южной стороны озера имеется небольшая протока, шириной 2,5-3 м, заросшая ивняком, глубиной до 0,5 м, видно дно, на котором отмечены заросли *Ceratophyllum demersum* L. и просматривается пояс хары. Вода в протоке прозрачная, кристально-чистая, пресно-горьковатая, с запахом сероводорода. Протока соединяется с Голым затоном (старица р. Сок), впадающим в р. Сок.

Озеро Подгорное визуально имеет голубоватый цвет воды. На водном зеркале самого озера в некоторых местах наблюдается сероводородная пленка. Донные отложения черные, илистые, вязкие по консистенции, с небольшими примесями растительных остатков и сходны с лечебными грязями санатория «Сергиевские минеральные воды», пахнут сероводородом и тиной. Зарастание озера наблюдается лишь по его периферии на мелководных участках в виде узких прерывистых поясов шириной 5-6 м. Большая часть водного зеркала свободна от растений. В растительном покрове водоема выделяют две зоны: водную и прибрежно-водную.

На большей глубине формируется пояс прикрепленных к грунту и полностью погруженных в воду растений. Он составляет основу зоны водной растительности, среди которой преобладают сообщества с доминированием *Ceratophyllum demersum* (cop1, вег). Кроме того, выделяются пятна, образованные *Najas marina* (sol-sp, вег., занесена в «Красную книгу Самарской области» (2007), *Zannichellia palustris* (sol-sp, цв) и др.). В этом поясе и глубже обнаружены заросли *Chara foetida* A. Br., что не характерно для средневолжских водоемов некарстового происхождения (Матвеев, 1990а). Водная растительность с восточной стороны образует пояс шириной 5-6 м. На поверхности воды нитчатые зеленые водоросли (спирогира, вошерия), редко *Lemna trisulca* (sol, вег) и небольшие бурые скопления *Potamogeton filiformis* (sol, вег).

Пояс прибрежно-водной растительности (шириной 2,5 м) представлен группировками воздушно-водных растений с доминированием *Lythrum salicaria* (cop1, 1-1,5 м, цв). Ближе к берегу произрастают группами *Scirpus lacustris* (sp, 0,5-0,6 м, цв), *Typha laxmanii* (sp, 0,9-1 м, цв-плод), *Batrachium trichophyllum* (sol, 0,2-0,3 м, вег). С небольшим обилием встречаются *Alisma plantago-aquatica* (sol, 0,5-0,7 м, цв), *Butomus umbellatus* (sol, 0,6-1 м, цв-плод), *Persicaria amphibia* (sol, 0,5 м, цв), *Rumex crispus* (sol, 0,5-0,8 м, цв-плод), *Bidens tripartita* (sol, 0,2-0,3 м, цв), *Bolboschoenus maritimus* (sol, 0,8-1 м, вег), *Persicaria scabra* (sol, 0,6 м, вег).

На расстоянии 0,7-1 м от берега имеется несколько хорошо задернованных подушек-сплавин, которые при надавливании качаются. Они образованы дернинами *Catabrosa aquatica* (sol-sp, 0,3-0,4 м, вег) и *Glyceria fluitans* (sol-sp, до 0,4 м, вег). На кочках-дернинах произрастает *Juncus filiformis* (sol, 0,3-0,4 м, цв-плод).

С западной и северной стороны озера пояс прибрежно-водной растительности выражен не резко, он узкий (1-1,2 м), за ним следуют ивняки (до 5 м) (*Salix cinerea, S. triandra*). *S. viminalis* растет прямо у уреза воды.

На более пологих участках берега между ивняками и поясом прибрежно-водной растительности распространены полевицево-разнотравные сообщества с участием молодых побегов ив. В состав сообществ входят: *Agrostis gigantea* (cop2, 0,7-1 м, плод), *Phragmites australis* (cop1, до 2 м, плод) менее обилен, но местами переходит в чистые заросли, *Agrostis stolonifera* (sp, 0,5 м, плод), *Rumex confertus* (sp, 0,6-0,8 м, плод), *Ranunculus repens* (sol-sp, 0,45 м, вег), *R. sceleratus* (sol, 0,2 м, цв-плод), *Plantago major* (sol, 0,2 м, вег), *Oenanthe aquatica* (sol, 0,3-0,4 м, цв-плод), *Thyselinum palustre* (sol, 0,4-0,5 м, цв-плод), *Atriplex calotheca* (sol, 0,5 м, цв-плод), *Aegopodium podagraria* (sol, 0,2 м, вег), *Lycopus europaeus* (sol, 0,7 м, цв), *Rorippa palustris* (sol, 0,2 м, плод), *Symphytum officinale* (sol, 0,4 м, цв), *Lysimachia vulgaris* (sol, 0,35 м, цв), *Althaea officinalis* (sol, 0,4 м, цв), *Lathyrus palustris* (sol, до 0,5 м, цв), *Angelica archangelica* (sol, 0,7 м, цв), *Mentha logifolia* (sol, 0,35 м, цв), *Scutellaria galericulata* (sol, 0,3 м, цв), *Ptarmica vulgaris* (sol, 0,6 м, цв).

В самих зарослях гигрофитных кустарниковых ив произрастают: *Urtica dioica, Calystegia sepium, Cuscuta europaea, Phragmites australis, Lycopus europaeus, Ranunculus re-*

pens, Matricaria perforate, Cirsium vulgare, C. incanum, Symphytum officinale, Agrostis tenius, Oenanthe aquatica, Rorippa amphibia, Galium aparine, Bistorta major, Fallopia convolvulus, Poa palustris, Aristolochia clematitis.

Озеро Безымянное находится рядом с Бекеновым затоном, в 3 км к югу от с. Боровка и в 3 км к северу от с. Краснoярка. Водоем карстового происхождения, округлоовальной формы. Питание подземное, без выраженного стока. Длина береговой линии – ≈170 м, размер – 70×25 м.

Озеро Безымянное визуально имеет голубовато-молочный цвет воды. Вода пресная с небольшим горьковатым вкусом, пахнет сероводородом. Донные отложения илистые, характеризуются сильной вязкостью, черно-жгучего цвета, с резким запахом сероводорода и очень похожи на лечебную грязь. Глубина у берега – от 0,3 до 0,5 м.

Водная флора беднее по сравнению с оз. Подгорным. Водное зеркало почти свободно от растений. Видно, что озеро обмелело, по берегам вода отступила на 1,5 м. В воде в большом обилии наблюдается зарастание *Lemna trisulca* (soc, вег), на момент описания (10.08.1996 г.) скопления этого растения опустились на дно, присутствуют они и в прибрежной зоне, ряской же покрыты и берега, создавая серо-белый аспект от ее разложения. На поверхности воды (до 6 м^2) – пятна *Hydrocharis morsus-ranae* (sp, цв) и нитчатые зеленые водоросли.

Пояс прибрежно-водной растительности шириной 1-1,5 м. имеет общее проективное покрытие (ОПП) – 50%. Доминирует *Oenanthe aquatica* (cop2, 0,5 м, цв). Куртинами произрастает *Agrostis stolonifera* (sp, 0,5 м, вег), выделяются также группы *Rumex aquaticus* (sp, 0,15-0,3 м, вег), *Typha angustifolia* (sp, 0,75 м, вег), *Scirpus lacustris* (sp, 0,3-0,5 м, вег), а *Phragmites australis* (sol, 0,5-0,8 м, вег) в этом поясе еще мало. С небольшим обилием встречаются *Alisma plantago-aquatica* (sol, 0,5 м, вег-цв), *Sparganium erectum* (sol, 0,5 м, вег), *Rumex confertus* (sol, 0,3 м, вег), *Lythrum salicaria* (sol, 0,3 м, цв), *Persicaria scabra* (sol, 0,35 м, вег), *Veronica anagallis-aquatica* (sol, 0,2 м, цв), *Carex riparia* (sol, 0,4-0,5 м, вег), *Butomus umbellatus* (sol, 0,45-0,5 м, цв), *Ranunculus sceleratus* (sol, 0,3 м, цв).

Следующий пояс (2-2,5 м) образован чистыми зарослями *Phragmites australis* (soc, 0,8-1 м, вег). ОПП – 100%, тростник образует фон и дает основную массу проективного покрытия. Далее следуют заросли древесно-кустарниковой растительности (4-5 м) из *Salix triandra* (sp, 3,5-4 м, вег), *Padus avium* (sol, до 4 м, вег) и *Frangula alnus* (sol, 1,5 м, вег).

Под пологом деревьев в травянистом ярусе доминирует *Rubus caesius* (cop1, плод). Далее – луговое разнотравье: *Calystegia sepium* (sp-cop1, плод), *Rumex hydrolapathum* (sol, 1,3-1,7 м, плод), *Typha latifolia* (sol-sp, 1,7 м, плод), *Persicaria amphibia* (sol, 0,5 м, вег), *Symphytum officinale* (sol, 0,9 м, вег), *Typha angustifolia* (sol-sp, 2 м, плод), *Galium aparine* (sp, 0,8 м, цв-плод), *Persicaria scabra* (sp, 0,6 м, вег), *Scutellaria galericulata* (sol, 0,4-0,6 м, цв), *Stachys palustris* (sol, 0,8-0,9 м, вег), *Sparganium erectum* (sol, 0,8 м, плод), *Solanum dulcamara* (sol, цв), *Veronica anagallis-aquatica* (sol, 0,2-0,3 м, цв), *Althaea officinalis* (sol, 0,4-0,45 м, цв), *Alisma plantago-aquatica* (sol, 0,9-1 м, плод), *Bryonia alba* (sol-sp, цв), *Sium latifolium* (sol, 0,6 м, цв), *Caltha palustris* (sol, 0,55 м, вег), *Cirsium incanum* (sol, 0,4 м, вег), *Urtica dioica* (sol, 0,9-1 м, цв), *Valeriana officinalis* (sol, 1,2 м, цв-плод), *Bromopsis inermis* (sol, 1 м, плод), *Heracleum sibiricum* (sp, 2,2 м, плод), *Cirsium vulgare* (sp, 1-1,2 м, цв-плод), *Vicia cracca* (sol, до 0,4 м, вег-плод), *Humulus lupulus* (sol, плод), *Bunias orientalis* (sol, 1-1,2 м, плод), *Ptarmica vulgaris* (sol-sp, до 0,6 м, цв), *Plantago maxima* (sol-sp, до 0,35 м, цв), *Pyrethrum corymbosum* (sol, до 0,5 м, цв), *Lithospermum officinale* (sol, 0,4 м, цв), *Ranunculus flammula* (sol, до 0,35 м, вег), *Comarum palustre* (sol, до 0,4 м, цв), *Lythrum salicaria* (sol, до 0,5 м, цв), *Triglochin maritimum* (sol, до 0,35 м, плод).

На данной территории в луговом фитоценозе были обнаружены виды *Triglochin maritimum* и *Comarum palustre*, занесенные в «Красную книгу Самарской области» (2007).

Озеро Яма расположено в 2,3 км к востоку от с. Сергиевск. Водоем карстового происхождения, продолговато-сложнолопастной формы. Питание подземное, без выраженного стока. Длина береговой линии – ≈500 м, размер 30-60×220 м.

Озеро Яма визуально имеет зеленовато-голубоватый цвет воды. Берега более-менее симметричные, топкие, заболоченные. Глубина у берега – 0,2-0,3 м, далее – до 3 м и глубже. Донные отложения: черно-жгучий ил, очень вязкий с сильным запахом сероводорода.

Большая площадь водного зеркала свободна от плавающих растений, под водой есть побеги *Sparganium erectum* (sol, 0,2 м, вег), прикрепленные к серо-черному грунту и видные под прозрачной водой. Дно покрыто слоем опустившийся на него ряски. Вдоль кромки воды у берега сплошной пояс образует *Hydrocharis morsus-ranae* (cop1, цв), шириной 1,5-2 м. ОПП – 15%. Он непрерывный, тянется по всей окружности озера.

В прибрежной зоне на илистом субстрате произрастают *Sparganium erectum* (sp, 0,2 м, вег), *Alisma plantago-aquatica* (sp, 0,35 м, цв) и всходы других растений.

Все озеро окружено зарослями гигрофитных кустарников: *Salix triandra, S. cinerea*, высотой 3,5 м. Единично встречаются *Alnus glutinosa, Padus avium, Ulmus laevis* и *Frangula alnus.*

Под пологом ив, на склоне у озера описан осоково-разнотравный фитоценоз: *Carex acuta* (cop2, 0,3-0,4 м, вег-плод), *Phragmites australis* (sp-cop, 1,2-1,5 м, плод), *Rubus caesius* (sp, вег), *Calystegia sepium* (sp, вег), *Artemisia abrotanum* (sol, 0,9-1,1 м, вег), *Lycopus europaeus* (sol, 0,4 м, вег), *Agrostis stolonifera* (sp, 0,2-0,3 м, вег), *Sium latifolium* (sol, до 0,35 м, вег), *Ptarmica vulgaris* (sol, 0,4-0,5 м, цв), *Potentilla anserina* (sol, до 0,2 м, вег), *Thalictrum simplex* (sol, 0,-0,4 м, цв), *Melilotus albus* (sol, до 0,5 м, цв), *Inula britannica* (sol, 0,2-0,3 м, цв), *Althaea officinalis* (sol, 0,4-0,45 м, цв), *Senecio fluviatilis* (sol, 0,4 м, цв), *Mentha arvensis* (sol, 0,2-0,3 м, вег), *Elytrigia repens* (sol, 0,25-0,3 м, вег), *Ranunculus repens* (sol, 0,2-0,3 м, вег), *Lysimachia nummularia* (sol, 0,35-0,4 м, цв), *Rumex hydrolapathum* (sol, 0,4-0,6 м, плод), *Typha angustifolia* (sol, 1,2-1,4 м, плод), *Atriplex calotheca* (sol, 0,6 м, вег), *Cuscuta europaea* (sol, вег), *Medicago lupulina* (sol, до 0,2 м, вег), *Taraxacum officinale* (sol, до 0,2 м, вег), *Plantago maxima* (sol, 0,2-0,3 м, вег), *Solanum dulcamara* (sol, до 0,4 м, вег), *Filipendula ulmaria* (sol, 0,5 м, вег), *Artemisia vulgaris* (sol, 0,5-0,6 м, вег), *Galium aparine* (sol, до 0,6 м, вег), *G. boreale* (sol, 0,2-0,3 м, вег), *Geranium pratense* (sol, до 0,5 м, цв), *Glechoma hederacea* (sol, 0,15-0,2 м, вег), *Hylotelephium triphyllum* (sol, 0,4 м, цв), *Chartolepis intermedia* (sol, 0,7 м, цв), *Urtica dioica* (sol, 0,6-0,7 м, вег), *Veronica spuria* (sol, 0,4-0,5 м, цв), *Humulus lupulus* (sol, вег), *Achillea millefolium* (sol, 0,2-0,4 м, цв), *Sanguisorba officinalis* (sol, 0,4-0,6 м, цв), *Equisetum arvense* (sol, 0,2-0,3 м, вег), *Equisetum palustre* (sol, 0,35 м, вег), *Angelica archangelica* (sol, 0,8 м, вег), *Lythrum salicaria* (sol, 0,6-0,7 м, цв), *Symphytum officinale* (sol, до 0,5 м, цв), *Cenolophium denudatum* (sol, 0,7 м, вег), *Lepidium latifolium* (sol, 0,6-0,7 м, цв), *Bidens tripartita* (sol, 0,2-0,3 м, цв), *Urtica urens* (sol, до 0,2 м, вег), *Stachys palustris* (sol, 0,4 м, цв), *Festuca rubra* (sol, 0,35-0,4 м, вег), *Chaiturus marrubiastrum* (sol, до 0,75 м, вег). В «Красную книгу Самарской области» (2007) занесен *Chartolepis intermedia.*

Озеро Барское расположено в 2 км к северо-востоку от с. Сергиевск. Водоем старичного происхождения, сложной удлиненной формы. Питание подземное, с одним стоком. Длина береговой линии – ≈2 км, размер – 65-70×870 м.

Крупное пойменное озеро-старица соединяется с руслом Сока через протоку. Берега пологие, топкие. Глубина у берега – не более 0,3 м, рельеф дна сравнительно выровненный. Донные отложения илистые, с поверхности имеют сероватый оттенок. Ил по окраске темный, почти черный, но по вязкости отличается от озер карстового происхождения; вода чистая, прозрачная, без запаха сероводорода. По словам старожилов, озеро глубокое. Территория, окружающая водоем, покрыта луговой растительностью.

Процессы зарастания на водоеме развиты очень сильно. Водная растительность хорошо сформирована и образует пояс шириной 5-6 м. На мелководных участках (1-2 м

глубиной) отмечаются крупные заросли *Nymphaea alba* (cop2, цв) и *Nuphar luteae* (cop1, цв). Эти виды включены в «Красную книгу Самарской области» (2007).

С северо-восточной стороны озера в толще воды, на дне и на поверхности водоема обнаружены скопления *Lemna trisulca* (cop1, вег) и *Spirodela polyrhisa* (cop1, вег). В воде произрастают также *Hydrocharis morsus-ranae* (sp, цв) и *Ceratophyllum demersum* (sp, вег). Центральная часть водоема остается свободной от высших водных растений.

Пояс прибрежно-водной растительности образуют травянистые группировки с доминированием *Typha angustifolia* (cop2, 0,7-0,9 м, вег-плод) и *Carex nigra* (cop2, 0,3-0,4 м, вег-плод). Небольшими группами около воды отмечены *Alisma plantago-aquatica* (sp, 0,3 м, вег), *Oenanthe aquatica* (sp, 0,2-0,4 м, вег), *Bolboschoenus maritimus* (sol, 0,3 м, вег-плод), *Ranunculus sceleratus* (sol, 0,3 м, цв), *Persicaria maculate* (sol, 0,2 м, вег), *Galium rivale* (sol, 0,15-0,2 м, вег), *Limosella aguatica* (sol, 0,3 м, вег) и др.

Далее озеро окружено чистыми зарослями *Phragmites australis* и кустарниковых ив (*Salix cinerea, S. triandra, S. viminalis*). За ними следует луговое разнотравье. В травостое обильно представлены *Hylotelephium triphyllum*, *Symphytum officinale*, *Mentha arvensis*, *Rumex hydrolapathum*, *Senecio grandidentatus* и др.

Озеро Ильинское расположено в 1,1 км к западу от с. Красноярка. Водоем старичного происхождения, удлиненно-изогнутой формы. Питание – подземное, без выраженного стока. Длина береговой линии – ≈1,4 км, размер – 60×580 м. Озеро с пологими симметричными заболоченными берегами.

По рассказам старожилов, озеро очень глубокое и с р. Сок не было соединено никогда. Глубина у берегов – от 0,4 м, рельеф дна – в виде плавно углубляющейся ложбины. Донные отложения глинисто-илистые, с поверхности имеют коричневатый оттенок. Ил по окраске темно-серый, не вязкий; вода чистая, прозрачная, без запаха сероводорода. Окружают водоем пойменный лес и луговые фитоценозы.

Пояс водной растительности (до 5 м шириной) представлен двумя видами: *Hydrocharis morsus-ranae* (cop2, цв) и *Nuphar luteae* (cop2, цв). Центральная часть водного зеркала свободна от растений.

Ширина пояса прибрежно-водных травянистых группировок – около 8-10 м. Четко выделяется самый внутренний пояс с доминированием *Scirpus lacustris* (cop2, до 0,4 м, вег). Небольшими пятнами в нем встречаются *Butomus umbellatus* (sp, 0,2-0,3 м, вег), *Typha laxmanii* (sp, 0,7 м, вег-плод), *Carex riparia* (sp, 0,5 м, вег), *Bromopsis riparia* (sp, 0,4 м, вег) и *Calamagrostis epigeios* (sp, 1 м, вег). По периферии идут практически чистые заросли *Phragmites australis* (soc, 1,2-1,4 м, вег-плод), более 2 м высотой. Единично среди них встречаются такие виды, как *Cucubalus baccifer*, *Myosotis palustris*, *Sonchus palustris*, *Urtica urens*, *Ranunculus flammula*, *Myosoton aquaticum*, *Persicaria amphibia*, *Lysimachia nummularia* и *Euphorbia palustris*.

Далее следуют заросли кустарниковых ив (*Salix cinerea, Salix triandra, Salix viminalis*) и участки пойменной лесной растительности с доминированием *Populus nigra* и *Alnus glutinosa.* Единично их сопровождают *Populus tremula, Frangula alnus, Rhamnus cathartica* и *Padus avium.*

Травянистый покров представлен злаково-разнотравными фитоценозами с доминированием *Phalaroides arundinacea* (cop2, 0,7-0,9 м, вег). Разнотравье представлено *Rubus caesius* (cop1, плод), *Caltha palustris* (sp, 1 м, вег), *Eupatorium cannabinum* (sol, 2 м, цв), *Rumex hydrolapathum* (sol, 0,7-0,8 м, плод), *Calystegia sepium* (sp-cop, цв), *Vicia cracca* (sol, 0,6 м, цв), *Ranunculus lingua* (sol, 1,5 м, цв), *R. repens* (sol, до 0,2 м, вег), *Veronica spuria* (sol, 0,4-0,5 м, цв), *Symphytum officinale* (sp, 0,3-0,4 м, цв-плод), *Glechoma hederacea* (sol, до 0,2 м, вег), *Bryonia alba* (sol, цв), *Typha latifolia* (sol, 0,9-1,3 м, плод), *Lysimachia vulgaris* (sp, 0,4 м, цв-плод), *Galium uliginosum* (sol, 0,4 м, вег), *Cardamine amara* (sol, 0,4-0,5 м, вег), *Crepis sibirica* (sol, 0,4-0,5 м, вег), *Potentilla supina* (sol, до 0,2 м, вег).

Все изученные озера расположены в левобережной части поймы среднего течения р. Сок. Исследования показали, что пойменные карстовые водоемы долины р. Сок (Под-

горное, Безымянное и Яма), по классификации Н.М. Мингазовой (2001), относятся к малым (по площади водного зеркала от 0,2 до 7 га) озерам, среднеглубинным (5-10 м) и глубоководным (более 10 м); по водному балансу - к сточным и бессточным водоемам, а их котловины характеризуются провалами и наличием мелководной литоральной зоны. Они отличаются слабой степенью зарастания, которое носит поясной характер. Пояса зарастания приурочены лишь к мелководным прибрежным участкам. Отличительной чертой фитоценозов пойменных карстовых озер является низкая флористическая насыщенность. В карстовых озерах (Подгорное, Безымянное и Яма), характеризующихся специфичным эколого-лимнологическим режимом, практически отсутствуют заросли макрофитов, занимающих большие площади в других пойменных озерах-старицах (Барское, Ильинское).

Исследованные водоемы не подвержены загрязнению и предлагаются нами в качестве эталонных гидроботанических объектов.

2.1.5. Бактериопланктон реки Сок и питающих ее родников

Согласно современной парадигме водной микробиологии, бактерии являются важным компонентом планктонных пищевых сетей, не только образуя «микробиальную петлю», но и принимая непосредственное участие в «пастбищной цепи» (Pomeroy, 1974; Azam et al., 1983; Копылов, Косолапов, 2008). Бактерии составляют существенную часть суммарной биомассы планктона. Они выполняют основную роль в деструкции автохтонного и аллохтонного органического вещества в водных экосистемах, принимают участие в деструкции различных загрязняющих веществ, процессах самоочищения водоемов и др. Развитие сапрофитных, условно-патогенных и патогенных бактерий определяет уровень санитарной безопасности рек и озер. Бактериопланктон, вместе с фитопланктоном, играет основную роль в круговороте углерода в равнинных реках (Robertson et al., 1999). Хотя исследованиям бактериопланктона равнинных рек различных географических регионов и континентов посвящен целый ряд работ (Servais, 1989; Boon, 1991; Robertson et al., 1999; Levine, Crump, 2002; Anne et al., 2006; Крылов и др., 2010 и др.), на территории Самарской области комплексные микробиологические исследования ранее были проведены только на р. Чапаевка (Иватин, 1997; Уманская, 2007). Река Сок, в отличие от р. Чапаевка, испытывает меньшую антропогенную нагрузку, и поэтому ее состояние может рассматриваться как фоновое для Самарской области.

Летом 2007 г. было проведено микробиологическое исследование р. Сок и нескольких минеральных и серных родников, питающих ее, и ее притоки Шунгут и Сургут. Пробы были отобраны из поверхностного слоя воды на трех участках в верхнем, среднем и нижнем течении р. Сок и в нескольких родниках и ручьях. Учет общей численности, биомассы, морфологической и размерной структуры бактериопланктона проводили на мембранных фильтрах после окраски эритрозином (Кузнецов, Дубинина, 1989; Уманская, 2004). Численность гетеротрофных бактерий учитывали методом посева на среду R2A и рыбо-пептонный агар, разбавленный в 10 раз (РПА/10), численность сапрофитных бактерий (общее микробное число, ОМЧ) – посевом на неразбавленный рыбо-пептонный агар (РПА) (Reasoner, Geldreich, 1985; Кузнецов, Дубинина, 1989).

Общая численность бактериопланктона в р. Сок составляла 1,17-1,61 млн кл./мл на разных станциях,. Общая биомасса бактерий в реке изменялась от 0,11 до 0,21 мг/л. Подобный уровень развития бактериопланктона был отмечен и в некоторых других равнинных реках (Иватин, 1997; Klammer et al., 2002 и др.). В целом для р. Сок выявлен слабый тренд к уменьшению численности бактериопланктона от верховья реки к устью за счет того, что возрастала доля более мелких клеток, а средний объем бактериальных клеток уменьшался. Для биомассы эта тенденция выражена сильнее (рис. 19).

В планктоне реки практически отсутствовали колонии и биопленки; малочисленные микро- и пикодетритные частицы почти не были колонизированы бактериями. На

всем протяжении реки в планктоне преобладали палочковидные клетки (59-72% общей численности), доля нитевидных клеток была очень низкой (0,05-0,09% общей численности), и на станции ниже с. Красный Яр они полностью исчезли из планктона.

Индивидуальные линейные размеры бактериальных клеток р. Сок изменялись в широких пределах – 0,67-4,67 × 0,33-0,67 мкм (палочки, средний объем 0,13 мкм^3) и 0,33-1,00 мкм (кокки, средний объем 0,07 мкм^3), длина нитевидных клеток достигала 33 мкм.

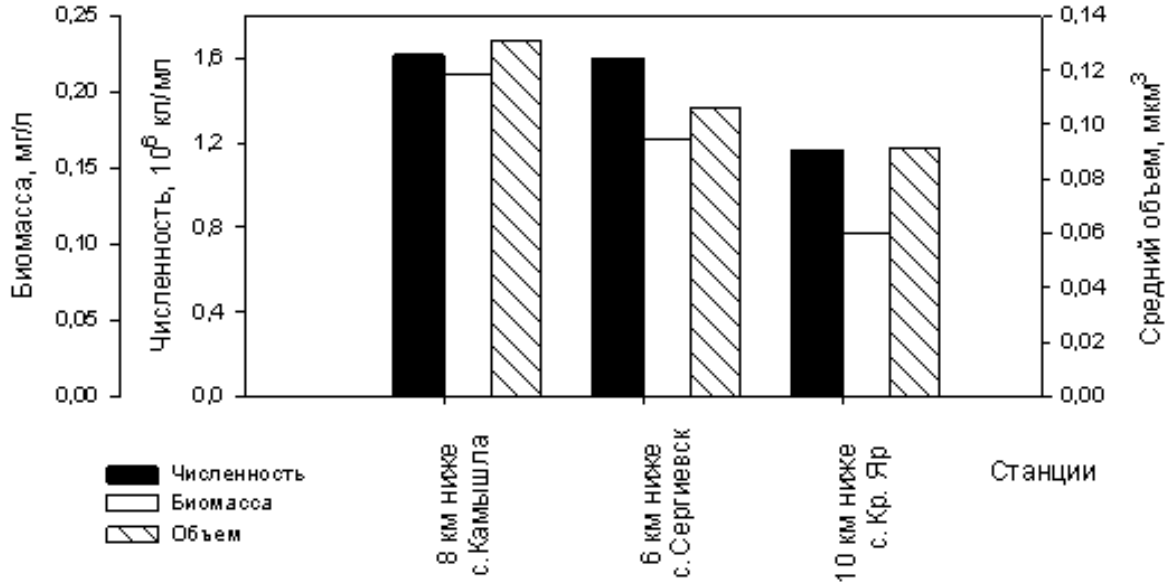


Рис. 19. Общая численность, биомасса и средний объем клеток на различных участках р. Сок

В районе сел Камышла и Сергиевск по берегам р. Сок и ее притоков имеется много напорных источников (родников), которые несут в реки минерализованную сульфидную воду со специфическим бактериопланктоном (Краснова и др., 2008; Уманская, 2009). Для большинства родников этого района характерна низкая численность бактерий в воде – от 1000 до 20 000 кл/мл. Однако в прибрежных и береговых родниках, периодически затопляемых речными водами, количество бактерий повышено, например в Камышлинском и Коржовском родниках оно составляло 0,30 и 0,11 млн кл./мл соответственно. В ручье, вытекающем из оз. Солодовка и собирающем в себя воды всего озера и его родников, численность бактерий была близка к таковой в р. Сок - 1,45 млн кл/мл (рис. 20). В отличие от речного планктона, для родников характерны в среднем более крупные линейные размеры и объем клеток (рис. 20). Необходимо отметить, что в родниках вклад палочковидных клеток в общую численность и биомассу бактериопланктона существенно выше, чем в реке (рис. 21). Это связано с развитием в родниках автотрофных бактерий, имеющих клетки такой формы, в том числе относящихся к родам *Thiobacillus, Thiothrix, Beggiatoa* и др. Размеры палочковидных клеток в них составляли 0,67-5,34 × 0,33-1,67 мкм, средний объем – 0,40 мкм^3; диаметр кокков изменялся от 0,33 до 2,67 мкм, а средний объем был равен 0,11 мкм^3. Практически во всех родниках обнаружены многоклеточные нити, относящиеся преимущественно к р. *Thiothrix*.

Родниковые воды, поступая в р. Сок, оказывают некоторое влияние на состав и структуру бактериопланктона реки, особенно в районе с. Камышла, где по берегам реки расположены многочисленные родники. Видимо, именно влиянием родников объясняется присутствие слизистых бактериальных скоплений, обнаруженных только на станции ниже с. Камышлы. Эти скопления были единичными, причем их вклад в общую численность не превышал 0,5% и составил 0,008 млн кл/мл. Очевидно, сильное разбавление воды родников основной массой воды быстро нивелирует химический состав воды. Поэтому в составе бактериопланктона реки преобладают автохтонные организмы вышележа-

щих участков, а формы, занесенные из микрофлоры самих родников или развивающиеся в условиях смешанных водных масс, являются минорными.

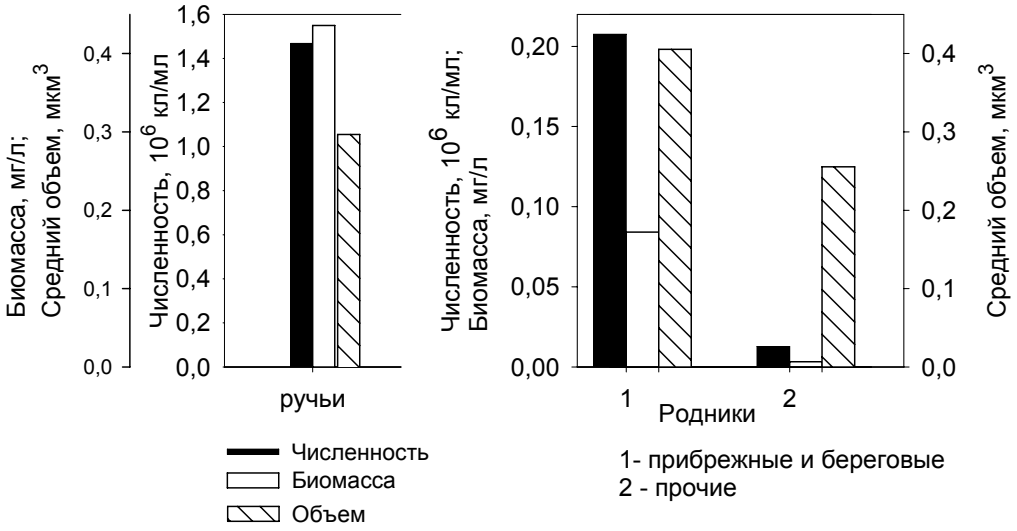


Рис. 20. Общая численность, биомасса и средний объем клеток в ручьях и родниках

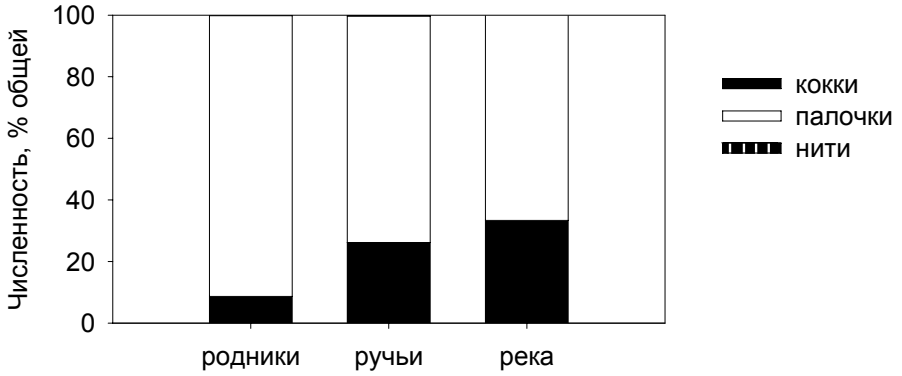


Рис. 21. Морфологическая структура бактериопланктона в различных биотопах

Таким образом, для р. Сок, испытывающей слабую антропогенную нагрузку, характерно менее интенсивное развитие бактериопланктона и меньший размер бактериальных клеток, чем для р. Чапаевка, которая подвержена значительному антропогенному воздействию (табл. 47).

Таблица 47. Сравнительная характеристика бактериопланктона равнинных рек Сок и Чапаевка

Показатель	р. Чапаевка		р. Сок
	1990*	2004**	2007
Общая численность, 10^6 кл/мл	2,06±0,4	3,54±0,95	1,46±0,29
Биомасса, мг/мл	0,62±0,12	0,61±0,22	0,16±0,06
Объем клетки, мкм^3	0,30±0,01	0,17±0,03	0,11±0,02

Примечание: * – по: Иватин, 1997, ** – по: Уманская, 2007. В таблице приведены средние значения ± доверительный интервал.

Поскольку гетеротрофные бактерии являются важным компонентом бактериопланктона в реках, было необходимо оценить уровень развития культивируемых гетеротрофных бактерий, способных к росту на средах с различным содержанием органического вещества. На всех трех средах численность бактерий была невелика (рис. 22). Количество бактерий, растущих на среде с наименьшей концентрацией органического вещества

(среда R2A) колебалось от 0,4% до 0,9% общей численности на разных станциях. Численность бактерий, способных к образованию колоний на среде РПА, разбавленной в 10 раз (РПА/10), составило в верхнем и среднем течении реки 0,14-0,17%, а в нижнем резко снижалось до 0,07% общей численности бактериопланктона. Численность сапрофитных бактерий (способных к росту на РПА) не превышала 0,06% общей численности бактериопланктона, и даже в максимуме, в вернем течении реки, не выходило за пределы санитарных норм (Правила контроля.., 1982).

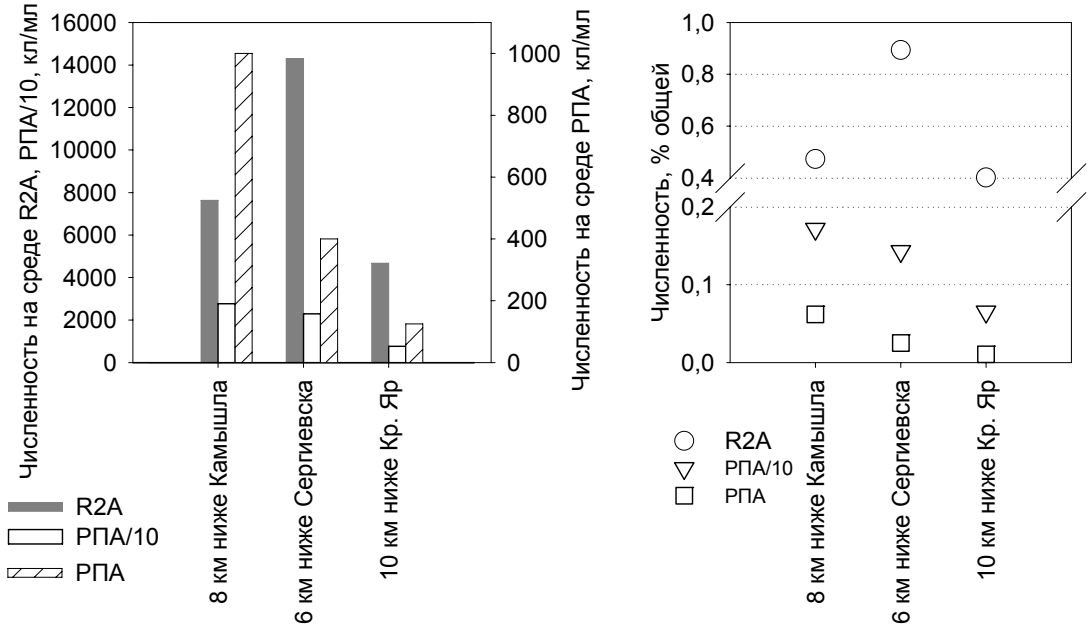


Рис. 22. Численность культивируемых гетеротрофных и сапрофитных бактерий в р. Сок

В целом состояние бактериопланктона в р. Сок и ручьях соответствует мезотрофному уровню продуктивности, а в родниках – олиготрофному. Качество воды, определяемое по совокупности микробиологических показателей (Правила контроля.., 1982), для р. Сок и ручьев соответствует II-III классу качества (чистый-умереннозагрязненный), а для родников - I-II классу качества (очень чистый-чистый).

2.1.6. Фитопланктон рек Сок, Байтуган и некоторых родников бассейна

Изучение фитопланктона р. Сок и водоемов ее бассейна проводилось в разные периоды с 1991 по 2009 г. в комплексных экспедициях лаборатории экологии малых рек ИЭВБ РАН. Наиболее детально, от истока до устья, исследовалась альгофлора р. Сок и правобережного притока р. Байтуган, а также родников его бассейна. Сбор альгологических проб в реках проводился на русловых участках в р. Сок и в прибрежных водах ее нижнего течения, в том числе среди зарослей макрофитов (рдест плавающий – *Potamogeton natans* L.; рдест пронзеннолистный – *P. perfoliatus* L.; роголистник темно-зеленый – *Ceratophyllum clemersum* L.; рогоз широколистный – *Typha latifolia* L.; наяда морская – *Najans maior* All.; осока – *Carex* sp. L.).

Фитопланктон рассматриваемой системы водоемов характеризуется высоким видовым богатством. Всего встречено 430 таксонов водорослей рангом ниже рода, относящихся к 8 отделам, 14 классам, 21 порядку, 55 семейству и 116 родам (табл. 48).

Таблица 48. Таксономическая структура фитопланктона р. Сок и водоемов ее бассейна

Отдел	Число				Число таксонов		
	Классов	Порядков	Семейств	Родов	видо-вых	внутривидо-вых	Всего
Cyanophyta	2	3	7	18	34	0	34
Chrysophyta	1	1	3	6	13	1	14
Bacillariophyta	2	5	16	30	140	39	179
Xanthophyta	1	1	2	2	5	0	5
Cryptophyta	1	1	1	3	18	0	18
Dinophyta	1	1	3	5	12	0	12
Euglenophyta	1	2	4	10	30	3	33
Chlorophyta	5	7	19	52	124	11	135
Всего	14	21	55	116	376	54	430

Наиболее разнообразны диатомовые водоросли – 179 таксонов, что объясняется высокой проточностью рассматриваемых водотоков, отсутствием на всем их протяжении фундаментальных гидротехнических сооружений, а также холодноводностью р. Байтуган и родников ее долины. Отдел зеленых водорослей представлен 135 таксонами, синезеленых – 34, эвгленовых – 33, криптофитовых – 18, золотистых – 14, динофитовых – 12 и желтозеленых – 5.

Следующие десять порядков являются ведущими по разнообразию состава: Raphales (28,6%), Chlorococcales (21,6%), Euglenales (7,7%), Araphales (7,7%), Chlamydomonadales (5,1%), Cryptomonadales (4,2%), Thalassiosirales (4,0%), Chromulinadales (3,3%), Oscillatoriales (3,3%) и Peridiniales (2,8%). Они составляют 88,3% всего таксономического разнообразия планктона альгофлоры рассматриваемой системы водоемов, одним семейством в которой представлены 7 порядков, одним родом - 3, одним видом - 3.

В спектре ведущих семейств и родов фитопланктона р. Сок и водоемов ее бассейна максимальное число ранговых мест принадлежит Bacillariophyta и Chlorophyta, в меньшей степени – Euglenophyta и Cryptophyta. Ведущими по видовому разнообразию состава являются следующие 10 семейств: Naviculaceae (40 таксонов рангом ниже рода), Scenedesmaceae (39), Naviculaceae (39), Nitzschiaceae (32), Euglenaceae (30), Fragilariaceae (25), Chlorellaceae (24), Cryptomonadaceae (18), Chlamydomonadaceae (16) и Stephanodaceae (15). В целом доля ведущих семейств составляет 64,72% видового состава сводного списка планктона альгофлоры исследуемых водоемов. Три первых ранговых места родового спектра занимают Nitzschia (32 таксона рангом ниже рода), Navicula (32) и Scenedesmus (25). Одним родом представлено 22 семейства, одним видом – 11 семейств. Родов, представленных одним видом водорослей – 52.

Комплекс планктонных организмов преобладает во всех отделах водорослей, кроме диатомовых и эвгленовых, экологический спектр которых формируют бентосные виды и обитатели прибрежных, мелководных биотопов (табл. 49). Среди представителей диатомовых водорослей заметную роль играют виды-обрастатели, главным образом представители родов *Achnanthes, Cymbella, Gomphonema, Epithemia*, которые отмечаются преимущественно в планктоне сообществ макрофитов приустьевого участка р. Сок.

Как видно из табл. 50, основу фитопланктона изучаемой системы водоемов создают виды с широким географическим распространением (87% от числа видов), пресноводные формы (индифференты по отношению к солености воды составляют 72%), обитающих в нейтральных или слабощелочных водах (индиффиренты – 48%, алкалифилы + алкалибионты – 46% от числа видов – индикаторов pH среды).

Таблица 49. Число видов, разновидностей и форм водорослей разных экологических групп в фитопланктоне р. Сок и водоемов ее бассейна

Отделы	Планктонная	Бентосная	Бентосно-планктонная	Литоральная	Эпифитная	Обрастатели
Cyanophyta	24	2	0	5	1	1
Chrysophyta	12	1	0	0	1	0
Bacillariophyta	39	56	4	49	0	28
Xanthophyta	3	0	0	2	0	0
Cryptophyta	10	1	3	4	0	0
Dinophyta	8	0	2	2	0	0
Euglenophyta	10	1	1	21	0	0
Chlorophyta	112	3	1	14	0	0
Всего	218	64	11	97	2	29

Таблица 50. Распределение числа видов, разновидностей и форм водорослей в фитопланктоне р. Сок и водоемов ее бассейна по эколого-географическим группам

Группа	Число таксонов	%	Группа	Число таксонов	%
По распространению			По степени сапробности		
Космополит	338	87,0	Ксеносапроб	1	0,3
Северо-альпийский	18	5,0	Ксено-олигосапроб	1	0,3
Альпийский	3	1,0	Ксено-бетамезосапроб	1	0,3
Бореальный	25	6,0	Олигосапроб	45	15,0
Субтропический	4	1,0	Олиго-бетамезосапроб	36	12,0
Всего	388	100	Бета-олигосапроб	30	10,0
По отношению к pH			Олиго-альфамезосапроб	21	7,0
Алкалифил+алкалибионт	109	46,0	Бетамезосапроб	102	35,0
Индиффирент	117	48,0	Бета-альфамезосапроб	20	7,0
Ацидофил+ацидобионт	15	6,0	Альфа-бетамезосапроб	11	4,0
Всего	241	100	Бета-полисапроб	4	1,5
По отношению к солености воды			Альфамезосапроб	15	5,0
Галофоб	15	4,0	Альфа-полисапроб	2	1,0
Олигогалоб	43	11,0	Поли-альфамезосапроб	1	0,3
Галофил	37	10,0	Полисапроб	1	0,3
Индиффирент	262	72,0			
Мезогалоб	12	3,0			
Всего	369	100	Всего	291	100

Индикаторами различной степени органического загрязнения водной толщи являются 291 таксон водорослей рангом ниже рода, что составляет 67% сводного списка фитопланктона изучаемых водоемов. Состав водорослей-сапробионтов на 35% образован β-мезосапробами, хотя достаточно разнообразны и олигосапробы (15%), а также индикаторы промежуточной степени загрязнения между β-мезо- и олигосапробной (29%). На долю видов, которые предпочитают воды с высокой степенью органического загрязнения (от α-β-мезо- до полисапробов) приходится менее 12%. Преобладают виды, которые являются показателями III класса чистоты воды (59%) – «умеренно загрязненная».

Общий список альгофлоры планктона системы водоемов, где проводились исследования, с указанием места регистрации, эколого-географических характеристик, отношения к солености и pH воды, зон и коэффициентов сапробности включает нижеперечисленные виды, разновидности и формы водорослей.

Отдел CYANOPHYTA

Класс CHROOCOCCEAE

Порядок CHROOCOCCALES

Семейство SYNECHOCOCCACEAE

Aphanothece clathrata W. et G.S. West – Со, Р – П, к, И, β (2,1)
A. microsporica Näg. – Р – Л, с-а, Гб, β (2,1)
*Rhabdogloea smithii (*R. et F. Chod) Komarék – Со, Р – П, б, Гл, о (1,2)
Rhabdoderma lineare Schmidle et Laut. emend. Hollerb. f. *spirale* (Wolosz.) Hollerb. – Со – П, ст, Ог, β

Семейство MERISMOPEDIACEAE

Aphanocapsa incerta (W. et G. S. West) Kom.-Leg. et Cronberg – Со – П, к, И, β (2,2)
Merismopedia punctata Meyen – Со – П, к, И, Ин, о-α (1,9)
M. tenuissima Lemm. – Со – П, к, Ог, Ин, β-α (2,5)
Microcystis aeruginosa Kütz. emend Elenk. – Со, Ба, Р – П, к, И, Ал, β (2,0)
M. pulverea (Wood) Forti emend. Elenk. – Со – П, к, И, о-α (1,8)

Семейство CHROOCOCCACEAE

Chroococcus limnetica Lemm. – Со – П, к, И, о (1,0)
C. minuta (Kütz.) Näg. – Ба – П, к, Гл, о (1,2)
C. turgida (Kütz.) Näg. – Со – Л, к, Гл, о (1,3)

Класс HORMOGONIOPHYCEAE

Порядок OSCILLATORIALES

Семейство PSEUDANABAENACEAE

Geitlerinema splendidum (Grev. ex Gom.)Anagn. – Со – Л, к, И, α-β (2,6)
Leptolyngbya foveolarum (Rabenh. ex Gom.) Anagn. et Kom. – Со, Р – Л, к, И, α (3,0)
Limnothrix planctonica (Wolosz.) Meffert. – Со – П, к, И
Planktolyngbya limnetica (Lemm.) Kom.-Leg. et Cron. – Со, Ба – П, к, И, Ин, β (2,3)
Pseudanabaena frigida (Fritsch.) Anagn. – Со – П, к, И
P. limnetica (Lemm.) Komarék – Со – П, к, И, о-β (1,4)
P. mucicola (Naum. et Hub.-Pestalozzi) Schwabe – Со, Ба – Э, к, И, о-β (1,5)
Romeria elegans (Wolosz. in Koczw.) Wolosz. et Koczw. ex Geitl. – Со – П, к, И, β-о (1,6)
R. gracilis (Koczw.) Koszw. ex Geitl. – Со – Л, к, И

Семейство PHORMIDIACEAE

Phormidium ambiquum Gom. et Gom. Со – П, к, И, β (2,0)
P. fergestinum (Kütz.) Anagn. et Kom. – Со – П, к, И, β-ρ (2,9)
Tychonema bornetii (Zukal) Anagn. et Kom. – Ба – П, а

Семейство OSCILLATORIACEAE

Oscillatoria nitida Šchkorb. – Со – П
O. rupicola Hansg. – Со – О, к, И

Порядок NOSTOCALES

Семейство ANABAENACEAE

Anabaena constricta (Szaf.) Geitl. – Со – к, И, ρ-α (3,8)
A. flos-aquae (Lyngb.) Bréb. – Со, Ба, Р – П, к, И, β (2,0)
A. minima Tschernov – Ба – Б, к, И
A. oscillarioides Bory – Ба – Л, к, И, β (2,0)
A. scheremetievi Elenk. – Со – П, к, И, Ал, β-о (1,7)

A. sigmoidea Nyg. – Со – П, б, И
A. variabilis Kütz. – Со – Б, к, И, β (2,0)
Aphanizomenon flos-aquae (L.) Ralfs. ex Born. et Flah. – Со, Ба, Р – П, к, И, β (2,2)
A. issatschenkoi (Ussatsch.) Pr.-Lavr. – Со – П, к, И, β-о (1,6)

Отдел CHRYSOPHYTA
Класс CHRYSOPHYCEAE
Порядок CHROMULINADALES
Семейство CHRYSOCOCCACEAE
Kephyrion laticolis Conrad – Ба – П
K. ovale (Lackey) Huber – Pestalozzi – Со – П
K. rubri-claustri Conrad – Со, Ба – Б, б, И, о (1,3)

Семейство DINOBRYONACEAE
Dinobryon divergens Imhof – Со – П, к, И, Ин, о-α (1,8)
D. suecicum Lemm. – Р – П. а, И, о (1,2)
Pseudokephyrion poculum Conrad – Со – П, б
P. pseudospirale Bourrelly – Со – П
P. schilleri (Schiller) Conrad – Со – П, к, Ог, о
Stylochrysallis parasitica Stein – Со – Э, к, И

Семейство SYNURACEAE
Mallomonas elliptica (I. Kiss.) Conrad – Со – П, к, И, Ин
M. heverlensis Conrad – Со – П
M. tonsurata Teiling var. *tonsurata* – Со – П, к, И, Ац, о-α (1,8)
M. tonsurata var. *alpina* (Pasch. et Ruttn.) Krieg. – Ба – П, б, И
Synura lapponica Skuja – Со – П

Отдел BACILLARIOPHYTA
Класс CENTROPHYCEAE
Порядок THALASSIOSIRALES
Семейство THALASSIOSIRACEAE
Skeletonema subsalsum (Cleve-Euler) Bethge – Со, Р – П, Гл, β-α
Thalassiosira guillardii Hasle – Со – П

Семейство STEPHANODISCACEAE
Cyclostephanos dubius (Fricke) Round – Со – П, б, И, β (1,9)
C. invisitatus (Hohn St Hei.) Ther., Stoerm. St Hak – Со – П, к, И, Ал, о (1,2)
Cyclotella atomus Hust. – Со, Р – П, к, Гл, о
C. bodanica Grun. – Со – П, с-а, И, Ин, о (1,2)
C. comensis Grun. – Со, Ба – П, с-а, И, Ин, о (1,2)
C. meduanae Germ. – Со – П
C. meneghiniana Kütz. – Со, Ба, Р – П, к, Гл, Ал, α-β (2,6)
C. pseudostelligera Hust. – Со, Р – П, к, β
C. radiosa (Grun.) Lemm. – Со, Ба – П, к, И, Ал, о (1,2)
C. stelligera Cl. et Grun. – Со, Ба, Р – П, к, И, Ал, β-о (1,6)
Stephanodiscus agassizensis Hakansson et Kling – Со – П, к, И, Ал, о-β
S. hantzschii Grun. – Со, Ба, Р – П, к, И, Ал, α-β (2,7)
S. makarovae Genkal – Со, Ба, Р – П
S. minutulus (Kütz.) Cl. et Moller – Со – П, б, И, Ал, α
S. triporus Genkal et Kuzmin – Со – П

Порядок MELOSIRALES
Семейство MELOSIRACEAE

Melosira undulata (Ehr.) Kütz. – Со – Л, к, И, Ин
M. varians Ag. – Со, Ба, Р – П, к, Гл, Ал, о-α (1,85)

Семейство AULACOSIRACEAE

Aulacoseira ambigua (Grun.) Sim. – Со, Р – П, к, И, Ал, о-β (1,5)
A. granulata (Ehr.) Sim. – Со, Ба, Р – П, к, И, Ал, β-α (2,5)
A. islandica (O. Müll.) Sim. – Со – П, с-а, И, Ин, о-β (1,5)

Порядок COSCINODISCALES
Семейство HEMIDISCACEAE

Actinocyclus normanii (Greg.) Hust. – Со, Ба, – П, Гл, Ал, α

Класс PENNATOPHYCEAE
Порядок ARAPHALES
Семейство FRAGILARIACEAE

Asterionella formosa Hass. – Р – П, к, И, β-о (1,6)
Fragilaria atomus Hust. – Со – П
F. bicapitata Mayer – Со – Л, с-а, Гб, Ал, о (1,2)
F. brevistriata Grun. – Со – Л, к, Ал, β
F. capucina Desmaz. var. *capucina* – Со – П, к, И, Ал, β-о (1,6)
F. capucina var. *lanceolata* Grun. – Со – Л, к, о
F. constricta Ehr. – Со – Л, б, И, Ац, о
F. construens (Ehr.) Grun. – Со – Л, к, И, Ал, β-о (1,6)
F. crotonensis Kitton – Со – П, к, Гл, Ал, β-о (1,7)
F. leptostauron (Ehr.) Hust. var. *dubia* (Grun.) Hust. – Со – Л, к, Гб, Ал
F. leptostauron var. *martyi* (Heribaud) Lange-Bertalot – Со – Л
F. virescens Ralfs var. *virescrns* – Со – Л, б, И, Ин, о (1,0)
F. virescens var. *capitata* Oestr. – Со – Л, к, И
F. virescens var. *subsalina* Grun. – Со – Л, Гл
Synedra acus Kütz. var. *acus* – Со, Р – П, к, И, Ал, β-о (1,7)
S. acus var. *radians* (Kütz.) Hust. – Со – П, к, И, Ал, о-β
S. amphicephala Kütz. – Со – О, к, И, х
S. nana Meist. – Со – Л, с-а, Гб, Ин, о
S. rumpens Kütz. – Со, Ба – П, к, И, β-о (1,6)
S. tabulata (Ag.) Kütz. – Со – О, к, Мг, β-α (2,5)
S. tenera W. Smith – Со – Л, с-а, Гб, Ац, о,
S. ulna (Nitzsch.) Ehr. var. *ulna* – Со, Ба – Л, к, И, Ин, β (2,0)
S. ulna var. *amphirhynchus* (Ehr.) Grun. – Со – Л, к, И, Ал
S. ulna var. *danica* (Kütz.) van Heurck – Со – П, к, И, Ал, β-о (1,7)
S. ulna var. *oxyrhynchus* (Kütz.) V. H. – Со – Л, к, И, Ин

Семейство DIATOMACEAE

Diatoma anceps (Ehr.) Kirchn. – Со, Ба, Р – Б, с-а, Гб, Ал, о (1,2)
D. mesodon (Ehr.) Kütz. – Со, Р – Б, с-а, Гб, о (1,2)
D. tenuis Ag. – Со, Ба – П, б, Гл, Ал, β-о (1,6)
D. vulgare Bory var. *vulgaris* – Со, Ба, Р – Л, к, И, Ал, β (2,2)
D. vulgare var. *breve* Grun. – Со – Л, к, И, Ал, β
D. vulgare var. *productum* Grun. – Со – Л, к, И, Ал, β (2,2)
D. vulgare var. *ovale* (Fricke) Hust. – Со – Л, к, И, Ал, β

Meridion circulare (Greville) Ag. – Ба, Р – Л, с-а, Гб, Ал, о (1,1)

Порядок RAPHALES

Семейство NAVICULACEAE

Caloneis amphisbaena (Bory.) Ehr. – Со – Б, к, И, Ал, β-α (2,3)
Gyrosigma acuminatum (Kütz.) Rabenh. var. *acuminatum* – Со – Б, б, И, Ал, β (2,2)
G. acuminatum var. *gallicum* Grun. – Со – Б, к, Гл
*G. attenuatum (*Kütz.) Rabenh. – Р – Б, к, И, Ал, β (2,0)
G. scalproides (Rabenh.) Cl. – Ба – Б, к, И, β (2,2)
G. spenseri (Quexett.) Griffitn. et Henfery – Ба – Б, к, Мг, Ал, о
Navicula bacilliformis Grun. – Р – Б, к, И, Ин
N. bacillum Ehr. – Со, Р – Л, к, Ог, Ал, о-β (1,5)
N. capitata Ehr. var. *capitata* – Со – Л, к, И, Ал, β-α (2,4)
N. capitata var. *hungarica* (Grun.) Ross. – Со – Л, к, Гл, Ал, β-α (2,5)
N. capitataradiata Germain. – Со – О, к, Гл, Ал, β (2,1)
N. cincta (Ehr.) Kütz. – Со, Ба – Б, к, Гл, Ал, α-β (2,6)
N. crucicula (W. Sm.) Donk. var. *crucicula* – Со – Л, к, Мг, Ин
N. crucicula var. *obtusata* Grun. – Со – Л, ст, Мг
N. cryptocephala Kütz. var. *cryptocephala* – Со, Ба – Б, к, И, Ал, β-α (2,5)
N. cryptocephala var. *lata* Poretzky et Anissim. – Со – Б, к, И
N. elginensis (Greg.) Ralfs – Со – Б, к, Ог, о-β (1,4)
N. exigua (Greg.) Grun. – Со, Ба, Р – Б, к, И, Ал, о-β (1,4)
N. gastrum (Ehr.) Kütz. – Со – Б, к, И, Ин, о-β (1,5)
N. laevissima Kütz. – Со, Р – Б, к, И, Ин
N. laterostrata Hust. – Со – Б, к, И, Ал
N. menisculus Schum. – Со – Б, к, Гл, Ал, β (2,1)
N. microcephala Grun. – Со – Б, к, И, о
N. minima Grun. – Р – Л, к, Ог, Ал, β (2,2)
N. minuscula Grun. – Со, Ба – Б, к, Гл, Ал, β-α
N. muralis (W. Sm.) Cl. – Со – Б, к, И, Ин
N. mutica Kütz. var. *cohnii* (Hilse) Grun. – Ба – П, к, И, Ал
N. peregrina (Ehr.) Kütz. – Со, Ба – Б, к, Мг, Ал, о
N. protracta (Grun.) Cl. – Со, Р – П, к, Гл, Ин, β
N. pseudanglica Lange-Bertalot – Со – Б, к, И, Ал, β
N. pupula Kütz. var. *elliptica* Hust. – Со – Б, к, Гл, Ин
N. pusilla W. Sm. Var. var. *lungstroemii* (Cl.) Lange-Bertalot. – Р – Гл
N. radiosa Kütz. – Со, Ба, Р – Б, к, И, Ин, β (2,0)
N. rhynchocephala Kütz. – Со, Ба – Л, к, И, Ал, α-β (2,7)
N. schoenfeldii Hust. – Со – Б, б, Ог, Ал, α-β
N. slesvicensis Grun. – Со – Л, Гл, Ал, β
N. tripunctata (O. F. Müll.) Bory – Со, Ба, Р – Б, к, И, Ал, β-о (1,7)
N. tuscula (Ehr.) Grun. – Со – Б, б, И, Ал, о-β (1,5)
N. veneta Kütz. – Со, Ба – Б, к, Гл, Ал, α (2,8)
Neidium productum (W. Smith) Cl. – Со – Б, к, И, Ал, о-β (1,5)
Pinnularia viridis (Nitzsch.) Ehr. – Со – Б, к, Ог, Ин, β-о (1,7)

Семейство ACHNANTHACEAE

Achnanthes jentzschii (Grun.) Schulz – Со – Б, б, И
A. lanceolata (Bréb.) Grun. var. *lanceolata* f. *lanceolata* – Со, Ба, Р – О, к, И, Ал, β (2,0)
A. lanceolata var. lanceolata f. ventricosa Hust. – Р – П, к, И, Ин, х-β (0,8)
A. lanceolata var. *rostrata* (Ostr.) Hust. – Со – О, к, И, Ал, α

A. laterostrata Hust. – Ба – Б, с-а, И, Ин, о
A. linearis (W. Sm.) Grun. sensu Hust. – Со – Б, к, И, Ин, х-о (0,4)
A. minutissima Kütz. – Со – О, к, И, Ин, β (2,0)
Cocconeis placentula Ehr. var. *placentula* – Со, Ба, Р – О, к, Ог, Ин, β-о (1,6)
C. placentula var.*euglypta* Ehr. – Со – П-Б, к, Ог, Ин, β
C. placentula var. *lineata* (Ehr.) Van Heurck – Со – П-Б, к, Ог, Ин, о-β (1,4)
C. scutellum Ehr. – Р – Б, к, Гл

Семейство EUNOTIACEAE

Eunotia monodon Ehr. – Со – Л, к, Гб, Ац, о (1,0)

Семейство RHOICOSPHENIACEAE

Rhoicosphaenia abbreviata (Ag.) Lange-Bertalot – Со, Р – О, к, Гл, Ал, β (2,0)

Семейство CYMBELLACEAE

Amphora delicatissima Krasske – Со, Ба – Б, к, Мг
A. ovalis (Kütz.) Kütz. – Со, Р – Б, к, Ог, Ал, β-о (1,7)
A. perpusilla (Kütz.) Grun. – Со – Б, к, И, Ал
A. veneta Kütz. – Со, Ба, Р – Б, к, И, Ин, о
Cymbella affinis Kütz. – Со – О, к, Ог, Ин, β-о (1,6)
C. cistula (Ehr.) Kirchn. – Со – О, к, Ог, Ал, о (1,2)
C. elginensis Krammer – Со – О, к, И, Ал
C. helvetica Kütz. – Ба – Б, к, И, Ал, о (1,2)
C. lata Grun. var. *minor* Molder – Ба – Б, б, И, Ин
C. naviculiformis Auersw. – Со – О, б, И, Ин, о (1,1)
C. prostrata (Berk.) Cl. – Со, Ба – О, к, И, Ал, о-α (1,8)
C. turgidula Grun. – Со – О, к, Ин
C. ventricosa Bréb. – Со – О, к, И, Ин, о-β (1,4)

Семейство GOMPHONEMACEAE

Gomphonema acuminatum Ehr. var. *acuminatum* – Со – О, к, И, Ал, β-о (1,7)
G. acuminatum var. *trigonocephalum* (Ehr.) Grun. – Со – О, к, И, Ал, β
G. angustatum Kütz. var. *lineare* Hust. – Со – О, к, И, Ал
G. angustatum var. *productum* Grun. – Со, Ба, Р – О, к, И, Ал, β-α (2,4)
G. intricatum Kütz. var. *pumilum* Grun. – Со – О, к, Ин, о (1,2)
G. lanceolatum Ehr. – Ба – О, к, И, Ал, о (1,3)
G. olivaceum (Horn.) Bréb. – Со, Ба, Р – Б, к, И, Ал, β (2,0)
G. parvulum (Kütz.) Kütz. var. *parvulum* – Со, Ба, Р – О, к, И, Ин, β (2,1)
G. parvulum var. *lagenula* (Kütz.) Frenguelli – Со – О, с-а, И, Ин
G. parvulum var. *micropus* (Kütz.) Cl. – Со – О, к, И, Ин
G. tergestinum Fricke – Со – О, б, И, Ал, β (2,2)
G. ventricosum Greg. – Со – О, с-а, И, Ин, о (1,0)

Семейство EPITHEMIACEAE

Epithemia adnata (Kütz.) Bréb. – Со – О, к, И, Ал, о-β (1,5)
E. turgida (Ehr.) Kütz. – Со, Р – Л, к, Гл, Ал, β-о (1,6)

Семейство NITZSCHIACEAE

Nitzschia acicularis (Kütz.) W. Sm. – Со, Ба, Р – П, к, И, Ал, β-α (2,4)
N. amphibia Grun. – Со – Б, к, И, Ал, β-α
N. capitellata Hust. – Со – Б, б, И, Ал, α-ρ
N. closterium (Ehr.) W. Smith – Со – П, к, Гл

N. constricta (Kütz.) Ralfs – Со – Л, к, Гл, Ал, β-α (2,5)
N. feleformis (W. Sm.) Van.-Heurck – Ба – б, Гл, β-α (2,5)
N. fonticola Grun. – Со – Л, к, И, Ал, о-β (1,5)
N. frustulum (Kütz.) Grun. – Со, Ба – Б, к, Гл, Ал, β (2,0)
N. gracilis Hantzsch. var. *gracilis* – Со, Ба, Р – Л, к, И, Ин, β-о (1,6)
N. gracilis var. *capitata* Wisl. et Poretzky – Со – Л, к, И, о
N. gracilis var. *minor* Skabitsch. – Со, Ба – О, Ог
N. hantzschiana Rabenh. – Со, Ба – Б, с-а, И, Ал, о (1,2)
N. heufleriana Grun. – Со – Б, к, И, Ал, о (1,2)
N. homburgiensis Lange-Bertalot – Со, Ба – Л, с-а, Гб, о
N. hungarica Grun. – Со – Л, к, Мг, Ал, α–β (2,6)
N. intermedia Hantzsch – Со – Л, к, И, Ин, α-β
N. levidensis (W. Smith) Grun. – Со – Б, к, Мг, Ал, α
N. linearis W. Smith var. *linearis* – Со, Ба, Р – Б, к, И, Ал, о-β (1,5)
N. linearis var. *tenuis* (W. Smith) Grun. –Со, Ба – Б, к, Ог, Ин, β
N. macilenta Greg. in Grev. – Ба, Р – Гл
N. palea (Kütz.) W. Smith var. *palea* – Со, Ба, Р – Л, к, И, Ал, α-β (2,7)
N. palea var. *capitata* Wisl. et Poretzky – Со, Ба – Б, к, И, Ин, β
N. palea var. *debilis* (Kütz.) Grun. – Со, Ба, Р – Б, а, Гб, Ин, о
N. paleacea Grun. – Со, Ба, Р – Б-П, к, И, Ал, α-β (2,6)
N. pusilla Grun. – Со, Ба, Р – Л, к, Ог, Ин, β
N. recta Hantzsch – Р – Л, к, Ог, Ал, β-о (1,7)
N. reversa W. Sm. – Со – П, к, Мг
N. sigma (Kütz.) W. Sm. – Со – Л, к, Мг, Ал, α
N. sigmoidea (Nitzsch) W. Sm. – Ба – Б-П, к, И, Ал, β-α (2,5)
N. sublinearis Hust. – Со, Ба, Р – Б, б, И, Ин, о-β
N. tryblionella Hantzsch. – Со – Б, к, Гл, Ал, β-α (2,4)
N. vermicularis (Kütz.) Hantzsch. – Со, Ба – П, к, И, Ал, β (2,0)

Семейство SURIRELLACEAE

Campylodiscus noricus Ehr. – Ба – П, к, И, Ал, о (1,0)
Cymatopleura elliptica (Bréb.) W. Smith – Со – Л, к, И, Ал, о-α (1,8)
C. solea (Bréb.) W. Smith – Со – Л, к, И, Ал, β (2,2)
Surirella angustata Kütz. – Со – Б, к, И, Ал, β-о (1,7)
S. biseriata Bréb. f. *amphioxys* (W. Sm.) Hust. – Со – Л, к, И
S. brebissonii Krammer et Lange – Bertalot var. *kuetzingii* Krammer et Lange-Bertalot – Со, Ба – Л, к, Ог, Ал, β (2,0)
S. crumena Bréb. et Kütz. – Со, Л, к, Ог, о-α (1,9)
S. linearis W. Smith – Со – Л, к, И, Ин, о-β (1,5)
S. minuta Bréb. – Со, Ба – Л, к, Гл, Ал, α

S. splendida (Ehr.) Kütz. – Со – Б, к, И, Ин, β-о (1,7)
S. turgida W. Sm. var. *marginata* Pant. – Со – Б, б, И, Ин

Отдел XANTHOPHYTA

Класс HETEROCOCCOPHYCEAE

Порядок HETEROCOCCALES

Семейство PLEUROCHLORIDACEAE

Goniochloris fallax Fott – Ба – П, к, Ог, Ин, β (2,1)
G. mutica (A. Br.) Fott – Со – П, к, Ог, Ин, о-α (1,9)

Семейство CENTRITRACTACEAE

Centritractus africanus Fritsch et Rich – Со – Л, ст, И, Ац
C. belonophorus Lemm. – Со, Ба – П, к, Ог, Ин, о-β (1,4)
C. capillifer Pasch. – Со – Л, к, И

Отдел CRYPTOPHYTA

Класс CRYPTOMONADOPHYCEAE

Порядок CRYPTOMONADALES

Семейство CRYPTOMONADACEAE

Chroomonas acuta Uterm. – Со – П, к, И, β (2,3)
C. coerulea (Geitl.) Skuja – Со – П, к
C. longicauda Korsch. – Со – П, к
C. minima Czosn. – Со, Ба – Л, Ац
C. pulex Pasch. – Со – П, к, β (2,0)
Cryptomonas borealis Skuja – Со – П, к, И, Ац
C. brevis Schiller – Ба – Л, Ог, Ин
C. caudata Schiller – Со – П, к, И
C. curvata Ehr. – Со – Б-П, к, Ог, Ин, о-α (1,8)
C. erosa Ehr. – Со, Р – Б-П, к, Гл, Ин, β (2,3)
C. gracilis Skuja – Со, Ба, Р – Л, к, Ог, Ац, о-β (1,4)
C. marssonii Skuja – Со, Р – П, к, И, Ин, β-о (1,7)
C. ovata Ehr. – Со, Ба, Р – Б-П, к, И, Ин, β-α (2,4)
C. reflexa (Marsson) Skuja – Со, Р – Б, б, Гл, Ин, β-о (1,6)
C. salina Wisl. – Со, Ба – Л, Мг
C. spinifera Ettl – Со – П
Rhodomonas lens Pasch. et Ruttn. – Со – П, с-а, И, Ин, о-β (1,5)
R. pusilla (Bachm.) Javorn. – Р – П, к, Ал, о-β (1,5)

Отдел DINOPHYTA

Класс DINOPHYCEAE

Порядок PERIDINIALES

Семейство GYMNODINIACEAE

Amphidinium rostratum Prosch. – Со – Л, Мг
Gymnodinium cnecoides Harris. – Со – Л, б, Ац, β (2,3)
G. mitratum Schiller – Со – П, б, И, Ин, β (2,1)

Семейство GLENODINIOPSIDACEAE

Glenodinium borgei (Lemm.) Schiller – Ба – П, к. И

Семейство PERIDINIACEAE

Peridiniopsis oculatum (Stein) Bourrelly – Со, Р – П, к, И, Ин
P. penardiforme (Lind.) Bourrelly – Со – П, к, И, Ин, о-β (1,4)
P. penardii (Lemm.) Bourrelly – Со, Р – П, к, И, Ин, о-β (1,4)
P. polonicum (Wolosz.) Bourrelly – Со, Р – Б-П, к, И, Ал, о-β (1,5)
P. quadridens (Stein) Bourrelly – Со, Р – П, к, Ог, Ал

Peridinium bipes Stein – Р – П, к, Ог, о-β (1,4)
P. cinctum (O. F. M.) Ehr. – Со – П, к, И, Ин, β-о (1,6)
P. umbonatum Stein – Со – Б-П, к, Ац, о-β (1,4)

Отдел EUGLENOPHYTA

Класс EUGLENOPHYCEAE

Порядок EUGLENALES

Семейство EUGLENACEAE

Cryptoglena pygra Ehr. – Со – П, к, И, Ин
Astasia klebsii Lemm. – Со – Л, к, И, Ин, α (3,1)
A. variabilis Skv. – Со – Л
Euglena anabaena Mainx – Со – Л, о-α (1,9)
E. caudata Hubner – Со – Л, к, α (3,1)
E. gracilis Klebs – Со – Л, к, И, о (1,3)
E. limnophila Lemm. var. *limnophila* – Со, Р – Л, к, Ин, о-β (1,5)
E. limnophila var. *swirenkoi* (Arnoldi) Popova – Со, Р – Л, к, И
E. minima France – Со – Л, о (1,2)
E. pascheri Swir. – Со – Л, к, Ин
E. pisciformis Klebs – Со – Л, к, И, Ин, β-ρ (2,8)
E. proxima Dang. – Со – П, к, И, Ац, α (3,3)
E. viridis Ehr. – Со – Л, к, И, Ал, α-ρ (3,4)
Lepocynclis glabra Dreź. – Со – П
L. ovum (Ehr.) Lemm. – Со – Л, к, И, Ин, α-β (2,7)
L. steinii Lemm. – Р – Л, к, И, Ин, β (2,1)
Phacus agilis Skuja – Со – Л, к, β (2,2)
P. nordstedtii Lemm. – Со – П-Б, Ин, о-β
P. pleuronectes (Ehr.) Duj. var. *prunoideus* (Roll) Popova – Со – Л, к, И, Ин
P. skujae Skv. – Со – Ка, Л, к, И, Ин, о-β (1,5)
P. splendens Pochm. – Со – Л, к, И, Ин
Strombomonas acuminata (Schmarda) Defl. – Со – П, к, Гл, β (2,0)
S. fluviatilis (Lemm.) Defl. – Со – П, к, И, Ин, β (2,0)
Trachelomonas hispida (Perty) emend. Defl. var. *hispida* – Со – П, к, И, Ин, β (2,0)
T. hispida var. *granulate* Playf. – Ба – Л, к, И, Ин
T. intermedia Dang. – Р – П, к, И, Ин, β (2,0)
T. irregularis Swir. – Со – Л, к, И, Ин
T. planctonica Swir. – Со – П, к, И, Ал, о-α (1,9)
T. verrucosa Stokes – Со – Л, к, И, Ин, о-α (1,8)
T. volvocina Ehr. – Со, Р – П, к, Гл, Ин, β (2,0)

Семейство MENOIDIACEAE

Menoidium tortuosum (Stokis) Popova – Со – Б, к, И, Ац

Порядок PERANEMATALES

Семейство PERANEMATACEAE

Heteronema acus (Ehr.) Stein. – Со, Л, к, И

Семейство PETALOMONADACEAE

Petalomonas mediocanellata Stein. – Со – П, к, И

Отдел CHLOROPHYTA

Класс PRASINOPHYCEAE

Порядок TETRASELMIDALES

Семейство TETRASELMIDACEAE

Tetraselmis arnoldii (Pr.-Lavr.) Norris et al. – Со, Р – П, к, Гл

Класс CHLOROPHYCEAE

Порядок CHLOROCOCCALES

Семейство CHLOROCOCCACEAE

Chlorococcum infusionum (Schrank) Menegh. – Р – П, к, β

Семейство PALMELLACEAE

Planctococcus sphaerocystiformis Korsch. – Со, Ба, Р – П, к, Гб

Sphaerocystis planctonica (Korsch.) Bourrelly – Со, Р – П, к, И, о (1,3)

Семейство CHARACIACEAE

Ankyra judayi (G.M. Smith) Fott – Со – П, к, И, β (2,1)

Schroederia setigera (Schrod.) Lemm. – Со – П, к, И, о-α (1,9)

Семейство TREUBARIACEAE

Treubaria triappendiculata Bern. – Со – П, к, И

Семейство HYDRODICTYACEAE

Pediastrum boryanum (Turp.) Menegh. – Со, Р – П, к, Ог, Ин, о-α (1,9)

P. duplex Meyen – Со, Р – П, к, И, Ин, β (2,2)

P. tetras (Ehr.) Ralfs – Со, Р – П, к, И, о-α (1,8)

Семейство MICRACTINIACEAE

Golenkiniopsis parvula (Voronich.) Korsch. – Со – П, к, И

Micractinium pusillum Fres. – Со – П, к, Ог, β (2,0)

Семейство BOTRYOCOCCACEAE

Dactylosphaerium jurisii Hind. – Со – П, к, И, Ал, α

Dictyosphaerium anomalum Korsch. – Со, Р – П, к, И, β (2,0)

D. pulchellum Wood – Со – П, к, Ог, Ин, β-о (1,7)

D. subsolitarium von Goor Со – П, к, И

D. tetrachotomum Printz – Со – П, к, И, β (2,0)

Семейство RADIOCOCCACEAE

Coenochloris pyrenoidosa Korsch. – Со – П, к, Гл

Eutetramorum fottii (Hind.) Kom. – Р – П, к, Ог

E. polycoccus (Korsch.) Kom. – Со – П, к, И

Семейство OOCYSTACEAE

Lagerheimia genevensis (Chod.) Chod. – Со – П, к, И, β (2,2)

L. wratislaviensis Schrod. – Со – П, к, И, β (2,2)

Nephrochlamys allanthoidea Korsch. – Со – П, к, Ин, β

N. rotunda Korsch. – Со – Ка, П, к, И, о-β (1,5)

N. subsolitaria (G. S. West) Korsch. – Со – П, к, И, о-β (1,5)

Oocystis borgei Snow – Со, Ба – П, к, И, Ин, β-о (1,7)

O. lacustris Chod. – Со – П, к, Ог, β-о (1,6)

O. parva W. et G.S. West – Co – П, к, И, β (2,3)
O. submarina Lagerh. – Co, P – П, к, Гл

Семейство CHLORELLACEAE

Amphikrikos nanus (Fott et Heynig) Hindág – Co – П, к
Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs – P – Л, к, И, β (2,3)
A. fusiformis Corda – Co – П, к, И, о-α (1,8)
Chlorella vulgaris Beij. – Co, Ба – П, к, Гл, Ин, α (3,1)
Closteriopsis acicularis (G. M. Sm.) Belcher et Swale – Co – П, к, И, Ал
Kirchneriella cornuta Korsch. – Co – П, Ог
K. danubiana Hind. – Co – П
K. lunaris (Kirchn.) Moeb. – Co – П, к, И, β (2,2)
Monoraphidium arcuatum (Korsch.) Hind. – Co – П, к, И, β (2,1)
M. circinale (Nyg.) Nyg. – Co – П, И, Ал
M. contortum (Thur.) Kom.-Legn. – Co, P – П, к, И, β (2,2)
M. griffithii (Berk.) Kom.-Legn. – Co – П, к, И, β (2,3)
M. irregulare (G.M. Smith) Kom.-Legn. – Co, Ба, P – П, к, И, Ин
M. minutum (Näg.) Kom.-Legn. – Co – П, к, И, Ал, β-α (2,5)
Raphidocelis sigmoidea Hind. – Co – Te, П, к, И
R. subcapitata (Korsch.) Nyg. et. al. – Co –П, к, И
Siderocelis ornata (Fott) Fott – Co – Л, к, И, β (2,2)
S. sphaerica Hindág – Co – Ка, Te, П. к
Tetraedron caudatum (Corda) Hansg. – Co – П, к, И, Ин, β (2,0)
T. incus (Teil.) G.M. Smith – Co – П, к, И, Ал, β (2,0)
T. minimum (A. Br.) Hansg. var. *minimum* – Co, P – П, к, И, β (2,1)
T. minimum var. *scrobiculatum* Lagerh. – Co – П, к, И
T. triangulare Korsch. – Co – П, к, И, β (2,0)

Семейство COELASTRACEAE

Actinastrum hantzschii Lagerh. var. *hantzschii* – Co, P – П, к, И, β (2,0)
Coelastrum microporum Näg. in A. Br. – Co, P – П, к, И, Ин, β (2,1)
C. sphaericum Näg. – Co, P – П, к, И, Ин, о (1,3)

Семейство SCENEDESMACEAE

Coronastrum lunatum Thomps. – Co – П, к, И
Crucigenia fenestrata (Schmidle) Schmidle – Co, P – П, к, И, β (2,1)
C. quadrata Morr. – P – П, к, И
C. tetrapedia (Kirchn.) W. et G.S. West – Co – П, к, И, Ин, β (2,1)
Crucigeniella apiculata (Lemm.) Kom. – Co – П, к, И, β (2,3)
C. rectangularis (Näg.) Kom. – Co – П, β-α (2,4)
Didymocystis inconspicua Korsch. – Co – П, к, И, β (2,2)
D. inermis (Fott) Fott – Co – П, к, И, о-β (1,5)
D. planctonica Korsch. – Co, P – П, к, И, β (2,1)
Dimorphococcus lunatus A. Braun – P – П, β-о (1,7)
Scenedesmus acuminatus (Lagerh.) Chod. var. *acuminatus* – Co – П, к, И, Ин, β (2,2)
S. acuminatus var. *minor* G.M. Smith – Co – П, к, И
S. acutus Meyen – Co, P – П, к, И, β (2,0)
S. apiculatus (W. et G. S. West) Chod. – P – П, к, И
S. arcuatus (Lemm.) Lemm. – P – Л, к, И
S. armatus Chod. – Co, P – П, к, И, β (2,0)
S. caudate-aculeolatus Chod. var. *caudate-aculeolatus* – Co – П, к, И, Ин
S. circumfusus Hortob. – Co – П, к, И

S. denticulatus Lagerh. var. *denticulatus* – Р – П, к, И, Ин, β (2,1)
S. denticulatus var. *linearis* Hansg. – Со – Ка, П, к, И, Ин, β
S. ellipsoideus Chod. – Со – П, с-а, И, β-о (1,7)
S. intermedius Chod. var. *intermedius* – Со – П, к, И, Ин
S. intermedius var. *balatonicus* Hortob. – Со – Ра, П, к, И, Ин, β (2,0)
S. longispina Chod. – Со – П, к, Ог, Ин
S. oahuensis (Lemm.) G.M. Smith – Со – П, к
S. obliquus (Turp.) Kütz. – Со, Р – П, к, И, β-ρ (2,8)
S. opoliensis P. Richt. var. *opoliensis* – Со – П, к, Ог, Ин, β (2,2)
S. opoliensis var. *alatus* Deduss. – Со – П, к, И, Ин
S. opoliensis var. *carinatus* Lemm. – Со – П, к, Ог
S. protuberans Fritsch – Со, Р – П, к, И, Ин
S. quadricauda (Turp.) Bréb. – Со, Ба, Р – П, к, Ог, Ин, β (2,1)
S. sempervirens Chod. – Со – П, к, И, Ин, о-α (1,9)
S. soli Hortob. – Со – П, к
S. spinosus Chod. – Со – П, к, И, β
Tetrastrum elegans Playf. – Со – П, к, И, о-β (1,5)
T. glabrum (Roll) Ahlstr. et Tiff. – Со, Р – П, к, И, Ин, о-α (1,9)
T. staurogeniaeforme (Schröd.) Lemm. – Со – П, к, И, β (2,2)
Willea irregularis (Wille) Schmidle – Р – Л, б, Ин

Класс CHLAMYDOPHYCEAE
Порядок CHLAMYDOMONADALES
Семейство CHLAMYDOMONADACEAE

Carteria globosa Korsch. – Со – Ка, П, к, И
C. klebsii (Dang.) France – Со, Ба, Р – П, к, И, β (2,0)
C. multifilis (Fres.) Dill – Со – П, к, И, β-α (2,5)
Chlamydomonas asymmetrica Korsch. – Со – Те, П, И
C. debaryana Gorosch. var. *atactogama* (Korsch.) Gerloff – Со, Ба – П
C. globosa Snow – Со, Ба, Р – П, к, Ог, Ин, о-α (1,9)
C. gloeogama Korsch. – Со – Б, к, И
C. incerta Pasch. – Со, Ба – Л, с-а, И, ρ (4,0)
C. monadina Stein – Со, Ба, Р – П, к, И, β-α (2,4)
C. proboscigera (Korsch.) Pasch. – Со – П, β (2,2)
C. reinhardtii Dang. – Со – П, к, Ог, Ин, α (3,1)
C. simplex Pasch. – Со – П, к, И, β-ρ (2,8)
C. speciosa Korsch. – Со, Ба – П
C. velata Korsch. – Р – Л, к, Ац
Gloeomonas mucosa (Korsch.) Ettl – Со – П, к, Гб, Ин
Lobomonas rostrata Hazen – Р – Л, к, Ин

Семейство PHACOTACEAE

Phacotus coccifer Korsch. – Со – П, к, И, Ин
P. lenticularis Ehr. – Со – П, к, И, β (2,0)
P. pallidus Korsch. – Со – Л
Pteromonas aculeata Lemm. – Со – П, к, И, β (2,1)
P. robusta Korsch. – Со, Р – Л
P. torta Korsch. – Со, Ба – П, к, И

Порядок VOLVOCALES
Семейство VOLVOCACEAE

Eudorina elegans Ehr. – Со, Ба – П, к, И, β (2,2)
Pandorina morum (Müll.) Bory – Со, Р – П, к, И, β (2,1)

Класс ULOTRICHOPHYCEAE
Порядок ULOTRICHALES
Семейство ULOTRICHACEAE

Elakatothrix genevensis (Reverd.) Hind. – Со – Л, к, Ог, Ин, о-α (1,8)
Koliella longiseta (Vischer) Hind. – Со, Ба, Р – П, к, И, β (2,1)

Класс CONJUGATOPHYCEAE
Порядок GONATOZYGALES
Семейство GONATOZYGACEAE

Gonatozygon kunahanii (Arch.) Rabenh. – Со – Л, б, Ог

Порядок DESMIDIALES
Семейство CLOSTERIACEAE

Closterium acutum (Lyngb.) Bréb. f. t*enuis* Nordst. – Со – П-Б, к, И, Ин, β-α (2,5)
C. acutum var. *variabile* (Lemm.) W. Krieg – Со, Ба – Л, к, И, Ин, β (2,3)
C. lunula (Müll.) Nitzsch. – Со – П, к, Гб, о (1,3)
C. moniliferum (Bory) Ehr. var. *concavum* Klebs – Ба – Б, к, Гб, β (2,2)
C. selenastroides Roll – Со, Р – П, к, И
C. pronum Bréb. f. *brevius* (Nordst.) Krieg – Со – Б, к, И
C. toxon W. West – Ба – Л, к, И

Семейство DESMIDIACEAE

Cosmarium lapponicum (Schmidle) Pal.-Mordv. – Р – Л, б, Ац
C. phaceolus Bréb. Со – Л, к, И
Staurastrum chetoceros (Schröd.) G.M. Smith. –Со – о-β
Staurodesmus diskiei (Ralfs) Lillier – Р – П, к, Ац
Teilingia granulata (Roy et Biss.) Bourr. – Р – П, к, И, Ин

Примечание: Со – р. Сок, Ба – р. Байтуган, Р – родники. **Местообитание:** П – планктонный, О – обитатель обрастаний, Б – бентосный, Л – литоральный, Э – эпибионтный, Б-П – бентосно-планктонный. **Распространение:** к – космополит, с-а – северо-альпийский, а – альпийский, б – бореальный, ст – субтропический. **Галобность:** Мг – мезогалоб, Ог – олигогалоб, Гб – галофоб, И – индифферент, Гл – галофил. **Отношение к pH:** Ал – алкалифил+алкалибионт, Ин – индифферент, Ац – ацидофил+ацидобионт. **Сапробность:** х – ксеносапроб, о – олигосапроб, о-β – олиго-бета-мезосапроб, β-о – бета-олигосапроб, о-α – олиго-альфа-мезосапроб, β – бета-мезосапроб, β-α – бета-альфа-мезосапроб, α-β – альфа-бета-мезосапроб, β-ρ – бета-полисапроб, α – альфа-мезосапроб, α-ρ – альфа-полисапроб, ρ-α – поли-альфа-мезосапроб, ρ – полисапроб.

Анализ материала показал, что в основе альгофлоры всех водоемов изучаемого района лежит альгофлора самой р. Сок (Буркова, 2008). Именно в этом водотоке было зарегистрировано наибольшее количество видов, разновидностей и форм водорослей (табл. 51), что объясняется как большей протяженностью, так и степенью изученности фитопланктона этой реки.

По гидрологическим и гидрохимическим показателям, а также по характеру антропогенной нагрузки р. Сок можно условно разделить на три участка: верхнее, среднее и нижнее течение (Головатюк, 2005).

Известно, что водоросли, имея короткий жизненный цикл, являются интегральным показателем совокупных воздействий факторов среды на биоту водоема и первыми реагируют на любые воздействия на экосистему. Поэтому и альгофлора данной реки от истока до устья изменяется как по видовому составу, так и по структурно-функциональным характеристикам. При почти постоянном видовом богатстве водорослей по всей длине водотока происходят изменения в таксономическом составе фитопланктона по течению реки (табл. 51). От истока к устью уменьшается доля присутствия таксонов рангом ниже рода из отдела Bacillariophyta, оставаясь при этом относительно высокой, и Chrysophyta, увеличивается – Chlorophyta, Cyanophyta и Dinophyta. Стоит отметить, что Bacillariophyta является ценозообразующим отделом водорослей фитопланктона р. Сок на всех ее участках, но состав диатомовой флоры по всей длине реки не остается неизменным. На верхнем участке преобладают пеннатные формы (до 100% видового состава, численности и биомассы). В среднем и нижнем течении реки на 65-92% диатомовые водоросли представлены центрическими формами, преимущественно мелкоклеточными видами родов *Stephanodiscus, Cyclotella* и *Thalassiosira* – типичный состав массовых видов фитопланктона эвтрофированных речных и озерных экосистем в условиях избытка биогенных элементов (Охапкин, Генкал, 2001). Наряду с диатомовыми в фитопланктоне верхнего участка реки во второй половине лета в заметных количествах присутствуют синезеленые водоросли, среднего участка – зеленые, нижнего – зеленые и синезеленые, в меньшей степени – криптофитовые.

Таблица 51. Таксономический состав фитопланктона реки Сок и водотоков бассейна

Водоем		Cyanophyta	Chrysophyta	Bacillariophyta	Xanthophyta	Cryptophyta	Dinophyta	Euglenophyta	Chlorophyta	Всего
р. Сок	верхний	12	5	102	1	10	1	15	48	194
	средний	11	4	90	0	13	7	15	74	214
	устьевой участок	22	2	82	3	12	7	4	80	212
	Всего	30	10	160	5	16	10	30	117	378
р. Байтуган		8	3	60	2	5	1	1	17	97
Родники		7	1	43	0	6	5	5	43	110

При относительно невысоких показателях количественного развития альгофлоры планктона р. Сок на фоне богатого таксономического разнообразия на протяжении всей реки видов, достигающих значительного развития, не отмечается. Численность и биомасса фитопланктона увеличиваются от истока (0,03 млн кл./л и 0,02 г/м^3) к устью (37,0 млн кл./л и 7,9 г/м^3). По величине средней за вегетационный период биомассы фитопланктона состояние реки изменяется от олиготрофного на верхнем (0,6 г/м^3) и среднем (0,64 г/м^3) ее участках до мезотрофного на нижнем (1,46 г/м^3) или «вода вполне чистая» и «вода достаточно чистая» соответственно (Оксиюк и др., 1993).

В р. Байтуган за период исследований альгофлоры было обнаружено 97 таксонов водорослей рангом ниже рода (табл. 51). В фитопланктоне этого водотока по всем показателям его развития преобладали диатомовые водоросли, составляя 62% видового состава и 56-100% численности и биомассы. На всем протяжении реки диатомеи от 67% до 100% были представлены пеннатными формами, наиболее часто встречались виды родов *Diatoma*, *Synedra*, *Achnanthes*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Cymbella.*

Удельное число видов (количество таксонов водорослей рангом ниже рода) изменялось от 1 таксона до 38, численность фитопланктона – от 0,01 до 4,0 млн кл./л, биомас-

са – от 0,02 до 5,0 г/м^3, летом увеличиваясь, осенью уменьшаясь от истока к устью. Среднесезонная биомасса фитопланктона составила 1,2 г/м^3, т.е. воды р. Байтуган относятся к III классу качества, разряду 3а («достаточно чистая»); в зависимости от трофности – к мезотрофному классу, мезотрофно-эвтрофного разряда (Оксиюк и др., 1993).

В эколого-географическом отношении основу альгофлоры планктона р. Байтуган, как и в р. Сок, составляли виды-космополиты (83% от числа видов, для которых известно их географическое распространение), индиффиренты и алкалифилы по отношению к pH среды (38% и 59% от числа видов-индикаторов среды), индиффиренты по отношению к солености воды (63% от количества видов с известным отношением к этому показателю). Лидирующее положение диатомовых водорослей в видовом составе фитопланктона реки определило соотношение экологических групп в нем: бентосные и литоральные формы вместе составили 49% видов с известным местообитанием, планктонные организмы - 39%.

Из 97 таксонов водорослей рангом ниже рода альгофлоры планктона р. Байтуган 76 являются видами-сапробионтами, 58% которых показатели III класса чистоты воды («умеренно загрязненная») и 28% – показатели II класса («вполне чистая»).

В специфический комплекс видов водорослей, не найденных в других водоемах изучаемой системы, вошло 23 таксона рангом ниже рода, среди которых преобладали представители Bacillariophyta (10).

Альгологические пробы отбирались из восьми родников в северо-западной части Самарской области, на территории Камышлинского района, в пределах Высокого Заволжья, в долинах рек Байтуган и Сок.

По своему качеству воды всех исследованных источников пресные, пригодные для питьевых и хозяйственных целей, с общей минерализацией 0,3-0,5 г/дм^3 и общей жесткостью 4,9-8,9 моль/м^3 (Родники Самарской области.., 2002). Температура воды не превышала 10^{o}C, pH – от 6,5 до 7,3.

Альгофлора планктона родников была представлена 110 видами, разновидностями и формами водорослей, относящихся к семи отделам. Наиболее флористически разнообразны Bacillariophyta и Chlorophyta – по 43 таксона водорослей рангом ниже рода, Cyanophyta – 7, Cryptophyta – 6, Dinophyta и Euglenophyta – по 5, Chrysophyta – 1.

При относительно невысоких количественных показателях развития фитопланктона родников (численность – 0,29-2,55 млн кл./л, биомасса – 0,12-1,86 г/м^3), коэффициент разнообразия по Шеннону изменялся в пределах от 2,1 до 4,6. Увеличение этого показателя было связано с увеличением удельного числа видов в исследуемых источниках.

Альгофлору планктона родников, как и в водотоках, создавали преимущественно космополиты (90%), обитающие в нейтральных или слабощелочных водах (индиффиренты и алкалифилы – по 30%),индиффиренты по отношению к солености воды (65%). Преобладали планктонные организмы (61%). Виды-сапробионты составили 76% от общего списка водорослей, встреченных в родниках. Из них 68% являются показателями III класса чистоты воды («умеренно загрязненная») и 25% – показатели II класса чистоты («вполне чистая»).

Комплекс специфических для этого типа водоемов видов водорослей составил 27 таксонов рангом ниже рода, где преобладали представители Chlorophyta (14) и Bacillariophyta (7).

Наиболее высокая степень сходства видового состава водорослевых сообществ отмечалась на отдельных участках р. Сок и всем водотоке в целом (табл. 52). Фоновые виды, присутствовавшие в водах реки Сок от истока до устья, были представлены 85 таксонами водорослей рангом ниже рода. Относительно низкие показатели коэффициента видового сходства их водорослевых сообществ, возможно, определил менее богатый видовой состав фитопланктона р. Байтуган и родников по сравнению с таковым р. Сок.

Таблица 52. Коэффициент видового сходства Сьеренсена, рассчитанного для планктонных водорослей р. Сок и водоемов бассейна

Водоем/ участок		р. Сок				р. Байтуган	Родники
		Верхний	Средний	Нижний	Всего		
р Сок	верхний	100	53	52	68	43	40
	средний	–	100	55	72	39	39
	нижний	–	–	100	72	36	42
	всего	–	–	–	100	31	33
р. Байтуган		–	–	–	–	100	36
Родники		–	–	–	–	–	100

Диаграмма сходства, построенная для видового состава альгофлоры планктона р. Сок, с учетом ее отдельных участков, р. Байтуган и родников образует два кластера (рис. 23). Первый – характеризует сообщество водорослей р. Сок, причем кластер более низкого уровня указывает на заметную роль в формировании альгоценоза всей реки фитопланктона, который развивается в водах ее среднего течения, где сосредоточена основная доля (92%) распределения техногенной антропогенной нагрузки (Выхристюк и др., 2010). Второй кластер объединяет водорослевые сообщества р. Байтуган и родников.

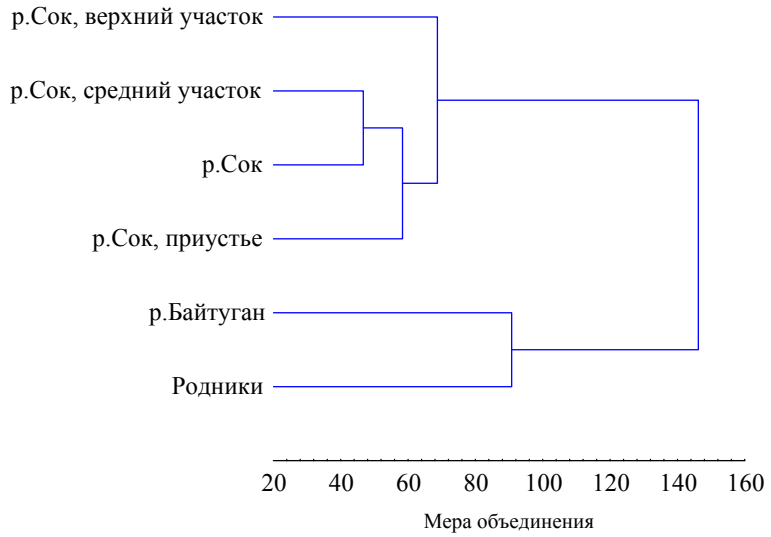


Рис. 23. Дендрограмма сходства таксономического состава фитопланктона бассейна р. Сок

Таким образом, альгофлора планктона обследованной системы водоемов характеризуется высоким таксономическим разнообразием: 430 видов, разновидностей и форм водорослей из 8 отделов. Ценозообразующий отдел водорослей в водотоках – Bacillariophyta, в родниках – Bacillariophyta и Chlorophyta.

По комплексу показателей развития фитопланктона р. Сок на всем ее протяжении и родники соответствуют мезосапробной зоне. По степени трофности верхнее и среднее течением р. Сок, а также воды отдельных родников (4Ка, 19Ка, 24Ка) относятся к олиготрофному типу водоемов; приустьевой участок р. Сок и воды р. Байтуган – характеризуются как мезотрофные[1].

[1] Автор благодарит доктора биологических наук ИБВВ РАН С.И. Генкала за идентификацию и уточнение видовой принадлежности мелкоклеточных диатомовых водорослей класса Centrophyceae альгофлоры р. Сок.

2.1.7. Биохимический портрет растительности реки Сок

Высшая водная растительность является одним из основных компонентов почти всех гидробиоценозов (Мережко и др., 1996) составляющих литоральный природный комплекс, который сохраняет неразрывную связь со всем водоемом в единой системе внутреннего водообмена и влияет на направление и скорость развития водоема в целом (Ратушняк, 2002). Поглощая и аккумулируя растворенные вещества, выделяя экзометаболиты во внешнюю среду, водная растительность выступает в итоге как важный фактор регулирования естественных процессов самоочищения водоемов, структуры и функций сопутствующих гидробионтов (Лукина, Смирнова 1988; Клоченко и др., 2007). При этом степень ее активности зависит от биологических особенностей вида растений, их адаптационных возможностей, интенсивности антропогенного воздействия (Ратушняк, 2002).

Наибольшими приспособительными механизмами обладают растения весь жизненный цикл которых происходит в воде, например, погруженные растения (Папченков, 1985б; Лукина, Смирнова, 1988). Именно эти растения в процессе эволюции приобрели наибольшее число структурных особенностей для существования в водной среде. К ним относятся способность к вегетативному способу размножения и к усиленному росту в связи с относительно коротким вегетационным периодом, недоразвитие или отсутствие древесины, развитие воздухоносных полостей, способствующих улучшению газообмена и поддержания растения в плавающем состоянии, отсутствие дифференцировки ткани паренхимы листа на губчатую и палисадную и т.д. (Катанская, 1981; Кокин, 1982; Матвеев и др., 2004).

Адаптация растений к условиям обитания происходит не только на организменном уровне (морфологическом и физиологическом), но и на уровне внутриклеточных компонентов (биохимическом). Важная роль при этом отводится липидам, составляющим структурную основу клеточных мембран. Липиды определяют степень жидкостности мембран, от которой зависят ее свойства и способность выполнять важные функции (транспорт веществ, рецепция и трансдукция сигналов, межклеточные взаимодействия и др.) (Болдырев и др., 1990). Липидный метаболизм является одним из клеточных механизмов, который позволяет приспособиться к меняющимся внешним факторам среды и избежать серьезных последствий (Хочачка, Сомеро, 1988).

Структурные и динамические характеристики липидного матрикса биологических мембран могут меняться под влиянием факторов среды – температуры, давления, питательных веществ, pH и других (Harwood, 1999), т.е. количественный уровень липидов – величина вариабельная. Качественный же набор липидов мембран большинства эукариотических организмов достаточно постоянен в пределах определенной таксономической группы (Болдырев и др., 1990; Hölzl, Dörman, 2007). Для растений характерно высокое содержание гликолипидов (ГЛ), которые состоят из моногалактозилдиацилглицеринов (МГДГ), дигалактозилдиацилглицеринов (ДГДГ) и сульфохиновозилдиацилглицеринов (СХДГ) (Siegenthaler, 1998). ГЛ составляют до 50% массы тилакоидных мембран хлоропластов, влияют на стабильность всего комплекса фотосистем. Другим видом мембранных липидов растительных клеток, представляющих, главным образом, непластидные липиды, являются фосфолипиды (ФЛ). Они состоят обычно из фосфатидилхолинов (ФХ), фосфатидилэтаноламинов (ФЭ), фосфатидилинозитов (ФИ), фосфатидилиглицеринов (ФГ), фосфатидных кислот (ФК) и дифосфатидилиглицеринов (ДФГ).

В отличие от мембранных липидов нейтральные липиды (НЛ) более доступны как источники необходимой для метаболизма энергии и структурных элементов – глицерина, жирных кислот (ЖК), стеринов и др. (Смирнов, 2007).

Для оценки биохимического состояния фитогидроценозов равнинных рек бассейна Нижней Волги был использован рдест гребенчатый (*Potamogeton pectinatus* L.) семейства Potamogetonaceae порядка Potamogetonales класса Liliopsida. По экологической классификации исследованный вид относится к группе водных погруженных растений.

Potamogeton pectinatus представляет собой многолетнее растение с ветвящимся тонким стеблем длиной до 1,5 м, которое растет в разнообразных водоемах и широко распространено на всей территории России (рис. 24, см. вклейку 1).

Отбор проб проводился в период цветения при проведении комплексных исследований малых рек Волжского бассейна. У большинства цветковых водных растений в этот момент происходит наибольшее накопление биомассы. В этой связи время и места отбора проб были строго регламентированы в соответствии с общим планом работ. Пробы отбирали в верхнем и среднем участках р. Сок (табл. 53).

Река Сок является притоком Саратовского водохранилища. Берега русла р. Сок в основном крутые, местами обрывистые, достигающие 2-3 м высоты. Питание реки происходит за счет стока, формирующегося в бассейне реки (атмосферные осадки, накопившиеся в снежном покрове, а также дождевые и подземные воды, поступающие из водоносных горизонтов осадочной толщи).

Известно, что на интенсивность продукционных процессов водной растительности влияют режим освещения, мутность воды, минеральное питание, pH воды и ее температура (Лукина, Смирнова, 1988). Из данных, представленных в табл. 53, видно, что температура варьировала в пределах 17,5-18,8°С. Мало отличались выбранные участки по скорости течения воды и прозрачности. Воды р. Сок являются нейтральными и слабощелочными (pH = 7,5-8,1). Растворенный кислород в водах реки находится в пределах, благоприятных для существования и развития гидробионтов, что характерно для равнинных рек Среднего Поволжья. Концентрация растворенного кислорода соответствует требованиям, предъявляемым к относительно чистым водам (Выхристюк и др., 2010). По солевому составу вода жесткая, по химическому составу – гидрокарбонатно-кальциевая. Таким образом, места отбора растительных образцов рдеста гребенчатого были достаточно близкими по гидрологическим характеристикам. Что касается классификации мест отбора по степени загрязненности, то воды в верхнем течении относятся к разряду чистых вод, а в среднем течении – к загрязненным водам.

Как видно из табл. 53, в верхнем течении р. Сок слабо подвержена антропогенному воздействию, что позволяет рассматривать этот участок как «эталонный», а биохимические параметры растений – в качестве фоновых показателей, характерных для чистых рек.

Таблица 51. Характеристика мест обитания *Potamogeton pectinatus* на различных участках р. Сок

Участок	T, °C	V, м/сек	Прозрачность	pH	O_2, %	Качество воды
Верхнее течение	17,5	0,6	60	7,5	107	«Чистая»
Среднее течение	18,8	0,7	50	8,1	96	«Загрязненная»

Биохимическое состояние растений оценивали по содержанию суммарных липидов, составу жирных кислот, соотношению индивидуальных групп липидов внутри каждого класса. Для анализов отбирали растения из нескольких точек одного места обитания согласно рекомендациям В.М. Катанской (1981). Экстракцию и анализ липидов проводили в соответствии с методическими указаниями М. Кейтс (1975).

Содержание суммарных липидов составляло 9,7-7,5% от сырой массы растений. Наибольший уровень суммарных липидов отмечен для растений незагрязненного участка в верхнем течении р. Сок (рис. 25).

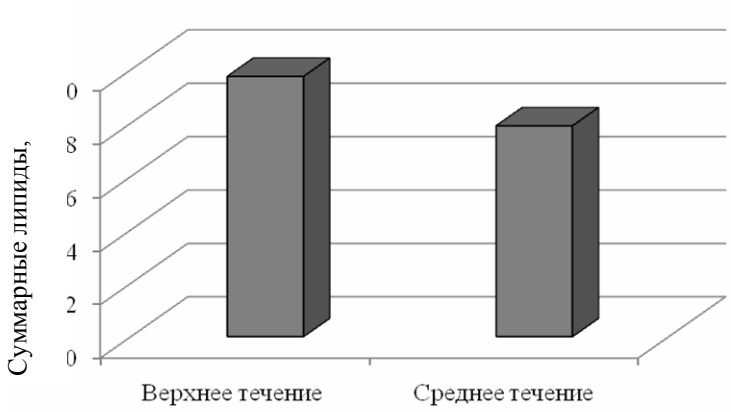


Рис. 25. Суммарные липиды клеток *Potamogeton pectinatus* (мг/г сыр. массы) на разных участак р. Сок

Суммарные липиды представлены тремя классами липидов: мембранными - ГЛ и ФЛ, запасными - НЛ. Среди суммарных липидов доминировали ГЛ (39,7-42,5%). На долю ФЛ приходилось 28,2-29,0%. Содержание НЛ составляло от 27,9% до 32,1% в зависимости от мест произрастания растений (рис. 26). В составе липидов растений, собранных в чистых местах обитания, наблюдалось более высокое содержание ГЛ на фоне пониженного уровня НЛ. Количество ФЛ оставалось одинаковым для растений и не зависело от местообитания.

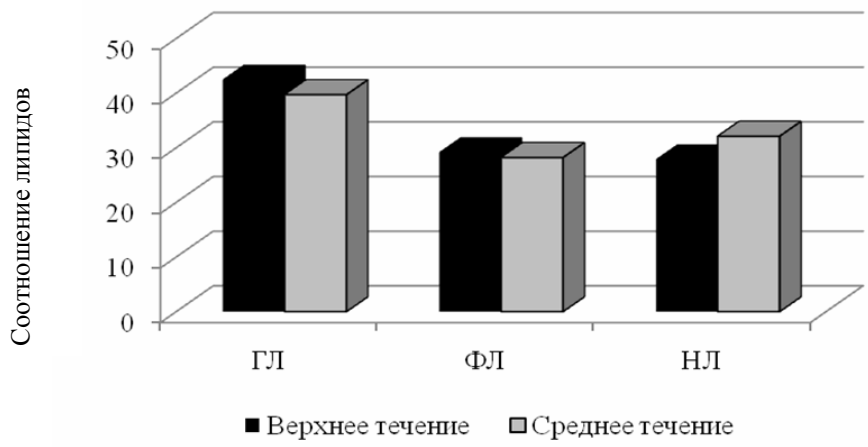


Рис. 26. Соотношение липидов различных классов клеток *Potamogeton pectinatus* (% от суммы липидовна разных участках р. Сок: ГЛ – гликолипиды, ФЛ–фосфолипиды, НЛ – нейтральные липиды

Анализ относительного содержания индивидуальных ГЛ в клетках *P. pectinatus* – главных липидов хлоропластов – показал, что у всех растений преобладали МГДГ. На его долю приходилось 51,0-52,6% от суммы ГЛ. Содержание ДГДГ было на уровне 34,2-35,8%. Наиболее низким было содержание сульфолипидов (СХДГ) – 13,1-15,3% (рис. 27). В условиях загрязнения доля МГДГ в составе ГЛ несколько снижалась за счет увеличения вклада ДГДГ.

Более 80% ФЛ составляли так называемые главные ФЛ: ФХ, ФЭ, ФГ и ФИ. Данные рис. 28 показывают, что доля ФХ составляла 38,7-40,1% от суммы ФЛ, за ним следуют ФЭ (21,6-22,5%), ФГ (18,6-19,6%), ФИ (7,2-8,9%), ФК (6,7-10,3%) и ДФГ (2,4-3,8%). Вариабельность основных структурных элементов мембран, каковыми являются главные ФЛ, показывает, что состав ФЛ менялся незначительно в зависимости от места обитания. Бóльшие вариации характерны для минорных компонентов, таких как ФК и ДФГ.

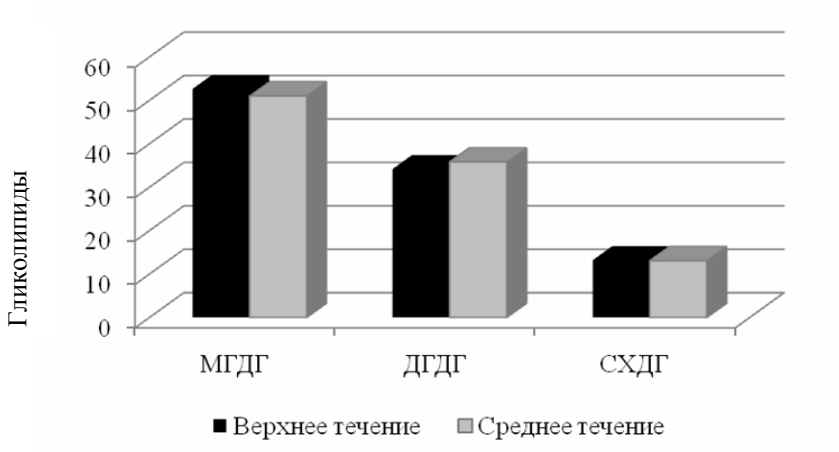


Рис. 27. Состав гликолипидов клеток *Potamogeton pectinatus* (% от суммы ГЛна разных участках р. Сок: МГДГ - моногалактозилдиацилглицериды, ДГДГ - дигалактозилдиацилглицериды, СХДГ – сульфохиновозилдиацилглицериды

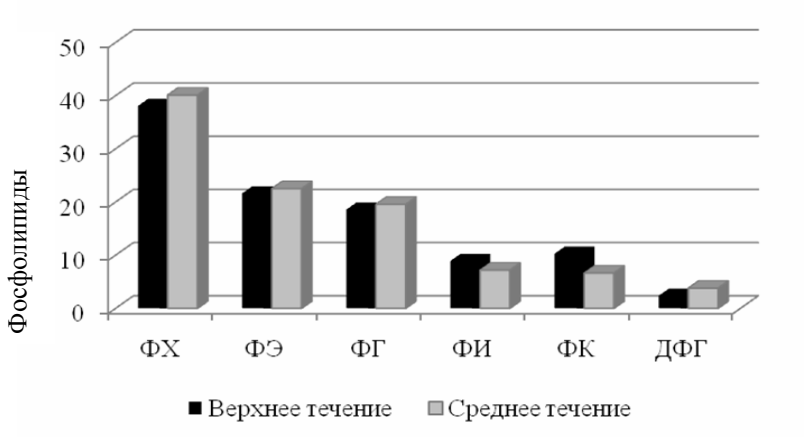


Рис. 28. Состав фосфолипидов клеток *Potamogeton pectinatus* (% от суммы ФЛ) на разных участках р. Сок: ФХ – фосфатидилхолины, ФЭ – фосфатидилэтаноламины, ФИ – фосфатидилинозиты, ФГ – фосфатидилиглицериды, ФК – фосфатидные кислоты, ДФГ – дифосфатидилиглицериды

В составе НЛ были идентифицированы триацилглицерины (ТАГ), эфиры стеринов (ЭС), свободные стерины (СС), свободные жирные кислоты (СЖК), воски (ВС) и спирты (СП) (рис. 29). Состав НЛ, в отличие от мембранных липидов, оказался более лабильным (рис. 29). Это в большей степени касается таких компонентов, как ТАГ и ВС. Накопление ТАГ, как одного из основных источников запасаемой энергии, является известной реакций растений на неблагоприятные для них условия (Котлова, Синютина, 2005; Lilijenberg, 1992). Данный эффект обусловлен усилением гидролиза полярных липидов и последующим вовлечением освободившихся ацильных групп в синтез ТАГ.

Известно, что функциональные особенности липидов и состояние мембран во многом определяются их жирно-кислотным (ЖК) составом. Количество ненасыщенных кислот существенно влияет на проницаемость мембран и активность многих мембранносвязанных ферментов (Смирнов, 2007). По данным газожидкостного хроматографического анализа, у исследованных растений более 95% составляют кислоты с длиной цепи от 16 до 18 атомов углерода. Основной вклад в ненасыщенность липидов *P. pectinatus* вносят диеновые (содержащие две двойные связи в углеводородной цепи) и триеновые кислоты. Считается, что высокая степень ненасыщенности ЖК определяет возможности организмов приспосабливаться к неблагоприятным факторам среды, например, к низким температурам, за счет менее плотной упаковки молекул в бислое мембран.

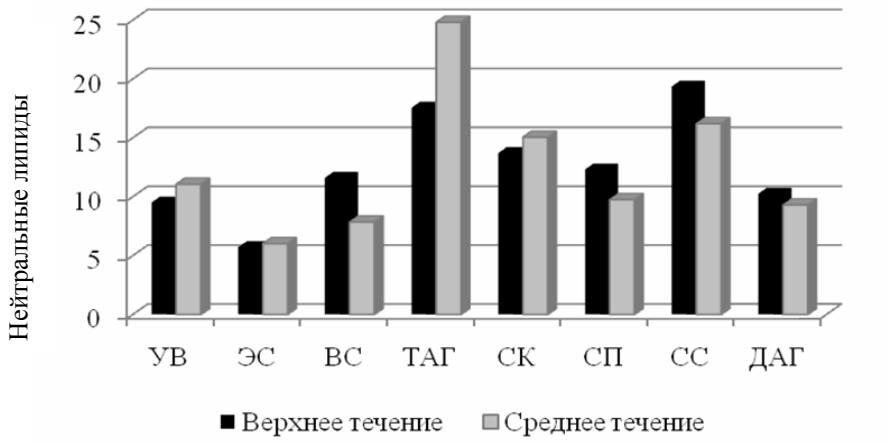


Рис.29. Состав нейтральных липидов клеток *Potamogeton pectinatus* (% от суммы НЛ) на разных участках р. Сок: УВ - углеводороды, ЭС - эфиры стеринов, ВС - воски, ТАГ - триацилглицерины, СК - свободные кислоты, СП - спирты, СС - стерины, ДАГ - диацилглицерины

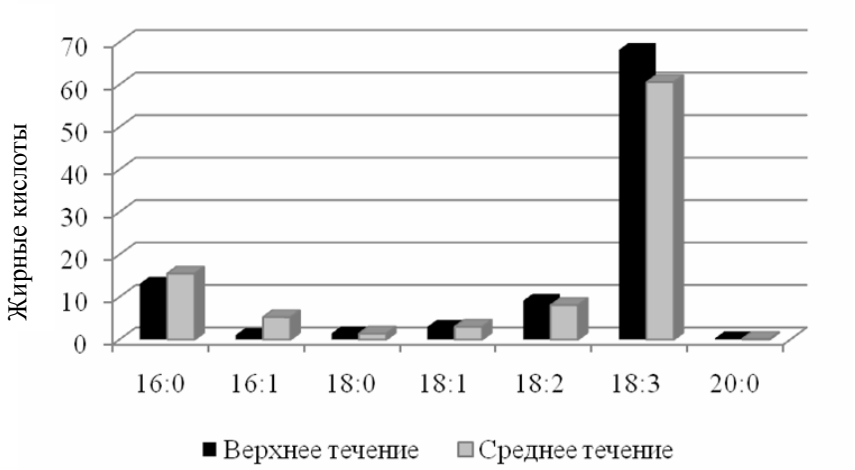


Рис. 30. Состав насыщенных и ненасыщенных жирных кислот (% от суммы) *Potamogeton pectinatus* на разных участках р. Сок: 16, 18, 20 - количество атомов углерода в цепи; 0, 1, 2, 3 - количество двойных связей

Отмечено, что по качественному составу ЖК отличий между образцами *P. pectinatus* выявлено не было (рис. 30). В количественном отношении для растений среднего течения р. Сок отмечается более низкое содержание линоленовой кислоты $C_{18:3}$, что свидетельствует о меньшей ненасыщенности мембран клеток растений, обитающих в данном участке.

В целом качественный состав липидов рдеста гребенчатого, обитающего в р. Сок, не отличается от такового для водной растительности соотвествующего систематического положения. Характерными чертами состава липидов клеток этого вида растений, как одного из важнейших классов биомолекул, является доминирование ГЛ среди суммарных липидов. Главными в количественном отношении среди ГЛ являются МГДГ. Наибольший вклад в состав ФЛ вносят липиды, содержание которых убывает в следующей последовательности: ФХ > ФЭ > ФГ > ФИ. НЛ представлены 8 компонентами, из них более половины составляют ди- и триацилзамещенные производные глицеина (ТАГ и ДАГ). Состав жирных кислот характеризуется наличием (свыше 60%) ненасыщенных жирных кислот, в основном триенового ряда.

Вместе с тем следует отметить, что в клетках растений, обитающих в загрязненных водах, содержание суммарных липидов было на 25% ниже, чем в растениях незагрязненных вод. При этом содержание ГЛ в клетках растений при загрязнении среды было ниже, чем в растениях из чистых участков на фоне увеличенного содержания НЛ. Различия

проявляются и в количественном соотношении жирных кислот. Так, для липидов клеток растений из загрязненных мест обитания было свойственно более низкое содержание полиненасыщенных кислот.

2.2. БИОТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЭКОСИСТЕМЫ РАВНИННОЙ РЕКИ

2.2.1. Особенности состава и распределения зоопланктона реки Сок

Существуют полярные взгляды по вопросу существования зоопланктона водотоков, как полноценного сообщества. Часть ведущих гидробиологов считали, что малые реки - это экосистемы, которые характеризуются прозрачностью воды до дна, отсутствием истинного планктона и взрослых особей рыб (Лебедев, 2001). Однако то, что однозначно справедливо для горных и предгорных рек, нельзя механически относить ко всем водотокам. В частности, было показано, что равнинные малые реки - системы, отличающиеся богатым разнообразием биотопов (Крылов, 2005б; Экосистема малой реки.., 2007). На участках малых водотоков, скорость течения воды в которых не превышает 0,25 м/с, зоопланктон представляет собой устойчивые сообщества, существование которых поддерживается за счет субституционного и флуктуационного типа организации. Однако, на наш взгляд, даже в реках с высокой скоростью течения показатели зоопланктона способны в той или иной степени отразить экологическую ситуацию на водотоке, в связи с тем, что в поток планктонные организмы попадают из биоценозов рипали или плесовых участков, где формируются при низкой скорости течения, часто в зарослях высших водных растений. Кроме того, переносимые потоком виды зоопланктона, попадая в пригодные для существования условия, могут участвовать в формировании сообществ на нижних участках течения реки, в ее устьевой области или в приемнике.

Отбор проб зоопланктона осуществлялся в июле 1991-1992 и 2002 гг. в прибрежье (ст.1, 3, 4-6, 8, 10, 11) и на небольших глубинах русла (0,2-1,1 м) от истока до устья реки, путем процеживания 100 л воды через планктонную сеть (размер ячеи – 0,064 мм) с последующей фиксацией 4%-ным раствором формальдегида. В нижнем течении реки на русловом участке (ст. 12) зоопланктон отбирали сетью Джеди до глубины 2 м.

Выбранные станции отбора проб соответствовали биотопическим, гидрологическим и гидрохимическим особенностям реки на участках ее верхнего, среднего и нижнего течения, которые были приняты при проведении многолетнего гидробиологического мониторинга.

Камеральную обработку проб проводили по стандартной методике (Методика изучения.., 1975). Определение беспозвоночных проводили с помощью широко используемых определителей (Рылов, 1948; Кутикова, 1970; Мончeнко, 1974; Определитель пресноводных.., 1977, 1994, 1995; Боруцкий и др., 1991; Определитель зоопланктона.., 2010). Зоопланктон оценивали по числу видов, коэффициенту трофности (Мяэметс, 1980), численности, биомассе, доле таксономических групп в общей биомассе и численности, индексу Шеннона (рассчитанному по численности H_N и биомассе H_B), индексу сапробности (Pantle, Buck, 1955) в модификации Сладечека (Sladeček, 1973). Величины индикаторной значимости видов были взяты из списка индикаторов загрязнения (Sladeček, 1973; Фауна аэротенков, 1984), а для коловраток также дополнены данными П.А. Цимдиня (1989).

Всего в составе зоопланктона исследованных участков реки обнаружено 24 вида беспозвоночных (табл. 54). Наибольшего разнообразия достигали коловратки – 15 видов, веслоногих ракообразных зарегистрировано 4 вида, ветвистоусых рачков – 5 видов.

Таблица 52. Видовой состав зоопланктона р. Сок

Таксон	Станции								
	1	3	4	5	6	8	10	11	12
Тип ROTIFERA									
Класс Eurotatoria									
Надотряд Pseudotrocha									
Отряд Saeptiramida									
Подотряд Ploesomida									
Семейство Synchaetidae									
Bipalpus hudsoni (Imhof)							+		+
Polyarthra dolichoptera Idelson			+				+		
Подотряд Notommatina									
Семейство Notommatidae									
Cephalodella gibba (Ehrenberg)									+
Отряд Transversiramida									
Подотряд Epiphanina									
Семейство Lecanidae									
Lecane (*Monostyla*) *bulla* Gosse									+
Подотряд Brachionina									
Семейство Brachionidae									
Brachionus quadridentatus Ehrenberg								+	
B. angularis Gosse	+	+						+	+
B. diversicornis (Daday)					+	+		+	+
Keratella quadrata (Müller)					+			+	+
Семейство Euchlanidae									
Euchlanis dilatata Ehrenberg	+		+		+	+	+	+	+
E. deflexa Gosse							+		
Подотряд Mytilinina									
Семейство Trichotriidae									
Trichotria pocillum Müller									+
Семейство Mytilinidae									
Mytilina ventralis Ehrenberg								+	
Надотряд Gnesiotrocha									
Отряд Protoramida									
Подотряд Flosculariina									
Семейство Filiniidae									
Filinia longiseta (Ehrenberg)	+	+						+	+
Семейство Testudinellidae									
Testudinella patina (Herm.)									+
Семейство Floscalariidae									
Sinanterina semibullata Thorpe									+
CRUSTACEA									
COPEPODA									
Cyclopiformes									
Семейство Cyclopidae									
Подсемейство Cyclopinae									
Cyclops vicinus Uljanin	+								
Mesocyclops leuckarti (Claus)									+
Подсемейство Eucyclopinae									
Eucyclops serrulatus (Fischer)	+				+			+	
E. macruroides (Lilljeborg)									+
CLADOCERA									
Отряд Anomopoda									
Семейство Daphniidae									
Ceriodaphnia pulchella Sars	+							+	
Семейство Bosminidae									
Bosmina (*Bosmina*) *longirostris* (O.F. Müller)							+		

Окончание табл. 54

Семейство Chydoridae									
Подсемейство Aloninae									
Alona quadrangularis (Müller)					+			+	
Подсемейство Chydorinae									
Chydorus sphaericus (O.F. Müller)			+	+	+		+	+	
Pleuroxus aduncus (Jurine)	+								
Всего Rotifera = 15 Всего Copepoda = 4 Всего Cladocera = 5 Общее число видов = 24 *E* = 11,6									

Основу видового состава составляли виды, приуроченные к субстрату, в том числе и зарослям высших водных растений. Кроме того, необходимо отметить, что среди коловраток высокую долю (33,3%) составляли индикаторы высокой степени органической нагрузки. О высокой степени органической нагрузки свидетельствует также и величина коэффициента трофности, соответствующая гиперэфтрофным водам (табл. 54). Впрочем, как показывают результаты некоторых исследований, причиной такой ситуации может выступать скорость течения, увеличение которой - столь же неблагополучный для зоопланктона фактор среды, как и увеличение антропогенной нагрузки, и реакция зоопланктона на их влияние имеет общие черты (Крылов, 2005б; Крылов, Дулмаа, 2009).

Общее число видов беспозвоночных в толще воды варьировало от 2 до 10, причем минимальные значения зарегистрированы на ст. 2 и 3 верхнего участка реки, которые характеризовались высокими скоростями течения (рис. 31). Однако в истоке водотока, где скорость течения была меньше в 2-3 раза, число видов было выше средней (6 видов) по водотоку величины. Наибольшее разнообразие беспозвоночных обнаружено на наиболее приближенных к устью участках реки, что, очевидно, было связано с наименьшими скоростями течения. Об этом свидетельствуют полученные корреляционные зависимости: число видов достоверно снижалось при увеличении скорости течения ($r = -0{,}73$, $p < 0{,}05$), а также было тем меньше, чем дальше от устья располагался участок реки ($r = -0{,}71$, $p < 0{,}05$).

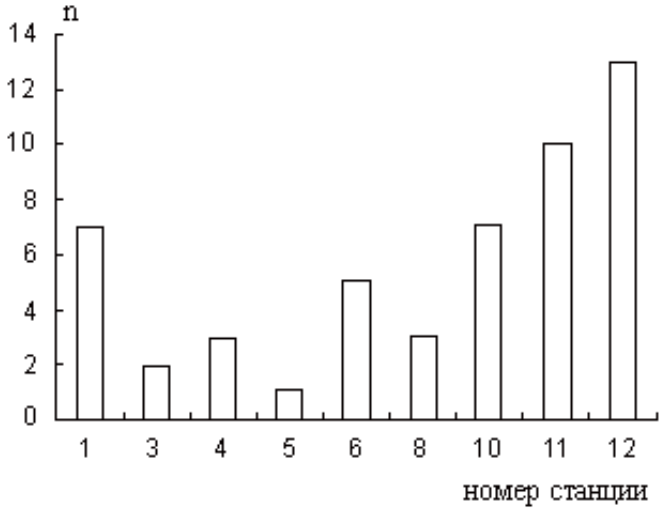


Рис. 31. Число видов зоопланктона исследованных участков реки

Численность беспозвоночных в толще воды имела широкие пределы колебаний – от 40 до 2140 экз./м^3 (рис. 32), причем, чем выше от устья располагалась станция, тем меньше была величина ($r = -0{,}73$, $p < 0{,}05$).

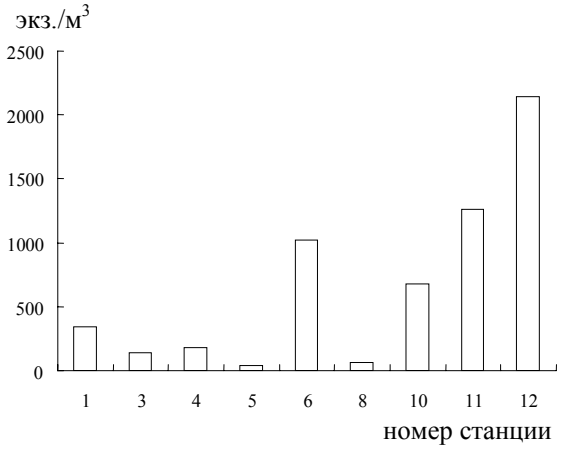


Рис. 32. Численность зоопланктона участков р. Сок

Однако исключение наблюдалось в истоке реки, где численность беспозвоночных была выше, чем на других станциях участка верхнего течения реки, что объясняется минимальной скоростью течения (рис. 32). Кроме того, значительное увеличение численности зарегистрировано на ст. 6, что могло быть связано с ее расположением в пределах населенного пункта и, соответственно, с увеличением антропогенной нагрузки. Об этом свидетельствует и тот факт, что основу численности здесь, как и на большинстве станций и на большинстве рек с быстрым течением воды, составляли коловратки (рис. 33) (Крылов, 2005б), а среди доминирующих видов отмечена *Brachionus angularis* – вид-индикатор высокой степени органической нагрузки (табл. 55).

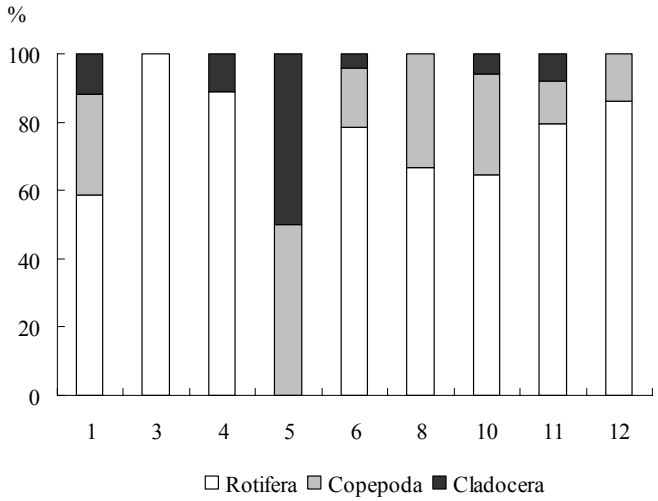


Рис. 33. Доля таксономических групп беспозвоночных в общей численности зоопланктона участков р. Сок

Состав доминирующих по численности видов определялся в основном представленностью организмов, сносимых из зарослей высших водных растений (*Euchlanis dilatata*), а также из придонных слоев (*Eucyclops serrulatus*), а также степенью органической нагрузки (*Filinia longiseta*, *Brachionus diversicornis*, *B. angularis*), повышение которой по доминированию видов-индикаторов отмечалось на ст. 1, 6 и 8.

Зоопланктон реки характеризовался низкими величинами индекса Шеннона-Уивера, что в первую очередь связано с экстремальными по скорости течения воды условиями среды (рис. 34).

Таблица 53. Доминирующие виды зоопланктона

Ст.	По численности	По биомассе
1	*Filinia longiseta*, *Euchlanis dilatata*, копеподиты циклопов	*Cyclops vicinus*, *Eucyclops serrulatus*, копеподиты циклопов, *Ceriodaphnia pulchella*
3	Копеподиты циклопов, *Chydorus sphaericus*	Копеподиты циклопов, *Chydorus sphaericus*
4	*Euchlanis dilatata*, *Polyarthra dolichoptera*	*Euchlanis dilatata*, *Chydorus sphaericus*
5	Копеподиты циклопов, *Chydorus sphaericus*	Копеподиты циклопов, *Chydorus sphaericus*
6	*Euchlanis dilatata*, *Brachionus angularis*	*Euchlanis dilatata*, *Brachionus diversicornis*, копеподиты циклопов, *Eucyclops serrulatus*
8	*Brachionus diversicornis*, *Euchlanis dilatata*, науплиусы циклопов	*Brachionus diversicornis*, *Euchlanis dilatata*, науплиусы циклопов
10	*Euchlanis dilatata*, *Polyarthra dolichoptera*, копеподиты циклопов	*Euchlanis dilatata*, копеподиты циклопов
11	*Euchlanis dilatata*	*Euchlanis dilatata*, *Eucyclops serrulatus*
12	*Euchlanis dilatata*	*Euchlanis dilatata*, *Eucyclops serrulatus*

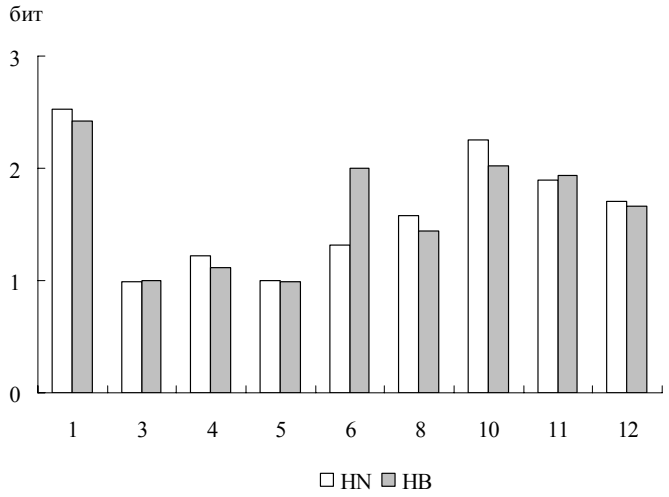


Рис. 34. Индексы Шеннона-Уивера зоопланктона участков р. Сок

Распределение биомассы беспозвоночных толщи воды по продольному профилю реки практически повторяло картину, описанную для распределения численности (рис. 35): среди станций участка верхнего течения наибольшая биомасса зарегистрирована в районе истока реки, характеризующегося минимальной скоростью течения; обнаружено значительное увеличение биомассы на ст. 6, что выступает свидетельством увеличения органической нагрузки со стороны населенного пункта; максимальные биомассы отмечены в нижнем течении реки.

Основу биомассы на большинстве станций составляли коловратки (в среднем 52,3%), хотя на отдельных участках (ст. 1, 5 и 10) возрастала доля ракообразных (рис. 36), среди которых из ветвистоусых доминировали представители сем. Chydoridae, а из веслоногих – взрослые и ювенильные стадии *Eucyclops serrulatus* (табл. 55). Лишь в районе истока реки среди доминантов отмечены *Cyclops vicinus* и *Ceriodaphnia pulchella*, а на ст. 6 и 8 – вид-индикатор высокой степени органической нагрузки *Brachionus diversicornis*.

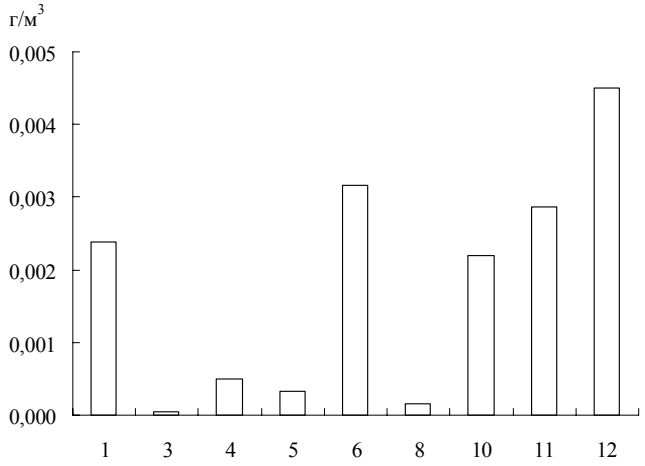


Рис. 35. Биомасса зоопланктона участков р. Сок

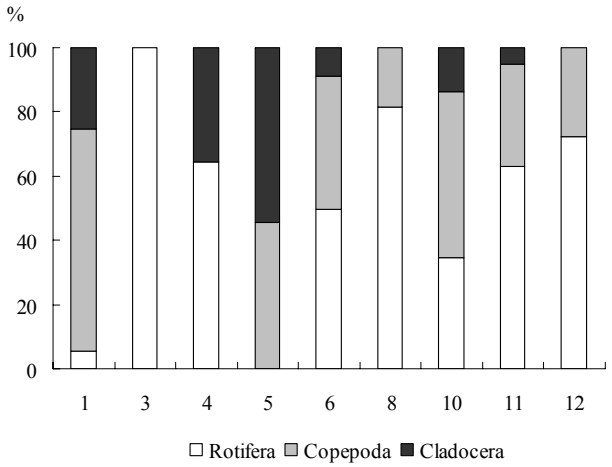


Рис. 36. Доля таксономических групп беспозвоночных в общей биомассе зоопланктона участков р. Сок

На участках, испытывающих дополнительное поступление органических соединений, а также снижение скорости течения (ст. 1, 6, 10-12) и, следовательно, аккумуляция веществ, переносимых потоком, наблюдалось увеличение индекса Шеннона-Уивера, рассчитанного по биомассе (рис. 34). То есть, в условиях повышенных расходов может наблюдаться стимуляция беспозвоночных толщи воды за счет улучшения их кормовой базы.

По величине индекса сапробности вода реки характеризуется как β-мезосапробная (рис. 37).

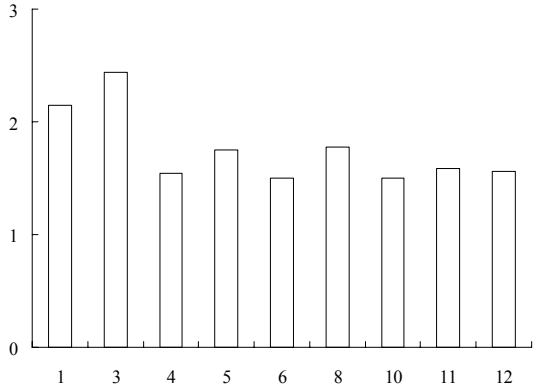


Рис. 37. Индексы сапробности участков р. Сок

Полученные данные свидетельствуют о том, что беспозвоночные толщи воды р. Сок представлены в основном видами, развивающимися на участках, зарастающих макрофитами, а также видами, попадающими в поток из придонных слоев, что характерно для большинства малых водотоков с быстрым течением воды. Динамика численности и биомассы беспозвоночных связаны с изменением количества органических соединений, которые попадают в реку с водосбора и аккумулируются на участках, где происходит снижение скорости течения, либо из-за рассеянных и точечных источников загрязнения в населенных пунктах, расположенных на берегах водотока. В целом важно отметить, что, несмотря на высокую скорость течения в среднем и нижнем участках реки, количественное развитие зоопланктона обусловлено не гидравликой потока (отсутствие корреляционных зависимостей между скоростью течения и биомассой), а иными характеристиками среды (обогащение органическим веществом), способствующими развитию различных таксономических групп беспозвоночных.

2.2.2. Фитофильные сообщества зоопланктона нижнего течения р. Сок

В последнее время пристальное внимание уделяется изучению гидрологического, химического и биологического режимов малых и средних рек (Крылов и др., 2010; Выхристюк и др., 2010). Согласно литературным данным, малые и средние реки наиболее быстро и ярко реагируют на антропогенные и естественные нарушения, а экологическое состояние водотоков тесно связано с ландшафтом бассейна, что обусловливает их уязвимость (Чубирко и др., 2000; Крылов, 2005б; Крылов и др., 2010). Известно, что в мониторинге качества поверхностных вод во мгогих странах наряду с гидрохимическим активно применяют биологический контроль, используя качественные и количественные характеристики зоопланктона (Палаш, 2007). Планктонные беспозвоночные чутко реагируют на изменяющиеся условия среды, участвуя в поддержании экологического баланса водоемов и процессах их естественного самоочищения. Многие из зоопланктеров служат индикаторами различных антропогенных нарушений (Жадин, Герд, 1961; Константинов, 1967; Макрушин, 1974). Видовая структура – один из показателей состояния сообществ беспозвоночных (Андроникова, 1996). Данные организмы состоят из разнообразных гидробионтов: ветвистоусых и веслоногих рачков, личиночных форм животных, которые, в зависимости от образа жизни, делятся на холо-, меро- и псевдопланктон (Алексеев и др., 2010). Наряду с пелагическими видами беспозвоночных в водоеме постоянно присутствуют фитофильные организмы с различной биотопической приуроченностью – псевдопланктон. В основном это беспозвоночные литоральной (прибрежной) зоны, жизненный цикл которых связан с высшей водной растительностью (Ласточкин, 1930; Зимбалевская, 1981, 1987).

Все зарегистрированные нами организмы в низовьях реки, в соответствии с биотопической приуроченностью, разделены на 3 группы (рис. 38). Истинно планктонные организмы, встречающиеся исключительно в пелагических пробах; истинно фитофильные, зарегистрированные в сообществах, образуемых различными видами макрофитов, и промежуточные, которые встречались и в пелагиали, и в зарослях (Мухортова, 2009).

Наши исследования были направлены на изучение зоопланктона устьевого участка реки в месте подпора реки водами Саратовского водохранилища (далее: устьевой участок), испытывающего влияние потока загрязняющих веществ, поступающих с течением реки и с подпорными водами, менее минерализованными водными массами водохранилища (Выхристюк и др., 2010). Объектом исследования был зоопланктон, развивающийся в пелагической части и в сообществах высшей водной растительности устьевого участка р.Сок – левого притока Саратовского водохранилища.



Рис. 38. Экологические группировки видов зоопланктона

Исследования зоопланктона проводились в составе комплексных экспедиций ИЭВБ РАН в период с 2002 по 2010 г. (по два рейса ежегодно) (рис. 39А). С учетом морфологических, гидрологических и гидрохимичесхих показателей (Выхристюк и др., 2010) на исследованной акватории мы выделяли два участка: I – устьевой участок р. Сок (пелагиаль и макрофиты) и II – русловой участок Саратовского водохранилища (рис. 39Б). Пробы зоопланктона отбирали по стандартным гидробиологическим методикам (Методика…изучения.., 1975; Определитель зоопланктона.., 2010). в пелагической части батометром Дьяченко (10 л), на мелководных участках в зарослях различных видов макрофитов [роголистник темно-зеленый (*Ceratophyllum demersum* L.), рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L.), элодея канадская (*Elodea canadensis* Michx.), наяда морская (*Najas marina* L.), кубышка желтая (*Nuphar lutea* L.), сусак зонтечный (*Butomus umbellatus* L.), стрелолист обыкновеный (*Sagittaria sagittifolia* L.), рогоз узколистный (*Typha angustifolia* L.] использовали мерную емкость (5 л) (фото 11, см. вклейку 1). Пробы концентрировали, пропуская воду через мельничный газ № 64 и фиксировали 4%-ным раствором формальдегида.

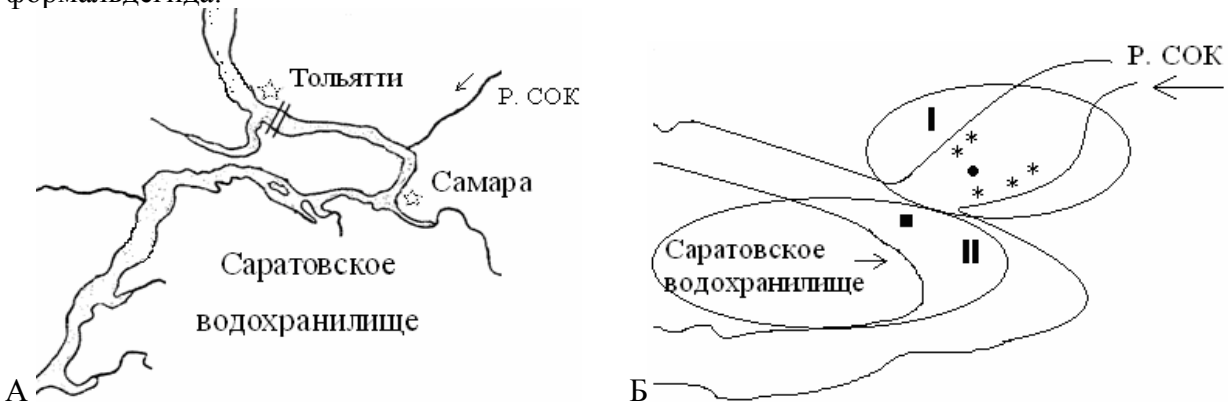


Рис. 39. А – схема района исследования; Б – расположение станций отбора проб зоопланктона (I – приустьевой участок р. Сок: ● – пелагиаль, * – сообщества высшей водной растительности; II – русло Саратовского водохранилища: ■ – пелагиаль)

При определении таксономической принадлежности организмов учитывались не только виды, но и морфы. Для видовой идентификации зоопланктона использовались определители (Кутикова, 1970; Боруцкий и др., 1991; Определитель пресноводных.., 1995; Коровчинский, 2004; Определитель зоопланктона.., 2010; Smirnov, 1996; Foissner, 2006).

В результате проведенных исследований в пелагиали устьевого участка р. Сок и в сообществах, образуемых высшей водной растительностью выявлен 91 вид зоопланктона, относящийся к 2 группам, 9 подродам, 48 родам, 5 подсействам, 24 семействам, 10 отрядам, 4 надотрядам, 1 подклассу, 3 классам. Из них Rotatoria – 45 видов (49% от общего числа зарегистрированных), Cladocera – 30 (34%), Cyclopoida – 10 (11%), Calanoida – 6 (8%). Кроме того, регулярно встречались велигеры моллюска *Dreissena*, копеподиты и взрослые особи Harpacticoida, которые до вида нами не определялись. Во всех исследуе-

мых биотопах в равном количестве встречались ракообразные (50,5% от общего числа видов) и коловратки (49,5%). Таксономический состав зоопланктона устьевого участка р. Сок представлен ниже.

Тип Rotifera Cuvier, 1798
Класс R o t a t o r i a
Подкласс Eurotatoria Bartos, 1959
Надотряд P s e u d o t r o c h a B e a u c h a m p , 1 9 6 5
Отряд Ploimida Hudson et Gosse, 1886
Семейство Trichocercidae
Род *Trichocerca* Lamarck, 1801
Подрод *Trichocerca* Lamarck, 1801
T. (s. str.) *rattus* (Müller, 1776) – Нб, Эк, Кж
T. (s. str.) *cylindrica* (Imhof, 1891) – Рпр, Эк, Рз, П
T. (s. str.) *longiseta* (Schrank, 1802) – Нб, Кж, Сз, Со, Рз, П
Семейство Synchaetidae
Род *Synchaeta* Ehrenberg, 1832
S. pectinata Ehrenberg, 1832 – Эк, Рпр, Кж, П
S. tremula (Müller, 1786) – Рпр, Эк, Нб, П
Род *Polyarthra* Ehrenberg, 1834
P. vulgaris Carlin, 1943 – Эк, Рпр, Нб, Со, Сз, Рз, П
P. dolichoptera Idelson, 1925 – Эк, Рпр, Нб, Кж, Со, Сз, Рз, П
P. longiremis Carlin, 1943 – Эк, Рпр, П
Род *Bipalpus* Wierzejski et Zacharias, 1893
B. hudsoni (Imhof, 1891) – Рпр, Нб, П
Семейство Asplanchnidae
Род *Asplanchna* Gosse, 1850
A. priodonta Gosse, 1850 – Эк, Рпр, Нб, П
A. girodi Guerne, 1888 – Эк, Рпр, Нб, Кж, П
Семейство Lecanidae
Род *Lecane* Nitzsch, 1827
Подрод *Lecane* (s. str.) Nitzsch, 1827
L. (s. str.) *luna* (Müller, 1776) – Эк, Рпр, Нб
Подрод *Monostyla* Ehrenberg, 1830
L. (M.) *hamata* (Stokes, 1896) – Эк, Рпр, Нб
L. (M.) *scutata* (Harring et Myers, 1926) – Эк, Рпр, П
L. (M.) *quadridentata* (Ehrenberg, 1832) – Эк, Рпр, П
L. (M.) *cornuta* (Müller, 1786) – Рт-з, Эк, Рп
Семейство Trichotriidae
Род *Trichotria* Bory de St. Vincent, 1827
T. truncata (Whitelegge, 1889) – Эк, Кж, Рпр, П
T. pocillum (Müller, 1776) – Рт-з, Рпр, Кж,П
Семейство Mytilinidae
Род *Mytilina* Bory de St. Vincent, 1826
M. mucronata (Müller, 1773) – Рпр, Со, Сз, П
M. ventralis (Ehrenberg, 1832) – Рпр, Со, Сз, Рз, П
Род *Lepadella* Bory do St. Vincent, 1826
Подрод *Lepadella* Bory de St. Vincent, 1826
L. (s. str.) *acuminata* (Ehrenberg, 1834) – Рт-з, Рпр, Рз, П
L. (s. str.) *patella* (Müller, 1773) – Рт-з, Рпр, Эк, Нб, П
Семейство Euchlanidae
Род *Euchlanis* Ehrenberg, 1832

E. dilatata Ehrenberg, 1832 – Рпр, Нб, Со, Сз, П
E. calpidia (Myers, 1930) – Рп, Нб, Со, Рз, П
E. lyra Hudson, 1880 – Рпр, Нб, Рз, П
E. deflexa Gosse, 1851 – Рт-з, Рпр, Кж, Рз

Семейство *Brachionidae*

Род *Brachionus* Pallas, 1766

B. angularis Gosse, 1851 – Рт-з, Рпр, Нб, П
B. diversicornis (Daday, 1883) – Рт-з, Рпр, Нб, Со, П
B. calyciflorus Pallas, 1766 – Рт-з, Рпр, Нб, П
B. quadridentatus Hermann, 1783 – Рпр, Нб, Со, Рз, П
B. urceus (Linnaeus, 1758) – Рпр, Нб, Со, Рз, П

Род *Platyias* Harring, 1913

P. quadricornis (Ehrenberg, 1832) – Рт-з, Рпр, Нб, П

Род *Keratella* Bory de St. Vincent, 1822

K. cochlearis (Gosse, 1851) – Рт-з, Рпр, Нб, Кж, Со, Сз, Рз, П
K. irregularis (Lauterborn, 1898) – Рпр, Нб, Со, Рз, П
K. hiemalis Carlin, 1943 – Рт-з, Рпр, Нб, Со, П
K. quadrata (Müller, 1786) – Рт-з, Рпр, Нб, П
K. valga (Ehrenberg, 1834) – Нб, Со, Рз, П

Род *Notholca* Gosse, 1886

N. acuminata (Ehrenberg, 1832) – Эк, Кж, П

Надотряд Gnesiotrocha Beauchamp, 1965

Отряд Monimotrochida Beauchamp, 1965

Семейство Testudinellidae

Род *Testudinella* Bory de St. Vincent, 1826

T. patina (Hermann, 1783) – Эк, Рз, П
T. parva (Ternetz, 1892) – Эк, Рз, Нб, П

Семейство Filiniidae

Род *Filinia* Bory de St. Vincen, 1824

F. terminalis (Plate, 1886) – Рт-з, Эк, П
F. longiseta (Ehrenberg, 1834) – Рпр, Рт-з, Нб, Эк, Со, П

Класс Archeorotatoria Markevich, 1990

Отряд Bdelloida Hudson, 1884

Семейство Philodinidae Bryce, 1910

Род *Rotaria* Scopoli, 1777

R. neptunia (Ehrenberg, 1832) – Рт-з, Эк, Кж, Рз, П
R. rotatoria rotatoria (Pallas, 1766) – Рт-з, Эк, Кж, Рз, П

Род *Philodina* Ehrenberg, 1830

Ph. acuticornis Murray, 1902 – Рт-з, Эк, Кж, Рз, П

Класс C r u s t a c e a

Надотряд Cladocera

Отряд Ctenopoda Sars, 1865

Семейство Sididae Baird, 1850

Род *Sida* Straus, 1820

S. crystallina crystallina (O.F. Müller, 1776) – Эк, Кж, Со, П

Род *Diaphanosoma* Fisher, 1850

D. brachyurum (Lievin, 1848) – Рт-з, Эк, Кж, Со, Сз, Рз, П

Отряд Anomopoda Sars, 1865

Семейство Bosminidae Baird, 1845 sensu Sars, 1865

Род *Bosmina* Baird, 1845

Подрод *Bosmina* Baird, 1845

B. (*B.*) *longirostris* (O.F. Müller, 1785) – Рпр, Рт-з, Эк, Нб, Кж, Со, Сз, Рз, П

Подрод *Eubosmina* Seligo, 1900

B. (*E.*) cf. *longispina* Leydig, 1860 – Эк, Кж, Нб, Со, Рз, П

Семейство Eurycercidae Kurz, 1875 sensus Dumont & Silva –Briano, 1998

Род *Eurycercus* Baird, 1843

Подрод *Eurycercus* Baird, 1843

E. (*E.*) *lamellatus* (O.F. Müller, 1776) – Рпр, Рт-з, Эк, Кж

Семейство Chydoridae Dybowski et Grochowski, 1894

Подсемейство Chydorinae Dybowski et Grochowski, 1894

Род *Pleuroxus* Baird, 1843

P. truncatus (O.F. Müller, 1785) – Эк, Кж, Со, Рз, П

P. trigonellus (O.F. Müller, 1785) – Рт-з, Эк, Рз

P. aduncus (Jurine, 1820) – Рт-з, Нб, Со, Сз, П

Род *Alonella* Sars, 1862

A. exigua (Lilljeborg, 1901) – Кж, Эк, П

Род *Chydorus* Leach, 1816

C. sphaericus (O. F. Müller, 1785) – Рт-з, Рпр, Эк, Нб, Кж, Со, Сз, Рз, П

Род *Pseudochydorus* Fryer, 1968

P. globosus (Braid, 1843) – Эк, Кж, Со, Рз, П

Подсемейство *Aloninae* Frey, 1967

Род *Acroperus* Baird, 1843

A. harpae (Baird, 1834) – Эк, Рпр, Кж, Нб, Сз, П

Род *Graptoleberis* Sars, 1862

G. testudinaria (Fischer, 1851) – Рп, Рт-з, Эк, Кж, Нб, Со, Рз, П

Род *Alona* Baird, 1843

A. intermedia Sars, 1862 – Рпр, Кж, Рз, П

A. quadrangularis (O.F. Müller, 1875) – Рт-з, П

A. rectangula Sars, 1862 – Рт-з, Рпр, Эк, Нб, Рз, П

Семейство Daphniidae Straus, 1820

Род *Scapholeberis* Schoedler, 1858

S. mucronata (O.F. Müller, 1776) – Эк, Кж, Нб, Со, Рз, П

Род *Daphnia* O.F. Müller, 1785

Подрод *Daphnia* O.F. Müller, 1785, emend Johnson, 1952

Группа видов *D.* (*D.*) *pulex*

D. (*D.*) *pulex* Leydig, 1860 – Эк, Кж, П

Группа видов *D.* (*D.*) *longispina*

D. (*D.*) *cucullata* Sars, 1862 – Кж, Нб, П

D. (D.) galeata Sars, 1864 – Эк, Кж, Рз, П

D. (D.) longispina O.F. Müller, 1785 – Кж, Рпр, П

Род *Ceriodaphnia* Dana, 1853

C. pulchella Sars, 1862 – Эк, Кж, Нб, Со, Рз, П

C. quadrangula (O.F. Müller, 1785) – Эк, Кж, Нб, Со, Рз, П

Род *Simocephalus* Schoedler, 1858

S. vetulus (O.F. Müller, 1776) – Эк, Кж, Нб, Со, Рз, П

Семейство Macrothricidae Norman et Brady, 1867

Род *Macrothrix* Baird, 1843

M. hirsuticornis Norman et Brady, 1867 – Кж, Со, Сз, Рз

Отряд Onychopoda Sars, 1865

Семейство Podonidae Mordukhai-Boltovskoi, 1968

Род *Cornigerius* Mordukhai-Boltovskoi, 1967

C. maeoticus (Pengo, 1879) – Рпр, Эк, Со, Рз, П

Семейство Polyphemidae Baird, 1845

Род *Polyphemus* O.F. Müller, 1785

P. pediculus (Linnaeus, 1761) – Рпр, Эк, Рз, П

Семейство Cercopagidae Mordukhai-Boltovskoi, 1967

Род *Bythotrephes* Leydig, 1860

B. longimanus Leydig, 1860 – П

Род *Cercopagis* Sars, 1897

Подрод *Cercopagis* Sars, 1897

C. (*C.*) *pengoi* (Ostroumov, 1891) – Кж, П

Отряд Haplopoda Sars, 1865

Семейство Leptodoridae Lilljborg, 1861

Род *Leptodora* Lilljborg, 1861

L. kindtii (Focke, 1844) – Эк, П

Надотряд C o p e p o d a

Отряд Cyclopoida (Cyclopiformes)

Семейство Cyclopoida

Подсемейства Eucyclopinae

Род *Macrocyclops* Claus, 1893

M. albidus (Jurine, 1820) – Рт-з, Рпр, Эк, Кж, Со, Рз, П

Род *Eucyclops* Claus, 1893

E. macruroides (Lilljborg, 1901) – Рт-з, Эк, Кж, Со, Рз, П

E. macrurus (Sars, 1863) – Рт-з, Эк, Кж, Со, Сз, Рз, П

Подсемейства Cyclopinae

Род *Cyclops* Müller, 1776

C. vicinus Uljanin, 1875 – Со, П

C. strenuus Fischer, 1851 – Кж, П

Род *Mesocyclops* Sars, 1913

M. leuckarti (Claus, 1857) – Рпр, Рт-з, Нб, Со, Рз, П

Род *Thermocyclops* Kiefer, 1927

Th. oithonoides (Sars, 1863) – Рпр, Рт-з, Нб, Со, Сз, Рз, П

Род *Diacyclops* Kiefer, 1927

D. bicuspidatus (Claus, 1857) – Рт-з, Эк, Кж, Рз, П

Род *Microcyclops* Claus, 1893

M. gracilis (Lilljborg, 1901) –Рт-з, Эк, Кж, Со, Сз, Рз, П

M. varicans (Sars, 1863) – Рпр, Рт-з, Эк, Кж, Со, Сз, Рз, П

Отряд Calanoida (Calaniformes)

Семейство Temoridae G.O. Sars, 1903

Род *Eurytemora* Giesbrecht, 1881

E. affinis (Poppe, 1880) – Рт-з, Эк, П

E. lacustris (Poppe, 1887) – Рт-з, Эк, Кж, Рз, П

Род *Heterocope* G.O. Sars, 1863

H. appendiculata Sars, 1863 – Рт-з, Эк, Кж, Рз, П

H. caspia Sars, 1897 – Рт-з, Эк, Кж, Рз, П

Семейство Diaptomidae G.O. Sars, 1903

Подсемейство Diaptomidae Sars, 1903

Род *Eudiaptomus* Kiefer, 1932

E. gracilis (Sars, 1863) – Эк, Кж, Рз, П

E. graciloides (Lilljeborg, 1888) – Рпр, Эк, Кж, Рз, П

Отряд Harpacticoida (Harpactiformes)

H. sp. – Рпр, Эк, Кж, Со, Сз, Рз.

Примечание: П – пелагиаль, Рпр – рдест пронзеннолистный, Рт-з – роголистник темно-зеленый, Эк – элодея канадская, Нм – наяда морская, Кж – кубышка желтая, Сз – сусак зонтичный, Со – стрелолист обыкновенный, Рз – рогоз узколистный.

Все зарегистрированные виды гидробионтов и в пелагиали, и в сообществах высшей водной растительности, являются типично эвритопными (Определитель зоопланктона.., 2010). Вероятно, большое влияние на таксономический состав зоопланктона в устьевом участке (нижнем течении) р. Сок оказывают воды Саратовского водохранилища. Высокое таксономическое разнообразие обусловлено тем, что в этой своеобразной зоне экотона зарегистрированы виды, встречающиеся и в водохранилище, и в реке. В зависимости от биотопической приуроченности установленные виды беспозвоночных также можно отнести к «промежуточным», или «кочевникам», с ярко выраженной способностью к миграциям (рис. 38). Эта группа видов в силу своей высокой экологической валентности может регистрироваться и среди сообществ более «оседлых», фитофильных видов (Зимбалевская, 1981) и среди более подвижных, пелагических.

В пелагиали и среди высшей водной растительности нами отмечены чужеродные для Саратовского водохранилища и р. Сок виды зоопланктона: *Eurytemora affinis, E. lacustris, Heterocope appendiculata, H. caspia,. Cercopagis* (*C.*) *pengoi, Cornigerius maeoticus.*

Видовой состав зоопланктона пелагиали и сообществ макрофитов отличался высокой степенью сходства (коэффициент Сьеренсена – от 76,1% до 87,7%). Это связано, во-первых с тем, что зарегистрированные виды гидробионтов относятся к промежуточным или фитофильно-пелагическим; а во-вторых, с влиянием гидрологического режима устьевого участка р. Сок (Крылов и др, 2008; Рахуба, 2011). Видовой состав фитофильного комплекса формирующегося в зарослях различных видов высшей водной растительности нижнего течения реки Сок, перечисленных нами в методике, также отличался высокой степенью сходства (коэффициент видового сходства Сьеренсена - от 75,3% до 94,1%).

Наибольшие показатели численности и биомассы зоопланктона в пелагиали были зарегистрированы в 2002 и 2008 гг. (табл. 56), среди которых в состав доминирующего комплекса видов входили *Daphnia galeata*, *D. cucullata, Chidorus sphaericus*, *Heterocopa caspia*, *Eurytemora affinis, E. lacustris.*

Таблица 56. Многолетние изменения количества видов, численности и биомассы зоопланктона в пелагиали устьевого участка р. Сок

Пелагиаль устьевого участка р. Сок			
Год	Численность, тыс. экз./м³	Биомасса, г/м³	Количество видов
2002	23 400	13,375	10
2006	10 656	0,435	10
2007	9 856	0,245	11
2008	28 883	10,260	13
2009	9 985	0,489	11
2010	34 408	1,640	11

Сравнительный анализ количественного развития зоопланктона на пелагических станциях, расположенных в устьевом участке р. Сок и русле Саратовского водохранилища (рис. 39), показал высокую степень сходства (табл. 57). Так например, пелагический комплекс зоопланктона, представленный 91 видом, зарегистрированным нами в нижнем течении р.Сок, является характерым и для пелагиали русла водохранилища.

В сообществах, образованных макрофитами, доминировали *Sida crystallina*, *Diaphanosoma brachyurum* и *Eurytemora affinis*, *E. lacustris*. Максимальные показатели численности и биомассы зоопланктона были отмечены в сообществах прибрежно-водной и погруженной в воду растительности (рогоз узколистный и рдест пронзеннолистный) (табл. 58).

Интересен факт наличия обрастания эпибионтами (водорослями) большинства видов кладоцер, зарегистрированных нами преимущественно в сообществах, образованных макрофитами, в отличие от планктеров пелагической части водоема. Среди обрастателей Т.Н. Бурковой (см. подраздел 2.1.6) были определены следующие виды эвгленовых во-

дорослей: *Colacium vesiculosum* f. *arbuscula* (Stein.) Hub.-Pest. (син. *C. arbuscula* Stein.), *C. vesiculosum* f. *cyclopicola* (Gicklh.) Popova. (син. *C. cyclopicola* (Gicklh.) Woronich.). Для представителей Cladocera характерны «слабые неровности» поверхности панциря, к которым прикрепляются с помощью слизистой подошвы мелкоклеточные представители рода *Colacium*. Было установлено, что частота встречаемости поселений *Colacium* на Cladocera выше, чем на Copepoda (Мухортова, 2009).

Таблица 57. Средние показатели численности, биомассы и количество видов зоопланктона в пелагиали устьевого участка р. Сок и русла Саратовского водохранилища

Пелагиаль русла Саратовского вододохранилища и устьевого участка р. Сок						
Год	Численность, тыс. экз./м³		Биомасса, г/м³		Количество видов	
	русло водохранилища	устьевой участок	русло водохранилища	устьевой участок	русло водохранилища	устьевой участок
2006	9 541	10 656	0,401	0,435	12	10
2007	9 012	9 856	0,390	0,245	12	11
2008	5 769	28 883	0,551	10,260	10	13
2009	4 356	9 985	0,320	0,489	9	11
2010	2 301	34 408	0,439	1,640	10	11

Таблица 58. Средние показатели численности, биомассы и количество видов зоопланктона в сообществах макрофитов приустьевого участка р. Сок

Макрофиты	Численность, тыс. экз./м³	Биомасса, г/м³	Количество видов
Роголистник темно-зеленый	13 134	0,734	18
Рдест пронзеннолистный	19 500	0,291	15
Элодея канадская	9 449	0,341	13
Наяда морская	8 432	0,209	11
Рогоз узколистный	24 916	0,372	19

Для оценки трофического состояния устьевого участка р. Сок по биомассе зоопланктона, нами была использована «шкала трофности» С.П. Китаева (2007), согласно которой нижнее течение р. Сок относится к олиго- и мезотрофной зоне. В отдельные годы по показателям биомассы зоопланктона (2002 г. – 13 г/м³, 2008 г. – 11 г/м³) устьевой участок соответствует ά- и β-эвтрофной зоне. Для зоопланктона, развивающегося в сообществах макрофитов уровень биомассы соответствовал границе олиго- мезотрофной зоны.

Таким образом, сообщество зоопланктона устьевого участка р. Сок отличается высоким видовым разнообразием: в его состав входят лимнофильные виды (привнесенные с подпорными водами Саратовского водохранилища) и реофильные, характерные для р. Сок. Высокое сходство качественного состава и количественного развития зоопланктона во всех изучаемых нами экотопах реки связано с особенностями гидрологического режима зоны переменного подпора и динамического взаимодействия вод приустьевого участка реки и водохранилища.

2.2.3. Видовой состав и структура сообществ макрозообентоса реки Сок

Несмотря на то, что исследования р. Волги начались более 200 лет назад, равнинные реки Нижнего Поволжья являются наименее исследованными водными объектами, оказывающими существенное влияние на гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режим Волжских водохранилищ. Донные сообщества играют важную роль в формировании структуры речных экосистем и являются надежными показателями их состояния (Зинченко, 1994; Баканов, 2000; Балушкина, 2002; Щербина, 2002; Семенченко, 2004; Шитиков и др., 2005; Биоиндикация экологического.., 2007).

Достаточно полные сведения о составе и структурных характеристиках макрозообентоса водотоков Нижней Волги приводятся для зарегулированной равнинной р. Чапаевка, испытывающей мощный антропогенный пресс (Зинченко и др., 1997). Наибольший интерес вызывают исследования равнинных рек с ненарушенным гидрологическим режимом и слабой интенсивностью антропогенной нагрузки, которые могут быть использованы в качестве фоновых при мониторинге сходных лотических систем. К таким водотокам относится р.Сок (см. раздел 1.4.). Исследования донных сообществ проводили как на отдельных участках р. Сок летом и осенью 1990-1993, 1995, 1999 гг., так и на всем ее протяжении (на 14 стандартных станциях), в июле 1998 г. (рис. 40). Летом 2007 г. осуществляли отбор проб макрозообентоса на реперных станциях участков верхнего, среднего и нижнего течения реки.

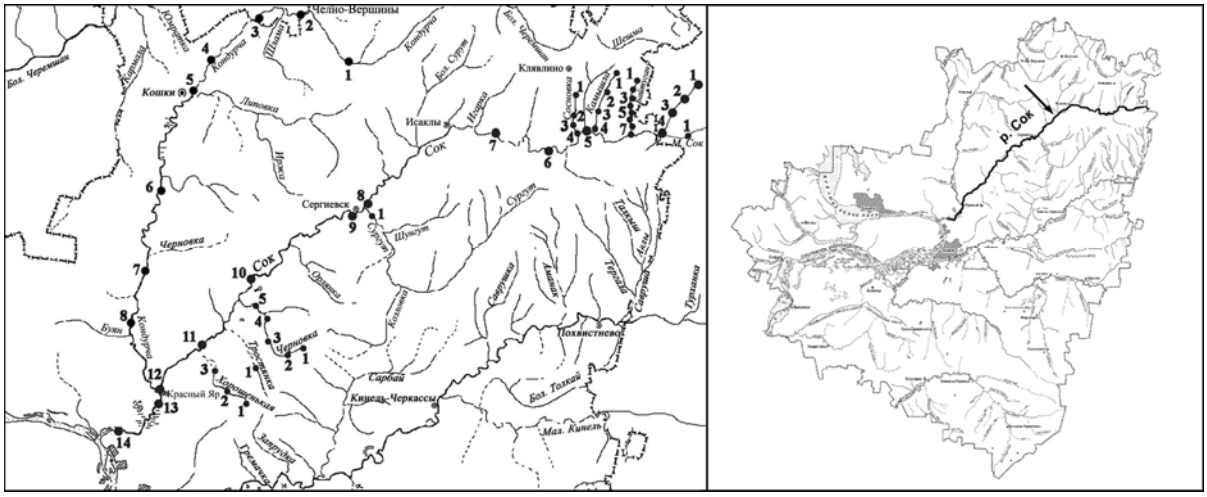


Рис. 40. Карта-схема р. Сок и ее притоков с указанием станций отбора проб макрозообентоса

При сборе и камеральной обработке материала руководствовались общепринятыми методами (Методика изучения.., 1975; Методические рекомендации.., 1984)[1].

В связи с особенностями гидрологического режима, районирование р.Сок осуществлялось с учетом выделения участков верхнего, среднего и нижнего течения (табл. 59).

Для оценки качества воды и экологического состояния участков реки использованы Биотический индекс Вудивисса и интегральный индекс экологического состояния реки (ИИЭС) как наиболее информативные из апробированных ранее на реках Волжского бассейна (Зинченко и др., 2000; Головатюк, 2005). Качество воды определяли на русловых участках и в прибрежье реки.

Всего на русле и в прибрежье р. Сок в составе фауны зарегистрировано 268 видов и таксонов более высокого систематического ранга. Ведущей по видовому составу группой являются двукрылые (137 видов), из которых хирономиды составляют 119 видов и личиночных форм. Выявлено 29 видов моллюсков, 18 – клещей, 17 – ручейников, 14 – поденок, 13 – олигохет, 10 – жуков, 7 – пиявок, 6 – ракообразных, 5 – клопов, по 4 – веснянок и стрекоз, по одному виду – вислокрылок и гидр. В пробах отмечены также нематоды и паукообразные, которые до вида не определялись (табл. 60, 61).

[1] Определение некоторых таксонов выполнено следующими специалистами: клещей.– сотрудником ИБВВ РАН П.В. Тузовским, олигохет – сотрудниками ИЭВБ РАН В.И. Попченко и Т.В. Попченко, моллюсков – сорудником ТГУ Е.П. Загорской

Таблица 59. Некоторые морфометрические, гидрологические, гидрохимические показатели и качество воды различных участков р. Сок

Показатель	Участки реки		
	Верхнее течение (ст. 1-5)	**Среднее течение (ст. 6-11)**	**Нижнее течение (ст. 12-14)**
Местоположение	от истока до места впадения р. Камышла	от места впадения р. Камышла до с. Соколинка	от с. Соколинка до места впадения в Саратовское вдхр.
Протяженность, км	91	229	55
Уклон, ‰ (м/км)	2,1	0,41	0,16
Ширина реки в местах отбора проб (min-max), м	1,2-20	25-80	80-100
Глубина реки в местах отбора проб (min-max), м	0,2-0,5	0,5-3,0	0,8-3,0
Скорость течения (min-max), м/с	0,3-1,0	0,3-0,9	0,15-0,2
Температура (min-max), °С	7,2-22,6	18,0-24,6	16,5-26,2
Биотоп (донные отложения)	щ, га+гр+си, грп+гр, си+гр, си, си+ро	кп, кп+си, чи, си+гл+ро, ро+кп+си, кп+гр	си+сп, кп, ро+сп+си
Основные загрязняющие вещества (в ПДК)*	Cu (12), Fe (2), N-NO_2 (1,1), Mn (ПДК)	Cu (14), Fe (3,5), P-PO4 (1,8), N-NH4 (1,6), ХПК (1,3), $БПК_5$ (1,2), N-NO2 (1,2), Mn (ПДК), фенолы (ПДК)	Cu (10), Fe (2,7), ХПК (1,2), НПР (1,2), Mn (ПДК), Zn (ПДК), фенолы (ПДК)
Индекс загрязнения вод (ИЗВ) в годы исследований	1,0	3,47	2,46
Класс качества воды (по ИЗВ)	II чистая	IV загрязненная	III умеренно загрязненная

Примечание: Щ – щебенистый грунт (преобладают неокатанные частицы: размер частицы >10 мм); га – галечный грунт (преобладают окатанные частицы, dm>10 мм), гр – гравийный грунт (преобладают окатанные частицы, >2 мм), грп – гравелистый песок (>2 мм), кп – крупный песок (>0,5 мм), сп – песок средней крупности (>0.25 мм), си – серый ил, чи – черный ил, гл – глина, ро – растительные остатки.

По данным государственного мониторинга, проводимого подразделениями Приволжского УГМС в 2009 г., вода р. Сок, согласно УКИЗВ (удельный комбинаторный индекс загрязненности воды), относилась в среднем течении к IV «А» классу – «грязная», а в нижнем – к III «А» - «загрязненная» (Государственный доклад.., 2010).

* – данные о загрязняющих веществах и качестве воды приведены из табл. 14 (гл. 1.).

Таблица 60. Число видов различных таксонов макрозообентоса в р. Сок (1990-2007 гг.)

Таксономическая группа	Верхнее течение ст. 1-5	Среднее течение ст. 6-11	Нижнее течение ст. 12-14	Всего
Oligochaeta	10	11	5	13
Hirudinea	5	2	3	7
Mollusca	5	17	22	29
Crustacea	1	-	5	6
Ephemeroptera	10	7	7	14
Odonata	-	4	2	4
Hemiptera	5	2	2	5
Plecoptera	4	-	-	4
Trichoptera	14	6	2	17
Coleoptera	9	3	2	10
Chironomidae	88	48	60	119
Прочие Diptera	16	8	5	18
Hidracarina	14	4	5	18
Прочие*	4	2	2	4
Всего	185	114	122	268

Примечание: * – вислокрылки, гидры, паукообразные, нематоды.

Частоту встречаемости >50% в реке имеют олигохеты *Potamothrix moldaviensis*, поденки *Cloeon* gr. *dipterum*, хирономиды *Cricotopus bicinctus*, *Procladius ferrugineus*, *Tanytarsus* sp., *Paracladius conversus*, *Cryptochironomus* gr. *defectus, Paratendipes albimanus*, *Polypedilum nubeculosum*, *Cladotanytarsus mancus*, мошки *Simulium* sp. и цератопогониды *Culicoides* sp. Анализ литературных данных показывает, что указанные таксоны широко распространены в равнинных реках бассейнов Верхней Волги (реки Колокша, Которосль, Латка), Средней Волги (реки Тайдаков, Муранка, Маза, Меша, Казанка, Свияга) и Нижней Волги (реки Чапаевка, Большой Кинель) (Зинченко, Шитиков, 1997; Ахметзянова, Яковлев, 2003; Жгарева, Щербина, 2005; Яковлев, 2003; Яковлев и др., 2003; Зинченко, 2004; Зинченко и др., 2007; Экосистема малой.., 2007).

Макрозообентос верхнего, среднего и нижнего участков реки различается по составу гидробионтов, численности и биомассе бентоса.

В верховьях установлено 185 видов и таксонов беспозвоночных. Состав донного населения является типичным для «ритрали» водотоков. Фаунистическим разнообразием отличаются амфибиотические насекомые: двукрылые – 104 вида, ручейники – 14 и поденки – 10 (табл. 60). Отмечено видовое богатство водяных клещей – 14 видов (Тузовский, 1997).

Высокая скорость течения и низкая температура воды в верховьях реки (табл. 59) создают благоприятные условия для обитания реофильных и оксифильных видов хирономид, представителей подсемейств Diamesinae, Prodiamesinae и Orthocladiinae (42 вида). В обрастаниях щебня, гальки и гравия на перекатах преобладают личинки *Eukiefferiella* gr. *gracei, Cricotopus bicinctus* и *Orthocladius oblidens*. На плесах массовыми являются пелореофильные *Prodiamesa olivacea*, *Paracladius conversus*. Из видов трибы Chironomini (22 вида) на заиленных гравийных грунтах наибольшего развития достигают *Paratendipes albimanus.* Значительным богатством фауны (13 видов) отличаются личинки трибы Tanytarsini, предпочитающие песчаные биотопы. Среди них преобладают *Tanytarsus* sp. и *Micropsectra atrofasciata.* Локально отмечены представители подсемейтсва Tanypodinae, из которых к редким для р. Сок видам относятся *Apsectrotanypus trifascipennis*, *Nilotanypus dubius, Rheopelopia* sp., *Thienemannimyia* sp., *Xenopelopia* sp. (табл. 61).

Таблица 61. Видовой состав и распределение бентофауны в р. Сок и ее притоках
1 – Сок, 2 – Байтуган; 3 – Камышла; 4 – Сосновка; 5 – Малый Сок; 6 – Черновка;
7 – Хорошенькая; 8 – Сургут; 9 – Тростянка; 10 – Кондурча

Таксон	Река									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Класс: Hydrozoa Отряд Hydrida										
Hydra oligactis Pallas, 1766	+									
Класс Nematoda										
Nematoda gen. sp.	+	+	+	+		+				
Тип Mollusca Класс Gastropoda										
Bithynia tentaculata (Linnaeus, 1758)	+	+								
Cincinna ambigua (Westerlund, 1878)	+									
Lymnaea truncatula (Müller, 1774)		+								
Marstoniopsis steini (Martens, 1858)		+								
Planorbarius corneus (Linnaeus, 1758)	+									
Viviparus viviparus (Linnaeus, 1758)	+									
Класс Bivalvia (Lamellibranchia)										
Amesoda scaldiana (Normand, 1844)	+		+			+				
A. solida (Normand, 1844)	+									+
Anodonta cygnea (Linnaeus, 1758)			+							+
Anodonta sp.	+									
Cingulipisidium nitidum (Jenyns, 1832)	+	+				+				

Продолжение табл. 61

Colletopterum piscinale (Nilsson, 1822)	+					+				
Euglesa acuminata (Clessin in Westerlund, 1873)	+	+				+	+			+
E. casertana (Poli, 1791)	+	+								+
E. fossarina (Clessin in Westerlund, 1873)	+	+								
E. ponderosa (Stelfox, 1918)		+								
Euglesa sp.	+	+								
Europisidium alpinum (Odhner, 1938)	+									
Henslowiana dupuiana (Normand, 1854)	+									
H. henslowana (Sheppard, 1823)	+	+								
H. suecica (Clessin in Westerlund, 1873)	+	+								
H. supina (A. Schmidt, 1850)	+									+
Neopisidium moitessierianum (Paladilhe, 1866)	+	+								
Neopisidium sp.	+									
Parasphaerium nitidum (Clessin in Westerlund, 1877)	+									
Pisidium amnicum (Müller, 1774)	+					+				+
P. inflatum (Muehlfeld in Porro, 1838)	+	+								+
Pisidium sp.	+	+								+
Rivicoliana rivicola (Lamarck, 1818)	+									+
Tumidiana tumida (Philipsson in Retzius, 1788)	+									
Unio longirostris Rossmaessler, 1836	+									
U. pictorum (Linnaeus, 1758)	+									+
Unio sp.	+									
Класс Oligochaeta										
Dero digitata (Müller, 1773)							+			
Enchytraeus sp.	+									
Isochaetides michaelseni (Lastočkin, 1936)										+
Limnodrilus claparedeanus Ratzel, 1868	+									
L. hoffmeisteri Claparede, 1862	+	+	+	+		+	+			+
L. profundicola (Verrill, 1871)		+								
L. udekemianus Claparede, 1862		+	+	+		+	+			
Limnodrilus sp.	+	+	+	+		+				+
Lumbriculus variegatus (Müller, 1773)		+								
Nais communis Piguet, 1906	+	+					+			
Potamothrix hammoniensis (Michaelsen, 1901)	+	+			+					+
P. moldaviensis Vejdovsky et Mrazek, 1902	+									
Potamothrix sp.	+	+						+	+	
Pristinella rosea (Piguet, 1906)		+								
Slavina appendiculata (d'Udekem, 1855)	+									
Stylaria lacustris (Linnaeus, 1767)	+	+						+		
Tubifex newaensis (Michaelsen, 1902)	+	+								+
T. tubifex (Müller, 1773)	+		+	+		+	+			
Uncinais uncinata (Oersted, 1842)	+	+				+	+			
Класс Hirudinea										
Cystobranchus mammillatus (Malm, 1863)	+									
Glossiphonia complanata (Linnaeus, 1758)	+									+
Helobdella stagnalis (Linnaeus, 1758)			+			+				
Hemiclepsis marginata (Müller, 1774)	+									
Herpobdella nigricollis (Brandes, 1900)	+	+								
H. octoculata (Linnaeus, 1758)	+			+		+				+
Herpobdella sp.	+									
Piscicola geometra (Linnaeus, 1761)	+							+		+
Класс Arachnidae										
Arachnidae gen. sp.	+		+			+	+			+
Фаланга Hydrachnidia										
Arrenurus bruzelii Koenike, 1885	+									
Atractides nodipalpis Thor, 1899	+	+								
Eylais undulosa Koenike, 1897		+								
Forelia variegator (Koch, 1837)	+									
Hydrachna skorikowi Piersig, 1899		+								
Hygrobates calliger (Ström, 1768)	+	+								
H. fluviatilis (Ström, 1768)		+								
H. nigromaculatus Lebert, 1879	+									
Hygrobates sp.	+									

Продолжение табл. 61

Lebertia inaequalis (Koch, 1837)	+									
L. fimbriata Thor, 1899	+	+			+					
L. lineata Thor, 1906	+	+								
L. porosa Thor, 1900	+	+								
L. rivulorum Viets, 1933	+	+								
Lebertia sp.	+	+								
Limnesia maculata (Müller, 1776)	+									
L. undulata (Müller, 1776)	+									
Piona coccinea Koch, 1836	+									
Sperchon clupeifer Piersig, 1896	+	+								
S. compactils discrepans Viets, 1919	+	+								
Sperchon sp.	+									
Класс Crustaceae										
Corophium curvispinum Sars, 1895	+									
Dikerogammarus caspius (Pallas, 1771)	+									
D. haemobaphes (Eichwald, 1841)	+									
Dikerogammarus sp.	+									
Gammarus pulex (Linnaeus, 1758)		+								
Paramysis intermedia (Czerniavsky, 1882)	+									
Schizorhynchus bilamellatus (Sars, 1894)	+									
Класс Insecta Отряд Odonata										
Calopteryx virgo Linnaeus, 1758					+					
Gomphus vulgatissimus (Linnaeus, 1758)	+									+
Gomphus sp.	+									+
Platycnemis pennipes (Pallas, 1771)	+								+	
Stylurus flavipes (Charpentien, 1825)	+									
Отряд Ephemeroptera										
Baetis rhodani (Pictet, 1845)	+	+					+			+
B. vernus Curtis, 1834		+								
B. gr. *tricolor*		+								
Baetis sp.	+	+		+	+					+
Brachycercus harrisella Curtis, 1834	+									
Caenis horaria (Linnaeus, 1758)	+								+	+
C. luctuosa (Burmeister, 1839)	+									
C. macrura Stephens, 1835	+					+	+	+		+
C. rivulorum Eaton,1884	+									
Cloeon gr. *dipterum*	+	+								
C. luteolum (Müller, 1776)	+	+								
C. simile Eaton, 1870		+								
Cloeon sp.	+									
Ephemera lineata Eaton, 1870	+	+								
E. vulgata Linnaeus, 1858	+	+								
Ephemera sp.	+	+								
Ephemerella ignita (Poda, 1761)	+	+	+							
Ephemerella sp.			+							
Heptagenia flava Rostock, 1878										+
Siphlonurus alternatus Say, 1824		+								
Отряд Plecoptera										
Amphinemura standfussi Ris, 1902		+								
A. sulcicollis Stephens, 1835		+								
Amphinemura sp.		+								
Brachyptera braueri Klapalek, 1900	+	+								
Capnia bifrons Newman, 1839		+								
Diura bicaudata Linnaeus, 1758		+								
Isoperla sp.		+								
Leuctra fusca Linnaeus, 1758	+	+								
Leuctra sp.	+	+								
Nemoura cinerea Retzius, 1783	+	+	+							
Nemoura sp.		+		+						
Nemurella pictetii Klapalek, 1900		+								
Отряд Heteroptera										
Aphelocheirus aestivalis (Fabricius, 1794)	+				+					+
Hesperocorixa sp.		+								

Продолжение табл. 61

Micronecta sp.	+	+	+			+		+		+
Microvelia buenoi Drake, 1920		+								
Notonecta glauca Linnaeus, 1758		+								
Notonecta sp.		+								
Plea minutissima Leach, 1817	+						+	+		
Sigara falleni (Fieber, 1848)	+									
Sigara sp.	+									+
Отряд Coleoptera										
Brychius elevatus (Panzer, 1794)	+									
Colymbetes sp.	+	+								
Cymbiodyta sp.		+								
Dytiscus sp.	+	+								
Dryops sp.	+									
Elmis aenea (Müller, 1806)		+								
Elmis sp.	+	+								
Gaurodytes sp.		+								
Haliplus ruficollis (De Geer, 1774)	+	+				+	+			
Haliplus sp.	+	+						+		+
Hydaticus sp.	+									
Hydrobius fuscipes (Linnaeus, 1758)	+									
Hydrobius sp.	+									
Отряд Megaloptera										
Sialis lutaria (Linnaeus 1758)	+									
Отряд Trichoptera										
Agrypnia pagetana Curtis, 1835		+								
Athripsodes bilineatus (Linnaeus, 1758)	+									
Beraea sp.	+									
Brachycentrus subnubilus Curtis, 1834	+	+			+					+
Ceratopsyche sp.	+									
Cheumatopsyche lepida Pictet, 1934	+	+			+					+
Ecnomus tenellus (Rambur, 1842)	+	+								
Glossosoma sp.	+									
Halesus sp.		+								
Hydropsyche angustipennis Curtis, 1834		+								
H. ornatula MacLachlan, 1878	+			+						+
Hydropsyche sp.	+	+								
Hydroptila sp.	+	+						+		
Ironoquia dubia (Stephens, 1837)		+								
Ithytrichia lamellaris Eaton, 1873	+									
Lepidostoma hirtum (Fabricius, 1775)	+									
Leptocerus sp.	+									
Limnephilus flavicornis (Fabricius, 1787)	+	+								
Limnephilus sp.	+									+
Neureclipsis bimaculata (Linnaeus, 1758)										+
Notidobia ciliaris (Linnaeus, 1761)		+								
Potamophylax sp.	+									
Rhyacophila nubila Zetterstedt, 1840	+	+	+							
Rhyacophila sp.		+								
Silo pallipes (Fabricius, 1781)		+								
Отряд Diptera Сем. Cylindrotomida										
Phalacrocera replicata (Linnaeus, 1758)		+								
Сем. Tipulidae										
Nigrotipula nigra (Linnaeus, 1758)	+									
Prionocera sp.	+									
Tipula luna Westhoff, 1879		+	+	+			+	+		
Сем. Limoniidae										
Antocha vitripennis (Meigen, 1830)	+									
Dicranota bimaculata (Schummel, 1829)	+	+	+	+						
Dicranota sp.	+		+	+						+
Limnophila sp.		+								
Сем. Psychodidae										
Clytocerus sp.			+	+						
Pericoma sp.	+	+		+						

Продолжение табл. 61

Prionocera sp.		+								
Psychoda sp.	+		+							
Ptychoptera sp	+									
Сем. Dixidae										
Dixa amphibia (De Geer, 1776)	+	+								
Dixa sp.	+	+								
Сем. Chaoboridae										
Chaoborus sp.							+			
Сем. Culicidae										
Aedes cinereus Meigen, 1818		+								
Culex sp.		+								
Сем. Simuliidae										
Simulium sp.	+	+	+							+
Сем. Ceratopogonidae										
Culicoides grisescens Edwards, 1939		+								
Culicoides sp.	+	+	+	+		+	+			+
Сем. Chironomidae Подсем. Tanypodinae										
Ablabesmyia monilis (Linnaeus, 1758)	+				+					
A. phatta (Eggert, 1863)	+									
Ablabesmyia sp.	+	+	+			+				+
Apsectrotanypus trifascipennis (Zetterstedt, 1840)	+	+	+							
Clinotanypus nervosus (Meigen, 1818)		+	+	+						
Macropelopia nebulosa (Meigen, 1804)		+								
Monopelopia sp.							+			
Nilotanypus dubius (Meigen, 1804)	+									
Paramerina sp.	+									
Procladius choreus (Meigen, 1804)	+	+								
P. ferrugineus (Kieffer, 1918)	+	+		+		+	+			+
Rheopelopia sp.	+									
Tanypus punctipennis (Meigen, 1818)	+					+	+			+
T. vilipennis (Kieffer, 1918)	+									
Telmatopelopia nemorum (Goetghebuer, 1921)		+								
Telopelopia sp.		+								
Thienemannimyia sp.	+	+								+
Xenopelopia sp.	+									
Подсем. Diamesinae										
Diamesa arctica? (Boheman, 1865)	+									
D. carpatica? Botnariuc et Cindea-Cure, 1954			+							
D. coronata? Tshernovskij, 1949			+	+			+			
Diamesa sp.		+	+							
Pseudodiamesa branickii (Nowicki, 1873)	+									
P. nivosa (Goetghebuer, 1928)	+	+	+							
Sympotthastia sp.	+	+						+		
Prodiamesinae										
Monodiamesa bathyphila Kieffer, 1918	+	+		+						
Odontomesa fulva (Kieffer, 1919)	+	+								
Prodiamesa olivacea (Meigen, 1818)	+	+	+	+			+			+
Подсем. Orthocladiinae										
Acricotopus lucens (Zetterstedt, 1850)	+									
Brillia modesta (Meigen, 1830)	+	+	+							
Brillia sp.	+		+							
Corynoneura celeripes Winnertz, 1852		+								
C. lacustris Edwards, 1924		+								
C. lobata Edwards, 1924	+	+								
C. scutellata Winnertz , 1846	+									
Corynoneura sp.	+	+								
Cricotopus albiforceps (Kieffer, 1916)	+	+								
C. gr. *algarum*	+									
C. bicinctus (Meigen, 1818)	+	+	+	+				+		+
C. gr. *cylindraceus*		+								
C. gr. *fuscus*	+									
C. pirifer Hirvenoja, 1973.		+								
C. gr. *sylvestris*	+	+				+	+			+

Продолжение табл. 61

C. tibialis (Meigen, 1804)		+								
C. gr. *tremulus*	+	+								
C. gr. *trifascia*	+	+								
Cricotopus sp.		+								
Eukiefferiella gr. *claripennis*	+	+		+						
E. gr. *clypeata*		+								
E. gr. *coerulescens*	+									
E. gr. *gracei*	+	+								
E. longipes Tshernovskij, 1949		+								
E. minor (Edwards, 1929)		+								
E. similis Goetghebuer, 1939	+									
Eukiefferiella sp.	+	+					+			
Heterotrissocladius gr. *marcidus*	+	+								
Limnophyes prolongatus Kieffer, 1921				+						
Metriocnemus atratulus (Zetterstedt, 1850)		+								
M. gr. *hydropetricus*	+									
Metriocnemus sp.	+									
Mesocricotopus sp.		+								
Nanocladius gr. *balticus*	+									
N. bicolor (Zetterstedt, 1838)	+	+	+							+
N. rectinervis (Kieffer, 1911)	+	+								
Nanocladius sp.	+									
Orthocladius oblidens (Walker, 1856)	+	+		+						
O. oliveri Soponis, 1977		+								
O. thienemanni Kieffer, 1906	+	+								
Orthocladius sp.	+	+	+				+			
Paracladius alpicola (Zetterstedt, 1850)		+								
P. conversus (Walker, 1856)	+	+	+	+						+
Parakiefferiella bathophila (Kieffer, 1912)	+	+	+	+						
Paralimnophyes hydrophilus (Goetghebuer, 1921)		+					+			
Parametriocnemus lundbecki (Johannsen, 1905)	+	+								
Parametriocnemus sp.	+	+	+							
Paraphaenocladius gr. *pseudirritus*							+			
Paraphaenocladius sp.		+								
Paratrichocladius rufiventris (Meigen, 1830)		+								
Paratrissocladius excerptus Walker, 1856	+	+								
Parorthocladius sp.		+								
Psectrocladius fabricus Zelentzov, 1980	+									
P. psilopterus (Kieffer, 1906)		+	+	+		+				
P. simulans (Johannsen, 1937)	+	+								
P. sordidellus (Zetterstedt, 1838)	+									
Psectrocladius sp.	+	+					+		+	
Pseudosmittia sp.				+						
Rheocricotopus fuscipes (Kieffer, 1909)	+	+	+		+			+		+
R. effusus (Walker, 1856)		+				+				
Thienemanniella gr. *clavicornis*	+	+					+			
Thienemanniella sp.	+	+								
Trissocladius sp.		+	+							
Tvetenia bavarica (Goetghebuer, 1934)		+								
T. discoloripes (Goetghebuer, 1936)		+								
T. tshernovskii Pankratova, 1970		+								
Подсем. Chironominae Триба Chironomini										
Beckidia zabolotzskyi (Goetghebuer, 1938)	+									
Chironomus agilis Schobanov et Djomin, 1988	+									
C. anthracinus Zetterstedt, 1860	+									
C. dorsalis (Meigen, 1818)		+								
C. heterodentatus Konstantinov, 1956				+						
C. melanescens Keyl, 1961	+									
C. muratensis Ryser, Scholl et Wüelker, 1983	+									
C. nudiventris Ryser, Scholl et Wüelker, 1983	+									
C. obtusidens Goetghebuer, 1921	+									
C. piger Strenzke, 1958	+									

Продолжение табл. 61

C. plumosus (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+		+	+	+	+	
C. ex. gr. *thummi*										+
Chironomus sp.	+	+		+		+	+			
Cladopelma gr. *laccophila*						+				
C. gr. *lateralis*	+	+				+				
Cryptochironomus gr. *defectus*	+					+	+	+		+
C. vytshegdae Zvereva, 1950										+
Cryptochironomus sp.	+	+		+						
Cryptotendipes nigronitens (Edwards, 1929)										+
Cryptotendipes sp.								+		
Dicrotendipes nervosus (Staeger, 1939)	+					+	+			+
D. notatus (Meigen, 1818)	+							+		+
Einfeldia carbonaria (Meigen, 1804)	+									
Endochironomus albipennis (Meigen, 1830)	+									
E. impar (Walker, 1856)	+									
E. tendens (Fabricius, 1775)		+								
Glyptotendipes glaucus (Meigen, 1818)							+			
G. gripekoveni (Kieffer, 1913)	+						+			
G. mancunianus Edwards, 1929						+				
G. pallens Meigen, 1804									+	
G. paripes Edwards, 1929				+						
Glyptotendipes sp.	+	+						+		
Harnischia curtilamellata (Malloch, 1915)	+									+
H. fuscimana Kieffer, 1921	+									+
Harnischia sp.	+									
Lipiniella araenicola Shilova, 1961	+									
L. moderata Kalugina, 1970	+									
Microchironomus tener (Kieffer, 1918)	+									+
Microtendipes pedellus (de Geer, 1776)	+									+
M. rydalensis (Edwards, 1929)	+									
Parachironomus arcuatus (Goetghebuer, 1919)						+	+		+	
P. vitiosus (Goetghebuer, 1921)	+									
Paracladopelma camptolabis (Kieffer, 1913)	+	+								
Paralauterborniella nigrohalteralis (Malloch, 1915)	+									+
Paratendipes albimanus (Meigen, 1818)	+	+		+		+				+
Polypedilum bicrenatum Kieffer, 1921	+									
P. convictum (Walker, 1856)	+									
P. exsectum (Kieffer in Thienemann, 1916)						+				
P. nubeculosum (Meigen, 1804)	+			+		+	+	+	+	+
P. pedestre (Meigen, 1830)	+									
P. scalaenum (Schrank, 1803)	+		+	+						+
Polypedilum sp.	+	+								
Stictochironomus crassiforceps Kieffer, 1922	+	+								+
S. rosenschöldi (Zetterstedt, 1781)	+	+								
Zavreliella marmorata (van der Wulp, 1858)	+									
Триба Tanytarsini										
Cladotanytarsus mancus (Walker, 1856)	+	+		+		+	+	+		+
Cladotanytarsus sp.	+									
Micropsectra atrofasciata Kieffer, 1911	+	+	+	+						
Micropsectra sp.	+	+					+			
Neozavrelia sp.	+									
Paratanytarsus confusus Palmen, 1960	+	+	+	+		+			+	
P. intricatus (Goetghebuer, 1921)	+									+
P. gr. *lauterborni*	+									
Paratanytarsus sp.	+									+
Rheotanytarsus curtistylus (Goetghebuer, 1921)	+	+								
Rheotanytarsus sp.	+									
Stempellina bausei (Kieffer, 1911)	+									+
Stempellina sp.	+									
Stempellinella minor (Edwards, 1929)	+									
Tanytarsus gr. *medius*				+		+				
T. pallidicornis (Walker, 1856)	+					+				+
Tanytarsus sp.	+	+	+	+	+	+	+	+		+
Zavrelia pentatoma Kieffer, 1913	+									

Окончание табл. 61

Zavrelia sp.	+									
Сем. Stratiomyidae										
Nemotelus sp.		+								
Odontomyia sp.		+								
Сем. Tabanidae										
Tabanus unifasciatus Loew, 1858	+									
Tabanus sp.	+	+					+			+
Сем. Athericidae										
Atherix ibis (Fabricius, 1798)	+	+								
Atherix sp.	+					+				
Сем. Empididae										
Chelifera sp.		+								+
Сем. Dolichopodidae										
Dolichopus sp.	+									
Сем. Ephydridae										
Ephydridae gen. sp.	+	+								
Сем. Muscidae										
Limnophora riparia (Fallen, 1824)		+								
Всего видов	268	195	45	41	10	41	39	20	9	71

Большинство видов ручейников, обитающих в верховьях, приурочены к чистым текучим водам и гравийно-галечниковым грунтам. Это *Athripsodes bilineatus*, *Brachycentrus subnubilus, Cheumatopsyche lepida*, *Hydropsyche ornatula*, *Hydroptila* sp., *Ithytrichia lamellaris*, *Lepidostoma hirtum*, *Rhyacophila nubila*. Среди зарослей водной растительности единично отмечены *Ecnomus tenellus*, на глине и гравии немногочисленны *Limnephilus flavicornis* (табл. 61).

Личинки поденок принадлежат семействам Baetidae, Caenidae и Ephemerellidae. На щебне и гравийно-галечных биотопах перекатов значительное развитие получают *Baetis rhodani* и *Ephemerella ignita*, на плесах – *Cloeon luteolum, C.* gr. *dipterum* и *Brachycercus harrisella* при численном преимуществе последних. Глинистые грунты заселены роющими личинками *Ephemera vulgata*.

Характерный облик фауны верхнего течения формируют веснянки, не зарегистрированные в других участках р. Сок. Немногочисленные личинки этих реофильных насекомых обитают при скорости течения 0,5-1 м/сек. К редким для водотоков Средней и Нижней Волги видам относится *Brachyptera braueri*, единично отмеченный в качественных сборах на ст. 4.

Неотъемлемым компонентом донных сообществ являются реофильные и полуреофильные виды водяных клещей из родов *Sperchon*, *Lebertia* и *Hygrobates* (преобладают *Hygrobates calliger* и *H. fluviatilis*).

Малощетинковые черви представлены широко распространенными видами из семейств Naididae и Tubificidae. На поверхности заиленных гравийно-галечных биотопов развиваются *Nais communis*, в прибрежных зарослях макрофитов – *Stylaria lacustris* и *Slavina appendiculata*, на илисто-песчаных грунтах – *Potamothrix hammoniensis* и *Uncinais uncinata*.

В верховьях редки ракообразные – эврибионтные гаммариды *Dikerogammarus haemobaphes*, малочисленны речные и озерно-речные виды личинок жуков и клопов (табл. 61).

Донные сообщества характеризуются высокими показателями численности гидробионтов (4214 экз./м^2) за счет развития личинок хирономид (56,9% от общей численности бентоса) и мошек (24,7%). Биомасса бентоса (7,24 г/м^2) обусловлена личинками двукрылых и пиявками, что составляет 51,2% и 20,6% соответственно от общей биомассы (табл. 62).

Распределение беспозвоночных на отдельных станциях верхнего течения реки неравномерно (рис. 41). Численность их изменяется в пределах 1,0-11,8 тыс. экз./м^2, достигая наибольших значений на ст. 4. Как ранее отмечалось (Экосистема малой.., 2007), колебания количественных показателей во многом могут зависеть от характера биотопа, а

также особенностей жизненных циклов водных организмов. На большинстве обследованных станций (ст. 1, 3 и 4) основу численности (от 72% до 83%) составляют личинки хирономид. Выделяются участки реки (ст. 2), где наряду с хирономидами значительна роль мошек (33%), а на ст. 5 на заиленном грунте преобладают (до 50%) олигохеты (рис. 41).

Таблица 62. Изменение численности (*N*, экз. /м^2, %), биомассы (*B*, г/м^2, %) и индекса видового разнообразия Шеннона (*H*, бит/экз.) макрозообентоса на разных участках р. Сок в летне-осенний период 1992-1998 гг. (n = 160)

Таксоны	Верхнее течение				Среднее течение				Нижнее течение			
	N	%	B	%	N	%	B	%	N	%	B	%
Oligochaeta	499	11,8	0,62	8,57	338	21,2	0,23	6,20	368	7,7	0,51	4,34
Hirudinea	37	1,0	1,50	20,6	2	0,13	0,01	0,27	1	0,02	0,01	0,09
Crustacea	2	0,07	0,01	0,13	-	-	-	-	140	3,0	0,24	2,0
Mollusca	10	0,2	0.04	0,55	331	20,9	2,00	54,0	276	5,8	3,95	33,3
Ephemeroptera	82	2,0	0,25	3,47	117	7,40	0,15	4,05	83	1,7	0,17	1,5
Plecoptera	2	0,07	0,01	0,13	-	-		-	-	-	-	-
Odonata	-	-	-	-	15	0,95	0,24	6,49	1	0,02	0,14	1,2
Hemiptera	6	0,1	0,05	0,70	15	0,95	0,07	1,89	24	0,48	0,01	0,09
Trichoptera	27	0,6	0,68	9,40	8	0,50	0,39	10,5	4	0,08	0,01	0,09
Coleoptera	18	0,4	0,08	1,10	12	0,76	0,13	3,40	-	-	-	-
Chironomidae	2396	56,9	2,06	28,5	705	44,5	0,39	10,5	3570	74,5	6,43	55,0
Simuliidae	1041	24,7	0,20	2,77	1	0,05	0,01	0,27	-	-	-	-
Прочие Diptera	87	2,0	1,64	22,7	33	2,10	0,08	2,16	285	6,0	0,26	2,3
*Прочие	7	0,16	0,10	1,38	9	0,56	0,01	0,27	33	0,7	0,01	0,09
Всего (без крупных моллюсков)	4214		7,24		1586		3,7		4785		11,5	
Крупные моллюски					1		19,2		8		466,0	
Индекс Шеннона (H)	3,72				2,8				3,17			

Примечание: * - Megaloptera, Arachnida, Hidracarina, Hydrida, Nematoda.

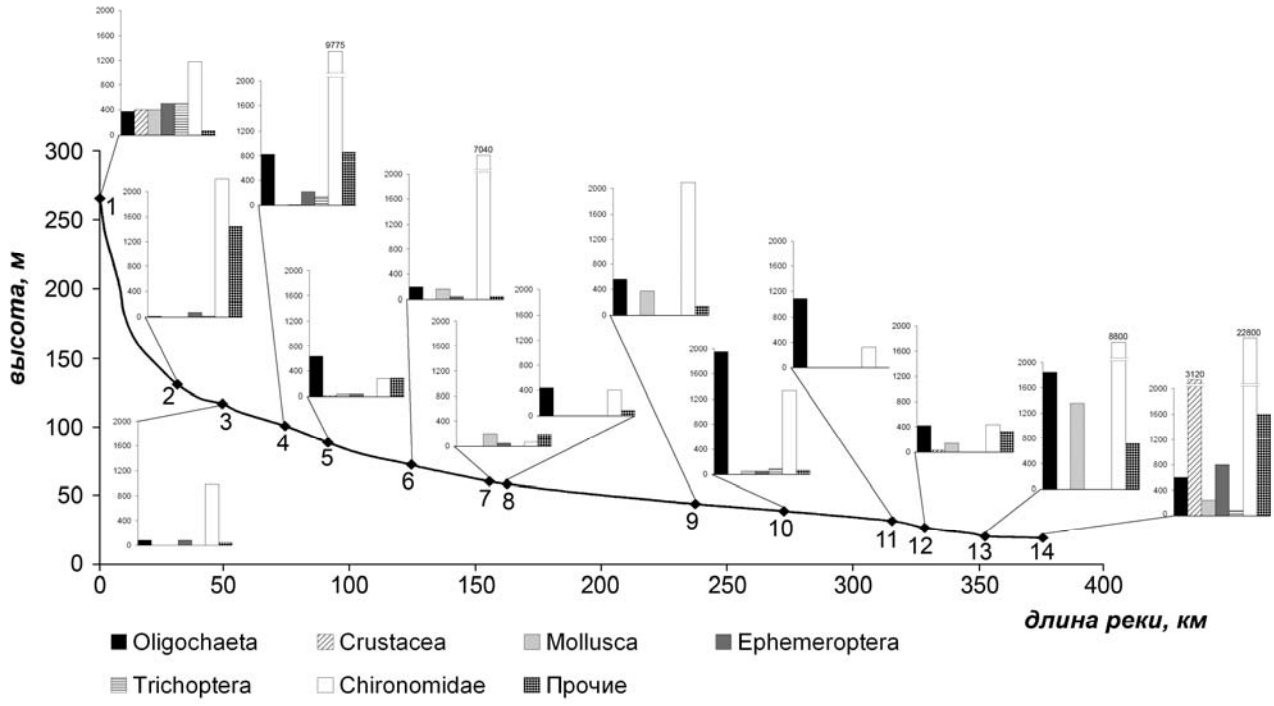


Рис. 41. Распределение численности (экз./м^2) макрозообентоса (ст. 1-14) в р. Сок (июнь-июль 1992, 1998 гг.)

Оценка многолетних изменений структуры донных сообществ проведена в сравниваемый для всех исследований летний период. Анализ динамики развития бентоса показывает, что с 1991 по 1999 г. численность и биомасса гидробионтов изменялись в пределах 3,298-7,298 тыс. экз./м^2 и 3,2-7,6 г/м^2 соответственно (табл. 63). Основу численности составляли личинки хирономид, биомассы – личинки хирономид, пиявок, ручейников и поденок (рис. 42). В 2007 г. отмечено увеличение численности бентоса до 22,3 тыс. экз./м^2 за счет малощетинковых червей из семейства Tubificidae, массовое развитие которых является признаком эвтрофирования водоемов.

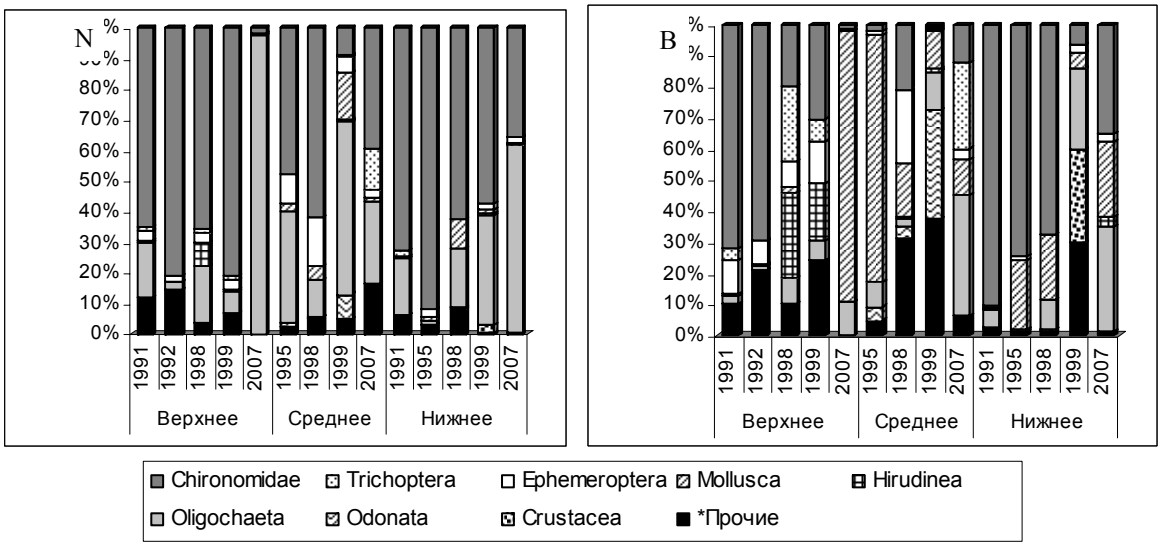


Рис. 42. Многолетняя динамика соотношения численности (*N*) и биомассы (*B*) основных таксономических групп макрозообентоса на различных участках р. Сок

Разнообразие условий обусловливает развитие экологически неоднородной фауны, что отражается на составе доминирующего комплекса видов. Наряду с типичными литореофилами *Cricotopus bicinctus*, *Eukiefferiella* gr. *gracei*, *Orthocladius oblidens*, *Simulium* sp. доминируют псаммореофильные *Tanytarsus* sp. и пелореофильные *Paracladius converses*, *Prodiamesa olivacea*, *Paratendipes albimanus*, *Monodiamesa bathyphila*, *Potamothrix hammoniensis* (табл. 63).

Высокое значение (3,72 бит/экз.) индекса видового разнообразия Шеннона, рассчитанного по численности видов, обусловлено стабильным состоянием сообществ макрозообентоса верхнего течения реки в условиях слабой антропогенной нагрузки (табл. 62).

В трофической структуре бентоса доля фитодетритофагов-собирателей (личинок хирономид и прочих двукрылых, поденок, веснянок, ручейников) составляет 33,9% от общей численности трофических групп. Массовыми являются литореофильные поденки *Baetis* gr. *rhodani*, хирономиды *Eukiefferiella* gr. *gracei*, *Cricotopus bicinctus*, активно потребляющие водорослевые обрастания камней и детрит. Детритофаги-собиратели+грунтозаглатыватели составляют 36,4% и представлены преимущественно личинками хирономид (преобладают *Paratendipes albimanus* и *Tanytarsus* sp.). Велика роль хищников (12,5%) – личинок *Prodiamesa olivacea* и сестонофагов+детритофагов-фильтраторов (10,6%), среди которых наибольшего развития достигают личинки мошек *Simulium* sp. (табл. 62).

Таблица 63. Многолетняя динамика структурных показателей донных сообществ различных участков р. Сок в летний период

Участок реки	Год	Численность, тыс. экз./м^2	Биомасса, г/м^2	Виды – доминанты (*d*) и субдоминанты (*ds*), рассчитанные по численности
Верхнее течение (ст. 1-5)	1991	7,30±13,38	7,6±15,7	***Paracladius conversus***, *Prodiamesa olivacea*, *Cricotopus bicinctus*, *Odontomesa fulva*, *Tanytarsus* sp., *Monodiamesa bathyphila*, *Stylaria lacustris*, *Orthocladius oblidens*
	1992	4,79±7,10	4,6±6,7	***Tanytarsus* sp., *Cricotopus bicinctus***, *Simulium* sp., *Monodiamesa bathyphila*, *Prodiamesa olivacea*, *Dicranota bimaculata*
	1998	4,02±5,82	7,0±8,5	***Paratendipes albimanus***, *Cladotanytarsus mancus*, *Tanytarsus* sp., *Prodiamesa olivacea*, *Herpobdella octoculata*, *Slavina appendiculata*
	1999	3,30±3,45	3,2±3,7	*Cladotanytarsus mancus*, *Cricotopus bicinctus*, *Eukiefferiella* gr. *gracei*, *Paracladius conversus*, *Orthocladius oblidens*, *Dicranota bimaculata*
	2007	22,29±4,25	6,6±4,8	***Potamothrix hammoniensis***, *Monodiamesa bathyphila*
Среднее течение (ст. 8, 9)	1995	0,32±0,21	4,4±6,9	*Limnodrilus claparedeanus*, *Procladius ferrugineus*, *Cryptochironomus* gr. *defectus*, *Tanytarsus* sp., *Caenis macrura*, *Polypedilum scalaenum*
	1998	4,29±4,76	3,7±3,1	***Polypedilum nubeculosum***, *Potamothrix moldaviensis*, *Caenis macrura*, *Cladotanytarsus mancus*, *Polypedilum scalaenum*, *Paralauterborniella nigrohalteralis*, *Tanytarsus* sp., *Cricotopus bicinctus*, *Harnischia fuscimana*, *Procladius ferrugineus*, *Henslowiana henslowana*
	1999	0,93±0,49	5,0±3,1	***Potamothrix moldaviensis***, *Limnodrilus claparedeanus*, *Unio longirostris*, *Stylurus flavipes*
	2007	3,90±1,20	6,1±4,1	***Rheocricotopus fuscipes***, ***Potamothrix moldaviensis***, ***Limnodrilus claparedeanus***, *Polypedilum scalaenum*, *Ceratopsyche* sp.
Нижнее течение (ст. 12, 13)	1991	4,07±5,63	1,9±2,9	***Cladotanytarsus mancus***, *Lipiniella araenicola*, *Procladius ferrugineus*, *Potamothrix moldaviensis*, *Chironomus nudiventris*, *Polypedilum nubeculosum*, *Tanytarsus* sp.
	1995	6,16±7,67	18,9±9,4	***Lipiniella araenicola***, ***Chironomus nudiventris***, *Cladotanytarsus mancus*, *Procladius ferrugineus*, *Cryptochironomus* gr. *defectus*, *Culicoides* sp., *Caenis macrura*, *Tanytarsus* sp.
	1998	4,04±5,81	11,5±12,7	***Lipiniella araenicola***, ***Potamothrix moldaviensis***, *Cladotanytarsus mancus*, *Culicoides* sp., *Procladius ferrugineus*, *Polypedilum nubeculosum*, *Chironomus nudiventris*, *Euglesa* sp.
	1999	4,44±2,12	4,2±1,6	***Cladotanytarsus mancus***, ***Potamothrix moldaviensis.***, *Tanytarsus* sp., *Procladius ferrugineus*, *Dikerogammarus caspius*
	2007	33,60±20,83	102,7±86,2	***Potamothrix moldaviensis***, ***Chironomus nudiventris***, *Polypedilum nubeculosum*, *Cladotanytarsus mancus*

Примечание: Приведены средние значения численности и биомассы и ошибка среднего; жирным шрифтом выделены виды-доминанты ($10 \leq d \leq 100$) (Палий, 1961; Kownacki, 1971).

В среднем течении реки видовое богатство макрозообентоса снижается до 114 видов. В составе фауны не зарегистрированы ракообразные и личинки веснянок, значительно сокращается число видов ручейников (с 14 до 6 видов), клещей (с 14 до 4) и хирономид (с 88 до 48). При этом возрастает (от 5 до 17 видов) таксономическое разнообразие моллюсков. Обитателями среднего участка становятся личинки стрекоз. По числу видов лидируют двукрылые (56), моллюски (17) и олигохеты (11), что является характерным для «потамали» равнинных рек (табл. 61, 62).

Таблица 64. Трофическая структура (*M±m*, % численности) макрозообентоса на различных участках р. Сок

Участок реки	Трофическая группа						
	ФС	ДСГ	ВСХ	ХХ	СДФ	ДСФ	Ф
Верхнее течение	33,9±3,2	36,4±2,9	3±2,2	12,5±2,2	10,6±1,9	3±0,9	1±1,0
Среднее течение	9,1±0,3	53,9±6,1	7,2±1,3	7,5±1,1	14,4±2,3	7,8±1,4	0,4±0,1
Нижнее течение	38,4±4,7	32±5,1	8,0±1,3	5,5±2,1	7,4±2,6	8,8±0,5	*0

Примечание: *0 – отсутствие организмов данной трофической группы; ФС – фитодетритофаги-собиратели; ДСГ – детритофаги-собиратели+грунтозаглатыватели; ВСХ – всеядные собиратели+хвататели; ХХ – хищники-хвататели; СДФ – сестонофаги+детритофаги-фильтраторы; ДСФ – детритофитофаги-собира-тели+фильтраторы; Ф – фитофаги-собиратели.

Меняется облик хирономидофауны, из состава которой выпадает большинство литореофильных видов. Преобладают хирономиды подсемейств Chironomini (17 видов). Массовыми становятся пелофильные личинки *Paralauterborniella nigrohalteralis* и эврибионтные *Polypedilum nubeculosum*, *Procladius ferrugineus*, *Polypedilum scalaenum*. Специфичными для участка являются *Ablabesmyia phatta*, *Tanypus punctipennis*, *Chironomus melanescens*, *Cladopelma* gr. *lateralis*, *Rheotanytarsus curtistylus*, *Cricotopus* gr. *fuscus*, *Beckidia zabolotzskyi*.

Преобладание илисто-песчаных биотопов обусловливает видовое богатство двустворчатых моллюсков из семейств Pisidiidae, Sphaeriidae, Euglesidae и Unionidae (табл. 61). Не достигая в составе бентоса высокой численности, они обеспечивают биомассу донных сообществ.

Малощетинковые черви наиболее разнообразны в зарослях макрофитов и на заиленных, богатых детритом песках. В илистых отложениях развиваются олигохеты тубифицидного комплекса *Limnodrilus claparedeanus*, *Potamothrix moldaviensis* и *Tubifex tubifex* и др.

В составе бентофауны этого участка немногочисленны реофильные виды поденок и ручейников. Они представлены обитающими на песке и гравии личинками *Baetis rhodani* и *Cheumatopsyche lepida*, псаммо-пелофильными *Ephemera lineata* и ручейниками рода *Beraea*. В местах с небольшой скоростью течения (до 0,5 м/с) отмечены поденки рода *Caenis* и стрекозы из семейств Gomhpidae и Platycnemididae.

Численность гидробионтов снижается в 2,7 раза (до 1,586 тыс. экз./м^2), биомасса – в 2 раза (до 3,7 г/м^2). Наибольшим обилием отличаются хирономиды (44,5%), олигохеты (21,2%) и моллюски (20,9%), а основу биомассы составляют моллюски (54%) (табл. 62).

Для оценки воздействия загрязнения на макрозообентос, рассмотрим изменение его структуры на отдельных станциях русла среднего участка реки (рис. 41). Выше сброса сточных вод (ст. 6 и 7) преобладают личинки хирономид (ст. 6), моллюски и животные прочих систематических групп – поденок, хирономид, жуков и клопов (ст. 7). В районе сброса (ст. 8) и ниже по течению (ст. 9-11) структурные характеристики бентоса изменяются. Доминирующей группой становятся олигохеты, составляющие от 47% до 77% от общей численности бентоса. Средняя плотность беспозвоночных на отдельных станциях невелика (0,49-2,04 тыс. экз./м^2) (рис. 41).

Численность и биомасса бентоса в разные годы исследований колебалась в широких пределах (табл. 63). Выделяются периоды (1995 и 1999 гг.) с очень низкой численностью гидробионтов (0,32-0,93 тыс. экз./м^2), что, возможно, обусловлено воздействием залповых выбросов загрязняющих веществ на донные сообщества.

Изменяется состав доминирующего комплекса видов. Доминантами и субдоминантами на заиленных песках становятся олигохеты тубифицидного комплекса: *Limnodrilus claparedeanus* и *Potamothrix moldaviensis*, а также эврибионтные личинки хирономид *Procladius ferrugineus, Polypedilum nubeculosum, Cryptochironomus* gr. *defectus* и поденок *Caenis macrura*. На промытых песках лидируют псаммо-пелофильные хирономиды *Paralauterborniella nigrohalteralis* и *Tanytarsus* sp. (табл. 63).

Под влиянием загрязнения отмечено снижение индекса видового разнообразия Шеннона до 2,8 бит/экз. (табл. 62).

В трофической структуре наблюдается увеличение доли детритофагов-собирателей+грунтозаглатывателей (до 53,9%) за счет высокой численности грунтоядных тубифицид *Limnodrilus claparedeanus*, *Potamothrix moldaviensis* и личинок хирономид *Paralauterborniella nigrohalteralis*. Значение фитодетритофагов-собирателей уменьшается до 9%. Развитие получают сестонофаги+детритофаги-фильтраторы (14,4%), представленные двустворчатыми моллюсками (табл. 64).

В нижнем течении число видов гидробионтов увеличивается до 122 в связи с возрастанием фаунистического разнообразия хирономид и моллюсков (табл. 60 и 61).

Хирономидофауна (60 видов) характеризуется преобладанием озерно-прудовых видов. Таксономически наиболее разнообразны личинки триб Chironomini (31 вид) и Tanytarsini (14). В условиях малой проточности значительное развитие получают пелофильные и пелопсаммофильные *Polypedilum nubeculosum, Cladotanytarsus mancus*, а также характерные для фауны водохранилищ *Lipiniella araenicola* и *Chironomus nudiventris*.

Из 22 видов моллюсков 18 относятся к классу двустворчатых. Немногочисленные находки представителей класса брюхоногих сделаны исключительно в устье реки (ст. 14) на заиленном песке при скорости течения 0,15 м/с. Наиболее массовый вид – *Pisidium amnicum.* В донных биоценозах нижнего течения р. Сок, как и в других реках России и сопредельных стран (Богатов, 1994; Шевцова и др., 2002; Харченко и др., 2003) обычны крупные моллюски из родов *Unio*, *Anodonta* и *Colletopterum*, обеспечивающие высокую (на отдельных станциях до 4360 г/м^2) биомассу бентоса.

На заиленных биотопах установлено 5 видов олигохет из семейства Tubificidae (преобладают *Potamothrix moldaviensis*). В устьевом участке зарегистрированы гаммариды *Dikerogammarus caspius*, кумовые раки *Schizorhynchus bilamellatus* и корофииды *Corophium curvispinum* – типичные обитатели Каспийского моря и нижнего течения р. Волги. Единично отмечены мизиды *Paramysis intermedia,* акклиматизированные ранее (1957-1966 гг.) в волжские водохранилища. Кумовые раки *Schizorhynchus bilamellatus* достигают численности 1,5 тыс. экз./м^2 при биомассе 1,23 г/м^2. Их присутствие впервые отмечено в р. Сок в 1995 г.

В зарослях макрофитов и на серых илах обитают поденки (7 видов), большинство из которых отмечены единично. Наибольшее развитие, как и в среднем участке реки, получают поденки рода *Caenis*. В прибрежье немногочисленны лимнофильные виды ручейников, стрекоз, жуков, клопов, пиявок и клещей, представленные 2-5 видами (табл. 60).

Количественные показатели бентоса наиболее высокие (4,785 тыс. экз./м^2 и 11,5 г/м^2) среди всех участков реки. Основу численности (74,5%) и биомассы (55%) обеспечивают личинки хирономид. Доля моллюсков составляет 33,3% от суммарной биомассы бентоса (табл. 62). Плотность заселения дна гидробионтами на отдельных станциях достигает максимальных показателей (29,24 тыс. экз./м^2) в устье реки (рис. 41).

В многолетнем ряду наблюдений отмечается значительное (на порядок) увеличение численности и биомассы бентоса в 2007 г. за счет возрастания обилия олигохет (табл. 63, рис. 42).

Доминирующий комплекс видов складывается из лимнофильных таксонов. Наибольшее значение имеют *Chironomus nudiventris*, *Polypedilum nubeculosum*, *Potamothrix moldaviensis*, *Lipiniella araenicola*, *Cladotanytarsus mancus* (табл. 63). Хирономиды *C. mancus*, *Lipiniella araenicola* и *P. nubeculosum* также являются массовыми в устьевых участках

притоков Рыбинского (Щербина, 2005) и Куйбышевского (Ахметзянова, Яковлев, 2003; Яковлев, 2003) водохранилищ.

Индекс видового разнообразия Шеннона на участке нижнего течения увеличивается до 3,17 бит/экз. (табл. 62).

Ведущая роль в трофической структуре бентоса принадлежит фитодетритофагам-собирателям (38,4%) при численном преимуществе личинок хирономид (лидируют *Lipiniella araenicola*). Развитие детритофагов-собирателей (32%) также обусловлено высокой численностью хирономид *C. mancus*, *P. nubeculosum* и *P. scalaenum.* На долю детритофитофагов-собирателей+фильтраторов, представленных хирономидами рода *Chironomus*, приходится до 8,8%.

Оценка качества воды и экологического состояния р. Сок. На большинстве станций *верхнего течения реки*, согласно значениям Биотического индекса Вудивисса, качество воды изменялось от II класса («чистая») до III класса («умеренно загрязненная») (табл. 65). Исключение составила ст. 3, на которой в 1998 г. показатели Биотического индекса не превышали 3-х баллов. Сапробиологический анализ бентофауны, выполненный по результатам рассчитанных ранее сапробных валентностей (Головатюк и др., 2008) показал, что в верхнем участке преобладают виды, характерные для чистых вод (олигосапробы и β-мезосапробы составляют 70% фауны) (рис. 43). Значения ИИЭС не опускались ниже 3,2, что характеризует все станции верхнего течения реки как зоны относительного экологического благополучия (табл. 65).

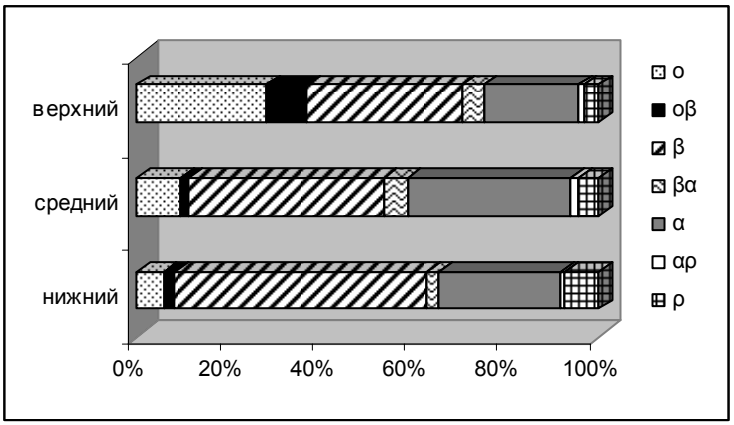


Рис. 43. Соотношение числа видов-индикаторов различных зон сапробности на участках р. Сок

На русловых участках *среднего течения* качество воды изменялось в пределах III-VI классов («умеренно загрязненная» – «очень грязная»). В прибрежье реки значения Биотического индекса были выше, соответствуя II-III классам (табл. 65). Отмечается снижение доли олигосапробных видов, донная фауна на 83% представлена индикаторами β-α-мезосапробных условий (рис. 43). По показателям ИИЭС, участки русла реки относятся к зоне экологического кризиса, тогда как в прибрежье отмечена зона относительного экологического благополучия (табл. 65).

В *нижнем течении* на глубоководных участках степень загрязненности воды изменялась в широком диапазоне: от «чистой» (II класс) до «грязной» (V класс). На мелководье качество воды находилось в пределах II-IV классов. Большинство зарегистрированных таксонов (83%) относятся к β-α-мезосапробным видам (рис. 43). Рассчитанные показатели ИИЭС позволили отнести все станции нижнего участка к зоне относительного экологического благополучия (табл. 65).

Таблица 65. Значения индексов качества воды и экологического состояния участков р. Сок

Участок реки	Станции	Биотический индекс Вудивисса		Значение ИИЭС	Экологическое состояние
		Значение индекса	Класс качества воды*		
Верхнее течение	1	6-7	II-III	3,2	Относительное экологическое благополучие
	3	3-7	II-V	3,5	Относительное экологическое благополучие
	4	5-9	II-III	3,4	Относительное экологическое благополучие
Среднее течение	8р	0-5	III-VI	2,1	Экологический кризис
	8б	7-8	II	3,1	Относительное экологическое благополучие
	9р	4-5	III-IV	2,2	Экологический кризис
	9б	6-7	II-III	3,1	Относительное экологическое благополучие
Нижнее течение	12р	5-7	II-III	3,1	Относительное экологическое благополучие
	12б	4-6	III-IV	3,2	Относительное экологическое благополучие
	13р	3-6	III-V	3,1	Относительное экологическое благополучие
	13б	7	II	3,2	Относительное экологическое благополучие
	14р	7	II	3,1	Относительное экологическое благополучие

Примечание: р – русло; б – берег; * – градация классов качества вод (II – «чистая», III – «умеренно загрязненная», IV – «загрязненная», V – «грязная», VI – «очень грязная»); ИИЭС – интегральный индекс экологического состояния (Зинченко и др, 2000).

Качество воды на всех участках р. Сок в многолетнем ряду наблюдений (1991-2007 гг.) оставалось достаточно стабильным. Отмечена положительная динамика степени загрязненности воды реки на ст. 8 от VI класса в 1995 г. – вода «очень грязная» до III класса в 1999 гг. – «умеренно загрязненная».

Таким образом, проведенные исследования выявили значительное богатство фауны макрозообентоса р. Сок (268 видов и таксонов). Население верхнего течения является характерным для зоны «ритрали», среднего и нижнего – «потамали» водотоков.

Динамика видового состава, количественного развития и структурных особенностей макрозообентоса от истока до устья реки определяются различиями в гидрологических характеристиках отдельных участков и воздействием загрязнения.

Разнообразие биотопических условий и слабая антропогенная нагрузка в верховьях обусловливают высокие показатели видового богатства, биоразнообразия, численности и биомассы бентоса. В составе доминирующего комплекса преобладают реофильные виды гидробионтов.

Негативное влияние токсического загрязнения наиболее выражено в среднем участке, где на фоне снижения числа видов, численности и биомассы беспозвоночных, происходят изменения в структуре донных сообществ за счет развития малощетинковых червей тубифицидного комплекса. Высокая степень доминирования ряда α-мезосапробных и полисапробных видов приводит к снижению индекса видового разнообразия Шеннона.

Специфические черты донных сообществ нижнего течения проявляются в совместном обитании видов, характерных как для равнинных рек, так и для бентофауны Саратовского водохранилища. Особенностью макрозообентоса устьевого участка является развитие в нем биоинвазийных видов, занимающих свободные экологические ниши. Увеличение видового богатства и количественных показателей бентоса в нижнем течении обусловлено как разбавлением загрязненных речных вод водными массами Саратовского

водохранилища, так и «краевым эффектом», выражающимся в возрастании разнообразия и количественного развития сообществ в зонах экотонов.

Трофическая структура на участках реки, мало подверженных антропогенному воздействию (верхнее и нижнее течение), характеризуется преобладанием фитодетритофагов – собирателей, тогда как в местах, загрязненных сточными водами (среднее течение), возрастает значение детритофагов-собирателей-грунтозаглатывателей, представленных олигохетами.

Вниз по течению реки происходит уменьшение числа видов – индикаторов олигосапробных условий за счет увеличения фаунистического разнообразия β-α-мезосапробных видов.

На протяжении последних десятилетий, судя по состоянию донных биоценозов, качество воды реки оставалось достаточно стабильным (за исключением 2010 г.; см. гл. 1, раздел 1.4). Оценка экологического состояния р. Сок, с использованием интегрального индекса экологического состояния, позволила отнести большинство обследуемых участков к зоне относительного экологического благополучия. Состоянием экологического кризиса характеризуются участки реки в районах точечных источников загрязнения.

2.2.4. Биоразнообразие донных сообществ притоков реки Сок

Малые реки средней полосы России – основной тип водотоков, представляющих ее речную сеть. От их благополучия сейчас во многом зависит экологическая обстановка в регионах (Малые реки.., 1998; Экологическое состояние.., 2003; Крылов, 2005; Экосистема малой.., 2007). В связи с высокой значимостью малых рек в стратегии сохранения биоразнообразия природных комплексов на территории Волжского бассейна (Гелашвили и др., 1998), особую актуальность приобретает изучение их фауны, одной из существенных составляющих которой являются организмы макрозообентоса.

Для сравнительной характеристики донных сообществ, исследования проводились на малых реках – притоках верхнего (реки Байтуган, Камышла, Сосновка, Малый Сок), среднего (реки Черновка, Хорошенька, Сургут, Тростянка) и нижнего (р. Кондурча) участков р. Сок. Сведения о разнообразии донных организмов и качестве воды отдельных малых рек Самарской области ранее приведены в публикациях (Зинченко, 1994; Зинченко, Шитиков, 1997; Зинченко, Головатюк, 2007а,б,в). Полученные результаты оценки биоразнообразия донных сообществ изложены нами как продолжение исследований в рамках проведения многолетнего мониторинга малых рек бассейна Нижней Волги.

Отбор образцов зообентоса в р. Байтуган осуществляли летом и осенью 1991-1993, 2001-2003 и 2006 гг., в реках Камышла, Сосновка, Малый Сок, Черновка, Хорошенькая, Сургут и Кондурча – в июле 1987, 1997, 1999 и 2002 гг. Места отбора проб на малых реках указаны на карте-схеме в подразделе 2.2.3 (рис. 40).

Водотоки Байтуган, Камышла, Сосновка, Малый Сок характеризуются высокими скоростями течения, преобладанием щебенистых, гравийно-галечниковых грунтов и почти лишены высшей водной растительности (см. табл. 70 в подразделе 2.2.5). Черновка, Хорошенькая, Сургут и Тростянка – малые равнинные реки, заросшие высшей водной растительностью, которые в настоящее время зарегулированы и имеют режим малопроточных водоемов. Наиболее крупным притоком р. Сок является р. Кондурча, впадающая в нижнем течении. Она представляет собой типичный равнинный водоток с невысокой скоростью течения и заиленными биотопами.

В составе бентофауны притоков верхнего течения р. Сок установлено 220 видов гидробионтов. Наиболее разнообразна фауна хирономид и прочих двукрылых (118 видов). Характерными для бентоса всех водотоков являются личинки двукрылых, поденок, ручейников и олигохеты. Число видов в р. Байтуган более чем в 3 раза превышает аналогичный показатель для других исследованных притоков р. Сок (Зинченко, Головатюк,

2007б,в). В реках Камышла, Сосновка и Малый Сок отмечено 45, 41 и 10 видов соответственно (табл. 66).

Река Байтуган. Бентос представлен преимущественно стенотермными, реофильными и оксибионтными видами. Выявлено 103 вида двукрылых, по 14 – ручейников и двустворчатых моллюсков, по 12 – поденок, веснянок, клещей и олигохет, прочие составляют 1-8 видов (табл. 66, табл. 61 из подраздела 2.2.3).

Преобладающий тип грунта в р. Байтуган – щебень и гравийно-галечные биотопы с примесью песка, ила или глины. Они занимают до 90% площади дна на участках отбора проб. Наибольшим фаунистическим богатством (94-98 видов) отличаются сообщества, формирующиеся на перекатах реки, где биотопы представлены щебнем, каменистыми и гравийными грунтами. На плесах, занятых заиленными песками и глиной, число видов макрозообентоса снижается более, чем в 6 раз (рис. 44).

Отряд двукрылых характеризуется преобладанием личинок хирономид, а именно реофильных представителей подсемейств Orthocladiinae, Diamesinae и Prodiamesinae, составляющих 67% от состава хирономидофауны. Массовыми на щебне и каменистых грунтах в верхнем и среднем участках (ст. 1-6) являются *Eukiefferiella* gr. *gracei* и *Orthocladius oblidens*, на песке и гравии – *Micropsectra atrofasciata* и *Tanytarsus* sp., на заиленных биотопах нижнего течения (ст. 7 и 8) – *Prodiamesa olivacea* и *Paracladius conversus* (табл. 61 из подразднла 2.2.3). Из представителей других семейств двукрылых в водотоке наиболее распространены реофильные личинки мошек *Simulium* sp. и лимониид *Dicranota bimaculata*.

Таблица 66. Состав таксономических групп и распределение видов в притоках р. Сок*

Таксоны	Притоки верхнего течения				Притоки среднего и нижнего течения				
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Oligochaeta	12	4	4	1	5	6	2	1	5
Hirudinea	1	1	1	–	2	–	1	–	3
Mollusca	14	2	–	–	5	1	–	–	10
Ephemeroptera	12	2	1	1	1	2	1	1	5
Hemiptera	5	1	–	1	1	1	2	–	3
Plecoptera	12	1	1	–	–	–	–	–	–
Trichoptera	14	1	1	2	–	–	1	–	5
Coleoptera	8	–	–	–	1	1	1	–	1
Odonata	–	–	–	1	–	–	–	1	2
Hydracarina	12	–	–	1	–	–	–	–	–
Chironomidae	83	24	26	3	22	23	11	6	31
Прочие Diptera	20	7	6	–	2	4	1	–	5
Прочие*	2	2	1	–	2	1	–	–	1
Всего:	195	45	41	10	41	39	20	9	71

Примечание: * – I – Байтуган; II – Камышла; III – Сосновка; IV – Малый Сок; V – Черновка; VI – Хорошенькая; VII – Сургут; VIII – Тростянка; IX – Кондурча; ** – паукообразные, ракообразные, нематоды.

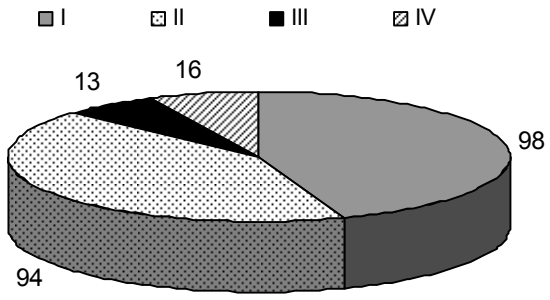


Рис. 44. Распределение видов макрозообентоса на различных биотопах р. Байтуган:
I – щебень; II – гравий+галька; III – заиленный песок; IV – глина+песок

Многочисленны личинки ручейников и поденок. На перекатах реки среди камней обычны о-ß-мезосапробные ручейники *Cheumatopsyche lepida*, *Hydropsyche angustipennis*, *Rhyacophila nubila* и олигосапробные *Silo pallipes*. Плесы характеризуются развитием эвритопных и фитофильных форм: *Agrypnia pagetana*, *Ecnomus tenellus, Limnephilus flavicornis*. Среди поденок лидируют *Baetis rhodani* и *Ephemerella ignita*, поселяющиеся на щебне, гравии и галечниковом грунте верхнего и среднего участков (ст. 1-6). В нижнем течении (ст. 7) доминирующими становятся пелофильные поденки *Cloeon luteolum*, а в устье, на заиленном песке, поденки и ручейники встречаются единично (табл. 61 из подраздела 2.2.3).

Донные сообщества реки отличаются разнообразием видов веснянок. В истоке на гравийно-песчаном грунте с примесью глины обитают олигосапробные веснянки *Amphinemura standfussi*. Каменистые субстраты среднего течения в массе заселены личинками *Capnia bifrons* (олигосапроб), совместно с которыми обитают ксеносапробные веснянки *Diura bicaudata* и *Nemurella pictetii*. В устье личинки веснянок не отмечены.

Среди представителей гидракарин на всем протяжении реки преобладают реофильные и полуреофильные формы. Наибольшая численность отмечена для *Hygrobates calliger* (Тузовский, 2007).

Фауна двустворчатых моллюсков состоит исключительно из видов семейств Pisidiidae и Euglesidae. Максимальное разнообразие пизидиид (9 из 12 видов) характерно для гравийно-глинистых биотопов среднего течения реки (ст. 5).

Из отряда жесткокрылых следует указать на развитие литореофильных личинок жуков рода *Elmis*, негативно реагирующих на загрязнение и ацидификацию водотоков и относящихся к числу индикаторных таксонов при расчете некоторых индексов Европейской Рамочной Водной Директивы (Семенченко, 2004; Прокин, 2008).

Уникальность фауны реки обусловлена обитанием веснянок (*Amphinemura standfussi*, *Capnia bifrons*, *Diura bicaudata*), ручейников (*Silo pallipes*), хирономид (*Corynoneura lacustris*, *Eukiefferiella minor*, *Paralimnophyes hydrophilus*, *Paratrichocladius rufiventris*, *Rheocricotopus effuses*, *Tvetenia bavarica* и др.), не отмеченных в других исследованных реках бассейна Нижней Волги.

Численность гидробионтов в сообществах макрозообентоса несколько снижается от верхнего течения (12,49 тыс. экз./м^2) к нижнему (10,02 тыс. экз./м^2) (рис. 45). Существенное уменьшение биомассы бентоса в среднем течении на фоне высокой численности беспозвоночных объясняется массовым развитием в летний период на щебне и гравии мелких видов хирономид из подсемейства Orthocladiinae.

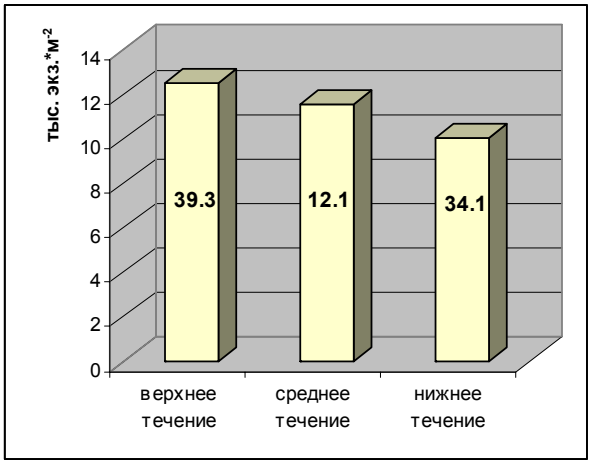


Рис. 45. Изменение численности и биомассы макрозообентоса на участках р. Байтуган в июне 2006 г. (цифрами обозначена биомасса бентоса, г/м^2)

Пространственная динамика численности и биомассы основных групп бентоса в р. Байтуган (рис. 46), отражая особенности ритрали реки, характеризуется преобладанием литореофильных личинок хирономид в верховье (ст. 1 и 2), составляющих в истоке до 93% от общей численности бентоса и развитием, наряду с хирономидами (16-74%), личинок ручейников, веснянок, мошек, моллюсков и поденок. В бентосе среднего течения (ст. 3-5) заметную роль приобретают личинки поденок, прочих двукрылых и олигохет, тогда как на заиленных грунтах устьевого участка (ст. 8), который можно отнести к потамали, преобладают личинки хирономид и олигохеты.

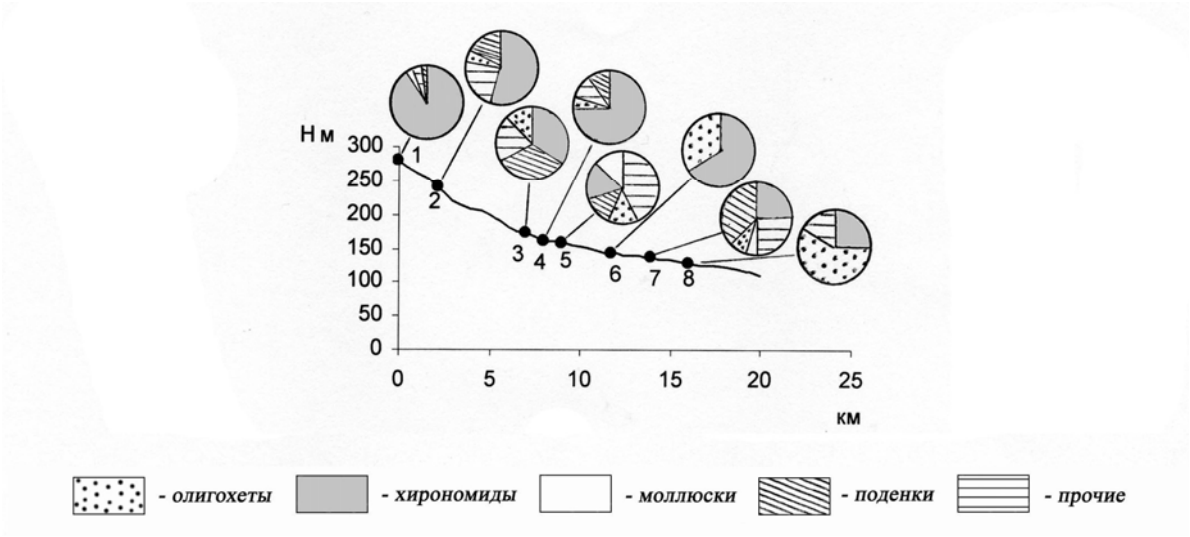


Рис. 46. Распределение численности (экз./м^2) основных групп бентоса на станциях р. Байтуган

Гетерогенность донных сообществ проявляется на уровне биотопов. Наибольшие показатели численности гидробионтов отмечены в обрастаниях щебня (11,5 тыс. экз./м^2) и на заиленных песках (7,9 тыс. экз./м^2), наименьшие характерны для заиленной глины (1,5 тыс. экз./м^2). На всех биотопах, кроме заиленного песка, где показатели численности обеспечивают олигохеты, преобладают личинки двукрылых (30-62,5% от общей численности бентоса) и поденки (13-63%), из которых в обрастаниях наиболее обильны хирономиды *Eukiefferiella* gr. *gracei* и поденки *Ephemerella ignita*; на заиленных гравийно-галечниковых грунтах с примесью песка – *Paracladius conversus* и *Baetis rhodani;* на заиленной глине - *Dicranota bimaculata* и *Baetis tricolor*. Гравийно-галечниковые субстраты характеризуются также развитием личинок веснянок, вклад которых в суммарную численность составляет 17%. Основу биомассы бентоса на каменистых биотопах составляют ручейники и поденки, на гравийно-галечниковых грунтах и заиленной глине-двукрылые и ручейники (рис. 47 и 48).

В составе доминирующего комплекса видов р. Байтуган, рассчитанного по численности, отмечены преимущественно реофильные, характерные для незагрязненных вод олиго- и β-мезосапробные виды личинок поденок *Baetis rhodani, Ephemerella ignita* и хирономид *Eukiefferiella* gr. *gracei, Micropsectra atrofasciata, Orthocladius thienemanni*. На заиленных биотопах лидируют хирономиды *Paracladius conversus* и олигохеты *Limnodrilus profundicola* (рис. 49).

Биоразнообразие донных сообществ, характеризуемое индексом видового разнообразия Шеннона, достигает наибольших значений в верхнем (до 3,5 бит/экз.) и среднем (до 4,4 бит/экз.) участках реки (см. табл. 70).

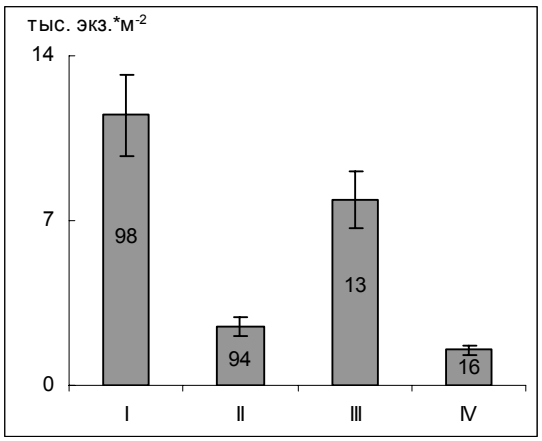


Рис. 47. Изменение численности и числа видов зообентоса на различных биотопах р. Байтуган: цифрами обозначено число видов; I – щебень; II – гравий+галька; III – заиленный песок; IV – глина+песок

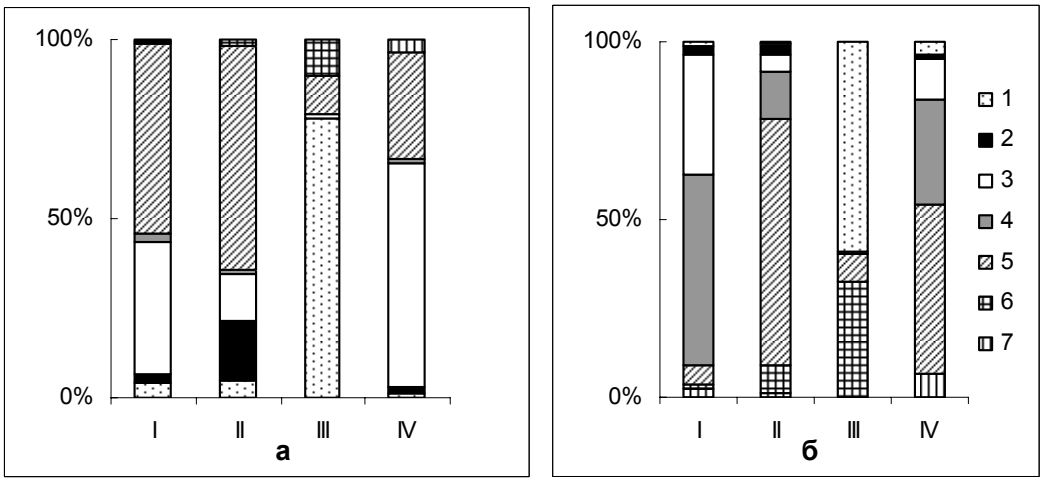


Рис. 48. Соотношение численности (а) и биомассы (б) основных групп макрозообентоса на различных биотопах р. Байтуган (июнь 2006 г.): 1 – Oligochaeta, 2 – Plecoptera, 3 – Ephemeroptera, 4 – Trichoptera, 5 – Diptera, 6 – Mollusca, 7 – прочие. I – щебень; II – гравий+галька; III – заиленный песок; IV – глина+песок

Особенностью *трофической структуры* бентоса р. Байтуган является преобладание (до 55% от общей численности) фитодетритофагов-собирателей, развитие которых обусловлено оптимальными кислородными условиями и обеспеченностью пищей в обрастаниях каменистых субстратов. Эту трофическую группу составляют личинки двукрылых (доминируют *Orthocladius thienemanni, O oblidens*), поденок (*Baetis rhodani*, *Ephemerella ignita*), веснянок и ручейников. Доля детритофагов-собирателей+грунтозаглатывателей не превышает 16%, среди которых ведущая роль принадлежит личинкам хирономид родов *Micropsectra* и *Tanytarsus*. Развитие трофической группировки хищников-хватателей (12%) обеспечивается, преимущественно личинками хирономид *Prodiamesa olivacea* и оксифильными двукрылыми *Dicranota bimaculata*. Сестонофаги+детритофаги-фильтраторы представлены реофильными личинками мошек и мелкими двустворчатыми моллюсками семейства Pisidiidae (рис. 50).

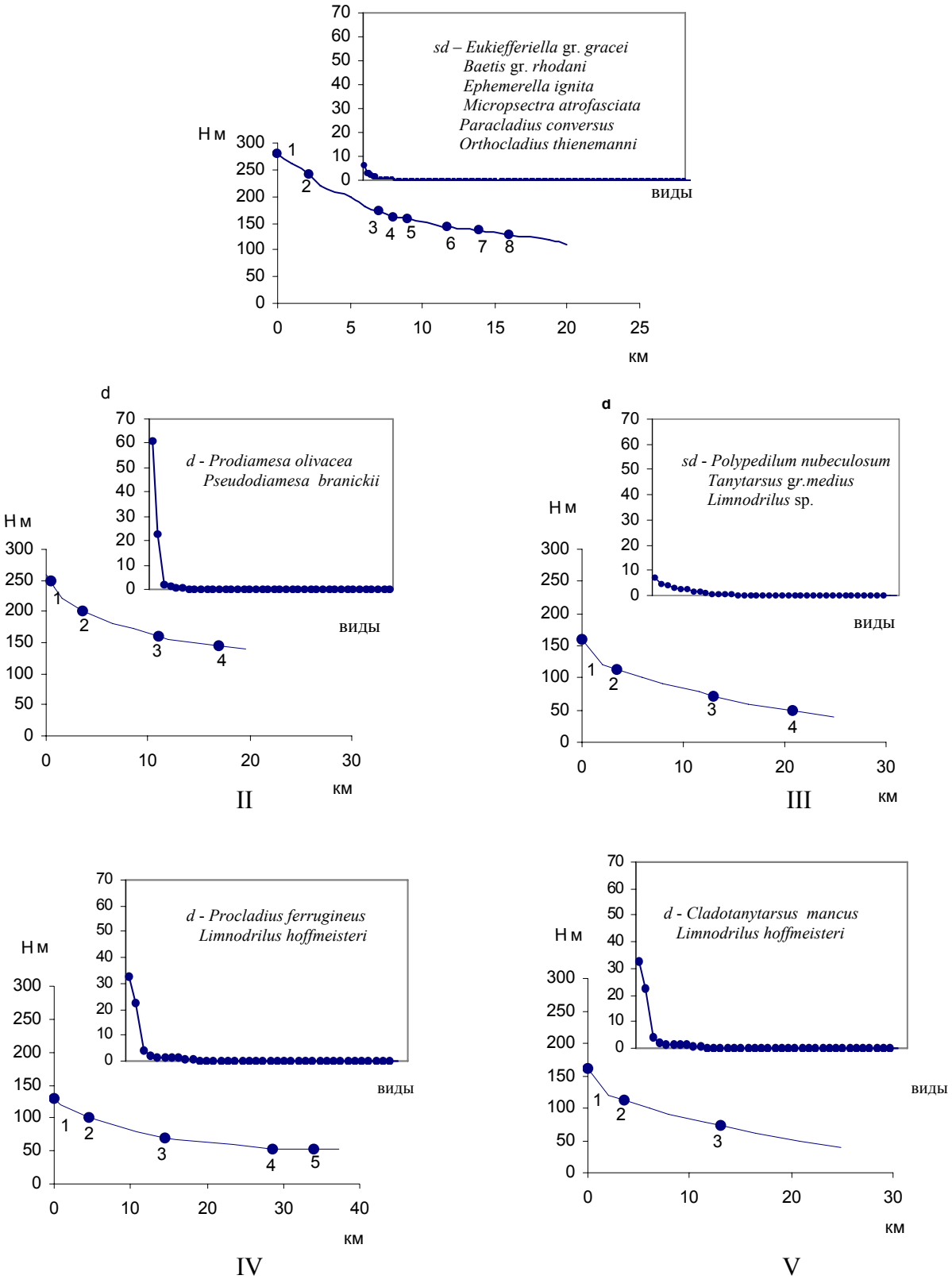


Рис. 49. Изменение доминирования видов в донных сообществах притоков р. Сок: I – Байтуган, II – Камышла, III – Сосновка, IV – Черновка, V – Хорошенькая; d – доминанты, sd – субдоминанты; на рисунке показаны профили рек

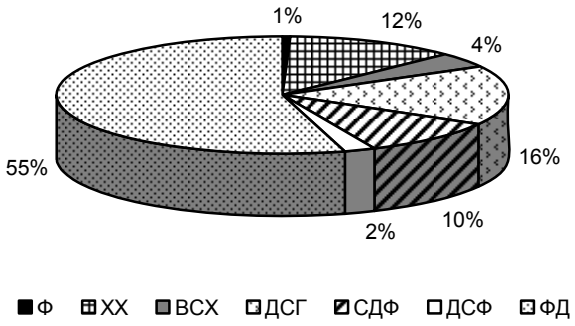


Рис. 50. Трофическая структура (% от общей численности трофических групп) макрозообентоса р. Байтуган: Ф – фитофаги–собиратели; ХХ – хищники–хвататели; ВСХ – всеядные собиратели+хвататели; ДСГ – детритофаги–собиратели+грунтозаглатыватели; СДФ – сестонофаги+детритофаги–фильтраторы; ДСФ – детритофитофаги–собиратели+фильтраторы; ФС – фитодетритофаги–собиратели

Указанное соотношение трофических групп в сообществах макрозообентоса характерно для чистых малых рек и может быть использовано для сравнительных оценок изменений экологического состояния водотоков при антропогенном воздействии. Ранее нами сообщалось, что при воздействии антропогенных факторов различной направленности резко снижается доля организмов трофической группы фитодетритофагов-собирателей (Зинченко, 2002) и изменяется соотношение указанных групп.

Качество воды. Нами представлены результаты оценки качества воды р. Байтуган в 1992 и 2006 гг. (рис. 51), что позволяет проследить изменение состояния реки за десятилетний период. Из рисунка видно, что качество воды на большинстве обследованных участков, согласно расчетам Биотического индекса, соответствовало II и III классам («чистая» – «умеренно загрязненная»). Исключение составили ст. 6 и 7, на которых в разные годы исследований качество воды снижалось до V класса («грязная»). В 2006 г., по сравнению с 1991 г., не произошло снижения качества воды на ст. 1-6, тогда как на ст. 7 отмечено ухудшение ее качества от II класса (вода «чистая») до V класса («грязная»). При этом на всех участках реки показатели ИИЭС находились в пределах 3,0-3,5, что, согласно градации индекса (Зинченко и др., 2000), соответствует зонам относительного экологического благополучия (рис. 51).

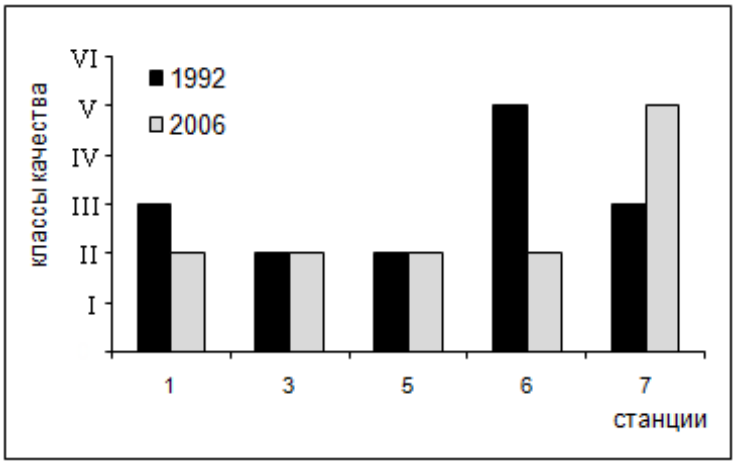


Рис. 51. Изменение класса качества воды различных участков р. Байтуган в 1992 и 2006 гг.: I – «очень чистая», II – «чистая», III – «умеренно загрязненная», IV – «загрязненная», V – «грязная», VI – «очень грязная»

Река Камышла. В верхнем течении р. Камышла (ст. 1-3) (см. рис. 40 подраздела 2.2.3) в составе бентоса отмечены реофильные виды беспозвоночных, представленные немногочисленными личинками поденок (*Ephemerella ignita, Ephemerella* sp.), веснянок (*Nemoura cinerea*), ручейников (*Rhyacophila nubila*), а также двукрылыми *Simulium* sp., *Psychoda* sp., *Diamesa carpatica*, *Pseudodiamesa branickii*, *P*. gr. *nivosa*, *Prodiamesa olivacea*, *Parametriocnemus stylatus, Rheocricotopus fuscipes* и др. (см. табл. 61 подраздела 2.2.3). В месте впадения в р. Сок (ст. 4) отсутствуют поденки, веснянки, моллюски, ручейники и мошки; в составе фауны увеличивается число пелофильных и фитофильных видов. Наибольшего фаунистического разнообразия достигают личинки хирономид (24 вида). Общими для всех участков реки являются двукрылые *Dicranota* sp. и *Prodiamesa olivacea*.

Средняя численность гидробионтов в р. Камышла составила 11,516 тыс. экз./м^2, биомасса – 39,5 г/м^2 за счет развития личинки хирономид (73,8% от общей численности и 89,8% биомассы бентоса) и олигохет (22,8% и 1,7%). Вклад прочих таксономических групп в количественные показатели бентоса невелик (табл. 67).

Таблица 67. Численность (N, экз./м^2, над чертой) и биомасса (B, г/м^2, под чертой) основных групп макрозообентоса в притоках р. Сок*

Таксон	Река							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Nematoda	-	-	-	135 0,02	238 0,03	-	-	-
Oligochaeta	2629 0,67	169 0,14	10 0,03	4514 1,85	2565 0,95	93 0,05	530 0,26	3172 3,3
Hirudinea	-	1 0,01	-	8 0,01	-	-	10 0,01	15 0,03
Mollusca	6 1,2	-	-	205 3,95	9 0,08	-	-	38 1,8
Ephemeroptera	29 0,03	101 0,09	210 0,08	34 0,07	17 0,03	13 0,01	10 0,01	41 0,08
Hemiptera	3 0,02	-	40 1,2	10 0,01	17 0,02	-	50 0,02	109 0,06
Plecoptera	3 0,01	10 0,01	-	-	-	-	-	-
Trichoptera	-	3 0,01	110 0,53	-	-	-	10 0,01	38 0,09
Coleoptera	-	-	-	8 0,01	43 0,05	-	20 0,04	7 0,01
Odonata	-	-	10 0,3	-	-	26 0,03	-	3 0,06
Chironomidae	8499 35,4	2699 3,81	80 0,01	8900 6,02	1963 1,35	811 0,52	540 0,11	1143 0,29
прочие Diptera	254 2,1	75 0,07	10 0,01	34 0,01	391 0,89	-	10 0,01	77 0,1
Прочие**	93 0,02	29 0,01	50 0,03	24 0,03	39 0,05	-	-	-
Всего (без крупных моллюсков):	11516 39,5	3087 4,15	520 2,19	13872 11,98	5282 3,45	943 0,61	1180 0,47	4643 5,82
Крупные моллюски	-	-	-	-	-	-	-	1890 3560

Примечание: * – I – Камышла; II – Сосновка; III – Малый Сок; IV – Черновка; V – Хорошенькая; VI – Тростянка; VII – Сургут; VIII – Кондурча;** – нематоды, паукообразные, клещи.

Развитие бентофауны р. Камышла характеризуется четко выраженным доминированием хирономид подсемейства Diamesinae в сообществе макрозообентоса (рис. 49).

Доминирующими по численности являются реофильные *Pseudodiamesa branickii* – типичные обитатели предгорных и горных водотоков и широко распространенный голарктический вид *Prodiamesa olivacea* (рис. 49), личинки которого эвриоксибионтны. Внутри ведущего комплекса донных организмов р. Камышла имеет место пространственное распределение тех или иных доминирующих видов (табл. 68) на фоне гетерогенности биотопических условий, обусловленных процессом формирования русла (чередование плесов и перекатов). Так, например, на отдельных участках отмечается доминирование характерных для реки хирономид *Pseudodiamesa branickii* (ст. 1, *d* = 62,1) и олигохет *Limnodrilus udekemianus* (ст. 3, *d* = 39) с преобладанием в устье *Prodiamesa olivacea* (*d* = 71,8) и *Limnodrilus* sp. (*d* = 25,6).

Значения индекса видового разнообразия Шеннона на станциях 1-3 не опускались ниже 2,5 бит/экз., тогда как в устье отмечено его снижение до 1,2 бит/экз., что обусловлено высокой степенью доминирования хирономид *Prodiamesa olivacea*.

Согласно расчетам Биотического индекса, исток и устье р. Камышла характеризуются IV классом качества – вода «загрязненная». Качество воды среднего течения было выше, соответствуя II-III классам – «чистая» и «умеренно загрязненная». Значения ИИЭС позволяют охарактеризовать все обследованные участки как зоны «относительного экологического благополучия» (табл. 69).

Река Сосновка. В бентофауне верхнего течения р. Сосновка (ст. 1-3) отмечено преобладание реофильных видов. В устье число видов типичных реобионтов сокращается и возрастает доля лимнофильных таксонов. Личинки насекомых представлены веснянками рода *Nemoura*, поденками рода *Baetis*, ручейниками *Hydropsyche ornatula* и личинками двукрылых. Разнообразие биотопов р. Сосновка обусловило развитие характерных для них видов хирономид (26 видов). Таковыми являются представители литореофильного комплекса: *Monodiamesa bathyphila*, *Eukiefferiella* gr. *claripennis*, *Limnophyes prolongatus*, *Orthocladius oblidens*, пелофильные *Chironomus obtusidens*., *Cryptochironomus* sp. и фитофильные *Glyptotendipes paripes*. Специфичными для реки являются найденный в верховье, в месте выхода родниковых вод, на заиленном песке и в обрастаниях гравия и щебня *Limnophyes prolongatus*, а также *Pseudosmittia* sp., отмеченная в истоке у уреза воды, на влажной почве среди гравия.

Средняя за период исследований численность беспозвоночных в р. Сосновка, обусловленная личинками хирономид и олигохетами, составила 3087 экз./м^2, биомасса – 4,15 г/м^2 (табл. 67).

Структура бентоса р. Сосновка представлена комплексом, в котором субдоминантами по численности являются эврибионтные хирономиды *Tanytarsus* gr. *medius, Chironomus plumosus, Polypedilum nubeculosum* и олигохеты *Limnodrilus* sp. (рис. 49). Для отдельных участков характерны свои доминирующие виды. Так, в истоке (ст. 1) доминируют эвритопные личинки хирономид *Prodiamesa olivacea* и малощетинковые черви *Limnodrilus* sp. В среднем участке (ст. 3) на твердых грунтах доминантами (*d* = 54,6) становятся поденки рода *Baetis* и оксифильные двукрылые *Dicranota bimaculata* (*d* = 14,5), а в устье - эврибионтные хирономиды *Tanytarsus* gr. *medius* (*d* = 35,5) и *Chironomus plumosus* (d = 18,8) (табл. 68).

Индекс видового разнообразия изменялся на разных участках реки в пределах 2,3-2,9 бит/экз., характеризуя стабильное состояние донных сообществ.

Качество воды изменяется от II класса – «чистая» (ст. 3) до V класса – «грязная» (ст. 2, 4). Показатели ИИЭС находятся в пределах 2,1-3,1, что позволяет отнести большинство участки реки (ст. 1, 3, 4) к зоне относительного экологического благополучия, а ст. 2 – к зоне экологического кризиса (табл. 69).

Таблица 68. Пространственное распределение доминирующих видов в некоторых притоках р. Сок (*d - индекс доминирования; по: Палий, 1961; Kownacki, 1971)

Река	Станция	Виды-доминанты и субдоминанты
Камышла	1	*Pseudodiamesa branickii* (d = 62,1), *Micropsectra atrofasciata* (d = 26)
	2	*Ephemerella ignita* (d = 19,6), *Dicranota bimaculata* (d = 19,6)
	3	*Limnodrilus udekemianus* (d = 39), *Dicranota bimaculata* (d = 13,3)
	4	*Prodiamesa olivacea* (d = 71,8), *Limnodrilus* sp. (d = 25,6)
Сосновка	1	*Prodiamesa olivacea* (d = 44,5), *Limnodrilus* sp. (d = 36,7)
	2	*Limnodrilus* sp. (d = 60,0), *Prodiamesa olivacea* (d = 16,7)
	3	*Baetis* sp. (d = 54,6), *Dicranota bimaculata* (d = 14,5)
	4	*Chironomus plumosus* (d = 18,8), *Tanytarsus* gr. *medius* (d = 35,5)
Малый Сок	1	*Baetis rhodani* (d = 40,4), *Brachycentrus subnubilus* (d = 15,4)
Черновка	1	*Limnodrilus hoffmeisteri* (d = 62,8), *Euglesa acuminata* (d = 11,3), *Procladius ferrugineus* (d = 10,4), *Chironomus plumosus* (d = 13,5)
	2	*Limnodrilus hoffmeisteri* (d = 79,2)
	3	*Procladius ferrugineus* (d = 42,8), *Tubifex tubifex* (d = 25,9), *Cladopelma* sp. (d = 10,5), *Tanytarsus* sp. (d = 35,5)
	4	*Limnodrilus hoffmeisteri* (d = 72,3)
	5	*Polypedilum nubeculosum* (d = 35,0), *Cladotanytarsus mancus* (d = 19)
Хорошенькая	1	*Limnodrilus hoffmeisteri* (d = 38,7), *Prodiamesa olivacea* (d = 11,9)
	2	*Limnodrilus hoffmeisteri* (d = 35,5)
	3	*Limnodrilus hoffmeisteri* (d = 28,4), *Tubifex tubifex* (d = 52,9)
		Cladotanytarsus mancus (d = 40,0)
Сургут	1	*Limnodrilus hoffmeisteri* (d = 25,4), *Cladotanytarsus mancus* (d = 17)
Тростянка	1	*Chironomus plumosus* (d = 40,9), *Glyptotendipes pallens* (d = 17)
Кондурча	1	*Paratendipes albimanus* (d = 35,7), *Cricotopus bicinctus* (d =14,7), *Rivicoliana rivicola* (d = 14,3)
	2	*Limnodrilus hoffmeisteri* (d = 30,1), *Chironomus* ex gr. *thummi* (19,3)
	3	*Limnodrilus hoffmeisteri* (d = 71,0)
	4	*Limnodrilus hoffmeisteri* (d = 78,9)
	5	*Limnodrilus hoffmeisteri* (d = 86,5)
	6	*Tubifex newaensis* (d = 55,2)
	7	*Tubifex newaensis* (d = 34,8), *Rheocricotopus fuscipes* (d = 17,4)
	8	*Chironomus plumosus* (d = 57,5)

Примечание: * - $100 \le d \le 10$ -доминанты; $1 \le sd \le 10$ – субдоминанты.

Река Малый Сок. В составе бентофауны на илах с растительными остатками зарегистрированы личинки ручейников, поденок, стрекоз, хирономид и прочих двукрылых, а также олигохеты, клопы и водяные клещи (см. табл. 61 в подразделе 2.2.3). Большинство отмеченных в р. Малый Сок видов принадлежат к реофильным видам бентоса.

Средняя численность донных беспозвоночных в реке составила 520 экз./м^2, биомасса – 2,19 г/м^2 (табл. 67). Наибольшее значение среди групп гидробионтов по численности имеют поденки (40,4% от суммарной численности) и ручейники (21%), по биомассе – клопы (54,8% от суммарной биомассы) (табл. 67). В составе доминирующего комплекса видов отмечены литореофильные поденки *Baetis rhodani* (d = 40,4) и ручейники *Brachycentrus subnubilus* (d = 15,4) (табл. 68).

На исследованных участках качество воды р. Малый Сок высокое (II класс – «чистая»). По результатам расчета интегрального индекса ИИЭС р. Малый Сок относится к зоне относительного экологического благополучия (табл. 69).

Таблица 69. Оценка качества воды и экологического состояния притоков р. Сок с использованием различных индексов

Река	№ ст.	Индекс Вудивисса		ИИЭС		Индекс Шеннона (max)
Байтуган	1	6-7	II-III	3,5	***	3,1
	2	6-7	II-III	3,4	***	3,2
	3	7-8	II	3,5	***	3,5
	4	6	III	3,4	***	3,1
	5	7-8	II	3,5	***	4,4
	6	3-7	II-V	3,0	***	2,4
	7	3-7	II-V	3,4	***	2,9
	8	3-4	IV- V	3,0	***	2,1
Камышла	1	4	IV	3,2	***	2,5
	2	7	II	3,3	***	3,4
	3	6	III	3,0	***	3,1
	4	4	IV	3,0	***	1,2
Сосновка	1	6	III	3,0	***	2,7
	2	2-3	V	2,1	**	2,9
	3	7	II	3,0	***	2,3
	4	2-3	V	3,1	***	2,6
Малый Сок	1	6-7	II	3,0	***	2,8
Сургут	1	6-7	II-III	3,0	***	3,2
Тростянка	1	5	III	2,5	**	2,4
Черновка	1	3	V	2,6	**	2,6
	2	3-4	IV-V	3,1	***	2,5
	3	2	V	3,2	***	1,9
	4	1-2	V-VI	1,7	**	2,4
	5	4-5	III-IV	3,2	***	2,9
Хорошенькая	1	4-5	III-IV	3,1	***	3,7
	2	2	V	2,7	**	2,9
	3	4-5	III-IV	2,7	**	2,7
Кондурча	1	8-9	II	3,3	***	3,6
	2	4	IV	3,0	***	3,2
	3	7	II	3,3	***	1,9
	4	2	V	3,0	***	0,6
	5	2	V	2,6	**	0,6
	6	3	V	3,0	***	2,4
	7	6	III	3,1	***	2,9
	8	6	III	3,1	***	2,6

Примечание: *** – относительное экологическое благополучие; ** – экологический кризис; * – экологическое бедствие.

Притоки среднего течения: рр. Черновка, Хорошенькая, Сургут, Тростянка. Всего в составе бентоса притоков среднего течения р. Сок установлено 74 таксона беспозвоночных. Наибольшее число видов (46) отмечено среди личинок хирономид и прочих двукрылых (см. табл. 61 в подразделе 2.2.3). В донных сообществах не зарегистрированы реофильные личинки веснянок и мошек, ручейники представлены единственным видом *Hydroptila* sp. В р. Черновка найден 41 вид гидробионтов, в р. Хорошенькая – 39, в р. Сургут – 20, в р. Тростянка – 9 видов (табл. 66). Общими для фауны рек являются эврибионтные личинки хирономид *Chironomus plumosus* и *Polypedilum nubeculosum*.

Река Черновка. В связи с малой проточностью (постройка насыпных дамб) происходит заиление дна реки, возрастает зарастаемость макрофитами, что приводит к преобладанию в донных сообществах типичных фито и пелофильных видов (см. табл. 61). Наибольшего фаунистического разнообразия (16 видов) достигают лимнофильные виды подсемейства Chironominae, из которых наиболее массовыми являются *Polypedilum nubeculosum* и *Micropsectra* sp. Малощетинковые черви представлены видами, характерными

для водоемов, богатых органическими веществами. В илистых отложениях обычны полисапробные *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Tubifex tubifex* и мезосапробные *Uncinais uncinata*. Для заиленных биотопов характерными являются также поденки *Caenis macrura*, жуки *Haliplus ruficollis* и моллюски *Colletopterum piscinale*, *Parasphaerium nitidum*, *Pisidium amnicum*. В прибрежных зарослях макрофитов обитают пиявки *Helobdella stagnalis* и клопы рода *Micronecta* sp.

Численность макрозообентоса р. Черновка составляет 13,872 тыс. экз./м^2 при биомассе 11,98 г/м^2 (табл. 67). Основу численности составляют личинки хирономид (64%) и олигохеты (33%). Значительную биомассу обусловливают личинки хирономид (50%) и моллюски (33%).

В отличие от рек верхнего течения доминантами в р. Черновка являются типичные пелофильные виды, характерные для малопроточных, зарастаемых, заиленных равнинных рек. Так, доминирование *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Procladius ferrugineus* и *Chironomus plumosus* прослеживается на всем протяжении реки (табл. 68). В низовье преобладают эврибионтные виды хирономид *Polypedilum nubeculosum* и *Cladotanytarsus mancus.* Минимальные показатели индекса Шеннона характерны для ст. 3 (1,9 бит/экз.), на остальных участках его значения изменялись от 2,4 до 2,9 бит/экз.

Качество воды почти на всем протяжении реки оценивается IV-VI классами («загрязненная»-«очень грязная»). В устье качество воды находится в диапазоне III-IV классов («умеренно загрязненная»-«загрязненная»). Состояние реки на разных участках соответствует как зонам относительного экологического благополучия (ст. 2, 3, 5), так и зонам экологического кризиса (ст. 1, 4) (табл. 69).

Река Хорошенькая характеризуется повышенным содержанием биогенных веществ, зарастаемостью камышом, тростником, рогозом, осокой, вследствие чего подавляющее большинство обитающих в реке видов принадлежит к лимнофильным формам бентофауны (см. табл. 61). В истоке реки, питающемся родниковыми водами, отмечены реофильные представители бентоса: немногочисленные личинки поденок *Baetis rhodani* и хирономид *Diamesa coronata, Eukiefferiella* sp., *Orthocladius* sp., *Odontomesa fulva*, *Thienemanniella* sp., *Paraphaenocladius* gr. *pseudirritus,* обитающие на песчано-гравийных грунтах. На заиленных биотопах развиваются малощетинковые черви родов *Dero*, *Limnodrilus*, *Uncinais*, и *Tubifex* (преобладают *Limnodrilus* sp.), поденки *Caenis macrura*, жуки *Haliplus ruficollis*. Значение пелофильных личинок хирономид убывает в следующем порядке: *Cladotanytarsus mancus*, *Tanypus punctipennis, Polypedilum nubeculosum, Cryptochironomus* gr. *defectus*, *Chironomus plumosus*, *Procladius ferrugineus*, *Dicrotendipes nervosus* и др. В зарослях макрофитов на непроточных участках отмечены клопы *Plea minutissima*, личинки хирономид *Psectrocladius* sp., *Glyptotendipes gripekoveni*, *G. glaucus*.

Численность преобладающих олигохет составляет 2,565 тыс. экз./м^2 (49% от суммарной численности), а по биомассе лидируют личинки хирономид – 1,35 г/м^2 (39%). Среднелетняя численность гидробионтов составила 5,282 тыс. экз./м^2, биомасса – 3,45 тыс. г/м^2 (табл. 67). На всем протяжении реки (за исключением истока) сообщества макрозообентоса характеризуются доминированием эвритопных видов, обитателей эвтрофных водоемов (табл. 68). Преимущественное развитие получают лимнофильные олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* (d = 23) и пело-псаммофильные личинки *Cladotanytarsus mancus* (d = 33) (рис. 49). Видовое разнообразие сообществ бентоса остается высоким на протяжении всей реки (2,7-3,7 бит/экз.) (табл. 69).

Значения биотического индекса Вудивисса в р. Хорошенькая изменялись в от 2 до 5 баллов. Наиболее низкое качество воды отмечено на ст. 2 (V класс – вода «грязная»). На остальных участках качество воды находилось в пределах III-IV классов. ИИЭС характеризовал состояние реки на различных участках как зоны относительного экологического благополучия (ст. 1) и экологического кризиса (ст. 2, 3) (табл. 69).

Река Сургут. В составе бентофауны преобладают лимнофильные виды гидробионтов. На заиленном грунте с вкраплениями известняка отмечены олигохеты, пиявки *Piscicola geometra*, клопы *Micronecta* sp., личинки поденок *Caenis macrura*, ручейников *Hydroptila* sp. и хирономид (см. табл. 61). Среди отмеченных групп бентоса по числу видов лидируют хирономиды (11 видов). Преимущественное развитие получают малощетинковые черви и личинки хирономид *Cladotanytarsus mancus.* Численность макрозообентоса р. Сургут в июле 1999 г. составила 1180 экз./м^2, биомасса – 0,47 г/м^2 (табл. 67). Так же, как и в других притоках среднего течения, основу численности и биомассы макрозообентоса составляют личинки хирономид (45,8% и 23,4% соответственно) и олигохеты (44,9% и 55,3%). Доминирующими являются пелофильные олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* (*d* = 25,4) и личинки хирономид *Cladotanytarsus mancus* (*d* = 14,4) (табл.68).

Качество воды на исследованном участке реки соответствует градации: вода «умеренно загрязненная» (III класс), а по показателю ИИЭС (ИИЭС = 3,0) он принадлежит к зоне «относительного экологического благополучия» (табл. 69).

Река Тростянка. Как и в других притоках среднего течения, в р. Тростянка преобладают пелофильные и фитофильные таксоны бентоса. В р. Тростянка зарегистрированы поденки (1 вид), стрекозы (1), олигохеты (1) и хирономиды (6) (см. табл. 63). Количественные показатели макрозообентоса обеспечивают личинки хирономид, численность которых составила 811 экз./м^2 (86% от суммарной численности), биомасса – 0,52 г/м^2 (85,2 % от суммарной биомассы) (табл. 69). Доминирующий комплекс видов представлен эврибионтными хирономидами *Chironomus plumosus* (*d* = 40,9) и фитофильными *Glyptotendipes pallens* (*d* = 17) (табл. 68).

Вода реки соответствует III классу качества – «умеренно загрязненная» и, согласно интегрального индекса ИИЭС, относится к зоне «экологического кризиса» (табл. 67).

Р. Кондурча является правым притоком нижнего течения р. Сок. В составе макрозообен-тоса установлен 71 вид гидробионтов, из которых преобладающими являются личинки двукрылых (36 видов) (табл. 66).

Реофильные таксоны беспозвоночных представлены в р. Кондурча поденками *Baetis rhodani, Heptagenia flava,* ручейниками *Brachycentrus subnubilus, Cheumatopsyche lepida, Hydropsyche ornatula,* клопами *Aphelocheirus aestivalis*, хирономидами *Rheocricotopus fuscipes*, *Nanocladius bicolor* и личинками мошек *Simulium* sp., обитающими на заиленном гравии с растительными остатками в верхнем течении водотока (ст. 1). Преимущественное большинство видов принадлежит к пелофильным формам гидробионтов, так как преобладающим типом биотопов в реке являются серые илы и заиленная глина с примесью песка и растительных остатков.

Наибольшей частотой встречаемости характеризуются личинки хирономид *Polypedilum nubeculosum* (частота встречаемости – 67%) и *Cladotanytarsus mancus* (56%), а также олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* (56%).

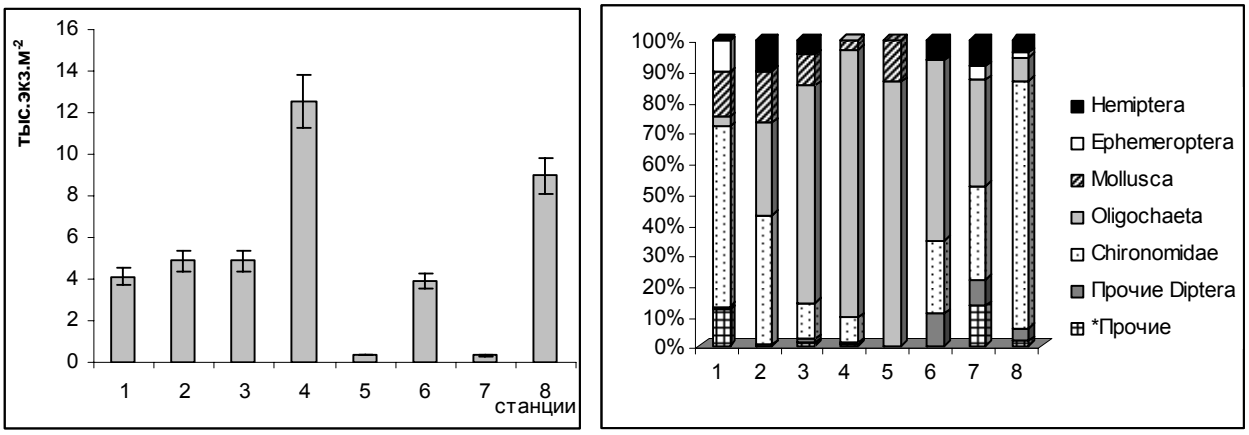
В составе хирономидофауны наиболее разнообразны лимнофильные виды подсемейства Chironominae (21 вид), из которых массовыми являются *Chironomus plumosus, Paralauterborniella nigrohalteralis*, *Paratendipes albimanus* (см. табл. 61). Отмечено фаунистическое разнообразие двустворчатых моллюсков из семейств Euglesidae, Pisidiidae, Sphaeriidae, Unionidae (10 видов) и малощетинковых червей из семейства Tubificidae (5 видов). Пелофильные поденки, обитающие в среднем течении водотока, представлены видами из рода *Caenis*, ручейники – из рода *Limnephilus*.

Средняя численность и биомасса гидробионтов в летний период 2002 г. составили 4,643 тыс. экз./м^2, биомасса (без крупных моллюсков) – 5,82 г/м^2. Большое значение в реке имеют крупные моллюски из родов *Anodonta* и *Unio*, достигающие численности 1890 экз./м^2 при биомассе 3560 г/м^2 (табл. 67). Заиленность биотопов реки определяет преобладание в донных сообществах малощетинковых червей, составляющих 68% от суммарной численности и 56,7% – биомассы бентоса. Значительный вклад в количественные показа-

тели вносят также личинки хирономид (24% от общей численности) и моллюски (31% от суммарной биомассы).

На отдельных станциях р. Кондурча численность гидробионтов находится в пределах 0,320-12,55 тыс. экз./м^2, биомасса – 0,1-17,4 г/м^2. Наиболее низкие показатели численности и биомассы бентоса отмечены на участках реки, расположенных в пределах крупных населенных пунктов (ст. 5 и 7) (рис. 52).

Анализ распределения численности основных групп бентоса на различных участках р. Кондурча показывает, что в верховье (ст. 1 и 2) и устьевом участке (ст. 4) преобладающими являются личинки хирономид (42-81% от общей численности), тогда как в среднем течении (ст. 3-7) основу численности зообентоса составляют олигохеты (35-87%) (рис. 52). На большинстве обследованных станций (ст. 2-7) высокую степень доминирования имеют олигохеты тубифицидного комплекса *Limnodrilus hoffmeisteri* (*d* = 30,1-86,5) и *Tubifex newaensis* (*d* = 34,8-55,2) и лишь в верховье (ст. 1) и устьевом участке реки (ст. 8) в составе доминантов отмечены личинки хирономид (табл. 68). В связи с высокими значениями индекса доминирования пелофильных олигохет видовое разнообразие донных биоценозов на ст. 4 и 5 снижается до 0,6 бит/экз. Наибольшие показатели разнообразия (3,6 бит/экз.) наблюдаются на участках верхнего течения реки (табл. 69).



а **б**

Рис. 52. Пространственная динамика численности **(а)** и соотношение основных таксономических групп макрозообентоса **(б)** в р. Кондурча

При оценке качества воды р. Кондурча выделяются наиболее «чистые» участки в районе расположения ст. 1 и 3, характеризующиеся II классом. От верховьев к среднему течению (ст. 4-6) наблюдается снижение качества воды до V класса («грязная»). В нижнем течении и устьевом участке (ст. 7 и 8) отмечено улучшение качества воды реки до III класса («умеренно загрязненная»). За исключением ст. 5 все участки реки можно отнести к зоне «относительного экологического благополучия» (табл. 69).

Таким образом, исследованиями установлено, что в связи с гидрологическими особенностями и разным уровнем антропогенного воздействия (см. разделы 1.1. и 1.5.) донные сообщества малых рек – притоков р. Сок имеют определенные различия. Установлено, что видовое богатство макрозообентоса притоков верхнего и среднего течения составляет 74-220 видов. Наибольшее число видов в р. Байтуган – 195 видов, тогда как в р. Кондурча (приток нижнего течения р. Сок) отмечено всего 71 вид. В реках Байтуган, Камышла, Сосновка и Малый Сок в условиях высоких скоростей течения развиваются реофильные виды. В притоках среднего и нижнего течения в связи с меньшей проточностью вод преобладают лимно- и пелофильные виды на однородных заросших биотопах. Например, из состава бентоса рек Черновка, Хорошенькая, Сургут, Тростянка и Кондурча выпадают личинки веснянок.

Наиболее низкие показатели индекса видового разнообразия Шеннона (0,5-0,6 бит/экз). выявлены на участках р. Кондурча, подверженных значительной антропогенной нагрузке.

Качество воды рек Байтуган, Камышла, Сосновка и Малый Сок на большинстве обследованных участков было высоким, характеризуясь II-III классами («чистая»-«умеренно загрязненная»), тогда как в реках Черновка, Хорошенькая, Сургут и Кондурча степень загрязненности находилась преимущественно в пределах III-V классов («умеренно загрязненная»-«грязная»).

Сравнительный анализ донной фауны малых рек бассейна р. Сок выявил высокое биотическое разнообразие р. Байтуган, что в комплексе с гидрологическими и гидрохимическими характеристиками, ландшафтными особенностями бассейна, отсутствием рассредоточенных и точечных источников загрязнения позволил рассматривать водоток как эталонный водный объект. Река Байтуган рекомендуется для включения в реестр особо охраняемых природных территорий Самарской области (Голубая книга.., 2007).

2.2.5. Биотические индексы и метрики в оценке качества воды малых рек Нижнего Поволжья (на примере рек Байтуган, Камышла, Сосновка)

В рамках биотической концепции, предполагающей существование причинной связи между уровнем воздействия на экосистему и откликом биоты (Левич, 1994), постоянно совершенствуются новые методы мониторинга и оценки устойчивого развития эколого-экономических систем на различных региональных уровнях. Это требует поиска, обоснования и разработки комплекса обобщенных показателей, оценивающих техногенное воздействие на экосистемы, контролирующих динамику их состояния и прогнозирующих эффективность природоохранных мероприятий (Приоритеты национальной.., 1999; Розенберг, 2009). Для решения вопросов, связанных с оценкой опасности кризисного состояния водных объектов, нами ранее был разработан способ комплексной оценки речной системы на основе интегрального индекса экологического состояния экосистемы – ИИЭС, позволяющий оценить суммарный эффект воздействия загрязнения на сообщества гидробионтов и на экосистему в целом (Зинченко и др., 2000; Гелашвили и др., 2002).

Как свидетельствуют полученные данные, определенную реакцию на антропогенное воздействие обнаруживают практически все исследованные таксоны, несмотря на существенные различия между ними (Биоиндикация экологического.., 2007; Бухарин и др., 2010). Эти изменения оказываются сходными не только по направлению, но и по степени отклика. Балльная оценка наглядно демонстрирует индикаторную ценность различных компонент и параметров экосистемы реки и позволяет выделить наиболее работоспособные индикаторы.

Важно отметить, что многие из выявленных изменений наблюдаются на фоне высокого биоразнообразия. Это свидетельствует о том, что оценка состояния водоема должна включать не только качественное описание водных сообществ (сколько и каких видов представлено), но и данные о функциональном состоянии водных сообществ и экосистемы в целом.

Проблема индикаторов и индексов устойчивого развития признана в настоящее время столь важной, что ряд стран (США, Великобритания, Бельгия, Кения и др.) открыли специальные институты, занимающиеся разработкой и обоснованием таких показателей.

Например, в настоящее время активно разрабатывается система показателей, объединенных под названием «Индекс биологической или биотической целостности» (Index of Biotic Integrity, ***IBI***), представляющий собой мультиметрический показатель для комплексной оценки биоты по стандартному набору 12 разнонаправленных показателей, сравнение которых осуществляется с референтными участками или водотоками (Karr, 1981). Использование метода в рамках проведения долговременного мониторинга нашло свое широкое применение в природоохранных ведомствах США, Новой Зеландии (Gernes, Helgen, 1999; Joy, Death, 2001 и др.), в странах Западной Европы, а также в российских исследованиях, например, при изучении водно-болотных угодий Волго-Ахтубинской поймы (Клинкова и др., 2010). Авторы пришли к выводу, что полученные результаты апробации метода могут служить как для выделения состояния системы по принципу норма-патология, так и для более детальной оценки – «очень хорошо/хорошо/ удовлетворительно/неудовлетворительно».

В странах Европейского Сообщества и в отечественных исследованиях широко используются для биоиндикационных целей различные показатели сообществ макрозообентоса, что позволяет проводить сравнение значимости и чувствительности большого числа предлагаемых и используемых метрик для возможной оценки воздействие факторов среды на состояние водных экосистем (Руководство по гидробиологическому.., 1992; Семенченко, 2004; Семенченко, Мороз, 2005; Шитиков и др., 2005; Биоиндикация экологического.., 2007; Безматерных, 2007). Обычно в этом случае определяется видовое богатство или число видов в определенных таксономических группах и соответствующие индексы видового разнообразия, а также видовая структура, выраженная через соотношение численности отдельных групп, и функциональная структура (например, выделение групп по типу питания) (Семенченко, 2004).

Выполненные нами многолетние комплексные исследования донных сообществ позволили провести научно-обоснованную экологическую классификацию равнинных рек Волжского бассейна (Биоиндикация экологического.., 2007). Это дало нам возможность выполнить сравнительный анализ биоиндикационных показателей, индексов и метрик, предлагаемых для использования при определении качества воды Европейской Рамочной Водной Директивой (Directive of the European.., 2000). Наиболее интересным объектом таких сравнительных исследований стали малые реки лесостепной зоны Высокого Заволжья, относящиеся к предгорным водотокам, которые длительное время исследуются нами в рамках проведения экологического мониторинга (Зинченко, 2008). Мы попытались выявить индикаторную значимость, то есть чувствительность ряда индексов и метрик в различных створах рек, впадающих в р. Сок: Байтуган, Камышла, Сосновка, оценка биоразнообразия донных сообществ которых дана ранее (Зинченко, Головатюк, 2000; 2007а,б,в) и в подразделе 2.2.4.

Отбор проб бентоса осуществлялся летом (июнь, июль) на 8 створах рек Байтуган (длина – 20 км, средний уклон – 7,7‰), Камышла (длина – 20 км, средний уклон – 7,9‰), Сосновка (длина – 16 км, средний уклон – 5,2‰), характеризующихся сходными гидроморфологическими и гидрологическими условиями (рис. 53; табл. 70).

Выделение эталонных створов, в качестве которых рассматривали створы 1-4 на р. Байтуган, выполнено согласно требованиям Рамочной Водной Директивы (Directive of the European.., 2000; Семенченко, 2004). Для сравнения с эталонными створами, были выбраны участки на реках Камышла (створы 5, 6) и Сосновка (створы 7, 8) (рис. 53), находящиеся под воздействием сельскохозяйственных стоков с полей и ферм (пашни, сенокосы и пастбища занимают до 40% площади бассейна р. Камышла) (Зинченко, Головатюк, 2000).

Отбор образцов макрозообентоса (1987, 1991 и 2006 гг.) с каменисто-гравийных и других субстратов производили гидробиологическим скребком с длиной ножа 20 см, протягивая их на расстояние 1 м вверх по течению (3 повторности) и пробоотборниками. Качественные пробы отбирали путем смыва организмов с камней с учетом площади их про-

екции и расчета количества собранных организмов на 1м^2 площади дна. Образцы грунта промывали через капроновый газ с размером ячеи 300-310 мкм. Моллюсков фиксировали 70%-ным спиртом, остальных беспозвоночных – 4%-ным раствором формальдегида. Камеральную обработку собранного материала с последующим микроскопированием проводили согласно общепринятым методам (Методика изучения.., 1975).



Рис. 53. Карта-схема размещения створов на реках Байтуган, Камышла, Сосновка

Для сравнительного анализа информативности используемых методов были рассчитаны различные индексы и показатели, в том числе предлагаемые Европейской Рамочной Водной Директивой стран Европейского Сообщества (ЕРВД ЕС): ***EPT* Index, Trent Biotic Index**, **Biological Monitoring Working Party**, ***Dip/N***, ***Ch/N***, ***T/N*** и традиционно используемые в отечественных гидробиологических исследованиях: **олигохетный индекс Пареле (*D_1*)**, **хирономидный индекс Балушкиной (*K*)**, **индекс видового разнообразия Шеннона (*H*)**.

Таблица 70. Гидрологические и морфометрические показатели сравниваемых малых рек

Показатель (в момент отбора пробы)	Реки и номера створов							
	Байтуган				Камышла		Сосновка	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ширина, м	0,2 1,2	0,8 1,7	2,5 3,5	3,0 6,0	2,0 3,5	2,0 3,0	2,0 3,0	1,5 2,0
Глубина, м	0,05 0,2	0,1 0,2	0,2 0,7	0,2 1,0	0,5 1,0	0,2 0,7	0,2 0,3	0,2 0,3
Скорость течения, м/с	0,2 1,2	0,3 1,1	0,3 0,7	0,2 1,4	0,5 0,6	0,1 0,6	0,25 0,3	0,25 0,3
Прозрачность, см	5 10	10 20	35 40	20 30	30 35	20 30	10 20	10 15
Т, °С	12,6 14,0	12,9 13,0	10,8 12,2	16,9 17,1	11,5 12,0	9,0 12,1	13,9 14,0	18,0 18,5
Тип донных отложений	щ+грп, гр+га гл+сп+гр, си+сп+гр +ро	щ, гр, си+сп+гр +ро	гр, гл+си	щ, сп+гл+гр,	щ, си	щ, гр+сп+си	гр+си	си+ гр, си+ро

Примечание: над чертой – минимальные значения, под чертой – максимальные; щ – щебенистый грунт; га – галечный грунт, гр – гравийный грунт, грп – гравелистый песок, кп – крупный песок, сп – песок средней крупности, си – серый ил, чи – черный ил, гл – глина, ро – растительные остатки.

В системе мониторинга лотических систем стран ЕС широко применяется ***EPT* Index** (Plafkin et al., 1989), основанный на видовом богатстве наиболее чувствительных к загрязнению представителей отрядов Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera. Для расчета

индекса на каждом из выделенных створов подсчитывается в отдельно взятых пробах, а затем суммируется число видов из отрядов Ephemeroptera, Trichoptera и Plecoptera.

Биотический индекс р. Трент (Trent Biotic Index, ***TBI***) (Woodowiiss, 1964) основан на соотношении количества видов, устойчивых и неустойчивых к загрязнению. При увеличении степени загрязнения рек из состава донной фауны в определенной последовательности выпадают наиболее уязвимые группы гидробинтов: веснянки → поденки → ручейники → ракообразные. В таблицах, представленных в литературных источниках, дается балльная оценка качества воды в зависимости от общего числа видов в пробе и обнаруженных «индикаторных» групп (Шитиков и др., 2005).

Индекс рабочей группы биологического мониторинга (Biological Monitoring Working Party, ***BMWP***) основан на балльной оценке подсемейств донных беспозвоночных, в соответствии с чем имеет пять градаций качества вод (Leeds-Harrison et al., 1996). Является основой для мониторинга текучих вод Великобритании и Австралии и широко используется в странах ЕС. Ниже приводятся табл. 71 и 72 для расчета индекса и градации качества вод. Значение индекса ***BMWP*** получается в результате сложения расчетных значений полученных баллов.

Таблица 71. Таблица для расчета Biological Monitoring Working Party Index (по: Семенченко, 2004)

Таксоны	Семейства	Баллы
Ephemeroptera	Siphlonuridae, Heptageniidae, Leptophlebiidae, Ephemerellidae, Potamanthidae, Ephemeridae	10
Plecoptera	Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Perlidae, Chloroperlidae	
Heteroptera	Aphelocheiridae	
Trichoptera	Phryganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae, Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae	
Decapoda	Astacidae	8
Odonata	Lestidae, Agriidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeschnidae, Corduliidae, Libellulidae	
Trichoptera	Psychomyiidae, Philopotamidae	
Ephemeroptera	Caenidae	7
Plecoptera	Nemouridae	
Trichoptera	Rhyacophilidae, Polycentropodinae, Limnephilidae	
Mollusca	Neritidae, Viviparidae, Ancylidae	6
Trichoptera	Hydroptilidae	
Mollusca	Unionidae	
Amphipoda	Corophiidae, Gammaridae	
Odonata	Platycnemididae, Coenagrionidae	
Heteroptera	Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Notonectidae, Pleidae, Corixidae	5
Coleoptera	Haliplidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Gyrinidae, Hydrophilidae, Clambidae, Helodidae, Dryopidae, Elmidae, Chrysomelidae, Curculionidae	
Trichoptera	Hydropsychidae	
Diptera	Tipulidae	
Diptera	Simuliidae	
Triclada	Planariidae, Dendrocoelida	
Ephemeroptera	Baetidae	4
Megaloptera	Sialidae	
Hirudinea	Piscicolidae	
Mollusca	Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae	3
Mollusca	Planorbidae	
Mollusca	Sphaeriidae	
Hirudinea	Glossiphoniidae, Hirudinidae, Erpobdellidae	
Isopoda	Asellidae	
Diptera	Chironomidae	2
Oligochaeta (класс целиком)		1

Таблица 72. Соответствие диапазона величин индекса *BMWP* и качества воды

Диапазон значений индекса	Качество воды
>150	Исключительное
101-150	Очень хорошее
51-100	Хорошее
26-50	Невысокое
<25	Плохое

Индекс средних значений таксонов (Average Score Per Taxon, ***ASPT***) (Leeds-Harrison et al., 1996) является производным от ***BMWP*** и рассчитывается по формуле:

ASPT* = *BMWP / число обнаруженных таксономических групп,

где ***BMWP*** – рассчитанное значение индекса рабочей группы биологического мониторинга.

Индекс **ASPT** имеет 7 градаций качества воды (табл. 73). Цель введения индекса – уменьшить вклад случайных таксономических групп, обнаруженных в таксонах с высокой балльной оценкой.

Таблица 73. Соответствие диапазона величин индекса *ASPT* и качества воды

Диапазон значений ASPT	Качество воды	Рейтинг
5+	Прекрасное	7
4,5-4,9	Очень хорошее	6
4,1-4,4	Хорошее	5
3,6-4,0	Посредственное	4
3,1-3,5	Скорее плохое	3
2,1-3,0	Плохое	2
0-2,0	Очень плохое	1

Кроме индексов, предлагаемых ЕРВД ЕС, были также рассчитаны метрики, основанные на соотношении численностей различных таксономических групп макрозообентоса: ***Dip*/*N***, ***Ch*/*N***, ***T*/*N***, где ***Dip*** – численность личинок двукрылых, ***Ch*** – численность личинок хирономид, ***T*** – численность личинок трибы Tanytarsini, ***N*** – общая численность макрозообентоса на створах рек Байтуган, Камышла и Сосновка.

Олигохетный индекс Пареле (*D_1*) основан на соотношении численности олигохет и суммарной численности макрозообентоса (Гидробиологический режим.., 1981).

$$D_1 = N \text{ олигохет}/N \text{ общая},$$

где ***N*** – численность, экз./м^2.

Индекс широко используется в практике гидробиологического анализа при исследовании сообществ макрозообентоса в реках с высокой скоростью течения и хорошей аэрацией.

Хирономидный индекс Балушкиной (*K*) (Балушкина, 1987) широко используется для определения качества воды в отечественных исследованиях и других странах СНГ. Основан на соотношении численности различных подсемейств хирономид. Индекс вычисляется по формуле:

$$K = (б_t + 0.5б_{ch}) / б_o,$$

где $б_t$, $б_{ch}$ и $б_o$ – смещенные относительные численности отдельных подсемейств хирономид: $б_t$ - Tanypodinae, $б_{ch}$ – Chironomidae, $б_o$ – Orthocladiinae и Diamesinae; $б = N + 10$, где ***N*** – относительная численность особей всех видов данного подсемейства в процентах от общей численности особей всех хирономид (Шитиков и др., 2005).

Индекс видового разнообразия Шеннона (***H***) (Shannon, 1948), отражающий сложность структурной организации сообществ бентоса, вычисляли по формуле

$$H = \sum n_i / N \cdot \log_2 n_i / N,$$

где $\boldsymbol{H}$ – разнообразие в битах на индивидуум, $\boldsymbol{n_i}$ – численность $\boldsymbol{i}$-го вида, $\boldsymbol{N}$ – суммарная численность всех видов; $\boldsymbol{N} = \Sigma\, \boldsymbol{n_i}$.

При оценке качества воды с помощью индекса видового разнообразия Шеннона использовали градацию чистоты вод, предлагаемую В.А. Яковлевым (Яковлев, 1988).

Для выбора наиболее информативных показателей рассчитывали коэффициенты вариации ($\boldsymbol{C_v}$) индексов и оценивали статистическую значимость различий по *t*-критерию Стьюдента. Статистическая обработка данных выполнена с использованием стандартного пакета STATISTICA 6.0 и программы PAST - Palaeontological Statistics (ver. 1,7).

Исследования макрозообентоса на эталонных створах р. Байтуган (июнь 2006 г.) показали, что число видов бентоса изменяется от 28 до 40, достигая наибольших показателей на створе 3 (табл. 74). Численность и биомасса макрозообентоса находятся в пределах 6,27-68,8 тыс. экз./м^2 и 13,2-142,3 г/м^2 соответственно. Преобладающими по численности на всех участках реки являются личинки хирономид (до 57% от суммарной численности бентоса) и поденок (до 45%) (рис. 54). Основу биомассы бентоса составляют личинки поденок (до 62% от суммарной биомассы бентоса), хирономид (до 59,7%) и ручейников (до 59%). Доля чувствительных к загрязнению видов (Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera) изменяется на эталонных створах в диапазоне 25-45% от общей численности макрозообентоса (рис. 54).

Таблица 74. Структурные показатели макрозообентоса малых рек

Показатель	Река и номер створа							
	Байтуган				Камышла		Сосновка	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Число видов	35	28	40	29	25	27	20	25
Численность, тыс. экз./м^2	45,8	15,8	6,3	68,8	3,4	9,3	1,4	10,7
Биомасса, г/м^2	142,3	45,9	13,2	35,7	3,8	59,3	2,9	13,4
Численность (Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera), тыс. экз./м^2	20,6	6,0	1,6	24,3	1,9	0,1	0,1	0,4

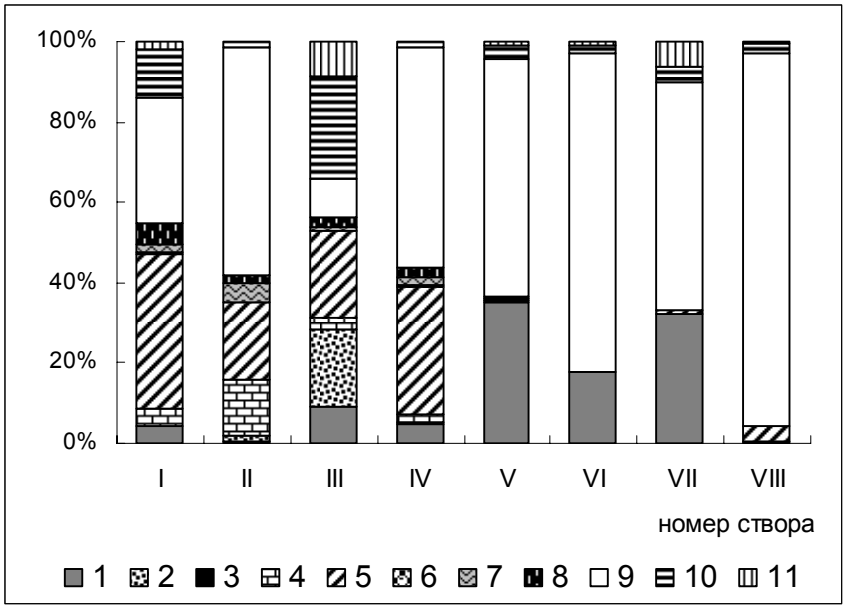


Рис. 54. Соотношение численности таксономических групп макрозообентоса на створах рек Байтуган (I-IV), Камышла (V-VI) и Сосновка (VII-VIII): 1 – Oligochaeta; 2 – Mollusca; 3 – Crustacea; 4 – Plecoptera; 5 – Ephemeroptera; 6 – Hemiptera; 7 – Trichoptera;8 – Coleoptera; 9 – Chironomidae; 10 – прочие Diptera; 11 – прочие (Hirudinea, Hydrachnidia, Aranei)

По сравнению с эталонными створами р. Байтуган были выявлены значимые различия в структуре макрозообентоса створов рек Камышла и Сосновка. Так, фаунистическое богатство бентоса снижается до 20-27 видов, а численность и биомасса не превышают 10,7 тыс. экз./м^2 и 59,3 г/м^2 соответственно.

Основу численности и биомассы донных сообществ загрязненных рек составляют личинки хирономид (до 90% от суммарной численности и суммарной биомассы бентоса) и олигохеты (до 35% и 21% соответственно) (рис. 54). Резко снижается доля оксифильных и реофильных видов из отрядов Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera, составляя 0,1-4% от общей численности бентоса (рис. 54).

Полученные структурные показатели сообществ макрозообентоса легли в основу расчета ряда метрик и индексов, результаты которых приводятся ниже.

В наших исследованиях на примере малых предгорных рек величины индекса ***EPT*** на эталонных створах р. Байтуган изменялись от 7 до 15, а в створах рек Камышла и Сосновка они не превышали 2, что свидетельствует о загрязнении этих водотоков (рис. 55). Наиболее массовыми в эталонных условиях были олигосапробные веснянки *Amphinemura standfussi* и *Capnia bifrons* и поденки *Baetis* gr. *Rhodani* и *Ephemerella ignita*. Величины индекса, рассчитанные нами для эталонных створов, сопоставимы с данными, полученными для заповедных территорий рек Беларуси и ряда экорегионов Европы, где сумма числа видов трех отрядов водных насекомых в эталонных условиях составляет 13-15, что свидетельствует о высоком качестве воды р. Байтуган.

Рассчитанные показатели ***TBI*** представлены на рис. 56. Как видно, высокое качество воды (I-II классы качества) характерно для эталонных створов – вода «очень чистая»-«чистая» (8-10 баллов). Значения показателя ***TBI*** в створах рек Камышла и Сосновка изменялись в пределах 6-8 баллов, что соответствует II-III классам – вода «чистая»-«умеренно загрязненная» (рис. 56, табл. 75).

Использование индекса ***BMWP*** показало, что его значения на эталонных створах соответствуют 85-126 баллам, что характеризует качество воды как «хорошее» и «очень хорошее». Показатели индекса ***BMWP***, рассчитанные для створов рек Камышла и Сосновка (рис. 57, табл. 75), изменялись в широком диапазоне: от 53 баллов («хорошее» качество воды) до 23 баллов («плохое»).

Согласно расчетам индекса ***ASPT*****,** на эталонных створах 1, 2, 4 его значения характеризуют качество воды как «прекрасное», изменяясь в пределах 5,5-7,6 баллов, а на створе 3 – как «скорее плохое» (3,4 балла). В реках Камышла и Сосновка (рис. 57) показатели индекса оценивают качество воды на створе 5 как «очень хорошее» (4,4 балла), на створах 6 и 7 – как «скорее плохое» (3,3-3,4 балла), а на створе 8 – как «прекрасное» (6,1 балла). В целом индекс ***ASPT*** в градиенте загрязнения изменялся в соответствии с оценками качества воды, рассчитанными с помощью показателя ***BMWP***.

Значения индекса D_1 на всех эталонных створах не превышали 9%, что позволяет оценить воду как «очень чистая» (I класс качества). На участках рек, находящихся под воздействием сельскохозяйственных стоков (реки Камышла, Сосновка), разброс показателей был существенным: от 0,1% – вода «очень чистая» до 35% – «умеренно загрязненная» (рис. 58, табл. 75). Как нам представляется, применение этого индекса для предгорных рек приводит к искаженным результатам. Это обусловлено тем, что состав олигохет (даже если их численность высока) не может служить обязательным показателем загрязнения вод из-за преобладания в быстротоках представителей семейства Naididae, ряд видов которых, например *Pristinella rosea*, требовательны к качеству воды.

Рассчитанные значения индекса ***K*** в створах малых рек изменялись незначительно, находясь в диапазоне 0,12-0,35, и характеризовали воду как «чистая». Исключение составил створ VIII на р. Сосновка (рис. 58), где показатели индекса оценивали воду как «умеренно загрязненная» (***K*** = 5,63). Следует отметить, что данные расчета индекса ***K*** не согласуются с результатами, полученными при расчете вышеперечисленных индексов. Соотношения численности толерантных видов хирономид и численности ортокладиин, как высоко чувствительных видов, в предгорных умеренно загрязненных реках имеют априори сходные значения в силу особенностей обитания практически на всех створах фитореофильных и оксифильных видов на твердых субстратах.

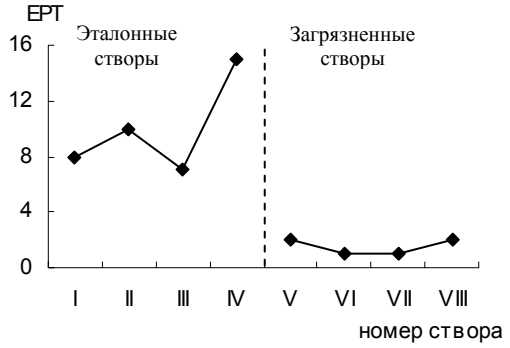


Рис. 55. Изменение значений индекса ***EPT*** в малых реках Байтуган

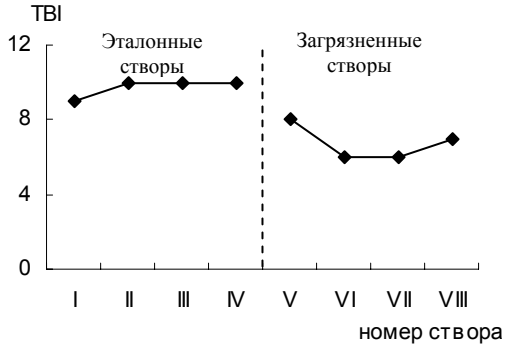


Рис. 56. Изменение значений индекса ***TBI***

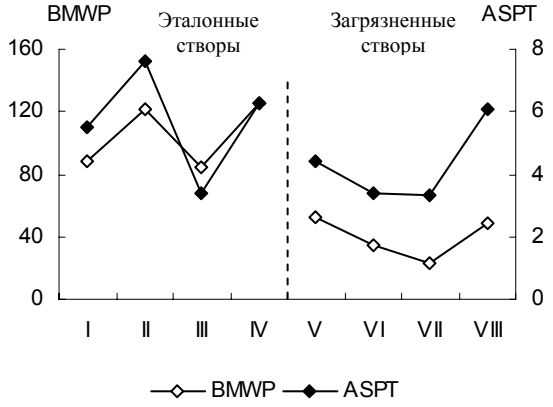


Рис. 57. Изменение значений индексов ***BMWP*** и ***ASPT***

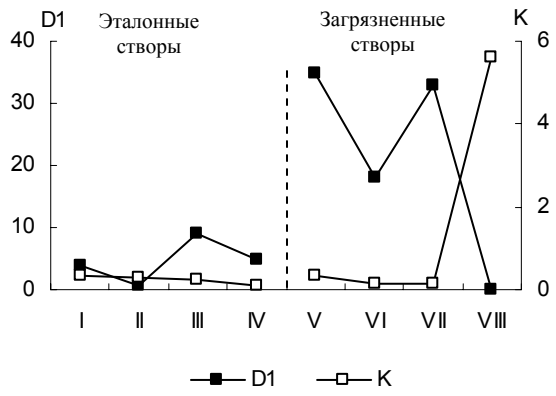


Рис. 58. Изменение индексов D_1 и ***K***

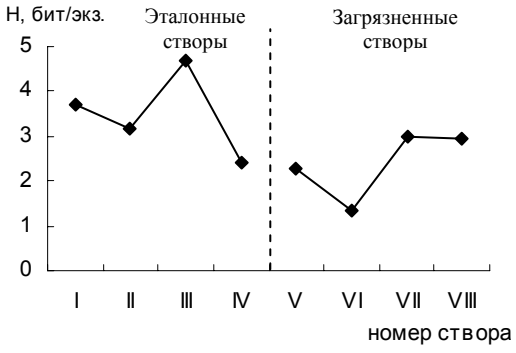


Рис. 59. Изменение индекса Шеннона (***H***)

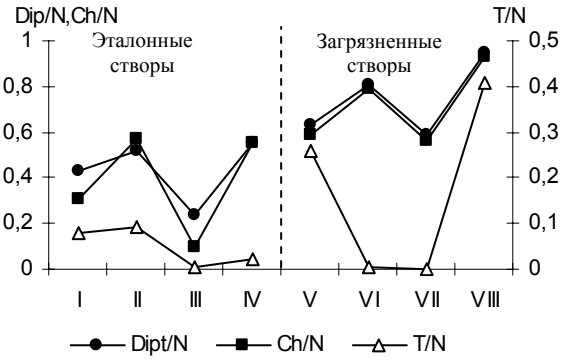


Рис. 60. Изменение показателей ***Dip/N***; ***Ch/N***; **Tanytarsyni/*N***

Как видно на рис. 59, рассчитанные нами значения индекса ***H*** на эталонных створах находились в пределах 2,4-4,7 бит/экз., характеризуя воду в диапазоне «умеренно загрязненная» – «очень чистая». На участках рек Камышла и Сосновка значения индекса изменялись от 1,4 до 3,0 бит./экз., т.е. качество воды менялось от «загрязненной» до «чистой» (рис. 59; табл. 75).

Расчет индекса ***ETO***, включающего фаунистическое богатство отрядов Ephemeroptera, Trichoptera и Odonata, на малых реках лесостепной зоны Самарской области не выявил его результативности для оценки качества воды в связи с отсутствием в летних пробах личинок стрекоз.

При применении различных метрик, используемых в странах ЕС (***Dip/N***; ***Ch/N***; **Tanytarsyni/*N***), были получены следующие результаты: показатели соотношений ***Dip/N*** и ***Ch/N*** в створах возрастают с увеличением степени загрязнения рек, имея близкие значения и сходную динамику (рис. 60). Последнее объясняется тем, что среди двукрылых насекомых по

численности преобладают личинки хирономид. Использование показателя ***T/N*** для оценки качества воды рек достаточно проблематично в силу ряда причин, таких как неопределенная индикаторная значимость псаммофильных видов и локальность обитания на песчаных грунтах в створах рек Камышла и Сосновка.

Оценки динамики качества воды для различных створов малых рек, представленные в табл. 75, показывают, что большинство индексов дают сходные значения для одного и того же створа. Отличия отмечены для индексов ***K*** и D_1, которые на створах 6, 7 и 8 завышали качество воды, для индекса ***ASPT***, изменявшегося не согласованно с остальными на створах III и VIII и индекса ***H***, занижавшего качество воды на створе IV.

Таблица 75. Оценка качества воды створов малых рек по различным биотическим индексам

Индекс	Номер створа							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
BMWP	хорошее	очень хорошее	хорошее	очень хорошее	хорошее	невысокое	плохое	невысокое
ASPT	прекрасное	прекрасное	скорее плохое	прекрасное	очень хорошее	скорее плохое	скорее плохое	прекрасное
TBI	чистая	очень чистая	очень чистая	очень чистая	чистая	умеренно загрязнен.	умеренно загрязнен.	умеренно загрязнен.
H	чистая	чистая	очень чистая	умеренно загрязнен.	чистая	загрязненная	умеренно загрязнен.	умеренно загрязнен.
D_1	очень чистая	очень чистая	очень чистая	очень чистая	умеренно загрязнен.	чистая	умеренно загрязнен.	очень чистая
K	чистая	чистая	чистая	чистая	чистая	чистая	чистая	умеренно загрязнен.

Результаты статистического анализа для различных индексов приведены нами в табл. 76.

Как видно из данных табл., значения апробированных индексов, рассчитанных для эталонных створов, разделились на три группы в соответствии с их коэффициентом вариации. Наибольшим постоянством в «эталонных» условиях характеризуются индексы ***TBI*** (C_v = 5,1), ***H*** (C_v = 18,6) и ***BMWP*** (C_v = 20,7). Определенная изменчивость отмечена для следующих индексов: ***ASPT*** (C_v = 30,9), ***Dipt/N*** (C_v = 32,2), ***EPT*** (C_v = 35,6), ***K*** (C_v = 38). Максимальные значения коэффициентов вариации свойственны метрике ***Ch/N*** (C_v = 58,4) и величинам олигохетного индекса D_1 (C_v = 74,4).

Таблица 76. Результаты статистического анализа применения биотических индексов на створах малых рек

Индекс	C_v	*t*	*p*
EPT	35,6	5,1	0,01
Dipt/N	32,2	-7,2	0,006
Ch/N	58,4	-6,3	0,008
BMWP	20,7	5,7	0,01
ASPT	30,9	1,46	0,24
TBI	5,1	4,24	0,02
H	18,6	2,4	0,1
D_1	74,4	-2,2	0,11
K	38	-0,94	0,41

Примечание: C_v – коэффициент вариации для эталонных створов (I-IV); *t* – критерий Стьюдента; *p* – вероятность нулевой гипотезы при сравнении эталонных створов (I-IV) с загрязненными (V-VIII)]

Различия в оценке качества воды между эталонными и загрязненными створами являются достоверными или значимыми (при $p < 0,05$) для рассчитанных значений следующих индексов и показателей: ***Dipt/N***, ***Ch/N***, ***EPT***, ***BMWP***, ***TBI*** (табл. 76).

Сходство показателей индексов и метрик на изменение качества воды отражает корреляционная матрица этих связей. Величины коэффициентов корреляции индексов, использованных нами для их сравнительной оценки в практике гидробиологического мониторинга, показали, что максимальные значения коэффициентов корреляции (табл. 77) получены для следующих пар индексов: ***EPT-BMWP*** (0,96), ***BMWP-TBI*** (0,86), ***EPT-TBI*** (0,81), ***TBI-H*** (0,77), ***EPT-H*** (0,74), ***BMWP-H*** (0,76), ***BMWP-ASPT*** (0,72), ***Ch/N-Dipt/N*** (0,98).

Таблица 77. Величины коэффициентов корреляции между различными индексами и метриками

Показатели	***EPT***	***Dipt/N***	***Ch/N***	***BMWP***	***ASPT***	***TBI***	***H***	***D_1***	***K***
EPT	1,00								
Dipt/N	-0,51	1,00							
Ch/N	-0,41	**0,98**	1,00						
BMWP	**0,96**	-0,51	-0,4	1,00					
ASPT	0,62	0,11	0,22	**0,72**	1,00				
TBI	**0,81**	**-0,69**	-0,62	**0,86**	0,33	1,00			
H	**0,74**	-0,54	-0,54	**0,76**	0,31	**0,77**	1,00		
D1	-0,6	0,06	0,04	-0,66	**-0,69**	-0,43	0,31	1,00	
K	-0,3	0,65	0,58	-0,24	0,29	-0,56	-0,56	-0,37	1,00
T/N	-0,33	0,61	0,55	-0,2	0,34	-0,48	-0,03	-0,11	0,83

Примечание: выделены значения, достоверные при $p < 0,05$.

Следует отметить, что связь между показателями ***Ch/N-Dipt/N*** объясняется, как указывалось выше, преобладанием среди двукрылых насекомых личинок хирономид, тогда как с другими индексами достоверных корреляционных связей этих показателей не выявлено. Наиболее низкие значения коэффициентов корреляции отмечены для индексов ***D_1***, ***K*** и показателя ***T/N***. Исходя из результатов корреляционного анализа, индексы ***EPT***, ***BMWP***, ***TBI*** и ***H*** показывают согласованную реакцию и могут быть в ряде случаев взаимозаменяемыми или дополнять друг друга.

Таким образом, проведенный сравнительный анализ различных индексов позволил установить, что наиболее надежными методами для оценки качества вод малых рек бассейна Нижней Волги являются: Биотический индекс Вудивисса (***TBI***); ***EPT*** Index и показатель Biological Monitoring Working Party (***BMWP***). Значения индексов, полученные для р. Байтуган, могут быть использованы в качестве эталонных для последующих расчетов мультиметрических показателей Ecological Quality Ratio (***EQR)*** типологически сходных рек.

Можно констатировать, что дальнейшая разработка и применение комплексных индикаторов в рамках проведения мониторинговых исследований для оценки кумулятивных эффектов воздействия на экосистемы с использованием современных информационных технологий, дадут возможность оценить те границы, за пределами которых наступят необратимые изменения. Более широкое использование методов (с региональной адаптацией) позволит дать оценку состояния поверхностных вод и получить достоверную информацию о тенденциях изменения водных экосистем и их отдельных компонентов, что является основой для разработки мер по рациональному использованию и охране водных ресурсов.

2.2.6. Виды-вселенцы макрозообентоса устьевого участка реки Сок

Современный видовой состав гидробионтов претерпел существенные изменения в связи с зарегулированием стока р. Волги и созданием каскада водохранилищ, а в ряде случаев с сильным промышленным загрязнением водоемов (Завьялов и др., 2007). Трансформация бентоценозов реки после ее зарегулирования выражается в изменении видового состава, связанного с распространением видов инвазионного комплекса. Наиболее восприимчивы к инвазиям искусственные экосистемы – зарегулированные водотоки и водохранилища, а также участки, характеризующиеся изменчивыми абиотическими условиями – эстуарии и устья рек.

На основании результатов исследований 1991-2010 гг. дается анализ состава, распределения видов-вселенцев, их количественная оценка в сообществах макрозообентоса и нектобентоса устьевого участка р. Сок.

Число вселенцев в водоемы Волжского бассейна увеличивается как в результате естественного процесса, так и в результате антропогенных преобразований. В составе донных сообществ макрозообентоса (с учетом организмов нектобентоса) устьевого участка р. Сок в 1995 г. доля вселенцев составляла до 44% от общей численности «мягкого» бентоса, а в 2009 г. – до 96% (рис. 61 и 62; см. вклейку 1).

Число видов-вселенцев, зарегистрированных нами в устьевом участке р. Сок (по материалам многолетних исследований за 1991-2010 гг.) составляет 21 вид и представлено, в основном, комплексом понто-каспийской фауны (табл. 78). Наиболее разнообразно представлены ракообразные – 16 видов (гаммариды – 8, мизиды – 4, кумовые – 3, корофииды – 1), а также двустворчатые и брюхоногие моллюски – 3 вида. Также обнаружены по 1 виду пиявок и полихет. Следует отметить, что число вселенцев, зарегистрированных в Саратовском водохранилище в 1971-2010 гг. (с учетом архивных материалов, собственных данных и литературных сведений), составляет 43 вида.

В зоне подпора Саратовского водохранилища (район устьевого участка р. Сок, на расстоянии более 40 км до с. Красный Яр) были исследованы песчано-илистые биотопы. В зарослях макрофитов на глубинах до 2 м отмечены многочисленные амфиподы *Dikerogammarus caspius*, *D. haemobaphes*, *Shablogammarus chablensis.*

В 1991-2000 гг. наблюдалась невысокая инвазионная активность видов-вселенцев из водохранилища в реку. Зарегистрированы единичные находки пиявок *Caspiobdella fadejewi* на заиленных песках открытых мелководий, а также мизид *Paramysis intermedia*, частота встречаемости которых в последнее десятилетие заметно снизилась (Kurina, Zinchenko, 2010). В июне 1995 г. в значительных количествах на илисто-песчаных грунтах впервые обнаружен кумовый рачок *Schizorhynchus bilamellatus*, представитель понто-каспийской фауны.

В 2009-2010 гг. роль видов вселенцев, представителей кумовых ракообразных также невелика в общей численности и биомассе; отмечен 2 вида – *Pterocuma sowinskyi* и *Pseudocuma cercaroides*. Бокоплав *Chaetogammarus warpachowskyi* к 2009 г. распространился по всей акватории Саратовского водохранилища, где, например, в зоне открытых мелководий, его частота встречаемости достигала 58%. Вместе с тем численность и биомасса рачка оставалась низкой и составляла в среднем по водохранилищу 82 экз./м^2 и 0,084 г/м^2 соответственно. В Саратовском водохранилище отмечено совместное обитание гаммарид *C. warpachowskyi,* S. *chablensis* и мизид *Katamysis warpachowskyi*, что наблюдается нами и в донных сообществах устьевого участка р. Сок. В прибрежных зарослях макрофитов отмечен максимум численности *S. chablensis* – 2775 экз./м^2, тогда как *C. warpachowskyi* не обнаружен.

В 2009-2010 гг. на песчаных мелководьях нижнего течения р. Сок нами впервые были обнаружены гаммариды *Stenogammarus dzjubani*, ранее распространившиеся по Куйбышевскому и Саратовскому водохранилищам. Первоначально этот вид обозначался в литературе как *Stenogammarus macrurus*, с которым *S. dzjubani* имеет некоторое внешнее сходство. Этот рачок был впервые описан Ф.Д. Мордухай-Болтовским и С.М. Ляховым (1972), и в настоящее время его упоминание в литературе чрезвычайно ограничено в силу возможной неверной идентификации.

Таблица 78. Состав, численность и биомасса видов-вселенцев в сообществах макрозообентоса устьевого участка р. Сок (1991-2010 гг.)

Таксон	N, экз./м^2 (max)	B, г/м^2 (max)
Hirudinea		
Caspiobdella fadejewi	20	0,004
Polychaeta		
Hypania invalida (Grube, 1860)	300	1,943
Crustacea		
Dikerogammarus haemobaphes (Eichwald, 1841)	2825	11,275
D. caspius (Pallas, 1771)	80	1,120
Obesogammarus obesus (G.O. Sars,1896)	50	0,580
Shablogammarus chablensis (Carausu, 1943)	2775	4,490
Stenogammarus dzjubani Mordukhay-Boltovskoy et Ljakhov, 1972	420	0,196
S. compressus (G.O. Sars, 1894)	78	0,068
Chaetogammarus warpachowskyi (G.O. Sars, 1894)	4	0,004
Pontogammarus maeoticus (Sowinsky, 1894)	13	0,150
Chelicorophium curvispinum G.O. Sars, 1895	1000	0,800
Paramysis (*Metamysis*) *ullskyi* Czerniavsky, 1882	24	0,242
P. (*M.*) *lacustris* (Czerniavsky, 1882)	82	0,308
P. (*M.*) *intermedia* (Czerniavsky, 1882)	2	0,010
Katamysis warpachowskyi G.O. Sars, 1893	2	0,006
Pterocuma sowinskyi (G.O. Sars, 1894)	14	0,019
Pseudocuma cercaroides G.O. Sars, 1894	26	0,014
Schizorhynchus bilamellatus (G.O. Sars, 1894)	2040	0,860
Mollusca		
Dreissena bugensis (Andrusov, 1897)	62	18,070
D. polymorpha (Pallas, 1771)	256	29,984
Lithoglyphus naticoides (Preiffer,1828)	200	6,856

Что касается многощетинковых червей, то полихета *H. invalida* (Grube, 1860) в устьевом участке р. Сок впервые была обнаружена в 1977 г. на разных грунтах (ил, глина, песок) в количестве от 50 до 90 экз./м^2 (Дзюбан, Слободчиков, 1980). В настоящее время *H. invalida* достигла высокой популяционной плотности практически на всех биотопах Саратовского водохранилища, предпочитая заиленные и илистые участки русла, а также песчаные грунты открытых мелководий. Это мелкий червь с длиной тела в исходном ареале до 11 мм (Анненкова, 1930). Максимальный размер особей данного вида в исследуемом районе достигает 18 мм. На русловых и пойменных участках водохранилища полихета составляет более 35% от общей биомассы мягкого бентоса, однако в устье р. Сок *H. invalida* встречается редко (частота встречаемости – 12%), локально образуя значительные скопления до 300 экз./м^2.

Соотношение количественных показателей моллюсков *Dreissena bugensis* и *D. polymorpha* в устьевом участке р. Сок отличается от таковых в водохранилищах. В 1990-х годах в Саратовском водохранилище моллюск *Dreissena bugensis* существенно уступал по распространению и количеству виду-вселенцу *D. polymorpha,* составляя лишь 5-15% от его численности.

Полученные нами данные за июнь 2006-2009 гг. свидетельствуют о том, что *D. bugensis* преобладает по численности и биомассе во всех районах Саратовского водохранилища с доминированием в глубоководных участках (8-15 м), тогда как в зоне подпора водами водохранилища численность моллюска *D. polymorpha* была в 4 раза выше численности *D. bugensis.* При этом размер особей дрейссены полиморфной не превышал 1 см (рис. 63).

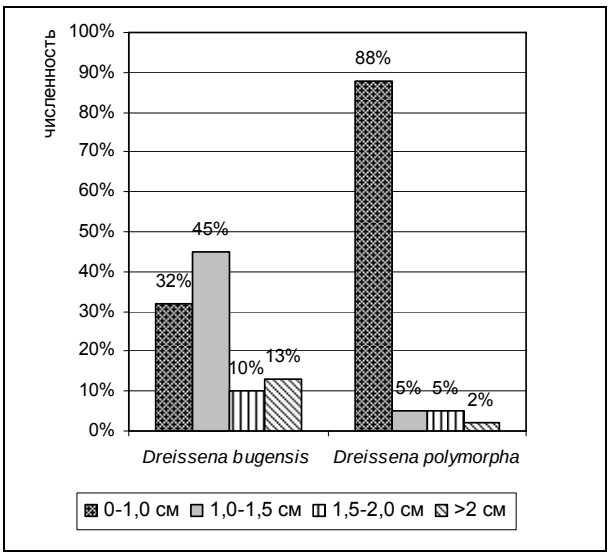


Рис. 63. Размерный состав *D. bugensis* и *D. polymorpha* (высота раковины, см) в устьевом участке р. Сок (июнь, 2009 г.)

Брюхоногий моллюск *Lithoglyphus naticoides*, представитель понто-азовской фауны, стал широко распространенным видом в прибрежной зоне Саратовского водохранилища. Максимальная высота раковины моллюска в дельте Волги достигала 9-10,2 мм (Пирогов, 1972). Максимум высоты раковины *L. naticoides* в наших сборах составил 7,7 мм, однако большая часть моллюсков имела длину тела 4-6 мм. Максимальные размерно-весовые показатели характерны для участков с заиленным песком и глубиной 4-6 м.

Отмеченные выше виды-вселенцы по способу питания относятся преимущественно к эврифагам, что способствует их натурализации в водохранилищах Волжского бассейна. Их расселение и выживание обусловлено эврибионтностью к различным факторам среды (биотопы, температура). Населяющие устьевой участок р. Сок виды-вселенцы представлены солоноватоводными и пресноводными видами, адаптированными к постоянным изменениям уровня, проточности, гидрохимическому режиму. Вместе с тем в нижнем течении р. Сок нами не отмечены виды, ранее зарегистрированные в других притоках Саратовского водохранилища: *Pontogammarus robustoides – Archaeobdella esmonti*, *Jaera sarsi*, *Theodoxus astrachanicus*, *Potamothrix vejdovskyi* – устье р. Самара; *Pterocuma rostrata* – устье р. Чапаевка, Малый Иргиз (Головатюк, Зинченко, 2006).

Наибольшей инвазионной активностью среди различных систематических групп макрозообентоса обладают ракообразные и моллюски, доля которых в фауне чужеродных видов беспозвоночных составляет 76% и 14% соответственно.

2.2.7. Современное состояние ихтиофауны реки Сок

Первые исследования, посвященные ихтиофауне р. Сок и ее некоторых притоков, были выполнены Ф.К. Гавленой в 1966-1967 гг., когда водоток еще не находился в под воздействием подпорных вод Саратовского водохранилища (Гавлена, 1971). В дальнейшем некоторые материалы по ихтиофауне реки содержались в Кадастре рыб Самарской области (Евланов и др. 1998).

В настоящее время, более чем за 40-летний период проведения первых исследований, на водосборе реки произошли определенные изменения. После образования Саратовского водохранилища низовье реки находится в подпоре водохранилища, были возведены переливные плотины (с. Красный Яр, пос. Сергиевск), которые в определенной степени нарушили пути миграции рыб.

В период с 1996 по 2010 г. нами в ходе маршрутных экспедиций по отдельным участкам реки проводилось не только уточнение видового состава ихтиофауны, но и оценка качества водной среды на эффективность естественного воспроизводства рыб.

В табл. 79 содержаться данные, которые характеризуют изменение видового состава рыб р. Сок. В настоящее время можно говорить, что каких-либо существенных изменений в структуре рыбного населения реки не обнаружено.

Таблица 79. Видовой состав рыб р. Сок

Вид	1966-1967 гг. (Гавлена, 1971)	1996-2010 гг. (наши данные)	Вид	1966-1967 гг. (Гавлена, 1971)	1996-2010 гг. (наши данные)
Белуга	(+)	-	Быстрянка	+	+
Осетр	(+)	-	Густера	+	+
Стерлядь	+	(+)	Синец	(+)	(+)
Севрюга	(+)	-	Лещ	+	+
Белорыбица	(+)	-	Белоглазка	(+)	+
Щука	+	+	Чехонь	+	+
Плотва	+	+	Карась	+	+
Елец	+	+	Сазан	(+)	+
Голавль	+	+	Голец	+	+
Язь	+	+	Щиповка	+	+
Гольян	+	+	Вьюн	+	+
Красноперка	+	+	Сом	(+)	+
Белый амур	(+)	(+)	Налим	+	+
Пестрый толстолобик	-	(+)	Судак	+	+
Жерех	+	+	Берш	+	+
Верховка	+	+	Окунь	+	+
Подуст	+	+	Ерш	+	+
Пескарь обыкновенный	+	+	Бычок-кругляк	(+)	(+)
Пескарь белоперый	+	-	Черноморская пухлощекая игла-рыба	-	(+)
Уклея	+	+	Всего видов:	37	35

Примечание: (+) – рыбы, пойманные в низовьях реки до с. Красный Яр.

Изменение числа видов рыб с 37 (1967 г.) до 35 (2010 г.) связано с рядом факторов. Во-первых, в результате перекрытия р. Волга в районе г. Балаково и образования Саратовского водохранилища из ихтиофауны р. Сок исчезли проходные виды рыб: белуга, осетр, севрюга, белорыбица, которые для нереста поднимались в реку. Стерлядь, ранее поднимавшаяся по реке, в настоящее время в единичных экземплярах встречается только до с. Красный Яр. Во-вторых, в среднем течении реки нами отмечены сазан и сом, которые ранее (Гавлена, 1971) отмечались только в низовьях р. Сок. В-третьих, в низовьях р. Сок встречаются пестрый толстолобик, который в ходе акклиматизационных работ выпускался в Саратовское водохранилище и черноморская пухлощекая игла-рыба, которая самостоятельно проникла в водоем.

Относительная стабильность видового состава рыб среднего и верхнего течения р. Сок связана с наличием переливной плотины у с. Красный Яр, которая стала естественной преградой для проникновения чужеродных видов рыб в реку.

Следует отметить, что нами не подтверждено обитание белоперого пескаря в самой р. Сок, что ранее отмечал Ф.К. Гавлена (1971). Вполне вероятно, что этот вид или крайне редок, или обитает на тех биотопах, облов которых стандартными орудиями лова[1] затруднен.

В настоящее время в р. Сок обитают виды рыб, занесенные в Красную книгу Самарской области (2009): белоперый пескарь, подуст волжский, быстрянка (верхнее и среднее течение реки) и стерлядь (нижнее течение). В среднем течении самой реки нами отмечены малочисленные в настоящее время сом и сазан, который ранее не регистрировались. В среднем и нижнем течении реки массовыми видами являются плотва и уклея (табл. 80), что подтвер-

[1] Ф.К. Гавлена (1971) отмечает, что отлов рыбы осуществлялся при помощи электроловного аппарата «Пеликан», где не удавалось обловить рыбы никакими другими орудиями лова.

ждается обнаружением и молоди этих видов рыб. Однако следует отметить, что плотность скоплений молоди в среднем течении р. Сок существенно ниже, чем в низовьях водотока.

В настоящее время участок нижнего течения р. Сок - с. Красный Яр, является практически единственным местом, где нерестятся все водохранилищные виды рыб. В результате многолетних исследований молоди рыб с основных нерестилищ низовья р. Сок, нами обнаружены личинки и мальки 7 видов: плотвы, красноперки, язя, густеры, уклеи, леща и синца (табл. 81). Встречаемость плотвы, краснопёрки и уклеи носит массовый характер (доля этих рыб в пробах варьирует от 24,84% до 29,85%), что является доказательством использования устья р. Сок данными видами рыб в качестве основных нерестилищ.

Таблица 80. Встречаемость молоди рыб на разных участках р. Сок (2007 г.)

Вид рыб	Район исследования		Число особей, экз.
	Среднее течение (с. Сергиевск)	Устьевой участок (до с. Красный Яр)	
Плотва	64,71±8,32	44,90±2,45	207
Краснопёрка	–	27,43±2,20	113
Язь	–	4,85±1,06	20
Густера	–	5,58±1,13	23
Уклея	32,35±8,14	13,35±1,68	66
Лещ	–	3,88±0,95	16
Щука	2,94±2,94	–	1

У личинок и мальков рыб из нижнего течения р. Сок нами отмечены многочисленные морфологические аберрации, которые являются результатом влияния различных загрязнителей на процесс эмбрионального развития икры (Евланов и др., 1999). В табл. 82 представлены данные по встречаемости аномальных особей среди личинок и мальков обнаруженных видов рыб за весь период исследования.

Среди личинок разных видов рыб (без учета синца, встреченного единично) доля особей с различными аберрациями варьировала от 19,77% (у язя) до 35,19% (у густеры) (табл. 83). Материалы этой таблицы (табл. 83) свидетельствуют о том, что отмечается четкая тенденция к уменьшению встречаемости аномальных особей от ранних стадий личиночного развития (C_1, C_2 и D_1 - предличинки и ранние личинки) к поздним стадиям (F, G и M - поздние личинки и мальки-сеголетки). Если на стадиях C_1 и C_2 доля аномальных личинок среди рыб всех видов составила 48,71% и 33,48% соответственно, то к стадии F количество таких особей составило всего 7,78%, а на стадиях G и M молоди рыб с нарушениями внешней морфологии не обнаружено вовсе. Эти изменения обусловлены гибелью личинок, имеющих морфологические аберрации.

Таблица 81. Встречаемость различных видов молоди рыб в устьевом участке р. Сок в отдельные годы

Вид	Год				
	1996 г.	1997 г.	2007 г.	2009 г.	2010 г.
Плотва	-	40,5±4,1	44,9±2,4	82,3±3,7	96,9±2,1
Краснопёрка	37,3±1,8	32,1±3,9	27,4±2.2	4,9±2,1	-
Язь	16,2±1,4	25,8±3,6	4,8±1,1	1,9±1,3	-
Густера	4,1±0,7	1,4±0,9	5,5±1,1	0,9±0,6	-
Уклея	41,3±1,8	-	13,3±1,6	9,8±2,9	-
Лещ	0,8±0,3	-	3,8±0,9	-	3,1±2,1
Синец	0,2±0,1	-	-	-	-
Число особей всех видов, встреченных в отдельные годы, экз.	694	143	412	102	66

Таблица 82. Встречаемость личинок и мальков рыб с различными аномалиями в нижнем течении р. Сок в отдельные годы

Доля аномальных особей, %	Год			
	1996 г.	1997 г.	2007 г.	2009 г.
	23,20±1,60	17,48±3,19	34,95±2,35	41,18±4,90

Мы считаем, что под влиянием различных поллютантов нарушается нормальный ход эмбриогенеза и возникают морфологические аберрации, которые служат причиной гибели личинок рыб. До взрослого состояния доживают только те особи, у которых морфологические аномалии не встречались или они не оказывали заметного влияния на жизнедеятельность особей.

За весь период исследования у личинок и мальков рыб из устьевой части р. Сок нами было зафиксировано 37 видов нарушений внешней морфологии относящихся к 7 основным группам (табл. 84). Преобладающими нарушениями являлись: нарушения пигментации тела, пигментированные образования около одного или обоих глаз, нарушение видоспецифичного пигментного рисунка и пигментомы в основании хвостового плавника. Причем данные аномалии доминировали как в отдельные годы (рис. 64), так и за весь период исследования (рис. 65). Второй по частоте встречаемости являлась группа нарушений морфологии глаз, включающая в себя такие аномалии, как недоразвитие одного или обоих глазных яблок, отсутствие одного или обоих глазных яблок, новообразования внутри одного или обоих глазных яблок, два хрусталика в одном глазном яблоке, смещение зрительной оси глазного яблока, раздвоение одного глазного яблока, нестандартная локализация третьего недоразвитого глазного яблока. Аномалии остальных 5 групп обнаруживаются значительно реже, в некоторых случаях единично. Однако в отдельные годы соотношение аномалий основных 7 групп может варьировать в некоторой степени. Так, в 1997 г. нарушения морфологии глаз и нарушения морфологии головы преобладали над нарушениями пигментации тела (рис. 64).

Проведенные нами исследования позволяют говорить о том, что за 40-летний период времени видовой состав рыб р. Сок изменился незначительно. В преобладающем числе эти изменения обусловлены образованием Саратовского водохранилища. Стабильный состав рыбного населения реки от проникновения чужеродных видов рыб связан с перекрытием водотока переливной плотиной у с. Красный Яр.

Качество водных масс нижнего течения р. Сок является неудовлетворительным для процессов естественного воспроизводства рыб. Вода в низовьях реки (с. Красный Яр) в последние годы постоянно характеризуется как III «Б» класс качества – «очень загрязненная вода». Характерными загрязняющими веществами являлись ХПК, легко окисляемые органические вещества, азот аммонийный, азот нитритный, соединения меди. Число превышений норматива по данным ингредиентам составило 60-100% (Государственный доклад.., 2009). Личинки и молодь рыб имеют многочисленные морфологические аномалии. В результате снижается численность ежегодного пополнения рыб и, соответственно, уменьшается промысловый запас рыбы в верхней части Саратовского водохранилища.

Таблица 83. Встречаемость личинок и мальков с аномалиями на разных стадиях развития рыб в устьевом участке р. Сок (1996-2010 гг.)

Вид рыб	Встречаемость аномальных особей на разных стадиях развития личинок и мальков рыб, %								Доля аномальных особей, %
	C_1	C_2	D_1	D_2	E	F	G	M*	
Плотва	40,54±8,18	25,94±3,50	33,33±10,54	20,69±7,66	31,82±4,99	7,14±3,47	0,00	0,00	25,83±2,22
Краснопёрка	64,29±9,22	42,20±3,77	16,58±2,60	1 из 2	0,00	–	–	–	29,79±2,23
Язь	1 из 1	28,57±7,75	15,13±3,30	25,00±11,18	1 из 1	–	–	–	19,77±3,05
Густера	2 из 6	41,18±8,57	21,43±11,38	–**	–	–	–	–	35,19±6,56
Уклея	2 из 5	27,66±6,60	27,94±2,89	0,00	0,00	8,82±4,04	0,00	0,00	24,72±2,30
Лещ	0 из 1	1 из 7	23,08±12,16	2 из 2	0 из 1	–	–	–	25,00±9,03
Доля аномальных особей, %	48,71±5,70	33,48±4,92	21,61±1,65	25,00±6,06	26,13±4,19	7,78±2,84	0,00	0,00	100 %

Примечание:* М – мальки-сеголетки;** - молодь рыб не обнаружена.

Таблица 84. Встречаемость различных групп аномалий (в %) у молоди рыб на разных стадиях развития в устьевом участке р. Сок (1996-2010 гг.)

Группа морфологических аномалий	Стадия развития молоди рыб						Доля аномалий в общем количестве нарушений морфологии, %
	C_1	C_2	D_1	D_2	E	F	
1. Аномалии строения глаз	1,76±0,55	9,67±1,24	8,08±1,14	1,05±0,43	3,16±0,73	0,53±0,30	24,25±1,80
2. Аномалии строения головы	0,70±0,35	4,04±0,83	4,22±0,84	0,53±0,30	0,53±0,30	0,18±0,18	10,19±1,27
3. Аномалии строения плавников	0,35±0,25	1,76±0,55	1,58±0,52	–*	0,35±0,25	0,35±0,25	4,39±0,86
4. Аномалии туловищного отдела	0,53±0,30	1,93±0,58	0,53±0,30	1,05±0,43	1,41±0,49	0,18±0,18	5,63±0,97
5. Аномалии пигментации тела	5,98±0,99	21,27±1,72	1,58±0,52	14,59±1,48	2,11±0,60	0,70±0,35	46,22±2,09
6. Непигментированные опухоли	0,35±0,25	3,16±0,73	0,53±0,30	2,81±0,69	0,18±0,18	–	7,03±1,07
7. Аномалии развития миотомов	-	0,53±0,30	0,18±0,18	0,35±0,25	1,05±0,43	0,18±0,18	2,28±0,63
Доля аномалий всех групп в общем количестве зарегистрированных нарушений морфологии, %	9,67±1,24	42,36±2,07	16,70±1,56	20,39±1,69	8,79±1,19	2,11±0,60	100 %

Примечание: *– аномалий развития у молоди рыб не обнаружено.

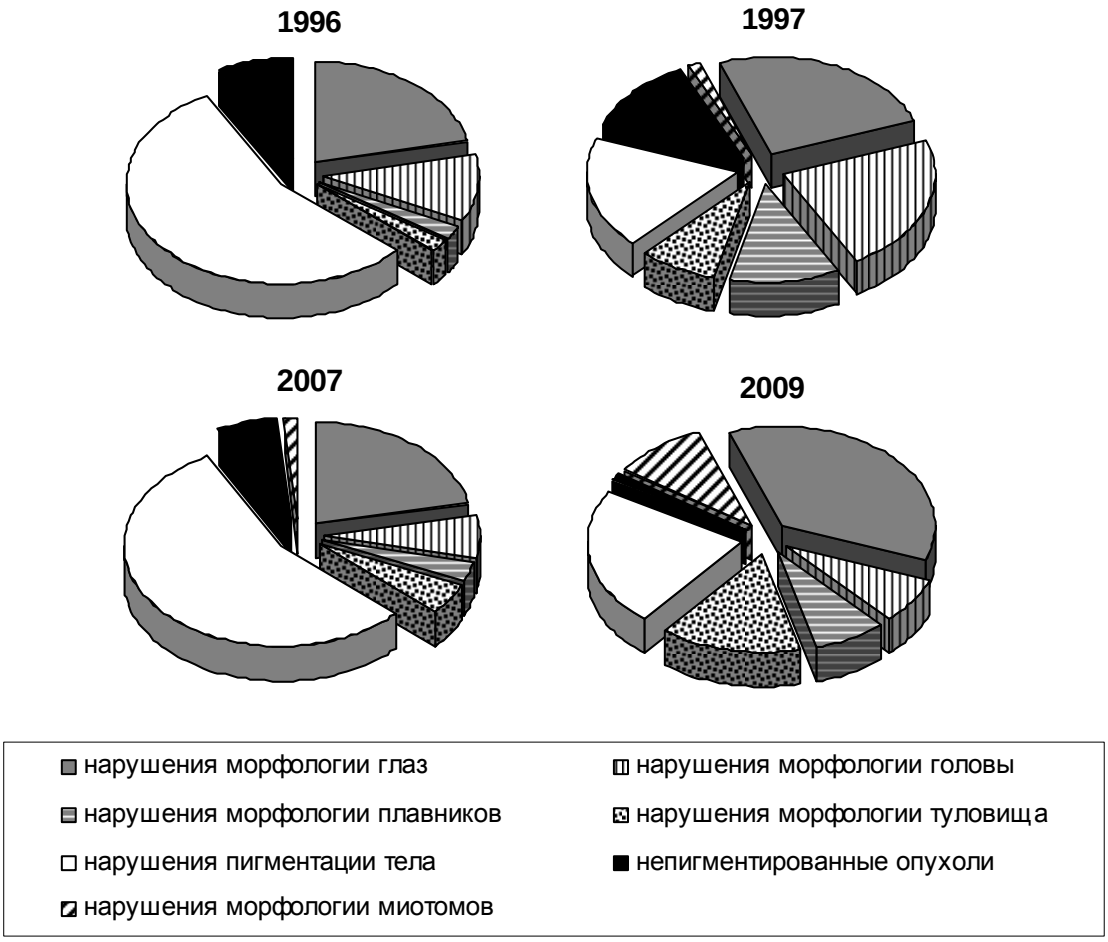


Рис. 64. Встречаемость различных групп морфологических аномалий у молоди рыб из устьевого участка р. Сок в отдельные годы

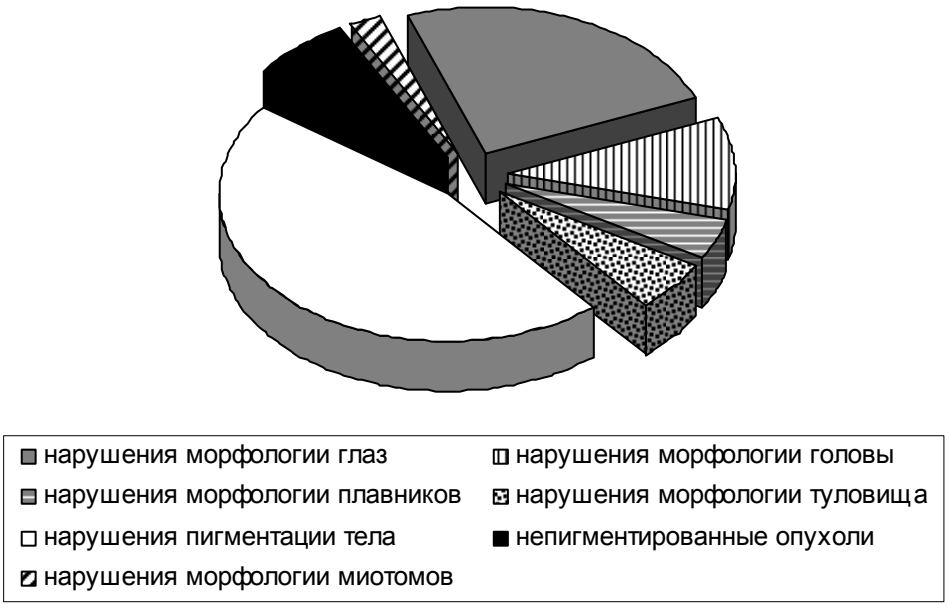


Рис. 65. Встречаемость различных групп морфологических аномалий у молоди рыб из устьевого участка р. Сок за весь период исследования

2.2.8. Гельминтофауна низших наземных позвоночных (Amphibia, Reptilia) поймы реки Сок

В период с 1998 по 2007 г. в ходе планомерного и комплексного изучения гельминтов позвоночных животных Самарской области были исследованы фоновые виды амфибий и рептилий поймы р. Сок (Красноярский район). Районы полевых сборов располагались вблизи сел Грачевка и Чубовка в среднем течении р. Сок и между селами Старый Буян и Заглядовка в пойме реки Кондурчи.

В доагрикультурный период территорию поймы занимали ковыльно-разнотравные степи, чередовавшиеся с лесными массивами (Ильина, Устинова, 1990). В настоящее время природные ландшафты района подверглись антропогенной трансформации. Многие степные территории распаханы под сельскохозяйственные угодья. Сохранились участки лесов, представленные липовыми дубняками, сосняками, вязовниками. В пойме р. Сок расположено множество озер и стариц в разной степени зарастания и окруженных пойменными лесами; на косогорах, склонах оврагов сохранились участки ковыльных степей, а в пойме – разнотравные, осоково-ситниковые, злаково-разнотравные луга. Антропогенное воздействие выражено в расположении на территории Сокской поймы сел и многочисленных дачных кооперативов; велико влияние рекреации.

Фауна типична для биоценозов средней полосы России. Земноводные представлены озерной и остромордой лягушками, краснобрюхой жерлянкой, зеленой жабой, обыкновенной чесночницей. Из рептилий на территории поймы обитают медянка, обыкновенные гадюка и уж, прыткая и живородящая ящерицы, веретеница.

Всего методом полного гельминтологического вскрытия (Скрябин, 1928) обследовано 120 экз. 4 видов бесхвостых амфибий и 55 экз. 3 видов рептилий: *Rana ridibunda* (50 экз.), *R. arvalis* (37), *Pelobates fuscus* (15), *Bombina bombina* (18), *Natrix natrix* (27), *Lacerta agilis* (16) и *Zootoca vivipara* (12). Сбор, фиксация и обработка материала выполнялись общепринятыми методами (Быховская-Павловская, 1985) с учетом дополнений для изучения личиночных стадий трематод (Судариков, 1965; Судариков, Шигин, 1965). При определении гельминтов использовали сводки В.П. Шарпило (1976), К.М. Рыжикова с соавторами (1980) и В.Е. Сударикова с соавторами (2002).

Земноводные (Amphibia)

Всего у бесхвостых земноводных Сокской поймы обнаружено 30 видов гельминтов, относящихся к 3 систематическим группам: Trematoda – 25 (в том числе 1 вид на стадии мезо– и 10 – метацеркарий), Nematoda – 4 и Hirudinea – 1 (табл. 85). Из них 20 видов являются широко специфичными полигостальными паразитами амфибий в целом; 8 – специфичными для представителей рода *Rana*. Видов паразитов, узко специфичных к какому–либо из хозяев, не найдено.

Для 15 видов гельминтов земноводные служат окончательными хозяевами; для 10 – дополнительными, вставочными и/или резервуарными; для 4 – амфиксеническими. В роли случайного хозяина амфибии (краснобрюхая жерлянка) указываются для пиявки *Helobdella stagnalis* Linnaeus, 1758.

Наиболее богата гельминтофауна у озерной лягушки (25 видов); менее разнообразна – у остромордой лягушки (14); обеднена – у обыкновенной чесночницы (8) и краснобрюхой жерлянки (7). Характер состава паразитов и уровень инвазии ими амфибий определяются спецификой экологической ниши хозяев, в разной степени связанных с водной и наземной средами обитания, а также биотопической приуроченностью, образом жизни, размерами тела и широтой спектра питания.

Озерная лягушка *Rana ridibunda* (Pallas, 1771)

Вскрыто 50 экз. амфибий из р. Кондурча, пойменных озер и стариц, расположенных между селами Старый Буян и Заглядовка. Обнаружено 25 видов гельминтов, относящихся к двум классам: Trematoda – 21 (в том числе 9 только на стадии метацеркарий) и Nematoda – 4 (табл. 85).

Доминирующей группой в составе гельминтов являются трематоды, отличающиеся разнообразием имагинальных и личиночных стадий. Длительная связь лягушек с водоемами создает оптимальные условия для заражения маритами трематод, которых они получают через пищевые объекты (личинок и имаго насекомых, моллюсков, ракообразных, сеголеток амфибий) – их вторых промежуточных хозяев. Для многих видов трематод эту роль играют личинки стрекоз (Краснолобова, Илюшина, 1991); для *Prosotocus confusus*, *Pleurogenes claviger* и *Pleurogenoides medians* таковыми являются также жуки, ручейники, поденки, вислокрылки, бокоплавы, изоподы (Шевченко, Вергун, 1960; Хотеновский, 1970; Grabda-Kazubska, 1971); для *P. medians* и *Pneumonoeces variegatus* – личинки двукрылых (Скрябин, Антипин, 1962); для *Opisthioglyphe ranae* – гастроподы (Добровольский, 1965). Инвазия видом *Diplodiscus subclavatus* происходит через инцистированных в воде адолескариев (Шульц, Гвоздев, 1972); *Gorgoderina vitelliloba* и *O. ranae* – через головастиков и сеголетков земноводных своего (каннибализм) или других видов (Добровольский, 1965).

Менее разнообразна группа личиночных форм трематод, паразитирующих на стадии метацеркарий и использующих лягушек в качестве дополнительных и/или резервуарных хозяев. Заражение ими осуществляется в воде в результате активного (перкутанного) или пассивного (перорального) проникновения церкарий в организм амфибий с последующим инцистированием. В дальнейшем окончательными хозяевами *Strigea strigis* являются совы; *Strigea sphaerula* – врановые; *Strigea falconis* и *Neodiplostomum spathoides* – дневные хищные птицы (Судариков, 1960а, 1962). Трематода *Codonocephalus urnigerus* достигает половозрелости у выпей (Niewiadomska, 1964); *Tylodelphys excavata* – у цапель и поганок (Судариков, 1960б). Метацеркарии *Paralepoderma cloacicola*, *Astiotrema monticelli* и *Encyclometra colubrimurorum* завершают свое развитие в организме ужей и гадюк (Шевченко, Вергун, 1960; Добровольский, 1969).

Нематоды озерной лягушки представлены имагинальными формами из группы геогельминтов. Инвазия видом *Rhabdias bufonis* происходит в результате активного перкутанного проникновения из почвы инвазионных личинок и последующей миграцией с лимфо- и кровотоком к месту локализации (Hartwich, 1975); остальными видами – путем пассивного перорального переноса при случайном контакте хозяина с инвазионными личинками на суше или в воде.

Зараженность разными видами гельминтов озерной лягушки в исследуемом районе существенно варьирует. Наибольшее распространение имеют трематоды *P. claviger* (92%; 39,30 экз.) и *P. confusus* (80%; 19,46 экз.). Специфичной чертой гельминтофауны данного хозяина является несильная в целом зараженность большинством видов трематод на фоне относительно высокой инвазии нематодой *R. bufonis* (62%; 7,14 экз.), распространенной у сухопутных видов амфибий. Причиной этому служит обедненная реофильная фауна водных беспозвоночных в условиях реки Кондурчи и, как следствие, частые посещения лягушками суши в поисках корма.

Остромордая лягушка *Rana arvalis* (Nilsson, 1842)

Исследовано 37 экз. животных из поймы р. Кондурча, отловленных в окрестностях с. Старый Буян и Заглядовка. Зарегистрировано 14 видов гельминтов из двух систематических групп: Trematoda – 11 (включая 1 – на стадии мезо- и 6 – метацеркарий) и Nematoda – 3 (табл. 85).

В числе гельминтов преобладают трематоды, представленные личиночными и реже – имагинальными стадиями. Видовой состав последних существенно отличается от

других видов амфибий. Такие трематоды, как *Haplometra cylindracea*, *Dolichosaccus rastellus* и *Pleurogenes intermedius*, отмечены на территории Самарской области только у остромордой лягушки. Заражение первыми двумя из них происходит через головастиков и сеголеток амфибий (Добровольский, Райхель, 1973; Grabda-Kazubska, 1970); жизненный цикл последнего неизвестен. Поступление трематод начинается уже на стадии головастиков и возобновляется всякий раз во время посещения хозяином водоемов. В отличие от личиночных форм инвазия маритами весной ограничена «брачным постом» остромордой лягушки (Кузьмин, 1999). Таким образом, трематоды, в особенности их имагинальные стадии, являются редкими паразитами этого вида амфибий. Зараженность ими хозяина в среднем невысока; наиболее часто встречаются метацеркарии *N. spathoides* (62,16%; 48,22 экз.), что указывает на особую значимость остромордой лягушки в циркуляции паразитов хищных птиц в пойме реки Кондурча.

Нематоды принадлежат к группе геогельминтов, паразитирующих на имагинальной стадии. При этом наиболее часто из них встречается вид *Oswaldocruzia filiformis* (94,59%; 5,76 экз.), инвазионные личинки которого пребывают в почве. Это отражает активный наземный образ жизни амфибии в условиях влажных стаций.

Обыкновенная чесночница *Pelobates fuscus* (Laurenti, 1768)

Вскрыто 15 экз. земноводных из поймы р. Сок вблизи села Раевка. Обнаружено 8 видов гельминтов, относящихся к классу Trematoda (включая 1 на стадии мезо- и 6 – метацеркарий) (табл. 85).

Состав гельминтов чесночницы образован, главным образом, личиночными стадиями трематод. Зараженность отдельными их видами, как, например, метацеркариями *P. cloacicola* (100%; 179,53 экз.), *N. spathoides* (86,67%; 59,87 экз.), *A. monticelli* (80,00%; 65,80 экз.) и мезоцеркариями *Alaria alata* (80.00%; 59,27 экз.) очень высока. С одной стороны, это связано с продолжительным (2-4,5 мес.) личиночным периодом развития и зимовкой головастиков в стоячих водоемах (Кузьмин, 1999), вследствие чего амфибии имеют больше возможности заражаться церкариями трематод. С другой стороны, разнообразие личиночных видов трематод и высокая зараженность ими свидетельствует о значительной роли чесночницы как второго промежуточного, вставочного и/или резервуарного хозяина в циркуляции паразитов змей, хищных птиц, псовых и куньих млекопитающих в условиях Сокской поймы. Особое значение имеет чесночница в передаче метацеркарий *S. strigis, S. sphaerula, N. spathoides* и мезоцеркарий *A. alata* их резервуарным хозяевам. Для первых к таковым относятся рептилии (обыкновенный и водяной ужи, обыкновенная и степная гадюки, болотная черепаха) и реже – амфибии (озерная лягушка); для последнего – также совы, хищные и врановые птицы, грызуны, насекомоядные и куньи млекопитающие (Рыжиков и др., 1980).

Имагинальные стадии трематод представлены единственным видом – *P. variegatus*, и, несмотря на высокую экстенсивность инвазии им (66,67%; 1,56 экз.) в пойме р. Сок, в целом являются редкими паразитами этого вида амфибий. Заражение другими видами трематод возможно только весной в период пребывания хозяев в водоемах, но не происходит по причине «брачного поста» хозяев (Кузьмин, 1999).

Нематоды у данного вида амфибий в пойме не обнаружены. Вероятно, это связано с экологическими особенностями местности (сухость стаций обитания) и полуроющего образа жизни, при котором чесночница значительную часть суток проводит, зарывшись в грунт на глубину до 1 м, где затруднен контакт с личинками нематод.

Краснобрюхая жерлянка *Bombina bombina* (Linnaeus, 1761)

Исследовано 18 экз. амфибий из поймы р. Кондурча в окрестностях с. Заглядовка. Найдено 7 видов гельминтов, относящихся к двум классам: Trematoda – 6 (в их числе 3 – на стадии метацеркарий) и Hirudinea – 1 (табл. 85).

Гельминтофауна краснобрюхой жерлянки сформирована поровну имагинальными и личиночными формами трематод, что связано с водным образом жизни земноводного и специфичным, вследствие небольших размеров тела, спектром питания. Маритами трематод она заражается, употребляя в пищу водных беспозвоночных (насекомые) и/или позвоночных (молодь амфибий) животных. Для *P. variegatus* таковыми являются личинки двукрылых (Скрябин, Антипин, 1962); для *G. vitelliloba* – головастики земноводных (Калабеков, 1976). Последнее указывает на наличие каннибализма в популяции хозяина, что подтверждают и другие литературные источники (Кузьмин, 1999). Из личиночных стадий трематод найдены метацеркарии *P. cloacicola*, *A. monticelli* и *T. excavata*, окончательными хозяевами которых для первых двух видов являются ужи (Шевченко, Вергун, 1960; Добровольский, 1969); для последнего – цапли и поганки (Судариков, 1960б). Большинство трематод краснобрюхой жерлянки принадлежат к числу редких паразитов данного хозяина, о чем свидетельствуют низкие значения экстенсивности инвазии и индекса обилия. Наиболее обычны трематоды *P. variegatus* (66,67%; 1,56 экз.) и *T. excavata*, larvae (70,59%; 1,89 экз.). Высокая встречаемость последнего указывает на важное значение жерлянок в качестве второго промежуточного хозяина в циркуляции паразитов околоводных птиц.

Находка пиявки *H. stagnalis* у краснобрюхой жерлянки можно расценивать как редкое проявление случайного или транзитного паразитизма в условиях совместного обитания их естественных хозяев (насекомых, брюхоногих моллюсков, пиявок, олигохет, ракообразных) и земноводных в одних водоемах (Лукин, 1977).

Пресмыкающиеся (Reptilia)

Обыкновенный уж *Natrix natrix* (Linnaeus, 1758)

Исследовано 27 экз. змей, отловленных в пойме р. Сок близ сел Грачевка и Чубовка. Обнаружено 15 видов гельминтов трех классов: Trematoda – 11 (среди которых преобладают имагинальные формы – 7 видов); остальные гельминты представлены Cestoda – 1 и Nematoda – 3 вида. Следует отметить, что большинство гельминтов (9 видов) являются специфичными паразитами рода ужей *Natrix*; 4 вида – широко специфичные для рептилий; 2 вида – случайные паразиты обыкновенного ужа.

Выявленный состав гельминтов находится в тесной взаимосвязи с образом жизни обыкновенного ужа, в частности с полуводным существованием и питанием бесхвостыми амфибиями, которые служат вторыми промежуточными, вставочными и/или резервуарными хозяевами личиночных стадий отдельных видов трематод.

Зараженность змеи специфичными видами трематод *Metaleptophallus gracillimus*, *Leptophallus nigrovenosus*, *Encyclometra colubrimurorum*, *Macrodera longicollis*, *Astiotrema monticelli*, *Telorchis assula* и цестодой *Ophiotaenia europaea* свидетельствует о питании остромордой, озерной лягушками и обыкновенной чесночницей, являющихся вторыми промежуточными хозяевами данных видов гельминтов (Шарпило, 1976; Судариков и др., 2002). По сведениям А.Г. Бакиева (1998), эти виды амфибий являются основными пищевыми объектами рептилии в нашем регионе. Обнаружение специфичного паразита земноводных трематоды *O. ranae*, указывает на значительное пребывание обыкновенного ужа на берегах водоемов и в прибрежных водах, где обитают промежуточные хозяева трематод – брюхоногие моллюски. Инвазия ужей *O. ranae* происходит при употреблении в пищу личинок и сеголетков озерной лягушки, которые вместе с гастроподами семейства Lymnaeidae играют роль вторых промежуточных хозяев паразита (Добровольский, 1965; Рыжиков и др., 1980).

Находка метацеркарий *S. strigis, S. sphaerula, Pharyngostomum cordatum* и мезоцеркарий *A. alata* свидетельствует, во-первых, о потреблении ужом амфибий, как вторых промежуточных, вставочных и/или резервуарных хозяев этих паразитов; во-вторых, о длительном пребывании змеи на мелководье, где церкарии этих гельминтов могут прони-

кать через покровы тела хозяина (Потехина, 1951; Судариков, 1959, 1960а,б; Судариков и др., 1991). С другой стороны, обыкновенный уж проводит много времени на увлажненных стациях, где перорально и/или перкутанно инвазируется личинками геонематод *Rhabdias fuscovenosus* и *Strongyloides mirzai* (Шарпило, 1976). Обнаружение личинок нематоды *Physaloptera clausa* указывает на возможное потребление насекомых (Шарпило, 1976), либо, что маловероятно, заражение происходит непосредственно из окружающей влажной среды.

В пойме р. Сок отмечаются относительно высокие показатели зараженности такими специфичными паразитами обыкновенного ужа, как трематоды *L. nigrovenosus, A. monticelli, T. assula* и нематода *S. mirzai*. Более того, зафиксирована повышенная степень инвазии метацеркариями *S. strigis, S. sphaerula* и мезоцеркариями *A. alata*. Относительно низкие показатели заражения в регионе отмечены для трематод *M. gracillimus*, *E. colubrimurorum*, *Ph. cordatum*, larvae и цестоды *O. europaea*, что может быть связано с малым разнообразием видов промежуточных и окончательных хозяев, их невысокой численностью или пищевыми предпочтениями змей в разных районах. Большинство случаев обнаружения паразитов с низкими показателями заражения и единичных находок гельминтов (*Ph. clausa,* larvae) приходятся на случайные виды.

Связи гельминтов обыкновенного ужа с животными разных систематических групп в регионе многообразны. Так, первыми промежуточными хозяевами большинства паразитов рептилии (трематод) выступают брюхоногие моллюски; в роли их вторых промежуточных хозяев известны бесхвостые амфибии. Обыкновенный уж является резервуарным хозяином личиночных стадий гельминтов и передает их далее по трофическим цепям хищным птицам и млекопитающим. Так, окончательными хозяевами трематоды *S. sphaerula* служат врановые (серая ворона, сорока); *S. strigis* завершает свое развитие в организме хищных птиц (сова, болотный лунь, орлан-белохвост) (Судариков, 1960а). Циркуляция трематоды *Ph. cordatum* протекает с участием псовых и кошачьих млекопитающих (Судариков и др., 1991); *A. alata* достигает половозрелости в представителях семейств псовых (енотовидная и домашняя собаки, лисица, волк) и куньих (американская норка) (Потехина, 1951; Судариков, 1959). Для нематоды *Ph. clausa* окончательными хозяевами являются ежи.

Определяющими факторами формирования гельминтофауны обыкновенного ужа являются образ жизни хозяев, биотопическая приуроченность и широта спектра питания. Так, видовое разнообразие состава гельминтов и высокие показатели зараженности ими объясняются околоводным образом жизни рептилии и питанием амфибиями – вторыми промежуточными, вставочными и/или резервуарными хозяевами большинства паразитов этого семейства змей.

Прыткая *Lacerta agilis* (Linnaeus, 1758) и живородящая *Zootoca vivipara* (Jacquin, 1787) ящерицы

Вскрыто 16 экз. прыткой и 12 экз. живородящей ящериц из поймы р. Сок между сел Грачевка и Чубовка, но гельминты обнаружены не были. Это может быть связано как с особенностями экологии рептилий этих районов (сухость стаций обитания), климатическими факторами какого-то конкретного года, так и с сильным антропогенным воздействием на биоценозы данного района. Для сравнения в других районах Самарской области у прыткой ящерицы зарегистрировано 10 видов паразитов: Trematoda – 5, Cestoda – 2 и Nematoda – 3; у живородящей ящерицы – 4: Trematoda – 2, Cestoda – 1 и Nematoda – 1 (Кириллов, 2000; Кириллов и др., 2001).

Итак, гельминтофауна амфибий (4 вида) и рептилий (3) поймы р. Сок и притоков насчитывает 38 видов гельминтов, относящихся к 4 классам: Cestoda – 1, Trematoda – 29, Nematoda – 7 и Hirudinea – 1. Состав гельминтов земноводных и пресмыкающихся в целом типичен для территории Среднего Поволжья. Особенность заключается в невысокой зараженности отдельных их видов имагинальными стадиями трематод. С одной стороны,

причина кроется в самóй природе малых рек, создающей неблагоприятные условия (течение, обедненная реофильная фауна беспозвоночных промежуточных хозяев) для развития и распространения свободноживущих и паразитических фаз гельминтов. С другой стороны, многообразие хищников, высокая численность амфибий и рептилий в пойменных биотопах обеспечивают видовое разнообразие гельминтофауны и обуславливают их широкое участие в качестве вторых промежуточных, вставочных и/или резервуарных хозяев в циркуляции паразитов птиц и млекопитающих по пути трофических связей.

Для существования и функционирования сообществ гельминтов необходимо наличие в экосистеме целого комплекса животных, являющихся промежуточными, окончательными и резервуарными хозяевами. Малейшие нарушения, вызванные человеческой деятельностью, ведут к смене условий среды обитания и приводят к изменению фауны беспозвоночных и позвоночных. Антропогенное влияние на природные экосистемы ведет к разрушению исторически сложившихся паразитарных систем и снижению видового разнообразия гельминтов. Постоянство видового состава сообщества гельминтов животных-хозяев служит своеобразным индикатором экологического гомеостаза в биоценозе. Любые изменения его и степени зараженности гельминтами отражают уровень антропогенной нагрузки. В качестве показателей деформации природных экосистем можно использовать качественный состав сообществ гельминтов животных-хозяев, показатели инвазии разными систематическими группами паразитов, индексы видового разнообразия.

Для оценки биоразнообразия гельминтов низших наземных позвоночных были проведены исследования их сообществ в разных районах Самарской области на примере паразитов обыкновенного ужа. Параллельно проводился анализ степени антропогенного влияния на природные экосистемы районов исследования (Кириллов, 2003, 2011). Комплексная оценка экологического состояния биоценозов проводилась с использованием следующих критериев.

1. *Общее количество видов паразитов.* Антропогенная нагрузка на природные экосистемы ведет к снижению видового разнообразия. Гельминтофауна амфибий и рептилий в пойме р. Сок составляет примерно 55% от общего числа паразитов низших наземных позвоночных Самарской области, в том числе включает ¾ фауны паразитов обыкновенного ужа и более ½ фауны паразитов озерной лягушки. Более того, 2 вида трематод остромордой лягушки – *Pleurogenes intermedius* Issaitchikow, 1926 и *Dolichosaccus rastellus* (Ollson, 1876), а также пиявка *Helobdella stagnalis* Linnaeus, 1758 от краснобрюхой жерлянки нигде кроме Сокской поймы более не были отмечены.

2. *Соотношение взрослых и личиночных форм паразитов в сообществе.* Антропогенные преобразования природной среды в первую очередь влияют на ларвальные стадии паразитов. Происходит снижение показателей заражения, либо выпадение их из состава сообщества гельминтов. Наличие в гельминтофауне обыкновенного ужа и озерной лягушки личиночных форм трематод с высокими показателями заражения (табл. 85 и 86) свидетельствует о ненарушенности естественных биоценозов в Сокской пойме.

3. *Встречаемость отдельных систематических групп паразитов* в сообществе гельминтов обыкновенного ужа, выраженная по типу: *Трематоды-Нематоды-Цестоды-Скребни* (Кириллов, Евланов 1998). Антропогенный пресс вызывает изменение исторически сложившихся отношений во встречаемости отдельных сочленов сообществ гельминтов; с другой стороны, ведет к упрощению структуры сообществ гельминтов за счет выпадения из нее отдельных систематических групп паразитов. В Сокской пойме это соотношение выражено следующим образом: *Трематоды-Нематоды-Цестоды*, что отражает в целом благополучную экологическую обстановку.

4. *Индексы видового разнообразия (индексы Шеннона, доминирования Бергера-Паркера, выровненности видов по обилию).* Снижение индекса Шеннона и одновременное увеличения индекса доминирования указывают на антропогенную нагрузку (Шпынов, 1998), и, напротив, при увеличении видового разнообразия повышаются показатели индекса Шеннона и выровненности видов по обилию, а величина индекса доминирования

Бергера-Паркера снижается. В Сокской пойме отмечены высокие показатели индексов Шеннона (1,78), выровненности видов по обилию (0,64) и низкое значение индекса доминирования Бергера-Паркера (0,39). По этим параметрам сообщества гельминтов обыкновенного ужа пойма р. Сок характеризуется минимальным уровнем антропопрессии (Кириллов, 2003, 2011).

Таблица 85. Гельминты бесхвостых амфибий (Amphibia, Anura) в пойме рек Сок и Кондурча

Гельминт	Пойма р. Сок	Пойма р. Кондурча		
	Обыкновенная чесночница	Озерная лягушка	Остромордая лягушка	Краснобрюхая жерлянка
Gorgodera pagenstecheri	–	10,0 (1-4) 0,18	–	–
Gorgoderina vitelliloba	–	32,00 (1-15) 1,42	–	33,33 (1-2) 0,05
Halipegus ovocaudatus	–	2,00 (1) 0,02	–	–
Haplometra cylindracea	–	–	5,41 (1-1) 0,05	–
Pneumonoeces variegatus	6,67 (1) 0,07	46,00 (1-30) 3,10	–	66,67 (1-6) 1,56
P. asper	–	4,00 (1-1) 0,04	–	–
Skrjabinoeces similis	–	38,00 (1-12) 1,20	–	–
Brandesia turgida	–	2,00 (4) 0,08	–	–
Prosotocus confusus	–	80,00 (1-91) 19,46	–	–
Pleurogenes claviger	–	92,00 (1-490) 39,30	–	–
P. intermedius	–	–	2,70 (4) 0,11	–
P. medians	–	48,00 (1-42) 5,84	–	–
Opisthioglyphe ranae	–	44,00 (1-28) 3,60	–	–
Dolichosaccus rastellus	–	–	2,70 (1) 0,03	–
Diplodiscus subclavatus	–	22,00 (1-10) 0,62	13,51 (1-7) 0,38	33,33 (1-6) 1,11
Opisthioglyphe ranae, larvae	–	6,00 (1-10) 0,24	5,41 (2-4) 0,16	–
Paralepoderma cloacicola, larvae	100 (44-489) 179,53	30,00 (1-24) 1,64	29,73 (1-5) 0,68	70,59 (1-5) 1,89
Astiotrema monticelli, larvae	80,00 (3-206) 65,80	16,00 (1-11) 0,58	10,81 (1-7) 0,30	11,76 (1-1) 0,11
Encyclometra colubri-murorum, larvae	80,00 (10	2,00 (6) 0,12	16,22 (1-7) 0.43	–
Strigea strigis, larvae	33,33 (1-126) 13,53	8,00 (1-126) 2,86	–	–
S sphaerula, larvae	13,33 (1-1) 0,13	2,00 (1) 0,02	–	–
Strigea sp., larvae	–	10,00 (1-2) 0,14	18,2 (1-6) 0,54	–
Neodipostomum spathoides, larvae	86,67 (1-220) 59,87	18,42 (1-601) 32,61	62,16 (1-500) 48,22	–
Codonocephalus urnigerus, larvae	–	14,00 (1-15) 0,84	–	–
Tylodelphys excavata, larvae	–	5,26 (8-72) 2,11	–	41,18 (1-12) 2,18
Alaria alata, larvae	80,0 (1-402) 59,7	–	21,62 (1-77) 2,84	–
Rhabdias bufonis	–	62,00 (1-64) 7,14	27,03 (1-4) 0,41	–
Strongyloides spiralis	–	58,00 (1-35) 5,32	–	–
Oswaldocruzia filiformis	–	8,00 (1-4) 0,14	94,59 (1-26) 5,76	–
Cosmocerca ornata	–	6,00 (1-2) 0,08	2,70 (2) 0,05	–
Helobdella stagnalis	–	–	–	5,56 (2) 0,10

Примечание: перед скобками – экстенсивность инвазии (ЭИ, %), в скобках – интенсивность инвазии (ИИ, экз.), за скобками – индекс обилия гельминтов (ИО, экз.).

Анализ структуры и видового разнообразия сообществ гельминтов обыкновенного ужа, как наиболее массового и эврибионтного вида офидиофауны Среднего Поволжья, показал, что Сокская пойма, наряду с Бузулукским бором, Красносамарским лесом и Змеиным затоном (Самарская Лука), относится к благоприятным в экологическом отношении районам с наименьшим антропогенным прессом на природные экосистемы. Разнообразие фауны гельминтов (Кириллов, 2003, 2011) и их хозяев при низком уровне антропопрессии (Файзулин, 2008) позволяют отнести Сокскую пойму к разряду «эталонных» территорий Самарской области для обитания популяций амфибий и рептилий.

Таблица 86. Гельминты обыкновенного ужа (*Natrix natrix*) в пойме р. Сок

Гельминт	ЭИ, %	ИИ, экз.	ИО*, экз.
Metaleptophallus gracillimus	22,2	1-6	0,8
Leptophallus nigrovenosus	88,9	1-65	13,4
Encyclometra colubrimurorum	3,7	3	0,2
Macrodera longicollis	44,4	1-11	1,9
Astiotrema monticelli	96,3	10-435	89,2
Telorchis assula	88,9	10-155	53,0
Opisthioglyphe ranae	29,6	3-15	2,5
Strigea sphaerula, larvae	59,3	1-150	10,2
S. strigis, larvae	55,6	5-160	46,5
Alaria alata, larvae	51,9	5-2000	158,7
Pharyngostomum cordatum, larvae	11,1	40-120	10,0
Ophiotaenia europaea	14,8	1-2	0,3
Rhabdias fuscovenosus	25,9	1-15	1,3
Strongyloides mirzai	59,2	1-22	4,8
Physaloptera clausa, larvae	3,7	1	0,04

Примечание: условные обозначения см. табл. 85.

2.2.9. Амфибии реки Сок и ее притоков: видовой состав, состояние популяций, трофические связи

Земноводные являются важной частью как наземных, так и водных экосистем, представляя собой важный компонент биоценотических связей. Особенности биологии – эмбриональное и личиночное развитие в водоемах, обитание в определенном диапазоне экологических условий (pH нерестовых водоемов, температуры и влажности, наличие мест зимовок и трофических стаций) – делает амфибий чувствительными к антропогенной трансформации местообитаний (Вершинин, 1997; Кузьмин, 1999; Чихляев и др., 2009; Файзулин, 2010; Файзулин и др., 2010).

Для оценки видового состава земноводных и состояния популяции озерной лягушки *Rana ridibunda* представлена характеристика видового состава, распространения амфибий, и численности земноводных на территории бассейна р. Сок (рис. 66), а также состояние ее популяции по уровню флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков.

Впервые земноводные бассейна р. Сок, упоминаются в работе Н.А. Зарудного (1859-1919), где сообщается о встречах обыкновенной чесночницы в Самарской губернии «по рекам Сургуту и Соку» (Зарудный, 1896). Сведения о распространении приводятся в монографии «Материалы к кадастру земноводных и пресмыкающихся Самарской области» (Бакиев, Файзулин, 2002). Озерные лягушки указаны как единственный вид позвоночных для озера Голубого (Ткаченко, Таразанов, 2009). О пункте находки обыкновенного тритона говорится в Красной книге Самарской области (Файзулин и др., 2009). О находке зеленой жабы в окрестностях с. Русский Байтуган, сообщает Е.В. Епланова (2010).

В 2000-2010 гг. нами обследована территория бассейна р. Сок. Пункты обследования амфибий представлены на рис. 66, видовой состав и оценка численности – в табл. 87.

Установлено, что батрахофауна бассейна р. Сок, по ранее опубликованным и собственным данным (Бакиев, Файзулин, 2002) включает 7 из 11 видов амфибий, обитающих в Самарской области. Это - обыкновенный тритон *Lissotriton vulgaris* (Linnaeus, 1758), краснобрюхая жерлянка *Bombina bombina* (Linnaeus, 1761), обыкновенная чесночница *Pelobates fuscus* (Laurenti, 1768), зеленая жаба *Bufo viridis* Laurenti, 1768, озерная лягушка *Rana ridibunda* Pallas, 1771, прудовая лягушка *R. lessonae* Camerano, 1882, остромордая лягушка *R. arvalis* Nilsson, 1842.

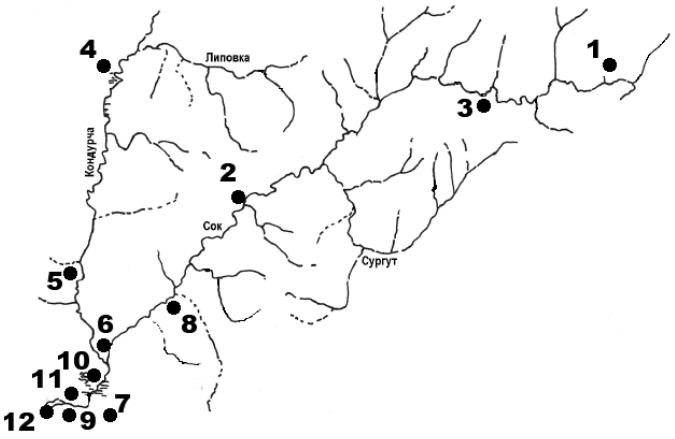


Рис.66. Пункты обследования амфибий на территории бассейна р. Сок: 1 – Камышлинский район: окр. с. Русский Байтуган, пойма р. Сок; 2 – Сергеевский район: с. Чекалино, пойма р. Сок; 3 – Исаклинский район: с. Старое Вечканово, пойма р. Сок; 4 – Кошкинский район: окр. с. Кошки, пойма р. Кондурча; 5 – Красноярский район: окр. с. Старый Буян, пойма р. Кондурча; 6 – окр. с. Красный Яр, пойма р. Сок; 7 – окр. пос. Старосемейкино, пойма р. Сок; 8 – окр. сел Раевка и Лужки, пойма р. Сок; 9 – с. Царевщина, пойма р. Сок; 10 – окр. с. Висловка (пойма р. Сок); 11 – окр. пос. Волжский; 12 – район устья р. Сок

Таблица 87. Оценка встречаемости земноводных на территории бассейна р. Сок

Видовой состав	Географические пункты на территории бассейна р. Сок											
	1*	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Lissotriton vulgaris	0**	0	0	0	0	0	0	II	I	0	0	0
Bombina bombina	0	0	0	III	II	0	0	III	0	III	II	II
Pelobates fuscus	0	0	0	II	0	II	II	IV	0	III	0	0
Bufo viridis	+	+	+	II	II	II	0	II	0	II	0	0
Rana ridibunda	III	III	III	III	III	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
R. lessonae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	0
R. arvalis	III	0	0	II	II	0	III	III	II	III	0	0
Всего видов	3	2	2	5	4	3	3	6	3	6	3	2

Примечание: * – географические пункты (кадастр в тексте раздела); ** – оценка встречаемости (по: Пестов и др., 2002, с дополнениями): 0 – вид не отмечен (встречи отсутствуют), ? – вид указан предположительно, + – вид зарегистрирован, без оценки численности; I – вид редок (нерегулярные встречи одиночных особей), II – вид малочисленный (регулярные встречи единичных особей на отдельных маршрутах), III – вид обычен (регулярные встречи единичных особей на большинстве маршрутов), IV – вид многочисленный (встречи большого числа особей на большинстве маршрутов)

На территории бассейна р. Сок, по нашим данным, обитает только 1 вид включенный в Красную книгу Самарской области, – обыкновенный тритон (Файзулин и др., 2009). Как видно из таблицы наибольшее число (7 видов амфибий) отмечено в низовьях бассейна р. Сок. Это связано с наличием обширной поймы с множеством пойменных водоемов. В средней части и верховьях бассейна – видовой состав включает только 6 и 5 видов соответственно.

Состояние популяции амфибий рассмотрено на примере озерной лягушки *R. ridibund*, которая в районе бассейна р. Сок является наиболее многочисленным видом земноводных (табл. 87). Высокая численность и широкое распространение озерной лягушки, позволяет использовать данный вид для биоиндикации качества среды апробиро-

ванными методами, например, по характеристике нарушения стабильности развития, оценкой которого является флуктуирующая (незначительная, ненаправленная) асимметрия билатеральных признаков. Анализ уровня флуктуирующей асимметрии проводился в Самарской области в бассейне р. Чапаевки (Экологическое состояние бассейна реки Чапаевка.., 1997; Чубинишвили, 1998). Для характеристики флуктуирующей асимметрии нами использован показатель частота асимметричного проявления признака ЧАПП (Захаров и др., 2000).

Балльная оценка уровня нарушения стабильности развития по показателю ЧАПП для Среднего Поволжья (Захаров и др., 2000) представлена в табл. 88.

Для сравнения состояния популяции озерной лягушки бассейна р. Сок и сопредельных территорий в 1998-2005 гг. произведены выборки в географических пунктах Самарской области (рис. 66): 1. Брусяны (2000), пойменное озеро окр. с. Брусяны, Ставропольский район; 2. Кондурча (2005), берег р. Кондурча, окр. с. Старый Буян, Красноярский район; 3. Мордово (2000), протока «Кольцовска воложка», пос. Мордово, Ставропольский район; 4. Ширяево (2005), запруженный залив Саратовского водохранилища; 5. Баныкино (2005), пруд-отстойник ливневой канализации, на ул. Баныкина, г. Тольятти; 6. Федоровка (2005), пойменное озеро окр. с. Федоровка, г. Тольятти; 7. с. Климовка (2005), прибрежное мелководье Куйбышевского водохранилища; 8. Васильевские о-ва (1998), мелководье островов Саратовского водохранилища, Безенчукский район.

Таблица 88. Балльная оценка показателя стабильности развития (ЧАПП)

Уровень нарушения стабильности	**Границы показателя стабильности развития (ЧАПП) по: Захаров и др., 2000**	**Баллы**
Условно нормальное	< 0,50	I
Начальные (незначительные) отклонения от нормы	0,50-0,55	II
Средний уровень отклонений от нормы	0,55-0,60	III
Существенные (значительные) отклонения от нормы	0,60-0,65	IV
Критическое состояние	> 0,65	V

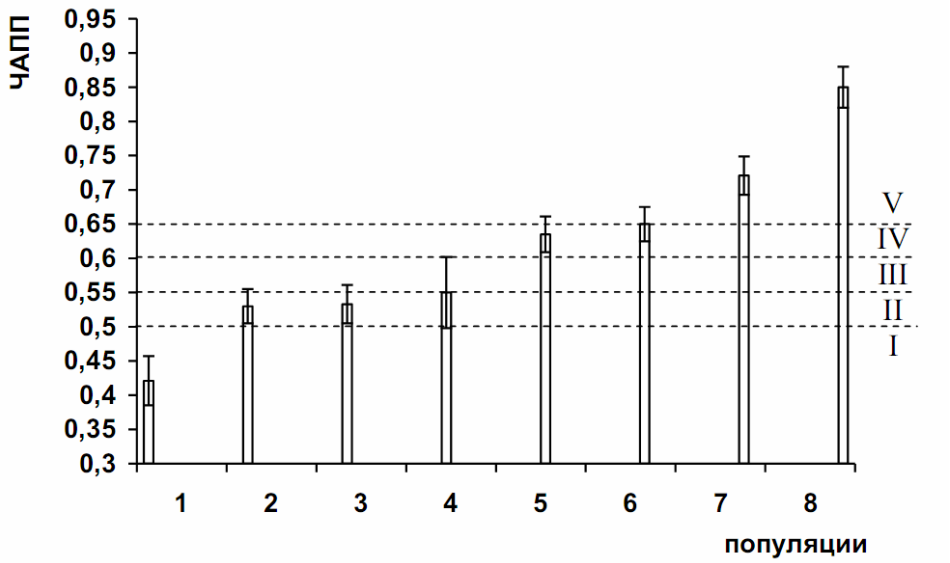


Рис. 67. Уровень нарушения стабильности развития популяций озерной лягушки Самар-ской области. Цифрами обозначены: балльная оценка нарушения морфогомеостаза (по: Захаров и др., 2000): I – условно нормальное; II – незначительное отклонение; III – среднее отклонение от нормы; IV – значительное отклонение от нормы; V – критическое состояние; географиические пункты (кадастр в тексте раздела)

Судя по рис. 67, можно выделить популяции с критическим уровнем нарушения морфогомеостаза (V баллов) в районе устья р. Чапаевки («Васильевские о-ва») и в мелководье Куйбышевского водохранилища («Климовка»). Популяции «Баныкино» и «Федоровка» в черте г. Тольятти характеризуются высоким уровнем нарушения стабильности развития (IV балла). Средний уровень (III балла) нарушения морфогомеостаза наблюдается в популяции «Ширяево». Начальные отклонения от нормы (II балла) отмечены в популяциях «Мордово» и «Кондурча». Наиболее стабильные условия развития (I балл) в популяции «Брусяны», обитающей в наиболее изолированном от Саратовского водохранилища, пойменном водоеме.

Наблюдаемый уровень нарушения стабильности развития позволяет говорить о пониженном антропогенном воздействии на популяцию озерной лягушки в условиях среднего течения р. Кондурча бассейна р. Сок. Подобный уровень флуктуирующей асимметрии характерен для популяций обитающих на особо охраняемых природных территориях региона (рис. 67). По нашему мнению, подобный уровень нарушения стабильности развития можно считать эталонным или контрольным при проведении биоиндикационных исследований в регионе.

2.2.10. Пресмыкающиеся Сокского бассейна

В стоково-водосборном бассейне р. Сок разными исследователями отмечены 8 видов рептилий: болотная черепаха *Emys orbicularis* (Linnaeus, 1758); веретеница ломкая *Anguis fragilis* Linnaeus, 1758; прыткая ящерица *Lacerta agilis* Linnaeus, 1758; живородящая ящерица *Zootoca vivipara* (Lichtenstein, 1823); обыкновенный уж *Natrix natrix* (Linnaeus, 1758); обыкновенная медянка *Coronella austriaca* Laurenti, 1768; обыкновенная гадюка *Vipera berus* (Linnaeus, 1758); восточная степная гадюка, или гадюка Ренарда *Vipera renardi* (Christoph, 1861). Кратко обобщим наши (1977-2011 гг.) и литературные данные.

Из дошедших до нас давних письменных сведений, связанных с рептилиями Сокского бассейна, следует упомянуть относящиеся к X в.: Ибн-Фадланом – секретарем посольства багдадского халифа к царю волжских булгар – весной 922 г. между реками Кондурча и Большой Черемшан отмечена группа башкир, поклоняющаяся змеям (Путешествие Ибн-Фадлана.., 1939). По мнению А.П. Ковалевского (1956), речь идет о «подразделениях племени, родовых общинах, кланах» (с. 194), которые объединены тотемическим культом.

Болотная черепаха встречается в Сокском бассейне на северной границе ареала и во всех публикациях отмечается здесь как редкий вид. Называемый речной черепахой *Emys lutaria*, он упоминается Н.А. Зарудным (1896, с.396): «Так как выяснение распространения речной черепахи представляет большой интерес, то могу сообщить, что она найдена мною в небольшом количестве еще в 1878 г. в Бугурусланском уезде (Самар. губ.) в болоте около Голубого озера, по р. Сургуту и по р. Соку». В.М. Шапошников (1978) называет болотную черепаху чрезвычайно редким представителем фауны Куйбышевской области и сообщает о встречах отдельных экземпляров на реках Сок и Кондурча. За последние 20 лет нам известна только одна встреча (около устья р. Сок, в правобережье). Топически и трофически вид связан с водой: редко удаляется от нее; зимует, зарываясь в ил на дне; добытый в воде или на берегу корм (черви, моллюски, ракообразные, личинки комаров и стрекоз, жуки, головастики, трупы рыб, птиц и млекопитающих, водные и околоводные высшие растения) может заглатывать только, опустив морду под воду, вместе с током последней. Животное, застигнутое на берегу, бросается в воду; находясь вдали от воды, при опасности прячет голову, конечности и хвост под панцирь. В бассейне р. Сок распространен номинативный подвид *E. o. orbicularis* (Linnaeus, 1758). Черепаха болотная включена в разного уровня Красные книги, которые территориально захватывают Сокский бассейн: в Красную книгу Самарской области (2009) со статусом

таксона, находящегося под угрозой исчезновения, крайне редкого вида, тенденции численности которого неизвестны; в «Аннотированный перечень таксонов и популяций животных, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде» Красной книги Российской Федерации (2001); в списки Международного союза охраны природы (МСОП) в качестве таксона низкого риска, находящегося в состоянии, близком к угрожаемому (Cox, Temple, 2009).

Веретеница ломкая обитает в бассейне р. Сок близ южной границы географического распространения. Эта безногая ящерица приурочена к лесным биотопам и их экотонам (поляны, опушки, облесенные берега водостоков и водоемов), везде редка. Предпочитает места с высокой влажностью. Ее наибольшая встречаемость в 2000-х годах (до 3 экз. на 1 км маршрута) отмечена нами в левобережной части бассейна нижнего течения р. Сок, административно относящейся к Красноглинскому району г. Самара. По сравнению с 1980-1985 гг. обилие веретеницы в 1990-х годах здесь снизилось более чем в 5 раз (Бакиев, Маленев, 2000) и, вероятно, осталось на этом уровне к настоящему времени. Веретеница питается в основном дождевыми червями, слизнями, мокрицами, гусеницами. Называется некоторыми местными жителями не веретеницей, а медянкой, медяницей или медуницей; иногда принимается ими за ядовитую змею и уничтожается, хотя, на самом деле, совершенно безобидна для человека. Подвергаясь опасности, легко отбрасывает хвост (отсюда и эпитет «ломкая»). На территории бассейна р. Сок распространен подвид *Anguis fragilis colchicus* Nordmann, 1840. Веретеница занесена в Красную книгу Оренбургской области (1998) со статусом малочисленного, обитающего на южной границе ареала вида; в «Список редких и уязвимых животных», не включенных в Красную книгу Самарской области, но нуждающихся в постоянном контроле и наблюдении» из Красной книги Самарской области (2009).

Прыткая ящерица – самый многочисленный и распространенный вид рептилий в Сокском бассейне. Она часто встречается даже в некоторых биотопах антропогенного характера (сады, огороды, дачные участки, поля, парки, газоны с деревьями и кустарниками, обочины дорог, берега прудов, полезащитные лесные полосы, вырубки, кладбища). Предпочитает хорошо прогреваемые солнцем, поросшие травой, участки с редким древостоем или кустарниковой растительностью. Встречаемость половозрелых особей достигает местами 80-100 экз./га. Кормится жуками и другими насекомыми, пауками, червями. В случаях опасности пытается скрыться бегством; в безвыходном положении может шипеть и пытаться укусить обидчика. В ответ на болевое раздражение обламывает хвост. Представлена подвидом *Lacerta agilis exigua* Eichwald, 1831.

Живородящая ящерица населяет Сокский бассейн, находясь вблизи южной границы ареала (Епланова, 2010). Встречается по берегам лесных водоемов, ручьев и рек, по окраинам влажных лесов и на пойменных лугах, поросших кустарником. В Красной книге Самарской области (2009, с. 242) приведены следующие данные об обилии вида, относящиеся к Сокскому бассейну. «Плотность 10 ос./га зафиксирована в Красноярском районе на трансекте длиной 2 км и шириной 5 м <…> В пределах локальных участков на территории Исаклинского, Камышлинского, Кошкинского, Сергиевского <…> и Шенталинского р-нов встречается до 5 взрослых особей на 100 м^2». В мае 2011 г. в Сергиевском районе, в пойме верховьев речки Липовка (приток Кондурчи), мы обнаружили участок пойменного луга площадью 550 м^2, на котором за полтора часа отметили 32 половозрелых экземпляра. Питаются эти ящерицы олигохетами, моллюсками, многоножками, пауками, жуками, перепончатокрылыми, двукрылыми, поденками, тараканами и другими беспозвоночными. При опасности могут бросаться в воду, уплывая, убегая по дну или зарываясь в ил. Как у ломкой веретеницы и прыткой ящерицы, особенностью оборонительного поведения является отбрасывание части хвоста (аутотомия). В Сокском бассейне распространена номинативная форма *Zootoca v. vivipara* (Lichtenstein, 1823). Живородящая ящерица включена в Красную книгу Самарской области (2009) с неопределенным статусом, в качестве условно редкого вида, тенденции численности которого неизвестны.

Обыкновенный уж – обычный и широко распространенный вид в пределах Сокского бассейна. Летом придерживается увлажненных участков, берегов водоемов и водотоков, хорошо плавает и ныряет. Весной и осенью в правобережье нижнего течения р. Сок, на склонах южной экспозиции около мест зимовок, плотность встреченных ужей достигает 100 экз./500 м^2. В питании вида преобладают земноводные (в первую очередь обыкновенная чесночница, озерная и остромордая лягушки), иногда встречаются рыбы. В случаях опасности, когда уж застигнут вблизи воды и путь к наземным укрытиям ему недоступен, он бросается в нее, уплывая или ныряя. При невозможности скрыться змея замирает и, если ее не пугать, может находиться в неподвижном состоянии несколько минут. При испуге, вызванном приближением потенциального врага, у взрослых особей наиболее вероятно не пассивное, а активное оборонительное поведение. Уж свивается в клубок, приподнимает голову, расплющивая ее, шипит и делает резкие выпады в сторону врага, становясь похожим поведением на гадюку. При поимке вырывается и брызгается из анального отверстия зловонными выделениями, иногда отрыгивает недавно заглоченную добычу. Пойманные обыкновенные ужи, особенно молодые, часто имитируют смерть: змея переворачивается вверх брюхом, не шевелится, мускулатура ее расслабляется, из раскрытой пасти вываливается язык. Эта демонстрация продолжается до нескольких минут, затем уж «оживает» и пытается скрыться. По некоторым литературным данным (например: Банников и др., 1977), в Заволжье, где и находится Сокский бассейн, распространен восточный подвид *N. natrix scutata* (Pallas, 1771). Мы (Бакиев и др., 2009) не разделяем эту точку зрения, поскольку восточную и номинативную подвидовые формы различить современными методами практически невозможно, и полагаем, что в бассейне р. Сок обитает номинативный подвид *N. n. natrix* (Linnaeus, 1758).

Обыкновенная медянка известна на территории Сокского бассейна по единичным находкам в Волжском, Исаклинском, Клявлинском, Кошкинском, Красноярском и Сергиевском районах Самарской области, в Красноглинском районе г. Самара, а также на участках, прилегающих к бассейну верховьев Сока, в Северном районе Оренбургской области. Питается главным образом прыткими ящерицами. При невозможности скрыться от опасности змея ведет себя весьма агрессивно. Она может сворачиваться в плотный клубок, шипит, резко выбрасывает голову в сторону врага. Пойманная медянка вырывается, брызгаясь экскрементами, и, как правило, кусается. Отмечены случаи, когда местные жители уничтожают медянку, ошибочно считая смертельно опасной змеей, хотя ее укусы не представляют опасности для здоровья (а тем более для жизни) человека. В Сокском бассейне распространена номинативная подвидовая форма медянки *C. a. ausrtriaca* Laurenti, 1768. Медянка включена: в Красную книгу Оренбургской области (1998) как естественно редкий вид, встречающийся на периферии основного ареала; и в Красную книгу Самарской области (2009) в качестве таксона с неопределенным статусом условно редкого вида, тенденции численности которого неизвестны.

Обыкновенная гадюка обитает в Сокском бассейне у южной границы ареала. Устойчивые популяции сохранились в лесопарковой зоне Красноглинского района г. Самара и в окрестностях р. Байтуган (Камышлинский район Самарской области). Отмечены отдельные находки из Челно-Вершинского районов (бассейн р. Кондурча), Исаклинского и Сергиевского (бассейн реки Шунгут), Клявлинского (бассейн р. Сосновка) Самарской области. Придерживается граничащих с лесом пойменных лугов, лесных просек, опушек и полян. По данным маршрутных учетов последних трех лет, встречаемость в Красноглинском районе г. Самара на трансектах шириной 5 м вдоль окраины лесного массива не превышает 10-20 экз./га, или 5-10 экз./км, что примерно втрое ниже по сравнению с нашими данными, полученными до 2002 г. Питается в основном полевками и другими мышевидными грызунами. При встрече с человеком гадюка стремится скрыться и кусает его только тогда, когда поставлена им в безвыходное положение. Ядовита, ее укусы очень болезненны, но случаи смерти от них людей и домашних животных в бассейне р. Сок нам неизвестны. Сокский бассейн населяют популяции, совмещающие в себе признаки двух

подвидов – номинативного *Vipera b. berus* (Linnaeus, 1758) и лесостепного (гадюки Никольского) *V. b. nikolskii* Vedmederja et al., 1986. Последнюю форму многие герпетологи продолжают признавать самостоятельным видом *V. nikolskii*. Гадюка Никольского включена в Красную книгу Российской Федерации как неопределенный по статусу малоизученный вид. Обыкновенная гадюка *V. berus* включена в Красную книгу Самарской области (2009) со статусом редкого таксона, условно редкого вида, плавно снижающего численность.

Восточная степная гадюка (гадюка Ренарда) известна для Сокского бассейна по отдельным экземплярам из Красноярского (правобережье Сока выше впадения в него р. Кондурча) и Сергиевского (бассейн реки Черновка) районов Самарской области. Обитает по окраинам пойменных лесов, на луговых и остепненных участках с кустарниковой растительностью. Основу пищевого рациона составляют полевки, прыткие ящерицы и прямокрылые насекомые. Защитное поведение сходно с обыкновенной гадюкой. Ядовита, но о случаях укусов людей и домашних животных степными гадюками в данном регионе у нас информации нет. По предварительным данным, в Сокском бассейне распространен номинативный подвид *V. r. renardi* (Christoph, 1861). Мы не исключаем обитания здесь популяций с признаками другого подвида - гадюки Башкирова *V. r. bashkirovi* Garanin et al., 2004 и находок межвидовых гибридов с обыкновенной гадюкой в местах синтопии. Гадюка Ренарда включена в Красную книгу Самарской области (2009) в качестве таксона, сокращающегося в численности, редкого вида, плавно снижающего численность; она же под названием «Степная гадюка - *Vipera ursini renardi* Christoph, 1861» фигурирует в «Аннотированном перечне таксонов и популяций животных, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде» Красной книги Российской Федерации (2001, с. 854), а под биноменом *V. renardi* - в списках МСОП как уязвимый таксон (Cox, Temple, 2009).

Таким образом, герпетофауну бассейна р. Сок, расположенного в Оренбургской и Самарской областях, составляют 8 видов рептилий. Из них 2 вида включены в Красную книгу Оренбургской области (1998), 5 видов – в Красную книгу Самарской области (2009). Наиболее редким видом пресмыкающихся в Сокском бассейне является болотная черепаха, занесенная в списки МСОП и находящаяся здесь на северной границе распространения.

Глава 3

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВИДОВОГО БОГАТСТВА СООБЩЕСТВ ЛОТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

3.1. МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ВИДОВОГО БОГАТСТВА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗНООБРАЗИЯ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ С УЧЕТОМ ВЫБОРОЧНОГО УСИЛИЯ

Точная оценка видового богатства в пространственно-временных координатах является фундаментальной задачей изучения водных экосистем и наиболее существенным параметром контроля экологических изменений (Karr, 1991; Rosenberg, Resh, 1993). Согласно глобальной модели видового разнообразия (Ricklefs, Schluter, 1993), *региональный* пул видов (regional species pool) организмов любых таксономических групп на больших территориях определяется соотношением скоростей двух процессов: появлением новых видов, преимущественно вследствие колонизации, и исчезновением видов в результате воздействия совокупности факторов среды. Для каждого *локального* мета-сообщества в пределах изучаемой экосистемы число видов S представляет собой произвольную выборку из регионального пула и является фактически неизвестным параметром, зависящим от местных условий, масштабов проводимых исследований и пространственной структуры распределения биотических компонентов (Zobel, 1997).

Последовательное объединение выборок из серий однократных наблюдений A дает эмпирическую кривую $S(A)$ *накопления* числа видов (species accumulation curve), которая не является гладкой из-за пространственно-временной неоднородности сообществ. На рис. 68. представлены кривые накопления эмпирического видового богатства S_{obs} сообществ макрозообентоса 43 малых рек, протекающих по территории Самарской области, в хронологическом порядке по результатам 628 гидробиологических проб за период с июля 1985 г. по июнь 2007 г. и отдельно в р. Сок (97 проб). Следует отметить высокую долю в наблюдаемом богатстве редких видов, которые встретились только в одной из проб, хотя при росте выборочного усилия эта доля закономерно уменьшается.

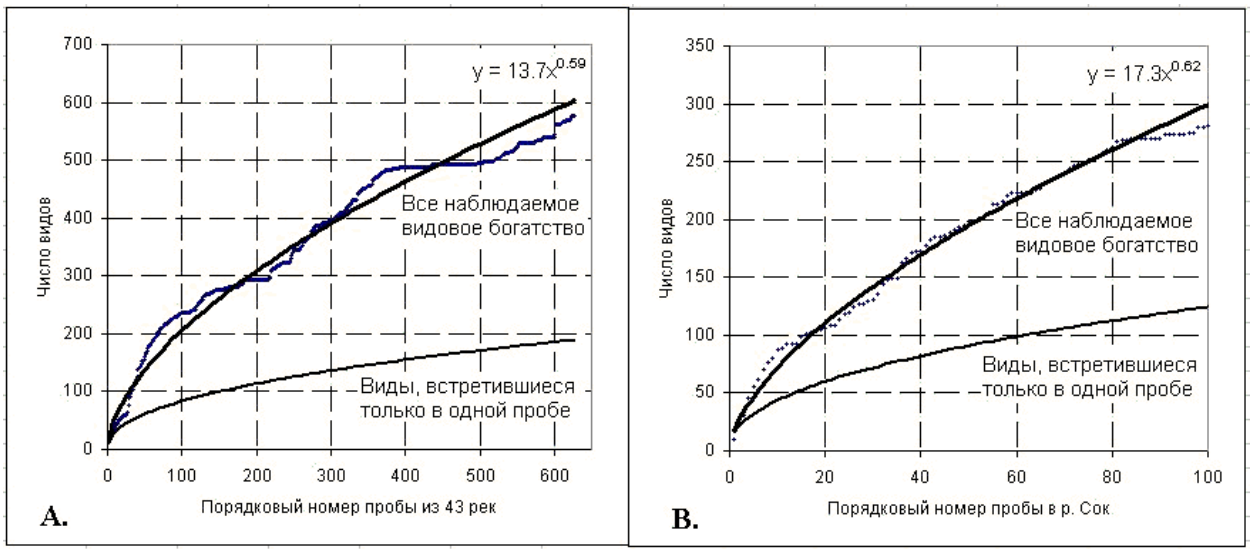


Рис. 68. Кривые накопления видов макрозообентоса по результатам гидробиологических исследований малых рек Самарской области за 1985-2007 гг.: А – данные исследований 43 водотоков, В – р. Сок)

Какое количество видов может быть обнаружено в ходе дальнейших наблюдений? Поиск ответа на этот вопрос и обсуждение наилучших зависимостей числа выявленных видов от масштаба исследований продолжается уже полтора столетия (de Candolle, 1855; Jaccard, 1902, 1908, цит. по: He, Legendre, 1996). Сформулированное общее правило – *наблюдаемое видовое богатство сначала монотонно возрастает при увеличении объема использованного экспериментального материала, а потом постепенно стремится к некоторому порогу насыщения* – было названо «одним из немногих подлинных законов экологии сообществ» (Schoener, 1976, p. 629).

Э. Тьорв (Tjørve**,** 2003) выполнил всестороннее обобщение используемых 14 моделей SAR (Species Area Relationship) зависимости числа видов от площади, включая их типологию и основные характеристики. Большинство моделей являются частным случаем обобщенного дифференциального уравнения $dS / dA = f(S) / A$ (таб. 89), т.е. интенсивность обнаружения новых видов (species detectabilities) зависит от числа уже найденных видов S на единицу площади A (He, Legendre, 1996). Используя предположения относительно вида функции $f(S)$, можно придти к различным популярным формам интегральных моделей: например, линейная зависимость для $f(S)$ приводит к степенному уравнению Уотсона-Аррениуса-Престона (2), которому приписывают характер универсального закона (Уотсон, 1859; цит. по: Гелашвили и др., 2007).

Таблица 89. Основные модели зависимости числа видов от площади SAR

№	Название функции	Дифференциальная форма зависимости (He, Legendre, 1996)	Модель *	Источник
1	Логарифмическая	Постоянная $dS / dA = \alpha / A$	$S = c + z \lg(A)$	Gleason, 1922
2	Степенная	Линейная $dS / dA = (\alpha + \beta S) / A$	$S = cA^z$ ($\lg S = c + z \lg A$)	Уотсон, 1859; Arrhenius, 1921; Preston, 1960
3	Линейная		$S = c + zA$	Connor, McCoy, 1979
4	Экспоненциальная		$S = ce^{zA}$ ($\lg S = c + z A$)	Connor, McCoy, 1979
5	Отрицательная экспоненциальная		$S = c(1 - e^{-zA})$	Holdridge et al., 1971
6	Логистическая	Параболическая $dS / dA = (\beta S + \gamma S^2) / A$	$S = \frac{b}{c + A^z}$	Archibald, 1949
7	Гиперболическая		$S = \frac{bA}{c + A}$	Monod, 1950; de Caprariis et al., 1976

Примечание: * – z, c и b – настраиваемые коэффициенты моделей, связанные с плотностью распределения организмов на рассматриваемой территории

Выпуклые кривые (1-2) достаточно хорошо описывают интенсивный рост числа видов для малых и средних масштабов. Однако ряд недавних работ показал, что для больших экосистем теоретически более обоснованы сигмоидальные модели (5-6) или близкая к ним двухпараметрическая гипербола (7), широко известная в статистической и биохимической литературе как *уравнение ферментативной кинетики Михаэлиса-Ментен*. Этим, видимо, объясняется тот факт, что различными авторами были предложены, по крайней мере, шесть различных модификаций этой модели для оценки численности видов (Raaijmakers, 1987).

К современным методам оценки видового богатства относятся также непараметрические алгоритмы, основанные на генерации псевдовыборок (или ресамплинге – resampling) и позволяющие оценить доверительные интервалы сделанного прогноза. Наиболее известными из них являются бутстреп (bootstrap) и процедуры «складного ножа» (jackknife), успешно развивающиеся последние два десятилетия (Efron, 1979; Эфрон,

1988; Шитиков и др., 2008). Они, как правило, используют информацию о количестве малочисленных (т. е. представленных одиночными особями) или «уникальных» (т.е. встретившихся только в одной пробе) видов: чем больше их число в обрабатываемой совокупности данных, тем больше вероятность обнаружения новых видов, еще не представленных в выполненных исследованиях (Colwell, Coddington, 1994; Mao et al., 2005).

Важный методологический вопрос связан с проблемой, следует ли различать процесс накопления видового богатства при увеличении изученной площади A (модели SAR) и аналогичный эффект при росте любого другого выборочного усилия, т.е. общего количества A_{obs} проб разного характера, взятых в пространстве и времени (т.е. модели SSR – species sampling relationships). Поскольку участники дискуссии (Scheiner, 2003; Gray et al., 2004; Dengler, 2009) оказались в затруднении четко аргументировать отличия моделей SAR и SSR, необходимость в их разграничении нам представляется сомнительной.

Здесь достойной упоминания является также работа (Muneepeerakul et al., 2007), выполненная на примере сообществ водной растительности. Авторами сделан вывод, что показатели видового разнообразия речных систем лишь косвенно связаны с общей площадью изученного региона. Более существенное значение имеют градиенты направленности путей миграции и размножения, обусловленные наличием течения, а также общая топологическая структура пространства водотоков. В частности, речные системы характеризуются более высокими показателями β- и γ-разнообразия биотических компонентов в силу «эффекта локализации», возникающего в результате пространственной разобщенности речных притоков.

В настоящей статье рассматриваются три практических приложения моделей SSR:

- экстраполяция видового богатства, т.е. оценка числа потенциально «скрытых» видов, которые могут быть обнаружены при проведении дальнейших исследований;
- интерполяция или построение *кривой разрежения* (Sanders, 1968), которая позволяет найти предполагаемое число видов S_{est} для любой промежуточной совокупности из A проб ($A_{obs} > A > 1$) и сравнивать видовое разнообразие сообществ при одном и том же «стандартизованном» выборочном усилии (Gotelli, Colwell, 2001);
- разложение общего видового разнообразия сообществ макрозообентоса на α- и β-составляющие при различных масштабных уровнях представления экосистемы.

Непараметрические методы экстраполяции полного богатства видов. Основная идея экстраполяции числа видов методом «складного ножа» (jackknife) заключается в расчете потерь числа видов при удалении одной из произвольных проб (Burnham, Overton, 1978; Smith, Belle, 1984). Пусть m – количество независимых гидробиологических проб, взятых в изучаемом водотоке, а $\hat{S} = S_{obs}$ – число видов, наблюдаемое в этих пробах. Если случайным образом исключить одну из проб, то оставшееся видовое богатство на основе $m - 1$ измерений будет равно $\hat{S}_{-i} = S_{obs} - q_{1i}$, где q_{1i} – число уникальных видов, встретившихся только в i-й пробе. Тогда путем перебора всех значений $i = 1, \ldots, m$ можно найти значение суммарных потерь Q_{1*}, после чего рассчитать статистическую оценку видового богатства:

$$\hat{S}^1_m = S_{obs} + Q_{1*}\,(m-1)/m$$

и ее дисперсию

$$\mathrm{var}(\hat{S}^1_m) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}(q_{1i} - Q_{1*}/m)^2 .$$

Эта оценка известна как «складной нож первого уровня» (Jackknife-1) и используется для компенсации статистического смещения оцениваемого параметра S_{obs} порядка $1/m$.

Если отбрасывать каждый раз, например, по две произвольных пробы i и j, то можно найти значения суммарных потерь Q_{1*} и Q_{2*}, а также статистическую оценку «складного ножа» второго уровня (Jackknife-2). Э. Смит и Г. ван Белле (Smith, Belle, 1984)

разработали алгоритм экстраполяции оценок видового богатства бутстреп-методом (bootstrap), основанный на подсчете относительной доли проб ρ_j, содержащих каждый *j*-й вид. В работах Р. Колуэлла, Дж. Коддингтона и А. Чао (Colwell, Coddington, 1994; Chao, 2005) представлены формулы, основанные на алгоритмах охвата по частоте встречаемости видов ICE (incidence-based coverage estimator) или их численности ACE (abundance-base coverage estimator), где «выборочный охват» определен как сумма разрядов λ, связанных с обнаруженными видами, а λ – параметр смешанной модели распределения Пуассона.

На рис. 69 представлено семейство кривых, экстраполирующих видовое богатство макрозообентоса р. Сок с использованием алгоритма Михаэлиса-Ментен и перечисленных непараметрических методов, которые были получены с использованием общедоступных компьютерных программ **EstimateS** 8.0 (Colwell, 2005) и **SPADE** (Chao, Shen, 2005).

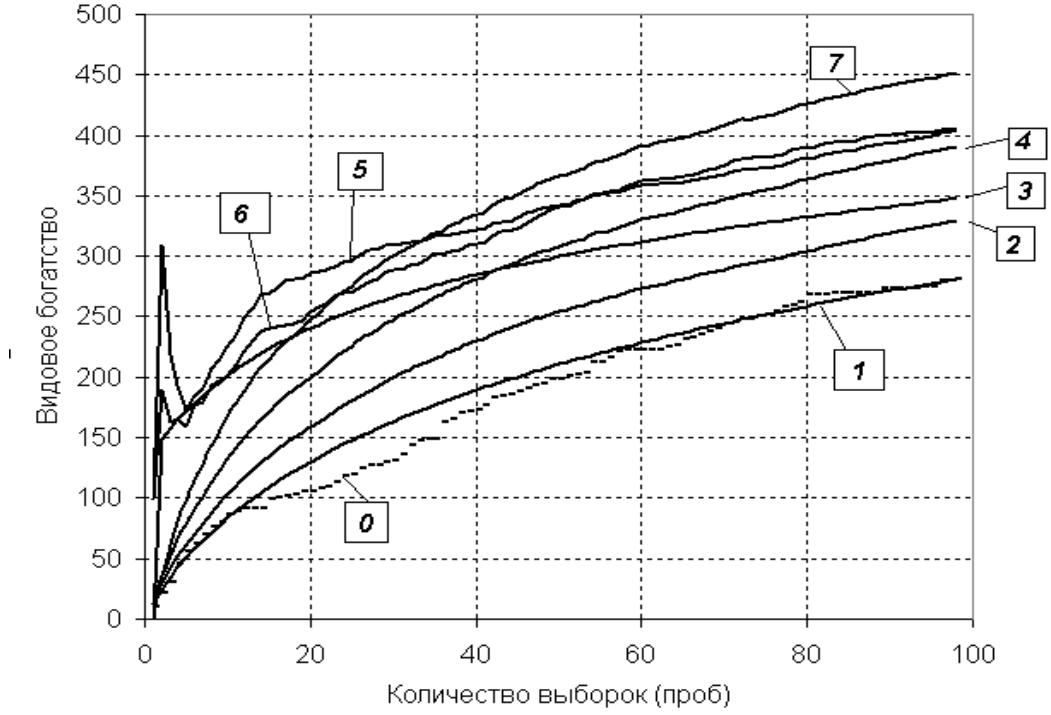


Рис. 69. Экстраполяция видового богатства *S* сообщества макрозообентоса р. Сок

Цифрами отмечены асимптотические кривые, построенные в зависимости от выборочного усилия *m* различными непараметрическими методами: *1* – разрежение Колуэлла-Мао, алгоритм Chao1, алгоритм ACE; *2* – бутстреп–приближение; *3* – гипербола Михаэлиса-Ментен; *4* – оценки «складного ножа» 1-го уровня; *5* – алгоритм охвата ICE; *6* – алгоритм Chao2; *7* – оценки «складного ножа» 2-го уровня; *0* – эмпирическое накопления числа видов в процессе гидробиологической съемки

В табл. 90 приведено сопоставление наблюдаемого и прогнозируемого количества видов сообществ макрозообентоса для отдельных участков р. Сок, а также для некоторых других малых рек бассейна Нижней Волги. Результаты расчетов приведены для трех методов экстраполяции, являющихся олицетворением трех возможных стратегий в любом подходе принятия решений: оптимистической (Jackknife-2), пессимистической (бутстреп) и сбалансированной (алгоритм Chao2). Целая группа алгоритмов (Jackknife-1, Chao2 и ICE) дали между собой весьма близкие результаты, которые не противоречат общим представлениям о составе донных сообществ сравниваемых водотоков (Зинченко, 2002). Полученные нами результаты относительно эффективности методов согласуются с выводами, сделанными другими исследователями (Hellmann, Fowler, 1999; Foggo et al., 2003), хотя вопрос о том, какая модель «недооценивает», а какая «переоценивает» истинное видовое богатство, нуждается в дальнейшем тщательном изучении на широком эксперимен-

тальном материале. Однако нельзя не согласиться с основным выводом работы (Hellmann, Fowler, 1999), что к изучению каждого сообщества *надо подходить индивидуально, принимая во внимание его особенности и уровень видового богатства*.

Таблица 90. Сравнение наблюдаемого и экстраполированного видового богатства сообществ макрозообентоса для некоторых малых рек бассейна Нижней Волги

Река	Наблюдаемое богатство			Экстраполированное богатство			S_{est}/S_0
	m*	Число видов S_0	из них редких**	Алгоритм	Число видов S_{est}	95% доверительные интервалы	
Чапаевка (нижнее течение)	104	88	31	Bootstrap Chao2 Jackknife-2	102 116 132	$99 \le S_{est} \le 156$	1,16 1,32 1,50
Сок (верхнее течение)	53	205	90	Bootstrap Chao2 Jackknife-2	244 304 341	$263 \le S_{est} \le 374$	1,19 1,48 1,66
Сок (среднее и нижнее течение)	46	176	84	Bootstrap Chao2 Jackknife-2	211 293 310	$242 \le S_{est} \le 384$	1,20 1,67 1,76
Байтуган (приток р. Сок)	31	144	70	Bootstrap Chao2 Jackknife-2	173 231 251	$191 \le S_{est} \le 306$	1,21 1,61 1,75
Большой Кинель	22	121	53	Bootstrap Chao2 Jackknife-2	143 188 201	$154 \le S_{est} \le 256$	1,18 1,55 1,67
Кондурча (приток р. Сок)	9	76	40	Bootstrap Chao2 Jackknife-2	92 123 131	$97 \le S_{est} \le 180$	1,21 1,62 1,73

Примечание: * – количество проб; ** – под «редкими» видами понимались виды, встретившиеся только в одной пробе.

В целом рассмотренные водотоки, за исключением нижнего течения р. Чапаевка, характеризуются достаточно близкой между собой величиной общего видового богатства макрозообентоса с учетом найденных доверительных интервалов (табл.90). Относительно небольшое значение S_{est} для умеренно загрязненной р. Кондурча, по сравнении с реками Сок и Байтуган, можно объяснить, в первую очередь, малым числом отобранных проб. Весьма интересно сопоставление результатов экстраполяции числа видов для каждого из двух выделенных участков р. Сок (около 300 видов на основе 50 проб) и в целом по всему водотоку (340 видов при том же выборочном усилии). Величина этой разности позволяет оценить гетерогенность экосистемы реки как весьма умеренную.

Интересным экологическим феноменом, который нуждается в объяснении, является отсутствие асимптотического приближения кумулятивных кривых на рис. 68 и 69 к какому-то порогу видовой насыщенности. Можно, например, высказать общее предположение (нуждающееся, разумеется, во всесторонней проверке), что, водные экосистемы по сравнению с растительными или другими наземными сообществами, обладают более высокой таксономической емкостью. Косвенно это можно аргументировать интенсивностью факторов популяционной динамики: периодической суточной или сезонной сменой ассоциаций видов-гидробионтов, широким спектром питания, разветвленностью и многовариантностью трофических связей, миграционной активностью, высокой адаптационной способностью к различным экологическим факторам и др. (Шитиков и др., 2010).

Необходимо также отметить, что наблюдаемое богатство видов локального сообщества в пределах естественной среды его обитания зависит как от выборочного усилия (α-разнообразие), так и от риска последовательного объединения видов из нескольких сообществ, принадлежащих разным биотопам (прирост числа видов, обусловленный β-

разнообразием). В представленных выше моделях локального (α) разнообразия предполагается, что таксономический состав выборок определяется лишь случайными флуктуациями композиций видов во времени и пространстве, в пределах которых выполнялось взятие проб. В статистических терминах это означает, что каждая выполненная проба считается случайной выборкой из одной и той же генеральной совокупности.

Модели разрежения и сравнение биоразнообразия с учетом выборочного усилия. Процесс разрежения видов на основе случайных повторностей отбираемых проб может интерпретироваться как сглаживание кривой накопления и служит для точной оценки ожидаемого числа видов с доверительными интервалами при некотором «стандартном» выборочном усилии. Описанный ниже метод (Colwell et al., 2004; Mao, Colwell, 2005) основан на статистически строгой смешанной биномиальной модели (mixture model) встречаемости в многовидовых ассоциациях, обоснование которой представлено в статье (Mao, Lindsay, 2004), где можно найти основные теоремы и их доказательства.

Пусть из сообщества видов с неизвестным истинным богатством S взята серия независимых проб, которые отражают эмпирическую функцию распределения встречаемости видов: $z_{ij} = 1$, если i-й вид найден в j-й пробе, и $z_{ij} = 0$ в противном случае. Делается два статистических предположения: (1) вероятность ϕ_i обнаружения i-го вида одинакова для каждой пробы и (2) значения z_{ij}, определяемые ϕ_i, являются независимыми для всех i и j. Тогда функция накопления видов, которая задает ожидаемое их количество для произвольного числа m взятых проб, выражается через сумму вероятностей, определяющих наличие каждого из S видов хотя бы в одной из m выборок:

$$\tau(m) = \sum_{i=1}^{S} [1 - (1 - \phi_i)^m] \cdot$$

Несмещенные оценки вероятностей ϕ_i встречаемости видов находятся по формуле, основанной на моментах эмпирических частот, полученных при различных выборочных усилиях m. Аппроксимация 95%-ых центрированных доверительных интервалов $\hat{\tau}(m) \pm 1{,}96\hat{\sigma}_\tau(m)$ выполняется с использованием имитационных методов Монте-Карло.

С использованием описанной модели разрежения Колуэлла-Мао и программы **EstimateS**, была выполнена сравнительная оценка видового богатства и биоразнообразия сообществ макрозообентоса малых рек Самарской области. На рис. 70 показаны кривые разрежения, построенные для изучаемых водотоков. Можно отметить, что видовое богатство в верхнем течении р. Сок (ст. 1-7) несколько больше, чем в нижнем (ст. 8-13), однако это различие статистически незначимо, поскольку доверительные интервалы среднего числа видов перекрываются, в то время, как сравнительная таксономическая бедность донных сообществ р. Чапаевка в ее нижнем течении – ниже г. Чапаевска (ст. 13-24) – очевидна как визуально, так и статистически. Результаты, представленные в табл. 91, в целом не противоречат выводам о сравнительном биоразнообразии отдельных равнинных рек бассейна Нижней Волги, которые были опубликованы нами ранее (Биоиндикация экологического.., 2007).

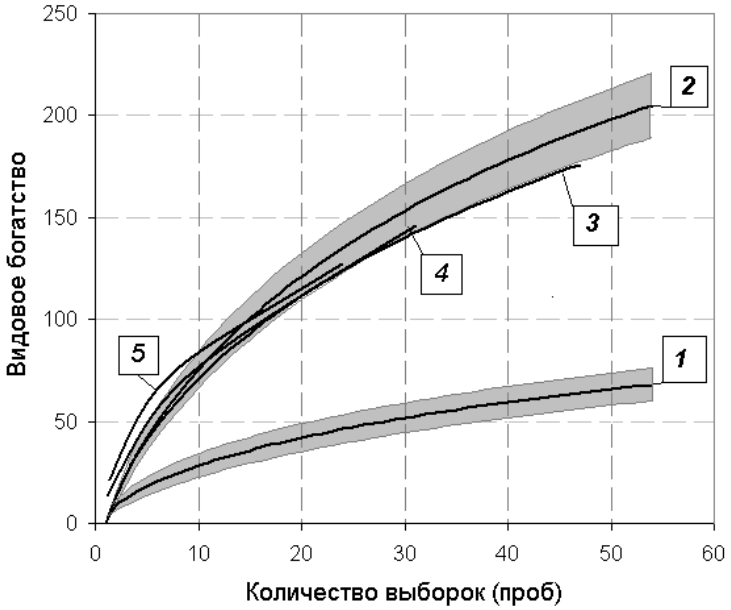


Рис. 70. Кривые Колдуэлла-Мао разрежения видового богатства для сообществ макро-зообентоса некоторых участков малых рек Самарской области: 1 – нижнее течение р. Чапаевка; 2 – верхнее течение р. Сок; 3 – нижнее течение р. Сок; 4 – р. Байтуган; 5 – р. Большой Кинель; серым цветом показаны 95%-ным доверительные интервалы для участков рек 1 и 2

Таблица 91. Зависимость индексов биоразнообразия и числа видов (числитель) от количества взятых проб макрозообентоса; в знаменателе – доверительные границы видового богатства при $p = 0,95$

Река	Показатель разнообразия	Количество проб *m*					
		9	**22**	**31**	**46**	**53**	**104**
Чапаевка (нижнее течение)	Число видов	26,5	44,2	52,6	63,4	67,5	**88,0**
		21 ÷ 32	37 ÷ 51	45 ÷ 60	56 ÷ 71	60 ÷ 75	79 ÷ 97
	H Шеннона	2,2	2,55	2,58	2,7	2,73	**2,85**
	α Фишера	3,02	4,75	5,36	6,26	6,64	**8,27**
Сок (верхнее течение)	Число видов	75,3	131,8	158,7	192,5	**205,0**	
		66 ÷ 84	120 ÷ 144	145 ÷ 172	177 ÷ 208	189 ÷ 220	
	H Шеннона	2,56	2,99	3,14	3,25	**3,27**	
	α Фишера	8,8	14,86	17,55	20,8	**21,86**	
Сок (среднее и нижнее течение)	Число видов	70,9	121,0	145,0	**176,0**		
		62 ÷ 80	108 ÷ 134	131 ÷ 159	160 ÷ 192		
	H Шеннона	2,77	3,08	3,14	**3,24**		
	α Фишера	8,37	13,44	15,85	**18,66**		
Байтуган	Число видов	70,8	121,1	**144,0**			
		72 ÷ 80	108 ÷ 134	130 ÷ 158			
	H Шеннона	2,86	3,33	**3,52**			
	α Фишера	9,67	15,43	**18,18**			
Большой Кинель	Число видов	79,8	**121,0**				
		70 ÷ 90	108 ÷ 134				
	H Шеннона	3,21	**3,53**				
	α Фишера	9,67	**13,5**				
Кондурча	Число видов	**76**					
		66 ÷ 86					
	H Шеннона	**2,17**					
	α Фишера	**8,95**					

Основная роль кривых разрежения заключается в сравнении видового богатства при одном и том же выборочном усилии. Например, в нижнем течении р. Чапаевка было зарегистрировано 88 таксонов макрозообентоса в 104 пробах, в то же время в р. Кондурча установлено 76 видов, но в 9 пробах. Однако если учесть, что расчетное значение S_{est} в

р. Чапаевка при $m = 9$ выборок составляет лишь 26 видов (в р. Байтуган – 71, в р. Сок – 79, Большой Кинель – 80 видов, соответственно), то р. Кондурча займет законное место в рейтинге рек с высоким видовым богатством макрозообентоса.

Видовое богатство является важнейшим, но не единственным показателем «благополучия» сообществ. В многочисленных литературных источниках (Dennis et al., 1979; Мэгарран, 1992; Bunge, Fitzpatrick, 1993) описаны методы оценки видового разнообразия с помощью различных индексов, которые принимают во внимание такие важные аспекты, как равномерность распределения, доминирование и уникальность видов. Однако недостаточный учет зависимости этих индексов от выборочного усилия часто приводит к ошибочным выводам при сравнении показателей для разных водотоков.

Методика статистической оценки математического ожидания индексов видового разнообразия и их доверительных интервалов была разработана С. Цаалем (Zahl, 1977), использовавшем на примере индекса Симпсона процедуру «складного ножа». В последующих работах (Heltshe, Forrester, 1983; Chao, Shen, 2003, Barabesi, Fattorini, 1998) эти идеи получили теоретическое обоснование и были обобщены не только для энтропийной формулы Шеннона, но и для большого класса индексов видового разнообразия Δ, если они удовлетворяют выражению $\hat{\Delta} = \Delta(p_1, p_2, \Lambda, p_k)$, где p_i – вероятности встречаемости особей разных видов, а общие результаты исследований рассматриваются как независимые реплики «схемы столкновений» (encounter schemes).

Рассмотрим два индекса оценки биоразнообразия – информационный индекс Шеннона H и параметр α модели распределения численности видов лог-сериями Фишера-Корбета-Вильямса (Fisher et al., 1943), которые, согласно проведенным исследованиям (Taylor et al., 1976), обладают наилучшей дискриминирующей способностью. Рассчитаем с использованием алгоритма интерполяции Колуэлла-Мао (программа EstimateS) кривые зависимости величины этих индексов от выборочного усилия (см. рис. 71 и табл. 91).

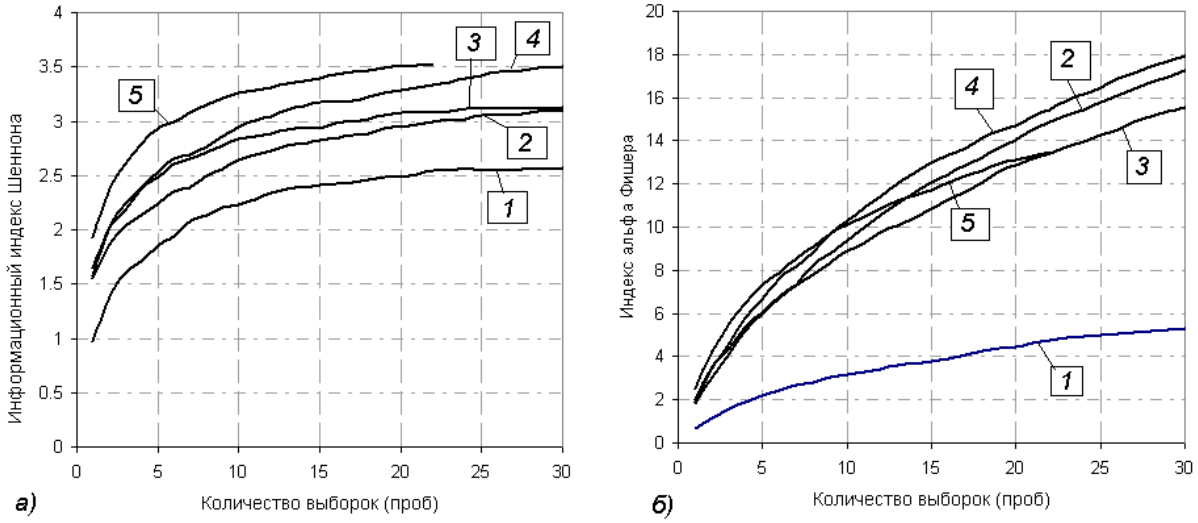


Рис. 71. Кривые зависимости информационного индекса Шеннона (*а*) и параметра α логарифмического ряда Фишера (*б*) от выборочного усилия для сообществ макрозообентоса некоторых участков малых рек Самарской области (обозначения аналогичны рис. 70)

Очевидно, что корректное сравнение индексов видового разнообразия для различных сообществ возможно лишь при одинаковом выборочном усилии. Например, индекс Шеннона H для нижнего течения р. Сок (рис. 71*а*, кривая 2) при количестве проб до 25 превышает аналогичный показатель для верхнего течения, однако при дальнейшем росте выборочного усилия значения H выравниваются. Это подтверждает полученные данные наличия в верхнем течении р. Сок комплекса относительно редких видов, вероятность обнаружения которых увеличивается при углублении мониторинговых исследований.

Выделение уровней α- и β-составляющих видового разнообразия. Построение концепций функционирования речных сообществ основывается на представлении экосистемы в виде географически интегрированной иерархической структуры, состоящей из совокупности вложенных друг в друга пространственных и временных масштабных уровней, которые во многом определяют специфику поставленных задач и методологию их решения (Frissell et al., 1986; Thorp et al., 2006). Поэтому интерпретация оценок видового разнообразия тесно связана не только с соотношением обобщенных среднестатических плотностей популяций видов p_i, но и с учетом их распределения в рамках отдельных пространственных масштабов изучаемых экосистем.

Эта задача сводится к разложению общего γ-разнообразия всего водотока по уровням: точечному разнообразию на уровне проб, взятых в фиксированные моменты времени, и α-разнообразию внутри однородного участка. Этим компонентам инвентаризационного разнообразия соответствуют по Р. Уиттекеру (Whittaker, 1972) уровни дифференцирующего β-разнообразия, оценивающие «дисперсию» видового состава между отдельными элементами, т.е. мозаичное разнообразие между выборками из одного биотопа и сравнительное β-разнообразие между отдельными участками.

Аддитивная схема Р. Ланде (Lande, 1996; Veech et al., 2002), основанная на статистической теории декомпозиции видовой структуры (Rao, 1982), осуществляет разложение общего разнообразия (γ) на сумму α- и β-компонентов. Например, для трех масштабных уровней «выборка (проба)»-«местообитание (участок)»-«регион (вся река)» эта сумма состоит из среднего разнообразия, содержащегося в «пробах» (α_1), разнообразия, привносимого различиями между выборками в пределах «местообитания» (β_1) и различиями между «участками» в пределах «региона» (β_2): $\gamma = \alpha_2 + \beta_2 = \alpha_1 + \beta_1 + \beta_2$.

В общем случае для r масштабных уровней $\gamma = \alpha_1 + \sum_i^r \beta_i$, поскольку на каждом i-м уровне $\beta_i = \alpha_{i+1} - \alpha_i$ (Lande, 1996). Значения α_1, α_2, ..., α_r вычисляются по формуле $\alpha_i = \sum_j^{m_i} D_{ij} q_{ij}$, где D_{ij} – принятая метрика разнообразия, рассчитанная для каждой выборки, $j = 1, 2, \ldots m_i$, m_i – число компонентов на i-м уровне иерархической схемы; q_{ij} – веса, определяемые соотношением общего числа особей, найденных в каждой выборке j (Wagner et al., 2000).

Нами было выполнено разложение общего видового разнообразия макрозообентоса речной системы Байтуган-Сок на α- и β-составляющие при различных уровнях выборочного агрегирования: проба ($m_1 = 123$), станция наблюдения ($m_2 = 22$), участок ($m_3 = 3$), весь водоток ($m_4 = 1$). В качестве тестируемых показателей разнообразия использовались индексы Шеннона H и Симпсона D, а также видовое богатство S (табл. 92). Следует отметить различия между долевым соотношением рассчитанных компонентов для использованных метрик разнообразия. Если среднее число видов на одном участке составляет около половины общего богатства водотока (168 из 325), то видовое разнообразие всей экосистемы, оцененное по индексам H и D, несущественно отличается от этих показателей на отдельных участках. Методические причины этих различий, объясняемые как природой самих индексов, так и статистическими эффектами подсчета среднего обилия особей, подробно обсуждаются в работе Л. Джоста (Jost, 2006).

Дж. Геринг с соавторами (Gering et al., 2003) предложили статистический критерий оценки значимости отличий эмпирических значений α_{obs} и β_{obs} от ожидаемых величин при случайном характере распределения особей по выборкам. Восстановление распределения модельных значений α_{sim} и β_{sim} происходит в ходе многократно повторяемой процедуры генерации псевдовыборок со случайным размещением видов. Для всех компонентов α- и β-разнообразия, представленных в табл. 92, была проверена значимость статистической гипотезы $H_0 : \beta_{obs} = \beta_{sim}$ в результате 100 итераций рандомизированного перемешивания числа особей. Найденные p-значения оказались очень низкими ($p < 0{,}01$),

следовательно, предположение, что данные мониторинга рек Байтуган-Сок являются результатом работы «нуль-модели случайной генерации видов», можно отклонить с большой вероятностью.

Таблица 92. Разложение видового разнообразия сообществ макрозообентоса речной системы Байтуган-Сок на α- и β-составляющие

Уровень	Описание составляющих	Компоненты α-β	Число видов *s*	Индекс Шеннона *H*	Индекс Симпсона *D*
0	Общее разнообразие	γ	325	3,77	0,9431
1	Среднее α-разнообразие 123 проб и β-разнообразие между пробами	α_1	13	1,619	0,6705
		$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3$	312	2,148	0,2726
2	Среднее α-разнообразие 22 станций наблюдения и β-разнообразие между станциями	$\alpha_2 = \alpha_1 + \beta_1$	44,6	2,34	0,800
		$\beta_2 + \beta_3$	280,4	1,43	0,143
3	Среднее α-разнообразие трех участков водотока (р. Байтуган, р. Сок – ВТ и НТ) и β-разнообразие между ними	$\alpha_3 = \alpha_1 + \beta_1 + \beta_2$	168,0	3,33	0,925
		β_3	157,0	0,44	0,018

Особый смысл имеет масштабная декомпозиция такого показателя, как число видов *S*, обнаруженных в экосистеме по мониторинговым данным. Используя различную группировку проб в соответствии с иерархическим планом объединения масштабных уровней, можно построить (Olszewski, 2004; Crist, Veech, 2006) семейство кривых разрежения, которые имеют разный масштаб по оси абсцисс, но все они асимптотически приближаются к полному богатству видов (Gotelli, Colwell, 2001).

Иерархия масштабных уровней разложения разнообразия донных сообществ речной системы Байтуган-Сок на α- и β-компоненты представлена на рис. 72. Графики трех кривых разрежения видового богатства, полученные для отдельных проб, станций наблюдения и отдельных участков рек, могут быть интерпретированы следующим образом:

- среднее видовое богатство в одной пробе соответствует α_1-разнообразию и является первой точкой на соответствующей кривой накопления ($\alpha_1 = 13$);
- различие в числе видов между последней и первой точками на кривой разрежения для проб есть полное β-разнообразие между пробами;
- полное число видов в объединенном множестве проб соответствует γ-разнообразию;
- аналогично этому, число видов, соответствующее первым точками каждой последующей кривой накопления (для станций и участков водотоков), являются оценкой α_i-разнообразия, а разница между ординатами первых точек любой пары смежных кривых – β_i-разнообразия между объектами *i*-го уровня.

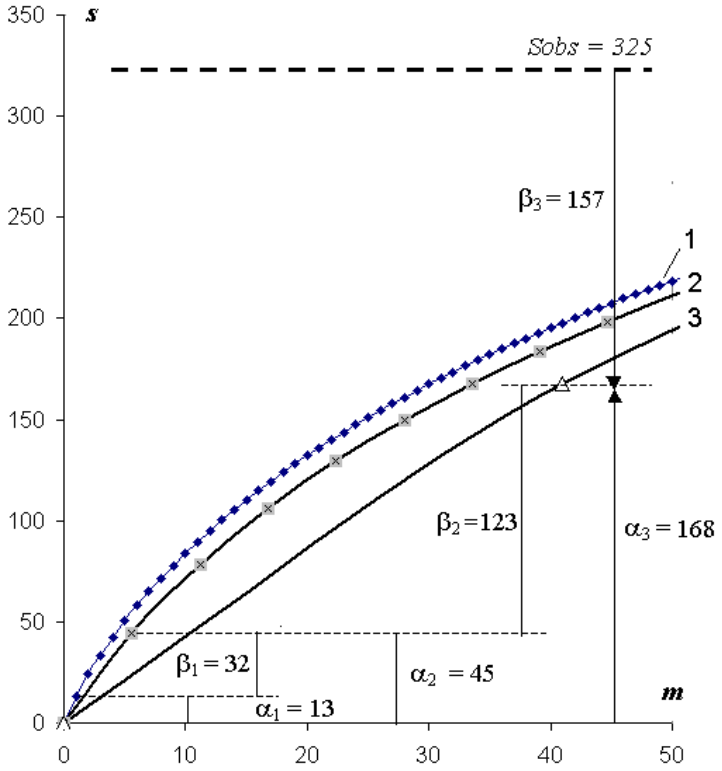


Рис. 72. Декомпозиция видового богатства макрозообентоса рек Байтуган-Сок на α- и β-составляющие по трем уровням: 1 – гидробиологическая проба, 2 – станция наблюдения, 3 – участок водотока. По оси абсцисс – количество проб *m,* по оси ординат – накопленное число видов *s*; S_{obs} – общее видовое богатство в водотоке

Разложение общего видового разнообразия по масштабным уровням позволяет подойти к проблеме оценки экологического статуса сообществ с учетом факторов биотопической и региональной неоднородности плотности популяций. Например, полученное соотношение α-компонентов видового богатства (13 – в одной пробе, 45 – на станции, 168 – на участке, 325 – для всего водотока) свидетельствует как о возможном существовании продольных градиентов и локальных рефугиумов по течению изучаемых рек, так и о специфической особенности, характерной для донных сообществ этих рек, связанной с наличием достаточно большого числа редких видов. В частности, для рассматриваемых сообществ средней статистической «нормой» является вероятность обнаружения вида только в одной взятой пробе бентоса из 12.

3.2. ОРДИНАЦИЯ УЧАСТКОВ РЕЧНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ВЫДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВЫХ АССОЦИАЦИЙ ВИДОВ МАКРОЗООБЕНТОСА

Данные гидробиологической съемки, представленные численностями особей отдельных таксонов, обнаруженных в пробах из различных биотопов, могут быть геометрически интерпретированы как существенно «размытые» сгущения точек (местообитаний) в многомерном пространстве признаков (видов). Поэтому естественной задачей экологической *синтаксономии* является нахождение путей упорядочивания или группировки этих объектов с использованием количественных критериев.

В общем случае любая группировка объектов (*R-анализ* – объединение видов, *Q-анализ* – объединение сообществ; Миркин, Розенберг, 1978, 1979) использует несколько основных подходов – ординацию, дискриминацию и классификацию. В настоящей статье на примере экосистемы рек Байтуган-Сок рассматриваются методы ординации, основан-

ные как на анализе встречаемости видов макрозообентоса с различной экологической стратегией, так и использующие информацию о внешних факторах среды, в том числе:

- многомерная процедура Браун-Бланке двухсторонней сортировки биогеографической матрицы путем последовательной перестановки её строк и столбцов;
- различные алгоритмы непрямой ординации, использующие последовательную редукцию облака точек многомерного пространства и графическое представление на плоскости геометрической метафоры изучаемых объектов;
- прямая многомерная ординация экологических сообществ на основе метода канонического анализа соответствий CCA и с использованием нечетких множеств.

Для проведения расчетов речная система была разделена с учетом гидрологических характеристик водотоков на 13 экологически однородных участков (в том числе 4 участка в пределах р. Байтуган), включающих примерно одинаковое количество проб от 10 до 14. Таксономический состав макрозообентоса на участках оценивался по трем показателям: видовое богатство, частота встречаемости в пробах и средняя прологарифмированная численность особей каждого вида.

Двухстороннях блочная диагонализация исходной матрицы. Многомерная последовательная процедура классификации, разработанная Ж. Браун-Бланке (Braun-Blanquet, 1921)и его последователями широко используется для выделения устойчивых сочетаний совместно встречающихся видов в геоботанических описаниях. Идея метода проста – необходимо целенаправленно переставлять строки и столбцы исходной матрицы наблюдений до тех пор, пока таблица не приобретет, насколько это возможно, отчетливую блочную структуру. Процесс такой *RQ*-диагонализации приводит к тому, что по главному градиенту изменчивости начинают просматриваться прямоугольные блоки клеток, соответствующие ассоциациям близких по экологии видов в группах биоценозов сходных местообитаний.

Алгоритмическая завершенность аналитической части метода Браун-Бланке была достигнута в компьютерной программе TWINSPAN (Two-Way INdicator SPecies ANalysis) в постановке М. Хилла (Hill, 1979, 1989; Gauch 1982). Последовательное преобразование таблицы включает блок стандартного анализа соответствий (CA – correspondence analysis), причем на каждом шаге проводится иерархическая группировка местообитаний и видов, которые делятся сначала на 2 класса, потом на 4, 8, 16 и т. д.

Фрагмент результатов TWINSPAN-классификации для 85 наиболее характерных дифференцирующих видов макрозообентоса, предварительно отобранных с использованием меры верности Брюльхейда (Bruelheide, 2000; Chytrý et al., 2002), представлен в табл. 93.

В результате синэкологической обработки была получена классификация створов на четыре группы 00, 10, 01 и 11: отдельно р. Байтуган и три участка р. Сок, расположившихся последовательно на продольном градиенте водотока.

Группировка видового состава была осуществлена по 4 иерархическим уровням. Представленный анализ разбиения видового состава является достаточно корректным с содержательной точки зрения оценки продольного распределения донных сообществ.

Отчетливо выделяются группы видов 1111 и 1101, относящихся исключительно к таксоценозу реофильных и чистоводных видов, например: *Nemoura cinerea*, *Pristina rosea*, *Elmis aenea*, *Orthocladius consobrinus*, *Brillia modesta*, *Tvetenia* sp., *Eukiefferiella claripennis*, *Centroptilum luteolum*, *Euglesa casertana*, характерных для предгорной р. Байтуган. В состав группы 0000 и 0001 входят таксоны разных систематических групп, обитание которых приурочено в основном к медленно текучим, умеренно загрязненным водотокам: это хирономиды *Zavrelia pentatoma Chironomus obtusidens*, *Ablabesmyia monilis*, *Polypedilum scalaenum*, *Microchironomus tener*, *Chironomus anthracinus*, *Cryptochironomus* gr. *defectus,* моллюски *Henslowiana henslowana*, *Pisidium amnicum*, *Euglesa acuminata*, локализующиеся преимущественно в эвтрофных участках нижнего течения р. Сок.

Таблица 93. Блочно-диагональное представление участков речной экосистемы Байтуган-Сок

Таксон	Байтуган				Сок 1		Сок 2			Сок 3				Классы видов
	01	03	06	08	01	02	03	04	05	08	09	12	13	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Elmis sp.	2	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1111
Tvetenia sp.	2	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1111
Eukiefferiella claripennis	3	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1111
Nemoura cinerea	1	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1111
Pristina rosea	3	2	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1111
Elmis aenea	2	3	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1111
Euglesa casertana	-	-	3	2	-	-	-	-	-	-	2	-	-	1101
Centroptilum luteolum	2	-	3	3	-	-	-	-	-	3	-	-	-	1101
Corynoneura sp.	-	2	2	2	-	-	-	-	-	-	2	-	-	1101
Thienemanniella clavicornis	3	2	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	1101
Parakiefferiella bathophila	2	-	3	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	1101
Ephemerella ignita	3	2	3	3	-	-	3	2	-	-	-	-	-	1101
Orthocladius (*Orth.*) sp.	3	2	3	-	-	3	3	-	-	-	-	-	-	1101
Brillia modesta	2	2	2	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	1101
Pericoma sp.	1	2	3	-	2	-	-	2	2	-	-	-	-	1100
Psectrocladius sp.	-	1	2	2	-	3	2	2	-	-	-	-	-	1100
Orthocladius (*Pog.*) *oblidens*	3	-	-	2	3	2	2	2	-	-	2	-	-	1100
Parametriocnemus lundbecki	2	2	2	2	2	-	2	2	2	-	-	-	-	1100
Orthocladius sp.	2	2	2	3	-	3	-	2	3	-	2	-	-	1100
Eukiefferiella gr. *gracei*	2	2	2	3	-	3	2	3	2	-	-	-	-	1100
Micropsectra sp.	-	2	-	-	2	3	2	2	-	-	-	-	-	1100
Odontomesa fulva	-	1	2	2	1	3	2	-	-	-	-	-	-	1100
Heterotrissocladius gr. *marcidus*	2	2	-	-	2	3	-	2	-	-	2	-	-	1100
Paracladopelma gr. *camptolabis*	2	1	1	2	2	3	1	2	-	-	2	-	-	1100
Culicoides sp.	2	2	2	2	2	2	1	1	2	-	1	1	1	1100
Limnodrilus sp.	2	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	3	1100
Potamothrix hammoniensis	-	2	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	3	1100
Eukiefferiella sp.	2	2	2	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	1011
Eukiefferiella claripennis	2	2	2	2	-	-	2	2	2	-	-	-	-	1011
Procladius choreus	2	2	-	-	3	2	-	-	-	2	-	2	2	1010
Limnophilus flavicornis	-	2	2	-	-	2	-	2	-	-	-	-	2	1010
Micropsectra gr. *praecox*	1	1	2	-	2	2	2	-	-	-	-	-	3	1010
Parametriocnemus sp.	2	2	-	2	-	2	3	2	-	-	-	-	-	1001
Ephemera vulgata	2	3	-	2	-	2	2	-	2	-	-	-	2	1001
Prodiamesa olivacea	2	1	1	1	1	2	1	2	3	-	-	-	-	1001
Boophthora erythrocephala	-	2	2	2	2	-	2	2	3	-	2	-	-	1001
Monodiamesa bathyphila	2	1	2	1	-	2	1	2	2	3	-	-	-	1001
Simulium sp.	1	1	2	2	-	3	1	2	2	2	2	-	-	1001
Cricotopus gr. *tremulus*	1	2	3	-	-	-	3	3	-	2	-	-	-	1001
Baetis gr. *rhodani*	2	2	2	2	-	-	-	3	2	-	3	-	-	1001
Tanytarsus pallidicornis	-	-	-	-	2	3	-	2	-	-	2	-	2	1000
Rheocricotopus fuscipes	3	2	-	-	-	-	2	3	2	-	2	-	-	0111
Monodiamesa bathyphila	-	2	-	-	-	3	2	2	2	-	-	-	-	0110
Cricotopus. (*Isocladius*) *trifasciatus*	-	2	-	-	-	2	2	2	2	-	-	-	-	0110
Chironomus plumosus	3	-	-	-	2	-	2	2	-	-	-	-	2	0110
Culicoides grisescens	-	2	2	-	2	-	2	-	3	-	3	-	-	0110
Paratendipes albimanus	2	-	-	2	3	3	2	2	3	2	-	2	-	0110
Procladius ferrugineus	2	-	-	2	-	3	2	3	2	2	1	1	1	0100
Euglesa sp.	-	2	3	-	-	-	-	2	2	2	2	-	2	0100
Chironomus sp.	2	2	-	-	-	-	2	-	-	2	-	2	2	0100
Stempellina bausei	-	-	-	2	-	2	-	-	-	2	2	1	2	0100

Окончание табл. 93

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Dicranota sp.	-	-	-	-	2	-	2	3	-	-	-	-	-	0011
Centroptilum sp.	-	-	-	-	2	-	3	-	2	-	-	-	-	0011
Pisidium sp.	-	2	-	-	-	-	2	-	3	-	-	-	-	0011
Cloeon dipterum	2	-	-	-	-	-	2	2	3	-	-	2	-	0011
Haliplus ruficollis	-	2	2	-	-	-	2	3	2	2	2	-	-	0011
Cricotopus gr. *sylvestris*	3	-	-	-	2	-	3	3	3	-	2	-	2	0011
Sialis lutaria	-	-	-	-	2	-	2	-	2	2	-	-	-	0011
Psectrocladius sordidellus	-	-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	3	0010
Popypedilum convictum	-	-	-	-	-	2	2	2	-	-	2	-	2	0010
Pisidium inflatum	-	2	-	-	-	-	-	-	2	-	2	-	1	0010
Stictochironomus crassiforceps	-	-	2	-	-	-	2	2	-	-	2	2	-	0010
Baetis sp.	2	2	-	-	-	-	2	2	2	2	2	-	-	0010
Nanocladius bicolor	1	-	2	-	-	-	2	3	-	-	2	1	2	0010
Micronecta sp.	3	-	-	-	-	-	-	3	-	2	2	-	2	0010
Paratanytarsus sp.	-	-	-	-	-	2	2	-	-	2	2	-	2	0010
Polypedilum nubeculosum	-	-	-	-	-	2	1	2	2	2	2	1	1	0010
Cladotanytarsus gr. *mancus*	-	-	2	-	-	2	2	1	2	3	2	1	1	0010
Cheumatopsyche lepida	-	-	-	-	-	-	2	2	2	-	2	-	-	0001
Stempellina sp.	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	2	-	3	0001
Pisidium amnicum	-	-	-	-	-	-	-	3	2	-	2	2	2	0001
Cryptochironomus gr. *defectus*	-	-	-	-	-	-	2	2	2	2	1	1	2	0001
Paratanytarsus intricatus	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	2	-	3	0000
Chironomus anthracinus	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	2	2	0000
Thienemannimyia sp.	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	2	3	-	0000
Piscicola geometra	-	-	-	-	-	-	2	-	2	-	2	2	2	0000
Polypedilum scalaenum	-	-	-	-	-	-	-	2	2	3	1	1	2	0000
Microchironomus tener	-	-	-	-	-	-	-	3	2	3	2	1	1	0000
Chironomus obtusidens	-	-	-	-	-	-	2	3	-	3	2	2	2	0000
Zavrelia pentatoma	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	-	3	0000
Paralauterborniella nigrohalteralis	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	3	2	-	0000
Caenis macrura	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	2	1	2	0000
Euglesa acuminata	-	-	2	-	-	-	-	-	-	1	2	-	2	0000
Ablabesmyia monilis	-	-	-	-	-	2	-	-	-	2	2	2	2	0000
Henslowiana henslowana	-	-	2	-	-	-	-	-	-	3	2	2	2	0000
Классы участков	00	00	00	00	01	01	10	10	10	11	11	11	11	

В то же время комплекс видов, характерных для типологически сходных рек и относительно равномерно распределенных по всему продольному течению системы водотоков (рео- и эвриоксибионтные хирономиды *Monodiamesa bathyphila*, *Prodiamesa olivacea*, поденки *Ephemera vulgata*, *Baetis* gr. *rhodani*, *Cloeon dipterum*, жуки *Haliplus ruficollis*, мошки *Boophthora erythrocephala* и моллюски рода *Pisidium*), оказался размещенным в промежуточных группах от 1001 до 0011.

Результаты применения методов непрямой (косвенной) ординации. С использованием тех же исходных данных о встречаемости видов макрозообентоса в гидробиологических пробах, сделанных в зоне каждой из 13 станций речной экосистемы Байтуган-Сок, были выполнены расчеты по 4 основным методам непрямой ординации, краткое описание которых приведено ниже.

1. *Анализ главных компонент* (PCA, principal component analysis), как одна из форм факторного анализа, является классическим методом редукции данных, детально описанным в многочисленных руководствах (ter Braak, 1983; Айвазян и др., 1989). Оси ординационной диаграммы F_1-F_2 рассчитываются как линейные комбинации факторных

нагрузок, основанных на первых двух собственных значениях корреляционной матрицы **R** и их собственных векторах. PCA является линейным методом, моделирующим монотонный характер изменения обилия видов по шкале градиента.

2. *Анализ соответствий* (CA, correspondence analysis) основан на процедуре встречного осреднения или, в другой терминологии, реципрокного взвешивания (Curtis, McIntosh, 1951; Williams, 1952; Hill, 1973). Алгоритм заключается в итеративном вычислении набора весовых коэффициентов для всех местообитаний и для всех видов до тех пор, пока их значения не стабилизируются. В отличие от PCA, CA изначально был ориентирован на учет унимодального распределения обилия видов. Отмечается (Jongman et al., 1987), что этот метод сильно преувеличивает влияние редких видов, а ординационная картина может искажаться из-за наличия «эффекта арки», обусловленного квадратичными связями между осями.

3. *Анализ главных координат* (PCoA) или метод метрического многомерного шкалирования (Айвазян и др., 1989) абстрагируется от исходной таблицы данных мониторинга и оперирует только с произвольной матрицей расстояний **D**, в качестве которых может использоваться любая метрика: евклидово, манхеттенское или хеммингово расстояние, статистика χ^2, индексы Съеренсена, Кульчицкого, Минковского, Брея-Куртиса, Робертса, Мориситы, Горна, Охайи (Ochiai), Ружички (Ruzicka), Маунтфорда (Mountford) и др. Как и в PCA, поиск решения PCoA осуществляется на множестве линейных функций и основан на операциях с собственными числами и собственными векторами.

4. *Алгоритм неметрического многомерного шкалирования* (NMS, nonmetric multidimensional scaling), также использует произвольную матрицу дистанций **D** (Kenkel, 1986; Clarke, 1993; Шитиков и др., 2003). В ходе итерационной процедуры он минимизирует критерий «стресса» и создает «образ» моделируемых объектов (видов и местообитаний), в котором взаимные попарные расстояния оказались бы наименее искажены по сравнению с исходным состоянием **D**. Главным преимуществом метода является отсутствие каких-либо априорных предположений о характере статистического распределения исходных данных, что позволяет получать наиболее адекватные результаты, особенно для больших биогеографических матриц с сильными шумами (Prentice, 1977; Minchin, 1987).

Ординация биотопов, выполненная различными методами (рис. 73), не выявила между собой принципиальных отличий (заметим, что допустимо произвольное вращение ординационных диаграмм относительно их центра координат). Хотя во всех случаях можно выделить характерные «зоны» водотока, ординационные диаграммы, полученные на основе разных методов, имеют и некоторые специфические отличия: например, на них с разной степенью отчетливости показывается расстояние между кластерами {S_01 - S_02} и {S_03 - S_05} или {S_08 - S_09} и {S_12 - S_13}.

Найденные ординационные шкалы могут рассматриваться не только как результат объединения участков реки, но и выделения ассоциаций обитаемых там видов. Для точной интерпретации их гидробиологического смысла проводится анализ коэффициентов корреляции факторных нагрузок со значениями исходных переменных. Например, все виды, представленные в табл. 94 и в наибольшей степени определяющие ординационную картину, можно разделить на несколько групп по силе отрицательной или положительной связи со шкалами NMS. Например, отрицательные значения шкалы 1 связаны с эврибионтными таксонами, характерными для нижнего течения р. Сок, в то время как ее положительное направление определяется реофильной группой. Виды этой группы определяют также и положительное направление шкалы 2.

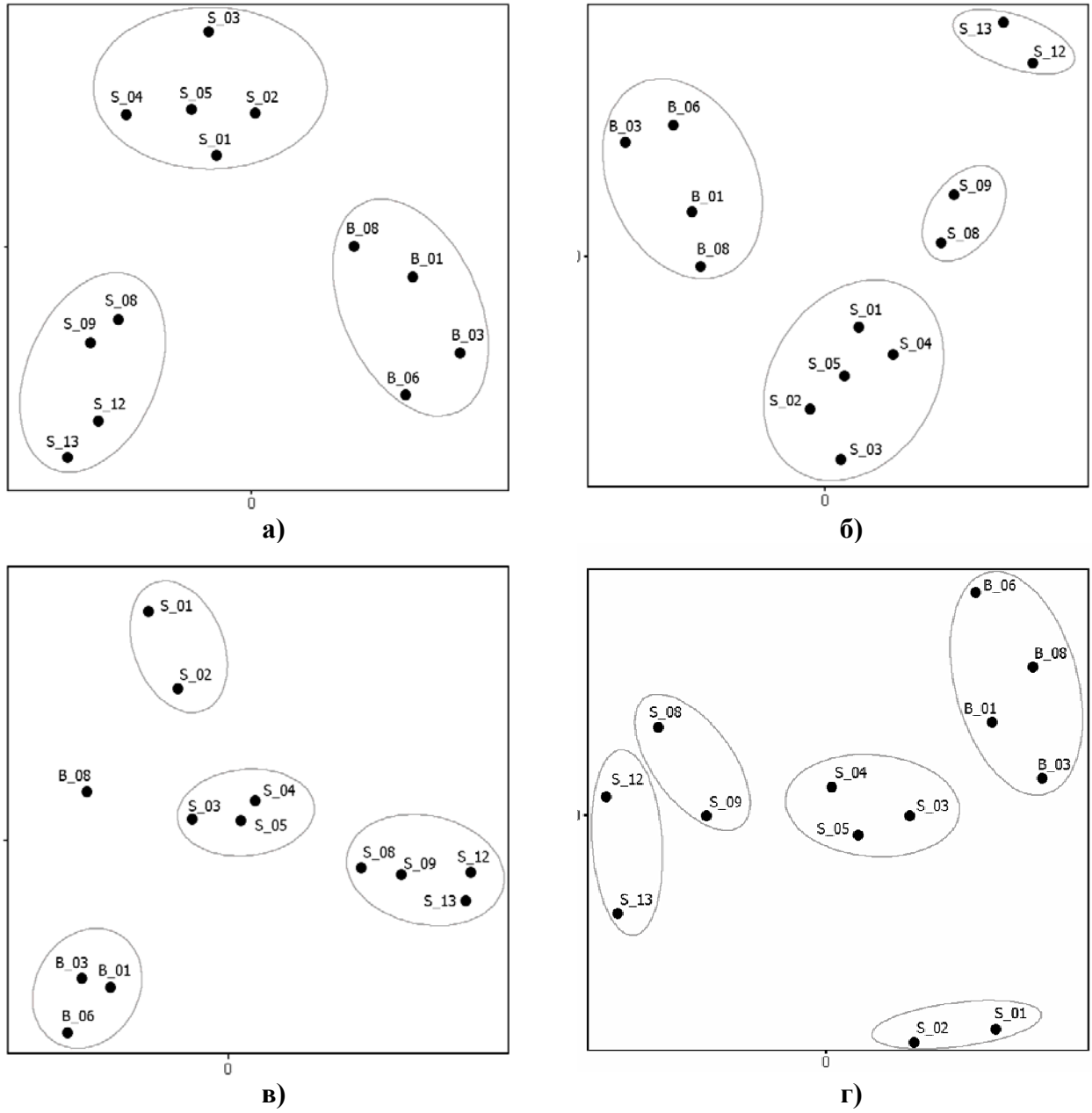


Рис. 73. Ординационные диаграммы участков рек Байтуган и Сок (префиксы B и S соответственно), полученные различными методами: а) главных компонент PCA, б) анализа соответствий CA, в) главных координат PCoA и г) неметрического многомерного шкалирования NMS

Таблица 94. Коэффициенты корреляции Пирсона (r) и ранговой корреляции Кендалла (τ), связывающие распределение видов по станциям рр. Байтуган-Сок с нагрузками ординационных шкал NMS (приведены виды с r > ±0,45)

Таксоны, определяющие шкалу 1	Шкала 1		Шкала 2		Таксоны, определяющие шкалу 2	Шкала 2	
	r	τ	r	τ		r	τ
Paratanytarsus sp.	-0,802	-0,686			*Unio* sp.	-0,702	-0,600
Ablabesmyia monilis	-0,765	-0,677	-0,652	-0,512	*Piscicola geometra*	-0,611	-0,490
Stempellina bausei	-0,712	-0,626			*Paralauterborniella nigrochalteralis*	-0,587	-0,496
Harnischia fuscimana	-0,638	-0,572	-0,560	-0,453	*Pisidium amnicum*	-0,564	-0,518
Polypedilum nubeculosum	-0,607	-0,556			*Thienemannimyia* sp.	-0,563	-0,419
Paralauterborniella nigrochal	-0,607	-0,537			*Euglesa dupuiana*	-0,562	-0,493
Cladotanytarsus mancus	-0,602	-0,492			*Caenis macrura*	-0,542	-0,556
Zavrelia pentatoma	-0,585	-0,480	-0,591	-0,52	*Paratanytarsus confusus*	-0,517	-0,380
Polypedilum scalaenum	-0,537	-0,473	-0,597	-0,534	*Odontomesa fulva*	0,582	0,545
P. convictum	-0,529	-0,413			*Orthocladius* sp.	0,585	0,453
Chironomus obtusidens	-0,522	-0,439			*Elmis aenea*	0,586	0,548
Sphaeriastrum rivicola	-0,520	-0,480	-0,700	-0,560	*Hydropsyche angustipennis*	0,596	0,532
Microchironomus tener	-0,475	-0,439			*Pristina rosea*	0,597	0,594
Procladius ferrugineus	-0,458	-0,279			*Psectrocladius* sp.	0,603	0,545
Parakiefferiella bathophila	0,459	0,440			*Limnophila sp.*	0,604	0,560
Tvetenia sp.	0,479	0,414			*Eukiefferiella* gr. *gracei*	0,613	0,566
Odontomyia sp.	0,489	0,414	0,532	0,453	*Culicoides s*p.	0,618	0,478
Teleopelopia sp.	0,499	0,520			*Orthocladius consobrinus*	0,619	0,534
Elmis sp.	0,500	0,453	0,547	0,493	*Parametriocnemus* sp.	0,619	0,473
Brillia modesta	0,647	0,580			*Eukiefferiella claripennis*	0,696	0,616
Parametriocnemus lundbecki	0,649	0,412	0,581	0,443	*Nemoura cinerea*	0,713	0,654
Pericoma sp.	0,697	0,575			*Ephemerella ignita*	0,721	0,647

Статистический анализ результатов многомерной ординации. Одна из проблем ординации состоит в получении диаграммы, наиболее полезной для дальнейшей экологической интерпретации, т.е. которая с высокой разрешающей способностью отражает «естественные» связи в сообществах. Наряду с многообразием самих методов ординации, на результаты расчетов могут оказывать существенное влияние формат и размерность обрабатываемых таблиц, способы трансформирования исходных показателей, выбор выражения для меры сходства и другие факторы. И здесь существует опасность «ложных выводов» и заблуждений, основанных на выделении случайных и непостоянных тенденций в экосистеме, которые вновь не проявились бы при анализе других выборок из той же генеральной совокупности. Другое обстоятельство связано со значительной субъективностью восприятия исследователем сгущений точек (рис. 73). Поэтому актуальна разработка количественных критериев надежности, основанных на вероятностной процедуре проверки гипотез, чтобы оценить, насколько статистически значима полученная версия ординационной диаграммы.

Количественно оценить надежность найденной ординации можно различными способами (McCune et al., 2002): 1) используя долю объясняемой вариации данных, 2) выполнив ординацию на последовательности различных фрагментов из одних и тех же исходных данных, 3) по найденным статистическим отличиям при сопоставлении с нуль-моделью, 4) сравнивая найденную закономерность с некоторым эталонным образцом.

Доля объясненной дисперсии, связанная с ведущими собственными значениями λ_1 и λ_2, может служить хорошей оценкой достоверности ординации. Однако при этом учитывается только один аспект – информационные потери от редукции исходного многомерного пространства видов и местообитаний до двумерного представления. В. Пиллар (Pillar, 1999) предложил общую схему использования бутстреп-метода для тестирования метрических ординаций, методическая важность которой связывается с вычислением ве-

роятности *p,* показывающей статистическую значимость отличия найденной ординационной структуры от нуль-модели данных. Нуль-модель включает все исходные переменные (виды и местообитания), но иммитирует случайную зависимость между ними.

Схема тестирования метрических ординаций CA, PCA или PCoA с использованием бутстреп-метода (Pillar, 1999) заключается в следующем:

- генерируется большое число B (в нашем случае $B = 1000$) псевдовыборок на основе случайных комбинаций из столбцов исходной матрицы, соответствующих отдельным участкам водотока;
- полученные бутстреп-матрицы подвергаются ординации по одинаковой схеме с последующей «прокрустовой стандартизацией» (Procrustean adjustment), т.е. путем вращения и корректировки размерностей результаты приводятся к сопоставимой форме;
- для каждой псевдовыборки рассчитывается средний коэффициент корреляции θ^*_1 факторных весов 1-й главной ординационной оси со значениями натуральных признаков;
- значения показателей, представленных в строках псевдоматрицы, многократно случайным образом перемешиваются, рассчитывается средний коэффициент корреляции θ^o_1 для рандомизированной структуры и проверяется выполнение условия $\theta^o_1 > \theta^*_1$;
- вычисляется вероятность ошибки 1-го рода $P(\theta^o_1 > \theta^*_1) = (1 + F) / (1 + B)$, где F – число случаев, когда коэффициент корреляции для рандомизированных данных оказался больше, чем для эмпирических;
- аналогичные вычисления проводятся для остальных осей ординации.

Вероятность $P(\theta^o_1 > \theta^*_1)$ является индикатором достоверности отличий ординационной структуры изучаемой экосистемы от ее нуль-модели. Если установить уровень значимости (например, $\alpha = 0{,}05$), то при $P(\theta^o_1 > \theta^*_1) < \alpha$ нулевая гипотеза будет отклонена, а результат ординации можно считать нетривиальным и пригодным для интерпретации. В противном случае следует принимать во внимание, что полученная главная ось может оказаться неустойчивой, поскольку вариация относительно нее статистически значимо не отличается от случайных флуктуаций.

Нами было проанализировано (табл. 95) на одном и том же исходном материале, как изменяется надежность результатов ординации в зависимости от таких ключевых параметров расчета, как размерность признакового пространства, тип обрабатываемых данных и формула для расчета меры сходства. Представленные результаты, например, показывают, что использование различных метрик расстояния не оказывает большого влияния на итоги ординации. Можно лишь отметить несколько худшие результаты, полученные с использованием евклидова расстояния, и хорошую стабильность применения процентной разности Брея-Кёртиса.

Наиболее обоснованным для ординации является представление данных в виде частот встречаемости видов в гидробиологических пробах. Существенно более зашумленные результаты были получены при использовании средней численности особей каждого вида при различных версиях нормировки (в том числе, проективного покрытия, широко употребляемого в геоботанике). Наименее стабильные результаты, как и ожидалось, дало представление данных в виде бинарных переменных («наличие/отсутствие» вида) и использование индекса сходства Сьеренсена.

Не вполне однозначные выводы были получены при анализе влияния количества видов, представленных в исходной матрице. Как и принято считать (см. Jongman et al., 1987), включение комплекса редких видов немного снизило стабильность ординации за счет нарастающей ошибки при оценке собственных значений. Однако, вопреки ожиданию, еще более ухудшил ее качество переход к тщательно укомплектованному списку из 69 «надежных» видов с наилучшими биоиндикационными свойствами. Наконец, к еще менее стабильным результатам привело агрегирование видов в систематические группы более высокого уровня (семейства, подсемейства и трибы).

Таблица 95. Результаты анализа устойчивости различных вариантов ординации методом главных координат (PCoA) на основе процедуры бутстрапинга (Pillar, 1999)

Исходная матрица		Мера сходства**	Главная ось 1***			Главная ось 2***		
Видов*	Тип данных		d_1, %	θ^*_1	$P(\theta^o_1 > \theta^*_1)$	d_2, %	θ^*_2	$P(\theta^o_2 > \theta^*_2)$
214	Наличие/отсутствие	*Sr*	15,02	0,664	0,524	11,29	0,65	0,501
	Средний $ln(N+1)$, N – численность особей вида, экз/м^2	*E*	19,35	0,789	0,258	12,22	0,720	0,421
		R	18,39	0,808	0,181	11,58	0,762	0,461
		BC	24,6	0,88	0,148	12,58	0,69	0,466
	Численность, нормированная на сумму по участкам (проективное покрытие)	*R*	16,41	0,621	0,341	12,23	0,644	0,412
	То же по видам	*R*	18,38	0,79	0,206	11,58	0,686	0,458
	Встречаемость вида в пробах	*E*	40,0	0,974	**0,04**	11,88	0,768	0,379
		R	33,61	0,971	**0,029**	11,29	0,672	0,519
		BC	34,81	0,964	**0,032**	12,44	0,679	0,463
375	Встречаемость	*BC*	31,1	0,95	0,059	12,2	0,678	0,454
69	Встречаемость	*BC*	37,24	0,965	0,074	17,8	0,813	0,348
45	Встречаемость	*BC*	47,1	0,949	0,195	17,55	0,919	0,3

Примечание: * 375 – общее число обнаруженных таксонов макрозообентоса; 214 – число таксонов, встретившихся более двух раз на двух или более участках (т. е. без учета редких видов); 69 – число таксонов с максимальным индексом верности (коэффициент ассоциации Ф > 0,185; Chytrý et al., 2002); 45 – число таксонов макрозообентоса рангом выше вида.

** *Sr* – индекс Съеренсена для бинарных признаков, *E* – евклидово расстояние, *R* – коэффициент корреляции Пирсона, *BC* – коэффициент различий Брея-Куртиса (процентная разность).

*** d_i – доля, объясненной дисперсии, соответствующая главной координате с собственным значением λ_i ; θ^*_i – средний коэффициент корреляции бутстрапированных данных с факторными нагрузками *i*-й ординационной оси; $P(\theta^o_i > \theta^*_i)$ – вероятность того, что средний коэффициент корреляции θ^o_i для рандомизированной структуры окажется больше, чем θ^*_i (жирным шрифтом показаны случаи отклонения нулевой гипотезы).

Использование методов прямой ординации. Прямая многомерная ординация экологических сообществ стала важным элементом исследований после разработки метода *канонического анализа соответствий* (CCA – Canonical Correspondence Analysis; ter Braak, 1986). В методе CCA распределение обилия видов $\{y_{ki}\}$ дополнительно описывается с помощью гауссовой модели отклика, в которой объясняющая переменная представляется как линейная комбинация внешних факторов среды $\{x_{ji}\}$. При этом в комплексе решаются как задача собственно ординации, так и регрессионного анализа, т.е. статистически оценивается упорядоченность видов и местообитаний под влиянием внешних факторов.

Чрезвычайно полезной возможностью прямого ординационного анализа является визаулизация всех компонентов изучаемой экосистемы в форме совмещенной диаграммы «виды + местообитания+факторы среды» (рис. 74).

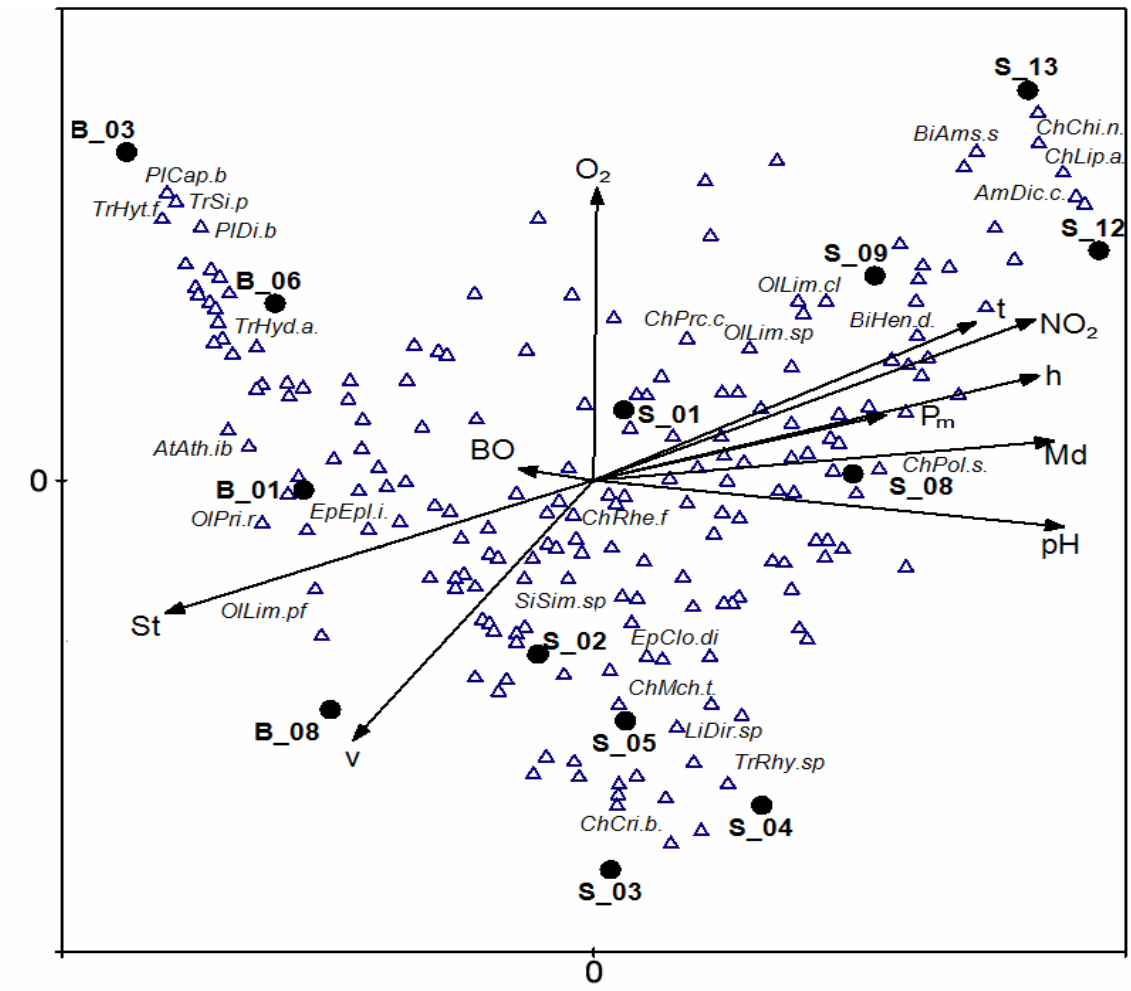


Рис. 74. Совмещенная ординационная диаграмма экосистемы рр.Байтуган-Сок с использованием канонического анализа соответствий CCA: *v* – скорость течения, *t* – температура, *h* – глубина в местах отбора проб, *pH* – активная реакция среды, *BO* – бихроматная окисляемость, NO_2 – нитритный азот, O_2 – кислород, P_m – фосфор минеральный, *St* – каменистость грунта, *Md* – заиленность грунта

Интерпретация совмещенных ординационных диаграмм основана на учете следующих закономерностей, характерных для большинства методов, использующих двухмерное проецирование:

- точки, соответствующие каждому из видов, обозначают координаты их экологических оптимумов; следовательно, среднее обилие или вероятность встречаемости вида уменьшается с увеличением расстояния от его позиции на графике;
- точки, соответствующие местообитаниям, лежат на диаграмме ординации в центре тяжести точек тех видов, которые преимущественно встречаются на этих станциях (аналогично, если точка вида находится близко от точки местообитания, то вероятно высокое обилие этого вида, связанное с этим биотопом);
- точки видов на краю диаграммы часто принадлежат редким видам, либо предпочитающим экстремальные условия среды, либо имеющим низкую встречаемость, случайно совпадающую с местообитаниями, имеющими характерные особенности микробиотопов.

Результирующая диаграмма ординации на рис. 74, отражает не только изменчивость видового состава относительно двух абстрактных осей F_1-F_2, но и основные связи между видами и каждым из факторов $\{x_{ji}\}$. Для этого из центра координат диаграммы проводятся дополнительные оси физических градиентов, которые обычно изображаются стрелками в плоскости, совмещенной с базовым биплотом. Проекция точки вида на каждую стрелку показывает экологический оптимум (точнее, центр тяжести распределения

обилия) этого вида относительно анализируемого параметра. Переменные среды, обозначаемые длинными стрелками, сильнее связаны с осями ординации, чем факторы, обозначаемые короткими стрелками, и, следовательно, более значимо определяют изменчивость видового состава.

Корреляция переменных среды с факторными нагрузками предоставляет дополнительную информацию для интерпретации главных ординационных осей диаграммы. Положительное направление оси 1 связано с основным комплексом сильно связанных между собой гидрологических и гидрохимических показателей, а ось 2 во многом определяется скоростью течения и содержанием растворенного кислорода.

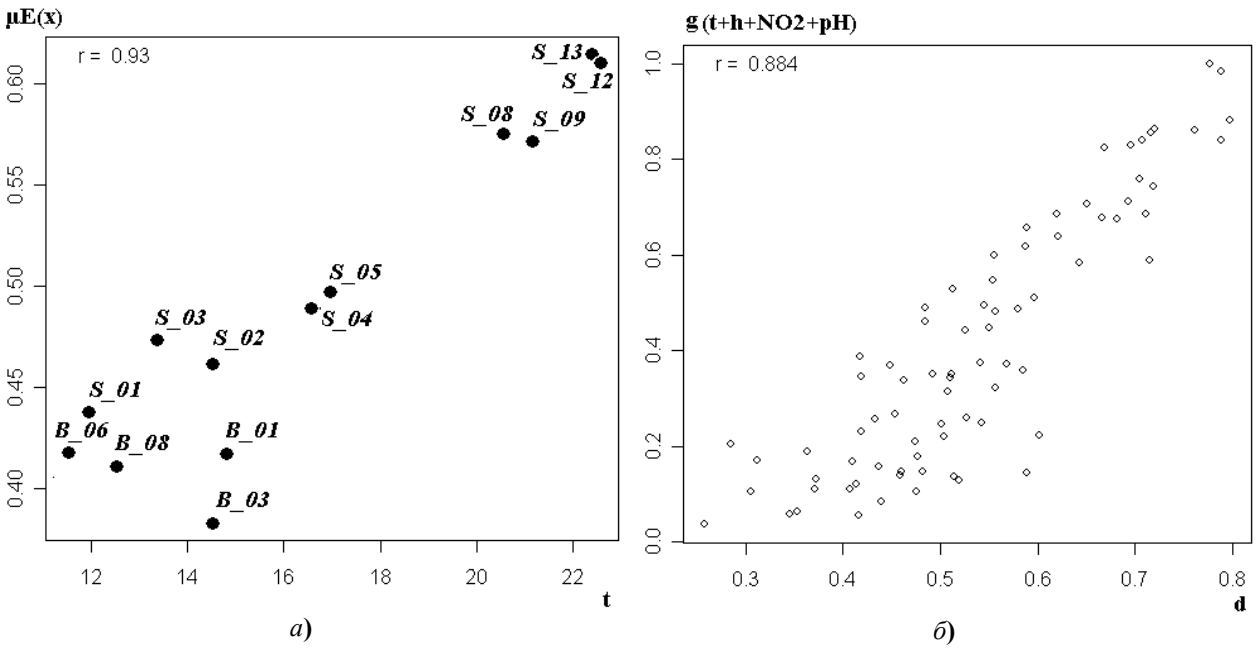
Практически идентичные результаты были получены нами и с использованием другого метода прямой ординации – *анализа избыточности* (RDA, redundancy analysis), предложенный К. Рао (Rao, 1964), который является канонической формой PCA и считается линейной альтернативой алгоритму CCA с ограниченной изменчивостью весов местообитаний. RDA-диаграмма для рассматриваемых донных сообществ, содержала незначительные расхождения по сравнению с рассмотренной выше диаграммой CCA, что является косвенной гарантией надежности получаемых выводов.

Эффективным методом анализа влияния факторов среды на таксономическую структуру является ординация экологических сообществ с использованием нечеткой логики и *нечетких множеств* (fuzzy sets – Zadeh, 1965; Bezdek, 1987). Для элементов x нечеткого множества **C** конструируется функция принадлежности (membership function) $\mu_C(x)$, принимающая на этом множестве значения в интервале от 0 до 1: $\mu_C(x) = 0$ означает полную несовместимость, т.е. $x \notin \mathbf{C}$, а $\mu_C(x) = 1$ – истинную принадлежность или $x \in \mathbf{C}$.

С использованием аппарата нечетких множеств Д. Робертсом (Roberts, 1986, 2008) разработан метод ординации сообществ FSO (Fuzzy Sets Ordination). FSO моделирует распределение оптимумов относительной таксономической насыщенности разных местообитаний на шкале фактора среды z, который потенциально может оказаться ведущим градиентом. Эта аналитическая процедура представлена К. тер Брааком как «калибровка» (см. главу 4 в коллективной монографии Jongman et al., 1987). Роль, которую играет экологическая переменная z в формировании или ограничении видовых композиций сообщества, и значимость полученных осей нечетких множеств оценивается по величине ее корреляции с $\mu_E(x)$ – см. табл. 96 и рис. 76).

Таблица 96. Коэффициенты корреляции Пирсона (r), связывающие переменные среды с функциями принадлежности нечетких множеств $\mu_E(x)$; p_n и p_m – оценки статистической значимости r, найденные соответственно методами нормального приближения и рандомизации

Переменные среды	r	p_n	p_m
Температура воды, t	0,929	$4{,}18 \cdot 10^{-6}$	**0,001**
Глубина в местах отбора проб, h	0,921	$7{,}55 \cdot 10^{-6}$	**0,001**
Содержание нитритного азота, $N\text{-}NO_2$	0,828	$4{,}72 \cdot 10^{-4}$	**0,001**
pH	0,822	$5{,}61 \cdot 10^{-4}$	**0,001**
Каменистость грунта, St	0,806	$8{,}67 \cdot 10^{-4}$	**0,001**
Высота над уровнем моря, H	0,797	0,001	**0,001**
Заиленность грунта, Md	0,778	0,0017	**0,001**
P_{min}	0,641	0,018	**0,007**
Скорость течения, v	0,412	0,16	0,077
Содержание кислорода, O_2	0,180	0,55	0,226
Площадь водосбора, F	0,044	0,88	0,323
Бихроматная окисляемость, BO	-0,526	0,064	0,784



а) *б*)

Рис. 75. Корреляционная связь функции принадлежности нечеткого мн **Рис. 75**. Корреляционная связь функции принадлежности нечеткого множества $\mu_E(x)$ с температурой воды t (*а*) и комплексного ординационного расстояния g(t + h + NO_2 + pH) с компонентами матрицы таксономических расстояний d (*б*)

В целом по всему комплексу сделанных расчетов можно выделить следующие характерные «зоны» водотока, что подтверждается результатами специальных исследований гидрологического и гидродрохимического анализа (Зинченко, Головатюк, 2000):

1. Вся р. Байтуган (участки B_01-B_08 с большим числом родников, каменистым субстратом и высоким содержанием кислорода), где основу донных сообществ составляют реобионтные и оксибионтные виды, характерные для «эталонно чистых» биотопов: *Capnia bifrons*, *Silo pallipes*, *Hydroptila femoralis*, *Diura bicaudata*, *Atherix ibis, Ephemerella ignita*, *Hydropsyche angustipennis*, *Pristina rosea*, *Limnodrilus profundicola.*

2. Верхнее течение р. Сок (участки S_01-S_02 с песчано-галечным субстратом и относительно чистой водой), где видовой состав макрозообентоса является типичным для «ритрали» водотоков, а основную долю фаунистического разнообразия составляют относительно немногочисленные таксоны литореофильных личинок амфибиотических насекомых Diptera, Ephemeroptera, Trichoptera: *Simulium* sp., *Rheocricotopus fuscipes*, *Cloeon dipterum*, *Rhyacophila* sp.

3. Промежуточная «зона» р. Сок (участки S_03-S_05), где происходит сукцессионая смена экоформ и видовая структура донных сообществ существенно изменяется за счет развития эврибионтных таксонов *Dicranota* sp., *Microchironomus tener*, *Cricotopus bicinctus* и др.

4. Среднее течение р. Сок (участки S_08 - S_09 со смешанными грунтами, относительно высоким уровнем органического загрязнения и низким содержанием кислорода), представленное различными по своим аутэкологическим характеристикам эвритопными и эврионсибионтными таксонами: *Limnodrilus* sp., *L. claparedeanus*, *Henslowiana dupuiana*, *Polypedilum scalenum*, *Procladius choreus*, *Nanocladius bicolor* и др.

5. Приустьевые участки (S_12 -S_13) с илистым дном, относительно высоким содержанием биогенных элементов, но достаточной концентрацией кислорода, где происходит развитие лимнофильных моллюсков, пелофильных хирономид и ракообразных, обусловленное трансформацией р. Сок водами Саратовского водохранилища (характерные виды – *Chironomus nudiventis*, *Lipiniella araenicola*, *Dikerogammarus caspuis*, *Amesoda scaldiana*).

3.3. АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ В СВЕТЕ КОНЦЕПЦИЙ РЕЧНОГО КОНТИНУУМА И ДИНАМИКИ ПЯТЕН

Оценка закономерностей распределения сообществ гидробионтов по продольному профилю водотоков относится к фундаментальным задачам экологии и гидробиологии. С одной стороны, основную роль в этих процессах играет закономерное изменение по руслу рек основных гидрологических и ландшафтно-топографических факторов (в первую очередь скорости течения), которые определяют интенсивность и масштабы эрозии и абразии берегов, переформирование русел и отмелей, аккумуляцию размытого материала и многие другие физико-химические характеристики. Р.Л. Ваннот с соавторами (Vannote et al., 1980) рассматривали водоток как целостную экосистему и сформулировали концепцию *речного континуума*, согласно которой видовая структура сообществ представляет собой непрерывную последовательность экоморф, в которых происходит закономерная смена комплекса доминантов. Конкретная совокупность факторов среды в сочетании с особенностями межвидовой конкуренции определяют в каждой точке континуума совокупность экологическими условий для формирования и развития устойчивых синтаксономических ассоциаций гидробионтов в соответствии с функциями, обеспеченностью необходимыми ресурсами и способностью к адаптации каждого из видов.

С другой стороны, мозаичность размещения популяций во многом определяется локальными биотопическими особенностями (неоднородностью грунтов, условиями освещенности, температурными градиентами и т.д.). Концепция *динамики пятен* (Yodzis, 1986; Townsend, 1989) подчеркивает динамический характер таких микровозмущений и сосредотачивается на значимости стохастических экологических флуктуаций, под действием которых видовой состав речных сообществ формируется в значительной мере случайно. Наконец, концепция *функциональных зон*, предложенная Дж. Торпом с соавторами (Thorp et al., 2006), возвращает нас к общепринятой среди гидробиологов идее о том, что в речной экосистеме по совокупности гидрологических, ландшафтных, гидрохимических и иных факторов могут быть выделены достаточно изолированные гидрогеоморфологические области, которые определяют видовой и функциональный состав сообществ гидробионтов.

Поскольку «в любых реках условия существования в верхнем, среднем и нижнем течении совершенно различны...» (Алимов, 2001, с. 10), при изучении конкретных водотоков обычно принимается одна из трех взаимно исключающих научных гипотез: а) видовая структура сообществ непрерывно и закономерно изменяется от истоков к устью; б) виды по течению распределены случайно; в) в реке можно выделить обособленные «процессные зоны» (Montgomery, 1999) с внутренне однородным видовым составом, которые существенно отличаются между собой. Понятие «гипотезы» здесь подразумевает статистический контекст, поскольку, разумеется, в любой реке в той или мере присутствуют и детерминированная и стохастическая составляющие изменчивости (Богатов, 1995). Однако важно установить, имеют ли место найденные специфические закономерности в целом и насколько статистически значимо их отличие от случайного процесса формирования сообществ (Connor, Simberloff, 1979). Другая проверяемая гипотеза связана с оценкой пространственной гетерогенности сообщества: можно ли выделить «барьеры», т.е. границы зон водотока, относительно которых видовой состав гидробионтов претерпевает резкие характерные изменения.

Проверка перечисленных предположений заключается в анализе комплекса факторов и условий, определяющих таксономическую организацию сообществ, на основе репрезентативных массивов эмпирических данных. К сожалению, авторы концепций не дают внятной методики отбора и обработки ключевых показателей: одна из немногочисленных попыток (Townsend et al., 1997) статистической оценки зависимости видового богатства сообществ макрозообентоса от интенсивности и частоты возмущений представляется нам не вполне убедительной.

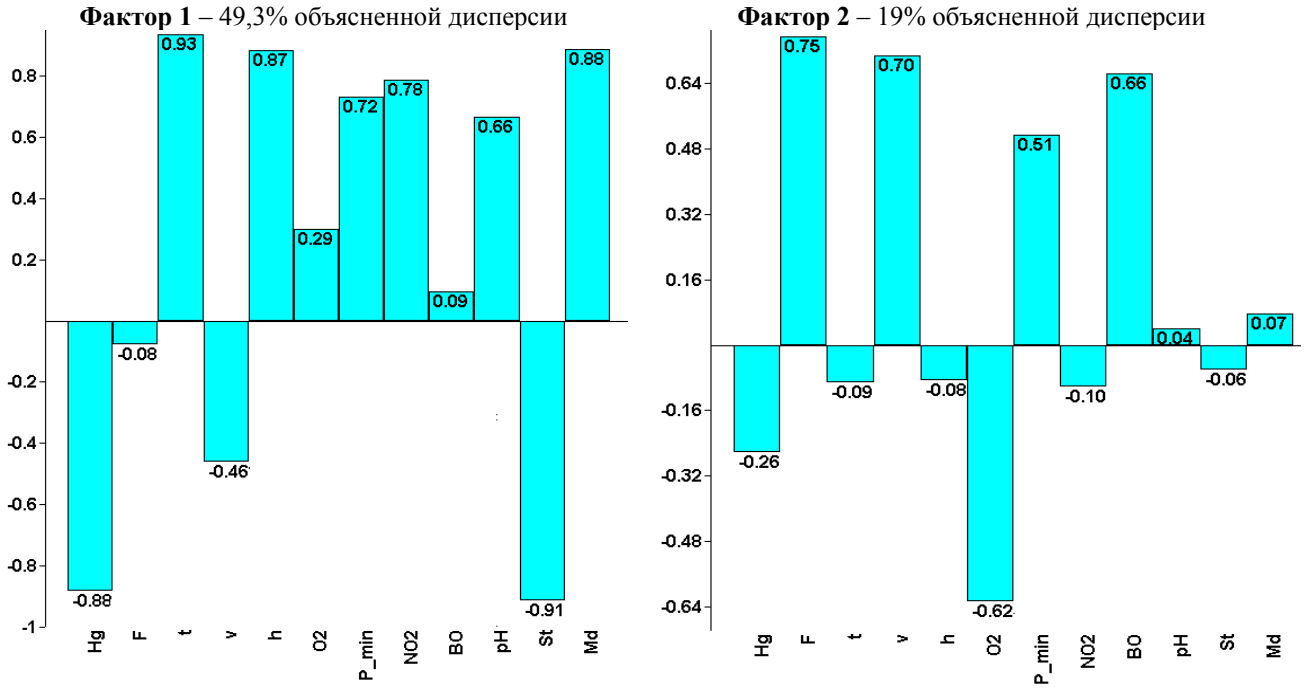
В настоящей статье выполнен детальный обзор разнообразных статистических методов анализа пространственной структурированности водных экосистем, применимость и обоснованность которых иллюстрируется на примере сообщества донных организмов типичной средней равнинной реки лесостепной зоны Нижнего Поволжья. Мы вводим понятие *экологической последовательности*, под которой будем понимать «цепочку срезов» состояния экосистемы: в нашем конкретном случае – по продольному профилю течения реки от верховий до эстуария. Для гидрографической речной сети эти последовательности могут иметь сложную иерархическую потоковую структуру, чем они отличаются от традиционных линейных ценотопоклинов, используемых в градиентном анализе. От обычных пространственных биогеографических моделей анализ последовательностей для водотоков отличается направленным характером выделяемых цепочек «срезов» при продвижении от истоков к устью и неопределенностью значений экологических параметров вне трансекты наблюдений.

В соответствии с результатами анализа гидробиологической съемки р. Сок вместе с притоком р. Байтуган была разделена на 13 экологически однородных участков (в том числе 4 участка в пределах р. Байтуган), включающих примерно одинаковое количество проб – от 10 до 14. Таксономический состав макрозообентоса на участках оценивался по трем показателям: видовое богатство, частота встречаемости в пробах и средняя прологарифмированная численность особей каждого вида. Для оценки влияния факторов среды использовались среднемедианные значения гидрологических и гидрохимических показателей для каждого участка, а также их биотопические характеристики (см. рис. 76).

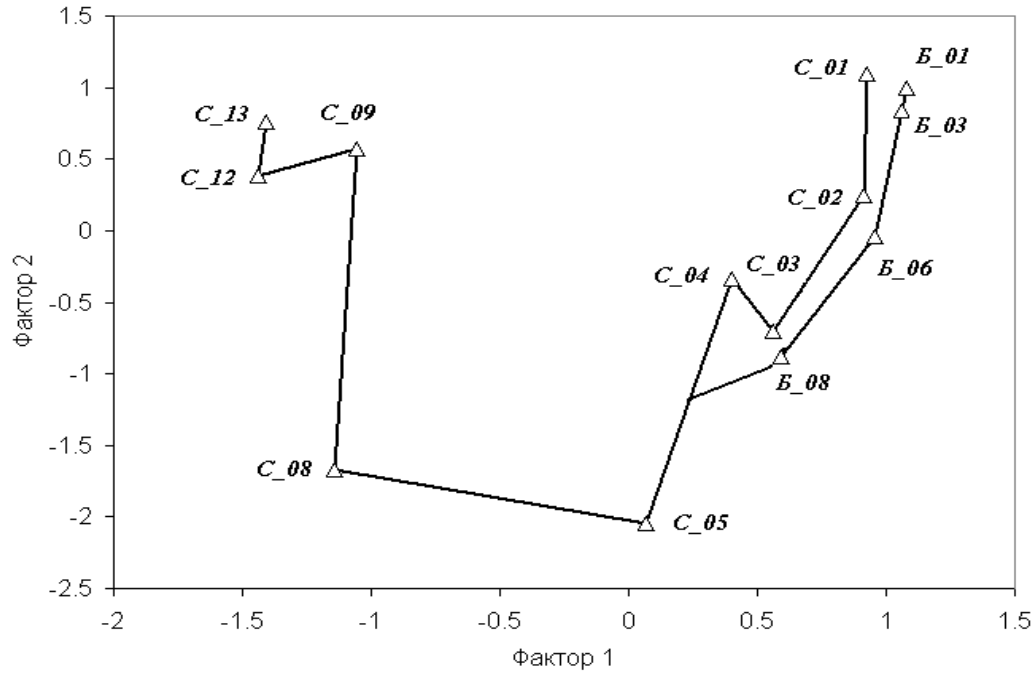
Градиентный анализ и метод «случайного зонда». Прямой градиентный анализ основан на статистических методах поиска неизвестной функции f зависимости обилия вида Y от величины воздействующих факторов X_i: $Y = f(X_i) + \varepsilon$, где ε – влияние случайных возмущений. Значения *комплексного пространственного градиента X*, обобщающего все множество параметров изменения условий среды в медиали и ритрали водотоков, могут быть получены с использованием метода главных компонент (Borcard, Legendre, 2002; Шитиков и др., 2005), формирующего новые оптимальные ортогональные оси, ориентированные в направлении максимальной статистической изменчивости исходных переменных.

С использованием метода главных компонент были обобщены 12 различных гидрологических, геоморфологических и гидрохимических показателей экосистемы Байтуган-Сок и показано, что при переходе к двум факторным осям теряется не более 32% исходной информации, представляющей, в основном, «стохастический шум». Первый фактор (рис. 76*а*) с большой очевидностью связывается нами с пространственной изменчивостью условий и объединяет высоту над уровнем моря, глубину и температуру воды в месте отбора проб, изменчивость грунтов и т.д. Схема географического расположения станций наблюдений практически без изменений накладывается на шкалу фактора 1 (рис. 76*б*), что предопределяет выбор этой оси в качестве комплексного продольного градиента *X*. Второй фактор после «снятия» пространственной изменчивости определяет локальные флуктуации органического загрязнения и насыщенности воды кислородом. Большую роль здесь играет и площадь водосбора, как источник аккумуляции органического вещества.

Традиционная модель отклика Y предполагает симметричную форму колоколообразной гауссианы (GAUS), что позволяет определить экологический оптимум μ и диапазон толерантности $\pm 2\sigma$ (т.е. объем ниши) каждого вида, а также идентифицировать его стратегию. Современными исследованиями (Oksanen, Minchin, 2002; Guisan, Thuillier, 2005) расширены представления о характере этой зависимости и разработаны процедуры, позволяющие гибко осуществлять подбор наилучших моделей кривых отклика.



а) Корреляция первых двух главных компонент с исходными переменными



б) Диаграмма расположения участков рек Сок («С») и Байтуган («Б») в пространстве двух главных компонент

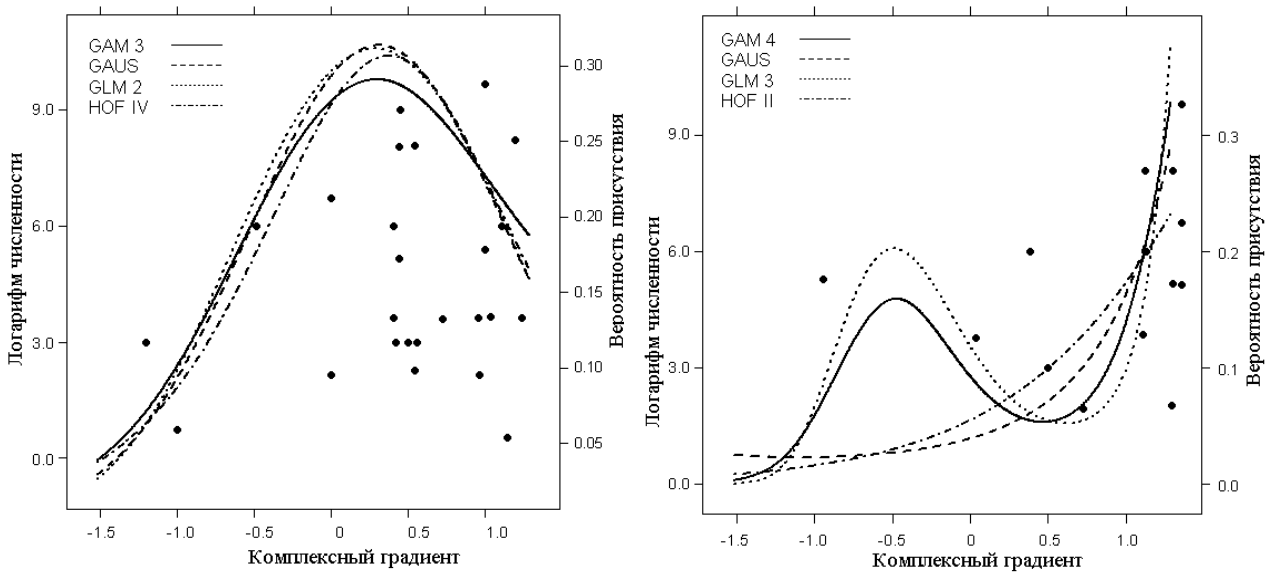
Рис. 76. Результаты расчета комплексного пространственного градиента *X* методом главных компонент: *Hg* – высота над уровнем моря, *F* – площадь водосбора, *t* – температура, *v* – скорость течения, *h* – глубина в местах отбора проб, O_2 – кислород, P_m – фосфор минеральный, NO_2 – нитритный азот, *BO* – бихроматная окисляемость, *pH* – кислотная реакция среды, *St* – каменистость грунта, *Md* – заиленность грунта

Современный градиентный анализ основан на обобщенных линейных (GLM – Generalized Linear Model) и аддитивных (GAM – Generalized Additive Model) регрессионных моделях, для которых гауссова модель является частным случаем. Особый интерес представляет модель Хаусмана-Олфа-Фреско (HOF – Huisman et al., 1993), являющаяся иерархическим объединением пяти моделей с увеличивающейся сложностью: I – «плато»

или отсутствие отклика; II – монотонный рост; III – монотонный рост с «плато»; IV – отклик в форме гауссианы; V – асимметричный унимодальный отклик.

С использованием различных моделей отклика (GAUS, HOF, GLM, GAM) для каждого вида макрозообентоса оценивался характер изменения численности особей на шкале комплексного пространственного градиента *X*. Одновременно проверялась статистическая значимость этой корреляционной связи на основе процедуры Монте-Карло, восстанавливающей распределение всех возможных значений коэффициента ранговой корреляции τ Кендалла между экологическими показателями донных сообществ и фактором 1. Показано, что только 43 вида макрозообентоса из 375 (или 16,8%) имеют статистически значимую корреляционную связь с продольным градиентом водотока. Для значительного числа редко встречающихся видов говорить о распределении по градиенту было бы вообще некорректно, т.к. их встречаемость носит «штрих-пунктирный» или точечный характер.

Анализ моделей продольного распределения гидробионтов в водотоке выявил их принципиальное отличие от основных концепций градиентного анализа, традиционно ориентированного на геоботанические представления. Классическая унимодальная форма кривой отклика с максимумом в середине шкалы продольного градиента *X* оказалась характерной для немногочисленного и мало интересного с точки зрения биоиндикации подмножества видов с широким диапазоном толерантности к абиотическим факторам. Гауссова модель (рис. 77*а*) с различной степенью асимметричности была принята только в отношении 7 видов макрозообентоса (*Polypedilum nubeculosum*, *Paratendipes albimanus*, *Cricotopus* gr. *sylvestris* и др.). В некоторых случаях различные модели отклика давали неопределенную многовершинную форму распределения (*Tanytarsus* sp.) или приводили к однозначным выводам из-за неопределенности критериев выбора «правильной» модели. Например, распределение в исследованных реках хирономид *Paracladius conversus* на рис. 77*б* обобщенными регрессионными моделями GLM и GAM было оценено как бимодальное, тогда как модели Гаусса и HOF показали монотонный характер изменчивости.

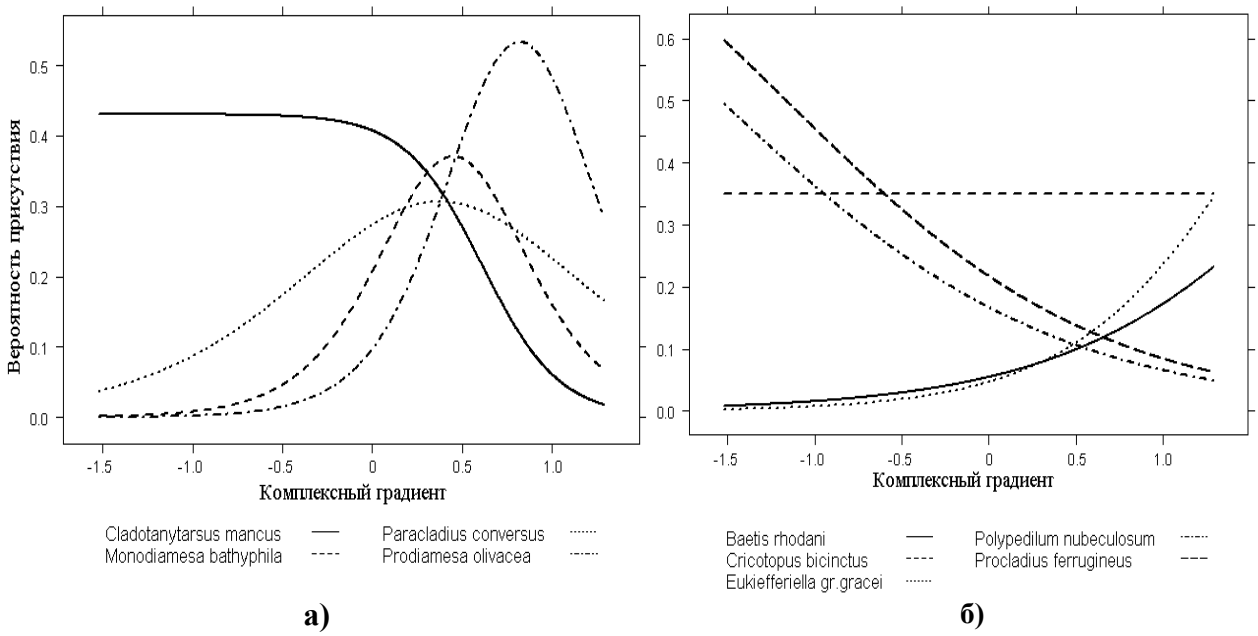


а) ***Baetis rhodani*** **б)** ***Paracladius conversus***

Рис. 77. Распределение обилия двух видов макрозообентоса на шкале комплексного градиента с использованием различных моделей отклика

Значительно более важными в биоиндикационном отношении оказались виды бентофауны с максимумом встречаемости на обоих концах шкалы градиента *X 0* (рис. 78). Сигмоиды с максимумов в правой части шкалы *X* объединили структурообразующие таксоны (*Prodiamesa olivacea*, *Eukiefferiella* gr. *gracei*, *Parametriocnemus lundbecki*, *Eukief-*

feriella claripennis, *Odontomesa fulva*, *Parametriocnemus* sp.), характерные для реофильного комплекса донных сообществ р. Байтуган и верховьев р. Сок. С другой стороны, S-образная кривая с максимумом в левой части шкалы *X* была характерна для пелофильных и лимнофильных видов (*Chironomus obtusidens, Pisidium amnicum, Microchironomus tener, Ablabesmyia monilis,, Dicrotendipes nervosus, Euglesa henslowana, Dikerogammarus haemobaphes*), что связывается с воздействием факторов снижения течения и заиленности грунтов в нижнем течении р. Сок.



а) **б)**

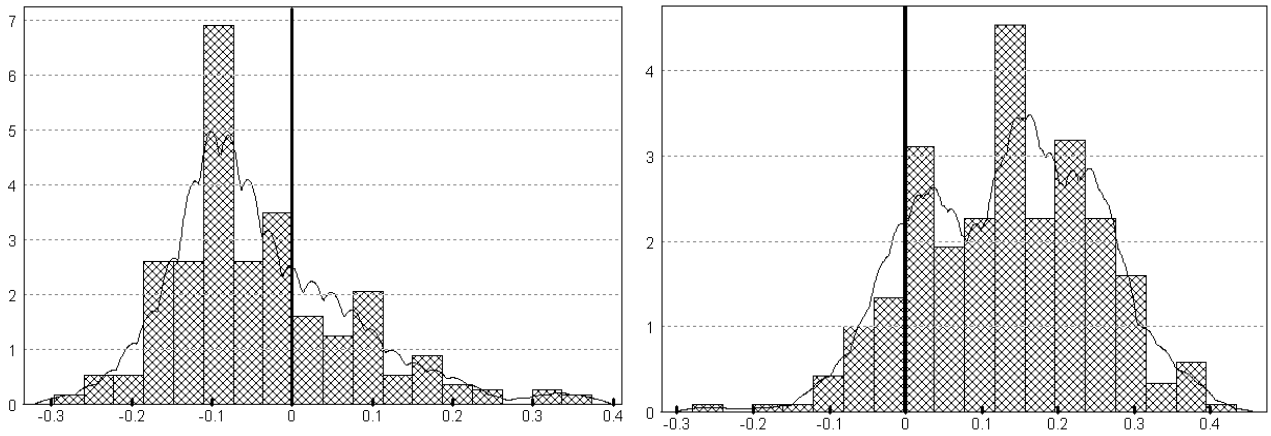
Рис. 78. Распределение обилия некоторых видов макрозообентоса в гидробиологических пробах по шкале комплексного градиента с использованием модели HOF

Градиентный анализ воспроизводит динамику отклика лишь для отдельных доминирующих или «важных» видов, но не дает возможности оценить совокупную реакцию на изменение факторов среды в целом для всего донного сообщества, образующего сложный комплекс из большого числа экологически взаимосвязанных компонент. Метод случайного зондирования Пиелу (random skewers – Pielou, 1984; Perry, Schaeffer, 1987) позволяет объективно судить, насколько статистически значима детерминированная тенденция в изменении структуры всего сообщества в целом вдоль продольного градиента водотока.

Данные таблицы мониторинга, где s – число обнаруженных видов на m выделенных участках рек, интерпретируются как «облако» m точек в s-мерном пространстве. «Зонд», пронизывающий эту многомерную структуру, представляет собой произвольно ориентированный вектор со случайными координатами. Из каждой эмпирической точки m на зонд опускается перпендикуляр, фиксируется место его пересечения и устанавливается порядок следования этих проекций p_i, $i = 1, 2, \ldots, m$, на оси случайного вектора. Между рангами участков на градиенте r_i и p_i вычисляется коэффициент ранговой корреляции τ Кендалла: если его значение близко к 1 (или -1), то делается вывод, что некоторый многомерный «профиль» донного сообщества, определяемый направлением зонда, закономерно упорядочен по продольному градиенту водотока.

Тест случайного зондирования Пиелу выполнялся с использованием данных о встречаемости 129 видов макрозообентоса, обнаруженных на трех или более участках (рис. 78*а*), и отдельно для 66 таксонов, относящихся к семейству хирономид (рис. 78*б*). Процедура «пронизывания точек зондом» проводилась многократно 300 раз и формировалось частотное распределение всех зарегистрированных значений коэффициента ранговой корреляции τ. Проверялась нулевая гипотеза, что полученное унимодальное распре-

деление имеет математическое ожидание $\tau \cong 0$, т.е. в облаке точек нет достаточного количества направлений, относительно которых эмпирические данные упорядочены вдоль изучаемого градиента. Рассчитанные доверительные интервалы для центров распределений τ не включали значение 0 (см. рис. 79), что позволяет отклонить нулевую гипотезу для обоих изучаемых сообществ.



а) для 129 видов макрозообентоса
(правая доверительная граница среднего
$m + t \cdot s_m = -0{,}04 + 1{,}96 \cdot 0{,}0065 = -0{,}027$)

б) для 66 таксонов Chironomidae
(левая доверительная граница среднего
$m - t \cdot s_m = 0{,}13 - 1{,}96 \cdot 0{,}0067 = 0{,}119$)

Рис. 79. Гистограмма распределения коэффициента ранговой корреляции Кендалла, полученная в ходе 300 итераций по методу случайного зондирования

Анализ экологических последовательностей. Экологическую последовательность можно интерпретировать как направленный ряд независимых величин $Y(r)$, принимающих случайные значения в дискретных точках пространства r. Важными параметрами последовательности, как и любого случайного процесса, являются математическое ожидание $m_Y(r)$, дисперсия $D_Y(r)$ и автоковариация. Основным предметом анализа последовательностей является проверка гипотезы, что изучаемый процесс является *стационарным*, т.е. перечисленные вероятностные характеристики остаются неизменными на всей траектории (трансекте) точек, а вариация данных в ряду определяется случайной компонентой ε_r типа «белого шума».

Нестационарность экологических данных обычно имеет характер случайного блуждания: $y_r = \rho y_{r-1} + \varepsilon_r$, случайного блуждания с дрейфом: $y_r = \alpha + \rho y_{r-1} + \varepsilon_r$, или комбинации случайного блуждания с линейным трендом: $y_r = \alpha + \rho y_{r-1} + \mu r + \varepsilon_r$. Нулевая гипотеза при использовании теста Дики-Фуллера (Dickey, Fuller, 1979) состоит в том, что ряд нестационарен и имеет один единичный корень $H_0 : \rho = 1, \mu = 0$. Для ее проверки рассчитывается критерий $t = (\rho - 1)/s_\varphi$, который сравнивается с табличными критическими значениями $t_{крит}$, полученными методом Монте-Карло: если t-статистика значима и соответствующее ей p-значение больше 0,05, то принимается нулевая гипотеза, а ряд считается нестационарным.

Для иллюстрации теорий речного континуума и динамики «пятен» их авторами обычно использовались обобщенные индексы, связанные со структурно-функциональными параметрами сообществ: таксономическое богатство, коэффициент P/B, индексы разнообразия и др. Нами проанализирована динамика изменения шести основных общепринятых показателей состояния донных сообществ в последовательностях расположения участков рек Байтуган и Сок (табл. 97).

Таблица 97. Значения t-критерия Дики-Фуллера и Q-статистики для проверки стационарности и автокоррелируемости рядов показателей экологических последовательностей сообществ макрозообентоса в речной системы Байтуган-Сок; в квадратных скобках – p-значения, соответствующие критериям (жирным курсивом отмечены случаи отклонения нулевой гипотезы о нестационарности)

Параметры и тесты	Всего видов	Среднее число видов в пробе	Индекс разнообразия Шеннона	Общее обилие бентоса (по тексту)	Доля (%) хищников-хватателей	Доля (%) Diamesinae+ Orthocladiinae
Минимальное значение и номер станции	49 (ст. С_01)	4,23 (ст. Б_08)	3,07 (ст. Б_08)	127 (ст. С_01)	7,2 (ст. Б_03)	4,0 (ст. С_12)
Максимальное значение и номер станции	102 (ст. Б_03)	8,91 (ст. С_04)	4,80 (ст. Б_03)	343 (ст. Б_06)	28,8 (ст. С_05)	35,7 (ст. С_02)
Тест Дики-Фуллера (модель с дрейфом)	-2,33 [0,178]	-2,67 [0,108]	-3,51 [***0,028***]	-2,57 [0,124]	-0,70 [0,809]	-3,36 [***0,035***]
Тест Дики-Фуллера (линейный тренд)	-2,08 [0,498]	-2,52 [0,314]	-3,29 [0,119]	-2,32 [0,393]	-1,87 [0,602]	-4,25 [***0,032***]
Тест Дики-Фуллера (первые разности)	-3,26 [***0,044***]	-4,39 [***0,008***]	-4,55 [***0,006***]	-3,47 [***0,031***]	-6,34 [***0,0005***]	-4,26 [***0,009***]
Q-статистика Льюнга-Бокса	1,55 [0,21]	0,47 [0,494]	0,09 [0,764]	0,71 [0,398]	0,04 [0,835]	7,30 [***0,007***]

В рамках традиционного корреляционного анализа рассчитывались коэффициенты линейной корреляции Пирсона и ранговой корреляции τ Кендалла этих обобщенных показателей со шкалой продольного градиента *X* (рис. 7*б*) и оценивались *p*-значения, отражающие значимость отличий этих коэффициентов от значений, смоделированных бутстреп-методом при случайном характере распределения данных наблюдений по водотоку. Расчеты показали, что говорить о наличии статистически достоверной детерминированной связи с продольным градиентом можно только в отношении групп Diamesinae+Orthocladiinae, обилие которых последовательно уменьшается от истоков к устью. Для других показателей была принята нулевая гипотеза об отсутствии зависимости всего сообщества в целом от пространственного фактора.

Анализ динамики представленных показателей на стационарность относительно постоянного дрейфа показал, что два ряда (индекс разнообразия Шеннона и доля обилия хищников-хватателей) оказались стационарными, в то время как нестационарность остальных четырех рядов свидетельствует о наличии тех или иных пространственных экосистемных закономерностей. Значимая стационарность долей обилия хирономид подсемейств Diamesinae+Orthocladiinae относительно функции линейного тренда говорит о том, что эта зависимость носит относительно гладкую монотонную форму. Дополнительным анализом установлено, что нестационарность остальных трех рядов (видовое богатство и численность) носит неопределенный периодический или квазипериодический характер. Тест Дики-Фуллера для рядов, состоящих из первых разностей, свидетельствует об их отчетливой стационарности, что отвергает гипотезу о существовании на водотоке резких перепадов и «динамики пятен» в отношении показателей сообществ макрозообентоса, представленных в табл. 97.

Анализ статистики Льюнга-Бокса (Ljung, Box, 1978) и автокорреллограмм индекса Морана (Moran, 1950) выявил отсутствие автокорреляции для пяти рядов обобщенных экологических показателей. И только автокорреляционный спектр доли таксонов хирономид имеет высокую статистическую достоверность и умеренную кривизну, характерную для монотонных зависимостей. Это означает, что по этому показателю экологические объекты, находящиеся в относительной пространственной близости, более сходны между собой, причем при увеличении расстояния между ними на водотоке уровень сходства уменьшается.

Анализ видовой структуры с использованием метрик сходства. Континуальность пространственной структуры сообществ по течению водотока соответствует нулевой гипотезе, утверждающей, что изучаемое сообщество однородно и не имеет статистически значимых «барьеров», разделяющих зоны изоляции. Или более точно – значения частот встречаемости комплекса видов в смежных участках реки в совокупности не имеют статистически значимых отличий. Альтернативная гипотеза, напротив, будет утверждать, что на границах участков возможны резкие смены видового состава.

Оценку статистической значимости пространственного фактора группировки местообитаний по участкам водотока проводили с использованием непараметрического многомерного дисперсионного анализа (npMANOVA – Anderson, 2001), использующего матрицу видового сходства **D**. При этом центры распределения значений d_r в пределах каждой группы и их межгрупповые контрасты находили с использованием методов Монте-Карло. Проверку нулевой гипотезы об отсутствии влияния группирующего фактора также осуществляли не на основе обычных предположений о нормальном законе распределения, а в ходе перестановочной процедуры: строки и столбцы матрицы **D** многократно случайным образом перемешивались относительно выделенных групп.

Для реализации дисперсионного анализа таксономического сходства в продольном направлении водотока были сформированы две матрицы дистанций с использованием метрики Сьеренсена-Брея-Куртиса: $\mathbf{D}_p$ размером 147×147 для каждой пары гидробиологических проб и $\mathbf{D}_r$ размером 13×13 для объединений проб, взятых на каждом участке. Процедура npMANOVA применялась для проверки значимости фактора пространственной группировки в трех вариантах: а) весь водоток делился на 13 участков, б) участки объединялись в три крупных фрагмента экосистемы (две части р. Сок в ее верхнем и нижнем течении и отдельно р. Байтуган), в) использовалась схема иерархического двухфакторного анализа, включающего оба перечисленных выше уровня группировки. При этом была найдена статистически значимая изменчивость видового состава как между повторностями на обоих уровнях, так и между участками внутри отдельных крупных зон.

Если при переходе от одной точки экологической последовательности к другой значительное число видов оказались заменены другими таксонами, то было бы справедливо полагать наличие в сообществе структурных изменений сукцессионного характера (Fisher et al., 1983). Возможные «разрывы» в континуальности оценивали с использованием графов связности (дендритов), вершинами которых являлись смежные участки водотоков *i* и *j*, а ребра соответствовали статистически значимым выводам (p_{ij}) о существовании различий в видовом составе между произвольной парой узлов графа.

Анализ компонент графического дендрита, полученного методом множественных сравнений (межгрупповых контрастов), показал, что вариация видовой структуры, достоверно найденная процедурой npMANOVA, определяется изменчивостью донных сообществ для пар участков, наиболее удаленных друг от друга в пределах каждой зоны водотока. Видовой состав на смежных участках, как правило, не имел значимых различий, хотя в его непрерывности было отмечено три характерных разрыва: в месте впадения р. Байтуган, а также для станций в верхнем {C_01 - C_03} и нижнем {C_09 - C_12} течении р. Сок.

Уточненная проверка модели «изоляции расстоянием» (isolation by distance) проводилась с использованием геометрических подходов, применяемых в биогеографии и фиксирующих изменения видовой структуры в реальных географических координатах. Для этого пространственная конфигурация участков была аппроксимирована сетью треугольников с использованием триангуляции Делоне и каждое звено сети связывалось со значениями матрицы видовых дистанций **D**, рассчитанной по данным гидробиологической съемки.

Нахождение последовательности границ внутри экосистемы проводилось с использованием программы BARRIERS (Manni et al., 2004). Для того чтобы найти границы областей, вдоль которых расстояния между смежными парами экологических объектов

являются наибольшими, использовался переборный алгоритм максимума различий Монмоньера (Monmonier, 1973). Статистическая значимость вычисленных «барьеров» оценивалась на основе рандомизационного теста в ходе многократного бутстреп-преобразования исходной матрицы экологических расстояний. Первая главная граница (рис. 80) – отдел р. Сок (среднее пограничное расстояние *d* равно 0,674). Вторая по значимости граница выделяет как самостоятельную область участки р. Байтуган (*d* = 0,635). Третья граница отделяет в качестве характерного биотопа станцию С_1 на р. Сок.

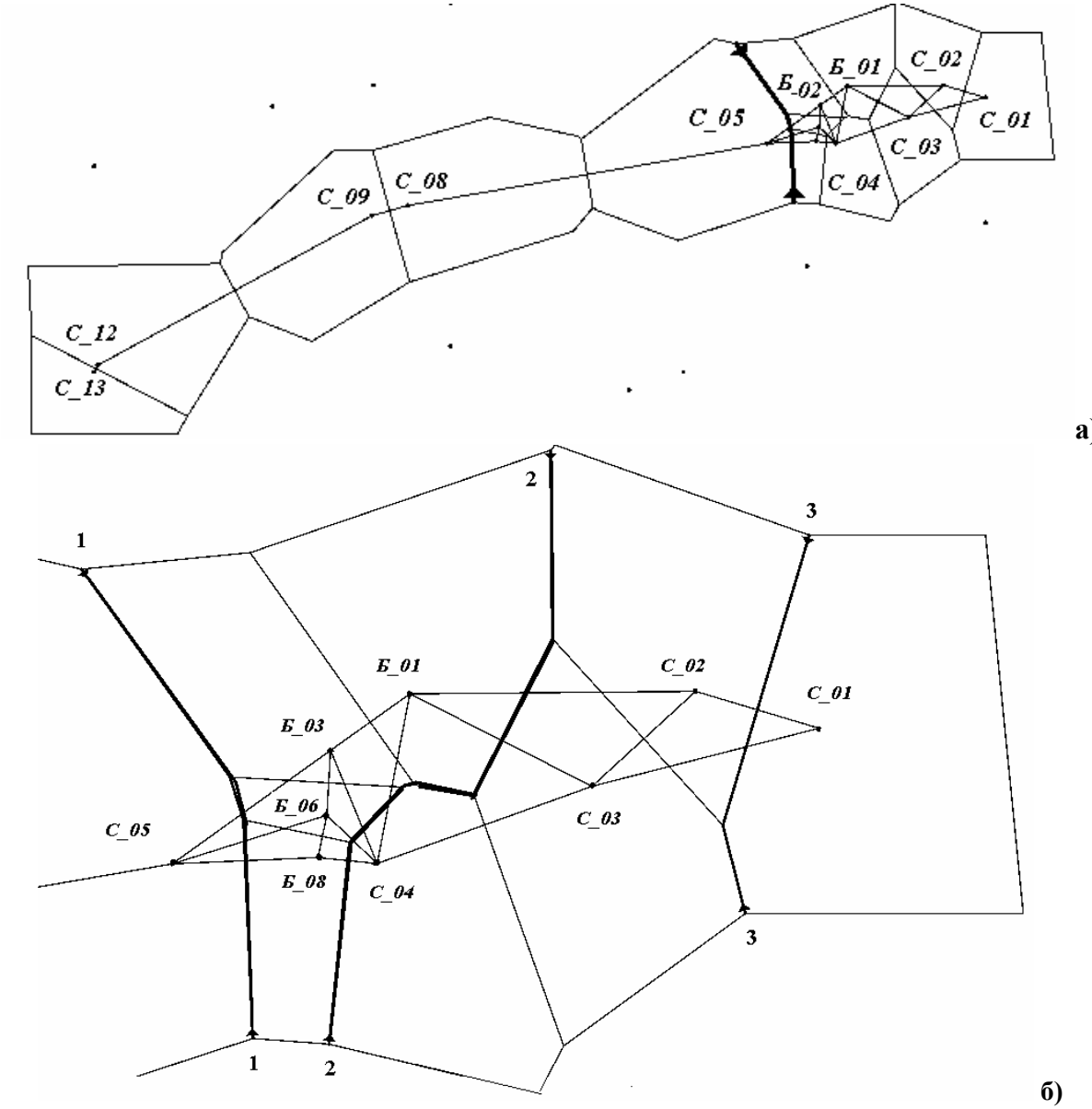


Рис. 80. Выделение границ («барьеров») между отдельными сообществами макрозообентоса экосистемы Байтуган-Сок с использованием географических координат

Наличие пространственных сукцессионных изменений оценивается как динамика частных значений скорости биоценотических изменений на градиенте. Практический интерес для этого может представлять анализ экологического пространства второго порядка (Дыренков, Акатов, 1990) или, иначе говоря, «пространства скоростей» $\Delta y / \Delta x$, где Δx – шаг наблюдений в единицах длины, времени или произвольных факторов среды, Δy – *биологическая длина градиента*, соответствующая здесь видовому β-разнообразию.

Если проанализировать (n – 1) шагов, продвигаясь от первого узла экологической последовательности к последнему, то авторы предлагают использовать следующие величины:

- число видов, появляющихся A_i и исчезающих B_i на каждом i-м шаге;
- общая интенсивность оборота видов $I_{si} = (A_i + B_i)$ на i-м шаге последовательности;
- общая относительная интенсивность оборота видов I_{si} / S_i, где S_i - среднее число видов на двух смежных участках водотока;
- число a_i впервые встретившихся видов на i-м шаге;
- число видов b_i, встретившихся на предыдущих шагах и исчезнувших на i-м шаге;
- интенсивность направленного изменения видового состава $I_{vi} = (a_i + b_i)$ на i-м шаге.

При необходимости, можно также рассчитать для всей последовательности средние значения интенсивности оборота видов I_s и I_v, а также их дисперсии, что дает возможность статистически сравнивать между собой несколько анализируемых экологических объектов.

Для донных сообществ экосистемы Байтуган-Сок максимум общей смены видового состава наблюдается в месте впадения р. Байтуган, т.е. при переходе от участка Б_08 к С_05 (рис. 79*а*). Следует также отметить высокую относительную скорость изменения таксономической структуры между участками С_5 и С_8, обусловленную массовым исчезновением видов реофильного комплекса, характерного для верхнего течения экосистемы.

На рис. 81б средняя направленная динамика видового состава для ветки Байтуган-Сок (I_v / I_s = 63,7) существенно превышает аналогичный показатель для основного водотока (I_v / I_s = 55,1), что свидетельствует о специфичности донного сообщества р.Байтуган. Можно также отметить сукцессионную смену видов между участками С_9 и С_12, связанную с трансформацией р. Сок водами Саратовского водохранилища.

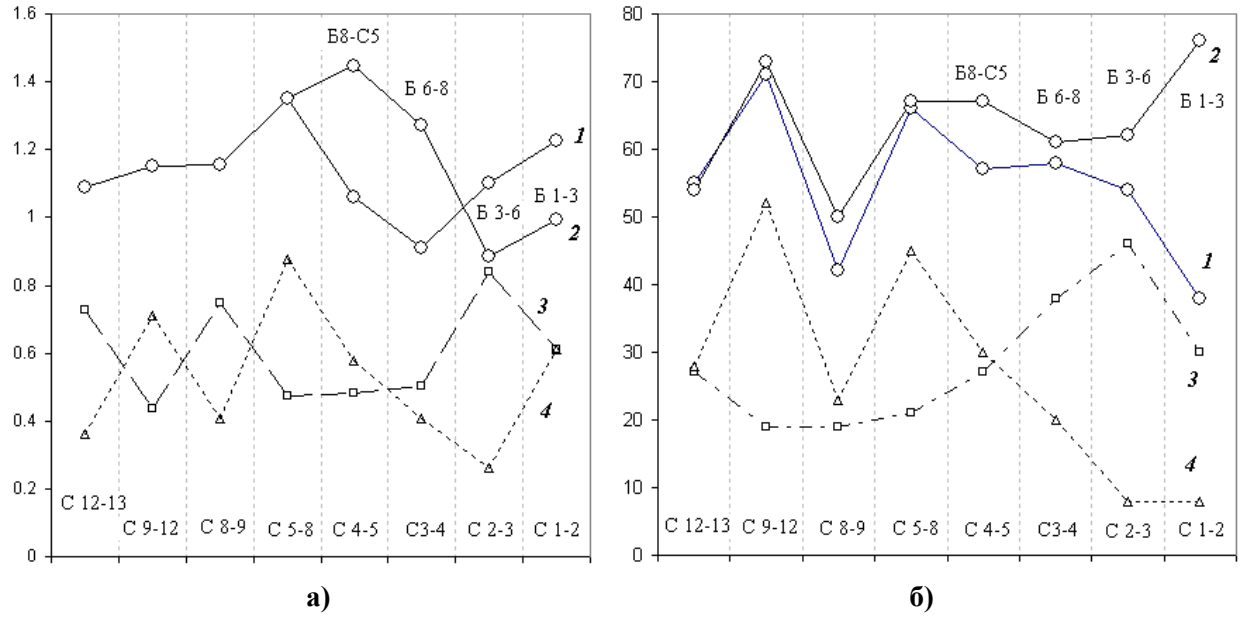


Рис. 81. Динамика относительной (а) и абсолютной (б) скоростей изменения видового состава донных сообществ экосистемы Байтуган-Сок: 1 – указанные показатели для р. Сок; 2 – то же, для ветки Байтуган-Сок; 3 – появление новых видов для р. Сок; 4 – исчезновение видов, зарегистрированных в р. Сок

Привлечение концепций речного континуума или динамики «пятен» в публикациях последних 20 лет носит, как правило, теоретический характер, не связанный в основном с массовой обработкой эмпирических данных на основе строгих методик статистической проверки гипотез. Поскольку каждый вид гидробионтов обладает индивидуальной жизненной стратегией, экологическим оптимумом и диапазоном толерантности, а следовательно, специфическим характером распределения по продольному профилю водотока,

то на практике так и осталось неясным, какие параметры сообществ следует использовать для оценки «континуальности»: динамику встречаемости отдельных видов, обобщенные функциональные показатели, комплексные критерии обилия/разнообразия или иные характеристики.

Очевидно, что корректно говорить об общих закономерностях речного континуума или динамики пятен следует, рассматривая все сообщество гидробионтов лотической системы как единое целое, а не используя модели динамики обилия каждого вида в отдельности. Однако мы на примере донных сообществ показываем, что использовать для этого обобщенные показатели ценозов (число видов, индекс Шеннона и др.) имеет смысл лишь для водотоков, которые характеризуются резкими перепадами условий среды, например, мощным локальным антропогенным воздействием. В обычных случаях применение этих индексов, основанных на усреднении, некорректно: например, индекс видового разнообразия Шеннона на четырех основных фрагментах экосистемы (р. Байтуган и р. Сок в верхнем, среднем и нижнем течении) изменяется несущественно – от 4,26 до 4,8, но в каждом случае он основывается на принципиально различных видовых комплексах. Если ограничить такой анализ отдельными группами организмов с высокими биоиндикационными свойствами, например, личинок хирономид Diamesinae + Orthocladiinae, то это может кардинально поменять вывод о существовании неслучайных закономерностей пространственного распределения.

Использование критериев стационарности и автокорреляции, а также метода случайного зондирования позволяет статистически оценить возможную детерминированную составляющую изменчивости в массивах эмпирических данных. Анализ матриц видового сходства **D** в сочетании с современными непараметрическими методами проверки гипотез (npMANOVA, формирование дендритов, поиск «барьеров») дают возможность объективно обосновать сукцессионные смены композиций видов и выделить изолированные зоны экосистемы. Дальнейшее развитие этих идей происходит в направлении их интеграции с методами ординации и другими методами проецирования многомерного исходного «облака» эмпирических данных в оптимальное пространство малой размерности (Pilar, 1999).

Отмеченные разрывы континуума и выделенные «барьеры» (рис. 80 и 81) носят вполне объяснимый экологический смысл. Видовой состав макрозообентоса на всем течении р. Байтуган и на участках С_1-С_4 р. Сок является типичным для «ритрали» водотоков, где основную долю фаунистического разнообразия составляют относительно немногочисленные таксоны литореофильных личинок амфибиотических насекомых (Diptera, Ephemeroptera, Trichoptera). На участке С_5 происходит сукцессионая смена экоформ и видовая структура донного сообщества начинает постепенно изменяться за счет развития таксонов эврибионтного характера. Дополнительные структурные особенности макрозообентоса эстуария С_12, связанные с доминирование лимнофильных бентонтов, во многом объясняются трансформацией р. Сок водами Саратовского водохранилища.

Дж. Перри и Д.Дж. Шеффер (Perry, Schaeffer, 1987) в своей статье с характерным названием «Продольное распределение речного бентоса: речной дисконтинуум?» подобный феномен характеризовали как «акцентированный градиент», когда постепенное изменение видовой структуры от истока к устью сопровождается локальными сменами типов сообщества, обусловленными гидрологическими и гидрохимическими флуктуациями. Можно предположить, что эта модель изменчивости гидробиоценозов характерна для большинства типичных незарегулированных равнинных рек с естественным гидрологическим режимом.

3.4. АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ ВИДОВОЙ СТРУКТУРЫ ДОННЫХ РЕЧНЫХ СООБЩЕСТВ

Формирование таксономической структуры сообществ происходит под влиянием двух факторов: 1) пространственной неоднородности биотопических условий в водотоках, что приводит к изменениям сукцессионного характера и 2) постоянных взаимодействий между популяциями видов, которые могут протекать по различным механизмам – прямая и ресурсная конкуренция, хищничество, паразитизм, мутуализм и т.д. Объединение этих процессов приводит к характерным типам пространственной структурной организации экосистем, представленным на рис. 82: видовой структуре со случайным типом организации (а), либо с наличием тех или иных закономерностей - вложенности (б), схемы «шахматной доски» (в) или относительно изолированных локальных ассоциаций специфичных видов (г).



Рис.82. Наиболее характерные типы структурной организации сообществ

Показано (Leibold, Mikkelson, 2002; Krishna et al., 2008), что представленные типы структурной конфигурации сообществ и экологические свойства трофических сетей являются отражением трех важнейших механизмов структурного преобразования: взаимной согласованности видов (coherence), их заменяемости или взаимное исключения (turnover) и формирования обособленных групп (boundary clumping). Развитие представлений о правилах ассоциативности видов в сообществе (Diamond, 1975; Connor, Simberloff, 1979; Weiher, Keddy, 1999) привело к появлению статистических методов выделения фрагментов видовой структуры, которые не могут быть интерпретированы как случайные. Был предложен (Berlow et al., 2004) целый ряд метрик количественной оценки степени межвидовых взаимодействий, используемых как для выделения пар потенциально сопряженных таксонов, так и для проверки гипотезы о закономерной структурной организации всей экосистемы в целом. Однако репрезентативные условия применения этих мер и процедур, несмотря на их широкое практическое использование, все еще слабо определены, а статистические свойства стали серьезно изучаться лишь в последнее время (Gotelli, 2000; Ulrich et al., 2009).

Взаимная согласованность и взаимное исключение пар видов. Взаимная согласованность видов может быть оценена как площадь прямоугольных фрагментов бинарной матрицы, полностью заполненных единицами. Один из индексов этой серии – *COMBO*

(D. Pielou, E. Pielou, 1968) – подсчитывает число уникальных комбинаций (combinations) совместной встречаемости видов и изменяется от 1 до 2^s. Чем больше таких комбинаций, тем значительнее композиция видов отличается от нейтральной модели сообщества без каких-либо взаимодействий.

Взаимное исключение видов (turnover) соответствует закономерности, с которой два вида заменяют друг друга в пределах столбцов или строк, что определяет существование *C*-фрагментов $\left[\begin{matrix}0 & 1\\ 1 & 0\end{matrix}\right]$ и $\left[\begin{matrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{matrix}\right]$ или «фрагментов шахматной доски» (Diamond, 1975). Отметим, однако, что если сообщество представляет собой полную шахматную доску, то один из видов обязательно формирует с третьим видом идеально скоррелированную пару, поэтому, парную разобщенность видов всегда можно связать с некоторой мерой их согласованности с другими видами.

В расчетах нами использовались следующие метрики, рассмотренные в обзоре Готелли (Gotelli, 2000):

- индекс «шахматной доски» *CHECKER* (Diamond, 1975), который подсчитывает в матрице число *C*-фрагментов и теоретически изменяется от 0 до $s(s-1)/2$;
- индекс *C*-заполнения (checkerboard score – Stone, Roberts, 1990), оценивающий среднее число таких фрагментов 2×2 для произвольной пары видов: $CS = \sum_{ij}(n_i - n_{ij})(n_j - n_{ij})$, где n_i и n_j – встречаемости видов i и j, n_{ij} – одновременная встречаемость этой пары;
- мера близости (togetherness score – Stone, Roberts, 1992) $t = \frac{2}{s(s-1)} \sum_{ij}^{s(s-1)/2} \frac{4 p_{ij} a_{ij}}{m^2}$, где p_{ij} и a_{ij} – соответственно число комбинаций пар присутствия и отсутствия видов;
- метрика Сьеренсена $C_{soe} = \frac{2}{s(s-1)} \sum_{ij}^{s(s-1)/2} \frac{2n_{ij}}{n_i + n_j}$.

Задачей статистического анализа является нахождение в матрицах наблюдений таких пар видов или их комбинаций, вероятность совместного появления которых не может быть интерпретирована как случайность и связывается с экологическими взаимодействиями (сегрегацией или кооперацией видов). Но для этого необходимо рассчитать частоты одновременной встречаемости n_{ij} для всех возможных из s комбинаций пар видов $i - j$, число которых равно $s(s-1)/2$, т.е. проанализировать десятки тысяч потенциальных вариантов взаимосвязи. Например, в нашем случае необходимо перебрать $375 \cdot (375 - 1)/2 = 70125$ парных комбинаций видов, чтобы заключить, какие из них экологически достаточно интересны, чтобы обеспечить «полезность» дальнейшего анализа.

Проблема также состоит в высокой ошибочной степени обнаружения взаимодействий FDER (false detection error rate – Sanderson, 2004), поскольку многие комбинации пар видов показывают статистически значимые результаты, даже если исходная матрица была сформирована полностью случайным образом. Н. Готтели и В. Ульрих (Gotelli, Ulrich, 2010) разработали комплексную методику, объединяющую четыре возможных подхода к выделению статистически значимых пар видов в матрице «отсутствия-присутствия»: использование границ обычного 95% доверительного интервала, последовательный тест Бонферрони (Benjamini, Yekutieli, 2001), а также два испытания, основанные на среднем и доверительном интервалах в рамках эмпирического байесовского подхода (Efron, 2005).

Взаимное исключение видов рассчитывали по агрегированным матрицам суммарной встречаемости видов макрозообентоса на 13 участках речной экосистемы Байтуган-Сок. Для идентификации пар взаимно исключаемых видов использовали нормированный индекс *C*-заполнения Стоуна-Робертса, эмпирические значения которого C_{obs} сравнива-

лись с рандомизированным распределением C_{sim}, полученным путем многократного перемешивания на основе наиболее консервативной нуль-модели FF (fixed-fixed; Gotelli, 2000), сохраняющей степень заполнения строк и столбцов. Некоторые парные комбинации таксонов макрозообентоса, прошедшие все перечисленные статистические фильтры и обнаруженные на 4-8 станциях из 13, но ни разу не встретившихся одновременно хотя бы в одном местообитании, представлены в табл. 98.

Таблица 98. Парные комбинации таксонов макрозообентоса, обнаруженные на T_1 и T_2 станциях из 13, но ни разу не встретившихся в одном местообитании

Таксон 1	T_1	Таксон 2	T_2	C_{sim}	Z	p	p_{BJ}
Parametriocnemus lundbecki	8	*Ablabesmyia monilis*	5	0,22	5,38	≅ 0	≅ 0
Stempellina bausei	6	*Brillia modesta*	5	0,34	4,47	0,000007	0,00007
Microchironomus tener	6	*Odontomesa fulva*	6	0,29	4,33	0,000014	0,00013
Odontomesa fulva	6	*Polypedilum scalaenum*	6	0,29	4,04	0,000051	0,00049
Eukiefferiella claripennis	7	*Ablabesmyia monilis*	5	0,3	4	0,000059	0,00056
Polypedilum nubeculosum	8	*Nemoura cinerea*	4	0,24	3,89	0,000096	0.00092
Ephemerella ignita	6	*Ablabesmyia monilis*	5	0,31	3,88	0,000099	0,00095
Chironomus obtusidens	6	*Nemoura cinerea*	4	0,37	3,7	0,000205	0,00197
Procladius choreus	7	*Cheumatopsyche lepida*	4	0,34	3,53	0,000403	0,00387
Cryptochironomus gr. *defectus*	7	*Pristina rosea*	4	0,31	3,52	0,000408	0,00392
Cryptochironomus gr. *defectus*	7	*Elmis aenea*	4	0,34	3,32	0,000856	0,00821
Odontomesa fulva	6	*Pisidium amnicum*	5	0,33	3,27	0,001	0,01
Ephemerella ignita	6	*Caenis macrura*	5	0,36	3,2	0,00132	0,0127
Ablabesmyia monilis	5	*Brillia modesta*	5	0.37	3,15	0,00158	0,0151
Ephemerella ignita	6	*Paralauterborniella nigrochalteralis*	4	0.35	3,08	0,00197	0,0189
Caenis macrura	5	*Elmis aenea*	4	0,41	3,01	0,00253	0,0242
Brillia modesta	5	*Paralauterborniella nigrochalteralis*	4	0,4	2,99	0,00272	0,0261
Caenis macrura	5	*Nemoura cinerea*	4	0,42	2,96	0,00298	0,0286

Примечание: C_{Sim} – среднее значение нормированного индекса *C*-заполнения по нуль-модели FF после 100 итераций; Z – нормированная разность наблюдаемых и расчетных значений; p и p_{BJ} – традиционная и скорректированная по методу Бонферрони (Benjamini, Yekutieli, 2001) вероятности, соответствующие *Z*-статистике.

Оценки взаимной согласованности видов могут быть корректно получены только при детализации информации на уровне гидробиологических проб, т.е. с учетом точных пространственно-временных координат. В диапазоне значений нормированного индекса *C*-заполнения от 0 до 0,3 в исходной матрице было найдено 129 пар совместно встретившихся видов, что значительно больше, чем в тех же таблицах после случайного перемешивания численностей особей и точек отбора проб. Некоторые парные комбинации, статистически значимые по всему набору критериев, представлены в табл. 99.

Необходимо подчеркнуть, что найденные закономерные положительные или отрицательные связи между отдельными таксонами в сообществе носят исключительно статистический характер и могут объясняться различными экологическими причинами. В частности, взаимное исключение в нашем случае является в первую очередь следствием пространственной неоднородности биотопических условий водотока на всем его протяжении, а не конкурентной борьбы за ресурсы. Например, в выделенной паре обитателей прибрежной зоны рек (табл. 99) реофильный вид с фильтрационным типом питания *Odontomesa fulva* встретился на шести станциях р. Байтуган, в то время как район обитания пело- и псаммофильного вида *Polypedilum scalaenum* находится в нижнем течении р. Сок (т.е. на расстоянии 300 км ниже по водотоку). Аналогичным образом оказались со-

ставлены и многие другие пары. В качестве примера возможной конкуренции или даже взаимного исключения при достижении определенной численности личинок можно привести обитание на сходных биотопах пар хищник-жертва: личинок хирономид активных хватателей *Ablabesmyia monilis* и фитодетритофагов-собирателей *Eukiefferiella claripennis* (другой пример *Ablabesmyia monilis - Brillia modesta*).

Таблица 99. Парные комбинации таксонов макрозообентоса, встретившиеся в T_1 и T_2 пробах, из которых T_{12} - совместно

Таксон 1	T_1	Таксон 2	T_2	T_{12}	C_{obs}	C_{sim}	Z	p_{BJ}
Ephemerella ignita	11	*Brachycentrus subnubilis*	6	5	0,091	0,867	-5,2	≅ 0
Lipiniella araenicola	13	*Dicrotendipes nervosus*	10	7	0,138	0,829	-4,93	≅ 0
Chironomus nudiventris	13	*Lipiniella araenicola*	13	10	0,053	0,799	-4,91	≅ 0
Chironomus nudiventris	13	*Dicrotendipes nervosus*	10	7	0,138	0,807	-4,74	≅ 0
Caenis macrura	17	*Henslowiana dupuiana*	6	5	0,118	0,817	-4,41	0,0008
Baetis rhodani	14	*Elmis aenea*	7	6	0,082	0,836	-4,37	0,0001
Herpobdella octoculata	7	*Brachycentrus subnubilis*	6	3	0,286	0,913	-4,32	0,00012
Henslowiana acuminata	6	*Henslowiana dupuiana*	6	3	0,25	0,903	-4,31	0,00013
Cladotanytarsus mancus	34	*Chironomus nudiventris*	13	12	0,05	0,649	-4,3	0,00013
Caenis macrura	17	*Chironomus anthracinus*	8	6	0,162	0,817	-4,16	0,00026
Cryptochironomus gr. *defectus*	21	*Unio pictorum*	7	6	0,102	0,772	-4,14	0,00028
Cladotanytarsus mancus	34	*Microchironomus tener*	11	10	0,064	0,661	-4,09	0,00035
Cricotopus (*Isocladius*) *trifasciatus*	10	*Rheocricotopus fuscipes*	7	4	0,257	0,875	-4,09	0,00035
Dicrotendipes nervosus	10	*Sphaeriastrum* (*=Rivicoliana*) *rivicola*	9	5	0,222	0,844	-3,99	0,00052
Cryptochironomus gr. *defectus*	21	*Microchironomus tener*	11	8	0,169	0,747	-3,87	0,0086
Procladius ferrugineus	38	*Microchironomus tener*	11	10	0,067	0,626	-3,67	0,00197
Simulium sp.	29	*Cricotopus* gr. *tremulus*	9	7	0,169	0,719	-3,67	0,00195
Polypedilum nubeculosum	33	*Dicrotendipes nervosus*	10	8	0,152	0,684	-3,66	0,00204
Baetis rhodani	14	*Pristina rosea*	6	4	0,238	0,837	-3,66	0,00205
Procladius ferrugineus	38	*Chironomus nudiventris*	13	11	0,109	0,617	-3,59	0,00271
Cladotanytarsus mancus	34	*Stempellina bausei*	7	6	0,118	0,669	-2,92	0,02886

Примечание: C_{obs} – эмпирическое значение нормированного индекса *C*-заполнения и C_{Sim} – среднее значение по нуль-модели после 100 итераций; Z – нормированная разность наблюдаемых и расчетных значений; p_{BJ} – скорректированная по методу Бонферрони (Benjamini, Yekutieli, 2001) вероятности, соответствующие Z – статистике.

Более экологически обоснованный характер имеют пары видов с согласованной встречаемостью на одной станции (в одной пробе). В табл. 99 приведены примеры высокой вероятности совместного обнаружения, определяемой биологическими и экологическими особенностями выделенных таксонов, занимающих специфические микробиотопы, в частности пара пелофильных видов хирономид *Chironomus nudiventris+Lipiniella araenicola*, обитающих в заиленных биотопах или слабо заиленных песках нижнего течения р. Сок. Закономерна также положительная связь оксифильных поденок *Baetis rhodani* и жуков *Elmis aenea*, пело- и реофильных моллюсков *Henslowiana acuminata+ Henslowiana dupuiana* или пар эврибионтных видов, характерных для эвтрофных участков системы равнинная река – водохранилище, таких, как *Cladotanytarsus mancus+Chironomus nudiventris, Polypedilum nubeculosum+Dicrotendipes nervosus, Procladius ferrugineus+Chironomus nudiventris*.

Описанная методика статистической «фильтрации» при отборе пар видов с взаимно согласованной встречаемостью является действенным и эффективным инструментом при изучении внутренних закономерностей организации сообществ. Комплексное сочетание группового эмпирического байесовского подхода с индивидуальными испытаниями отдельных пар-претендентов обеспечило значительное сокращение объема аналитической работы и ошибки гипердиагностики. Вместе с тем включение комбинации видов в список является лишь «сигналом» о возможно неслучайном характере связи между ними, а содержательная интерпретация, является эта связь следствием определенных межвидовых взаимодействий или разным уровнем толерантности к внешним факторам, остается за специалистом-экологом.

Проверка гипотезы о структурной упорядоченности всей экосистемы в целом. Статистическая значимость множественных зависимостей между видами может оцениваться с помощью *V*-отношения Шлютера (Schluter, 1984). Для его расчета общая дисперсия видов в экосистеме раскладывается на сумму дисперсии каждого из них и сумму ковариаций, объединяющих все типы парных взаимодействий $D(X) = \sum_{i=1}^{s} D(X_i) + 2\sum_{i<l}^{s} D(X_i, X_l)$. Компоненты разложения дисперсии в общем случае неизвестны, но их оценки можно рассчитать по данным встречаемости видов в пробах. Нулевая гипотеза (H_0) об отсутствии сопряженности между видами справедлива, если сумма ковариаций $D(X_i, X_j)$ равна нулю, а дисперсионное отношение $V = D(X) / \sum_{i=1}^{s} D(X_i) = 1$. Значение *V*, большее или меньшее 1, указывает, что между видами в сообществе есть статистическое положительное или отрицательное взаимодействие. Термин «статистическое» употреблен здесь, чтобы подчеркнуть частный характер связей: например, на фоне «нейтральных» взаимоотношений между большинством видов, может оказаться одна или несколько пар «видов-антагонистов», редко встречающихся совместно.

Д. Шлютер подчеркивал, что само по себе значение *V* при отклонении гипотезы H_0 не может быть свидетельством каких-либо конкретных механизмов взаимодействия между видами (например, конкуренции), поскольку различия в распределении видов по рангам обилия могут быть объяснены самыми различными экологическими причинами.

Проверка нулевой гипотезы H_0: $V = 1$ осуществлялась с использованием стандартного рандомизационного теста относительно выбранной нуль-модели (Gotelli, 2000). Сходным образом и для той же цели проводится проверка статистической значимости остальных выше перечисленных мер согласованности/исключения, основанных на подсчете «особых» структурных фрагментов в исходной матрице (см. табл. 100).

При использовании вариационного теста Шлютера рассчитанные *V*-отношения статистически значимо оказались меньше единицы, что может объясняться как межвидовыми взаимодействиями (конкуренцией, мутуализмом, хищничеством), так и «биотопическими особенностями или другими различиями в распределении ресурсов, приводящими к локальным снижениям популяционной плотности» (Schluter, 1984). Вторая версия представляется нам более экологически обоснованной.

Что касается индексов уникальных комбинаций и «шахматной доски», представленных в табл. 100, то можно отметить их синхронность в отклонении нулевой гипотезы о случайном характере таксономической структуры анализируемых сообществ. В то же время, абсолютные величины этих индексов, ищущих общее число комбинаций отсутствия или присутствия «единиц» во фрагментах структуры, по своей сути зависят от размеров или степени заполнения исходных матриц. Поэтому они не являются репрезентативными величинами измерения и, на наш взгляд, не могут быть использованы для сравнения структурной детерминированности разных сообществ.

Таблица 100. Статистический анализ индексов структурной детерминированности сообществ макрозообентоса

Структурные индексы *E*	Водоток	Наблюдаемое E_{obs}	E_{Sim} по нуль-модели	Z-критерий	LC 95%	UC 95%
Дисперсионное отношение Шлютера (*V*)	р. Байтуган	7,92	31,17	-5,62	24,21	40,85
	р. Сок (ВТ)	7,96	54,05	-7,75	44,17	67,81
	р. Сок (НТ)	5,67	46,57	-6,98	9,42	10,57
	Весь водоток	10,66	147,96	-13,25	129,5	167,6
Число уникальных комбинаций (*COMBO*)	р. Байтуган	142	56,83	3,91	25	109
	р. Сок (ВТ)	125	24,53	7.42	8	58
	р. Сок (НТ)	143	13,55	13,93	3	41
	Весь водоток	113	5,91	20,11	0	17
Индекс С-заполнения (*C-Score*)	р. Байтуган	4,49	5,47	-16,16	5,33	5,61
	р. Сок (ВТ)	7,29	9,4	-45,08	9,3	9,49
	р. Сок (НТ)	6,83	10,15	-50,27	10,02	10,28
	Весь водоток	15,58	19,21	-172	19,16	19,26
Индекс «шахматной доски» (*CHECKERS*)	р. Байтуган	8290	7926	11,89	7875	7992
	р. Сок (ВТ)	17 465	16 449	26,08	16 376	16 526
	р. Сок (НТ)	12 402	11 070	31,15	10 987	11 154
	Весь водоток	57 836	54 493	71,18	54 415	54 561

Примечание: В шапке таблицы LC 95% и UC 95% соответственно нижняя и верхняя границы доверительного интервала при 5% уровне значимости. В названиях водотоков: ВТ - участок в верховьях реки, НТ - участок в нижнем течении.

Анализ вложенности таксономической структуры. Оценка степени вложенности (nestedness) таксономической структуры, как меры ее общей закономерной упорядоченности, была описана еще в работах Хюлтена (Hulten, 1937; цит. по Hausdorf, Hennig, 2007). В полностью вложенных структурах древовидной формы видовой состав отдельных композиций является строго детерминированной частью подмножеств более высокого уровня - рис. (81*б*). Содержательный смысл задачи можно представить, например, в русле островной биогеографии Р. МакАртура (MacArthur, Wilson, 1967).

После серии работ, в которых были детально изучены процессы инкорпорирования видов в ландшафтных фрагментах и предложены количественные метрики, оценивающие степень вложенности биогеографических матриц (Patterson, Atmar, 1986, 2000; Atmar, Patterson, 1993), nestedness-анализ стал основным экологическим инструментом изучения механизмов возникновения и сосуществования популяций. Например, поиск в библиографической системе Scopus за последние несколько десятилетий дает более 150 статей, опубликованных с ключевым словом «*nestedness*». В статье В. Ульриха с соавторами (Ulrich et al., 2009) приводится систематизированный обзор возможных объяснений эффекта вложенности субсообществ.

Классической единицей измерения структурной вложенности матриц является nestedness-температура сообщества *T* (Atmar, Patterson, 1993), которая теоретически оценивает меру упорядоченности, согласно которой в экосистеме произошло бы исчезновение видов (или их колонизация). В «холодных» системах этот порядок детерминирован, когда как в «теплых» системах последовательность исчезновения приобретает все более произвольный характер. Значения *T* варьируют от 0° (для строго вложенных структур – рис. 82*б*) до 100°С (для абсолютно стохастических сообществ – рис. 82*а*).

Исходные матрицы сортируются по суммам элементов в строках и столбцах, после чего в верхних строках оказываются виды с наибольшей встречаемостью, а в столбцах слева - местообитания с наибольшим видовым богатством. Выраженность эффекта вложенности оценивается как концентрация «единиц» в верхнем левом треугольнике ранжи-

рованной матрицы и концентрация «нулей» в нижнем правом углу. Для расчета nestedness-температуры *T* определяется положение граничной кривой «истинной вложенности» (или диагональной изоклинали; см. рис. 83), разделяющей отсортированную матрицу на две части, и подсчитывается суммарное евклидово расстояние «ошибочных элементов», под которыми понималось наличие 0 выше и левее изоклинали, или 1 – ниже и правее ее.

В расчетах нами были апробированы пять различных версий нуль-моделей, осуществляющих перестановку значений в пределах матрицы с различными ограничениями на перебор (Gotelli, 2000) в режиме стандартного рандомизационного теста. Таким же образом были проанализированы шесть других мер вложенности видовой структуры (Ulrich, Gotelli, 2007; Ulrich et al., 2009), которые не учитывают взаимное расположение пустых и заполненных ячеек и основаны на простом подсчете ситуаций, нарушающих порядок в ранжированной матрице. К ним относились, например, мера несоответствия *BR* (discrepancy measure – Brualdi, Sanderson, 1999), подсчитывающая число «ошибок», которые должны быть устранены, чтобы получить максимально вложенную матрицу, метрика «уменьшения заполнения и парного наложения» *NODF* (Almeida-Neto et al., 2008) и другие.

На основе тестирования вложенности экологической структуры экосистемы Байтуган-Сок появилась возможность придти к следующим заключениям:

- матричная температура *T* сильно зависит от масштаба представления исходных данных (т.е. размера, формы и степени заполнения обрабатываемых матриц): если для одного и того же участка водотока просто объединить гидробиологические пробы в пределах каждой станции, то только за счет этого значения *T* могут возрасти в 2-3 раза;
- одновременно с этим, индексы вложенности оказались мало чувствительными к оценке определяющих особенностей экосистем: их значения оказались весьма близки для всех трех характерных зон водотока – 1) экосистемы р. Байтуган с его специфичным комплексом реофильных видов, 2) верхнего течения р. Сок с его высоким β-разнообразием и 3) устьевых участков, где сформировался сбалансированный ценоз пелофильных и лимнофильных таксонов бентоса;
- мера несоответствия *BR* и другие метрики вложенности, кроме матричной температуры *T*, не являются стандартизованными величинами с единой шкалой и не могут использоваться для сравнения структурной детерминированности разных сообществ;
- критерии значимости, найденные с использованием концептуально разных нуль-моделей, дали диаметрально противоположные оценки отклонения гипотез; поскольку нет строгих рекомендаций, какую нуль-модель следует использовать для сравнения, итоговые статистические выводы часто оказывались неопределенными.

Одной из задач nestedness-анализа является идентификация видов, которые в наибольшей мере уменьшают оценку вложенности матриц. Существование таких «особенных» или идиосинкразивных (idiosyncratic) видов объясняется миграцией видов с последующей изоляцией географическими барьерами и конкурентным исключением (Atmar, Patterson, 1993). В общем случае идиосинкразивные виды позиционируются как группа, в наименьшей мере подверженная действию факторов, сопряженных с экологическими и географическими градиентами, и имеющая более широкий диапазон встречаемости.

Анализ экологии списка идиосинкразивных видов, сформированного нами по частной температуре вложенности T_S (т.е. среднему евклидовому расстоянию ошибочных ячеек каждого вида от изоклинали – рис. 83), показал, что индикаторная ценность отбора по этому показателю представляется не всегда однозначной. С одной стороны, максимальные значения T_S приобрели структурообразующие таксоны макрозообентоса, обладающие повышенной сопряженностью с локальными условиями среды на фоне основного массива неспецифических видов, например: *Simulium* sp. (код SiSim.sp) для реофильного комплекса р. Байтуган или яркие представители пелофильных и лимнофильных видов *Cladotanytarsus mancus* (ChCld.m.) и *Paratendipes albimanus* (ChPat.a.). С другой стороны,

высокие значения T_S получили и случайные таксоны, мигрировавшие из смежных зон и являющиеся в анализируемом сообществе в силу своих экологических особенностей «чужеродными» структурными элементами (например, вид *Procladius ferrugineus* для р. Байтуган).

	Б_ 03	Б_ 06	СВ_ 04	Б_ 01	СН_ 13	СВ_ 05	СВ_ 03	СН_ 09	СН_ 12	СН_ 08	Б_ 08	СВ_ 02	СВ_ 01	Итого
ChCri.b.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
ChTar.sp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
Ol	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
CeCul.sp	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	12
Ep	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
ChPlc.co	1		1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	11
LiDir.b.	1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	11
ChPrc.f.			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		10
SiSim.sp	1	1	1	1		1	1	1		1	1	1		10
ChCld.m.		1	1		1	1	1	1	1	1		1		9
ChMnd.ba	1	1	1	1		1	1			1	1	1		9
ChPar.c.	1	1	1	1			1	1			1	1	1	9
ChPat.a.			1	1		1	1		1	1	1	1	1	9
ChPro.o.	1	1	1	1		1	1				1	1	1	9
Hc	1	1	1			1		1	1	1	1		1	9
ChEuk.gr	1	1	1	1		1	1				1	1		8
ChOrc.sp	1	1	1	1		1		1			1	1		8
ChPol.n.			1		1	1	1	1	1	1		1		8
ChPrm.lu	1	1	1	1		1	1				1		1	8
Co		1	1	1	1		1		1	1			1	8
Si	1	1	1			1	1	1			1		1	8
Tr		1	1	1	1	1		1	1				1	8
BiEug.sp	1	1	1		1	1		1		1				7
ChCri.s.			1	1	1	1	1	1					1	7
ChCry.d.			1		1	1	1	1	1	1				7
ChEuk.c.	1	1	1	1		1	1				1			7
ChMir.p.	1	1		1	1		1					1	1	7
ChNan.bi		1	1	1	1		1	1	1					7
ChOrc.o.			1	1			1	1			1	1	1	7
ChPrc.c.	1			1	1				1	1		1	1	7
ChPtt.co			1	1	1	1	1		1				1	7
Итого	102	99	98	97	91	89	89	83	63	59	55	49	49	

Рис. 83. Фрагмент ранжированной матрицы «виды-станции наблюдений» для экосистемы Байтуган-Сок: линиями показаны разделяющая изоклиналь и расстояния от нее до «ошибочных» ячеек; таксоны макрозообеноса представлены кодами базы данных

Представляет несомненный интерес с точки зрения планирования охраняемых территорий и другая процедура nestedness-анализа - выделение «особенных» местообитаний т.е. участков, видовой состав которых в наибольшей мере специфичен (Patterson, Atmar, 2000).

График на рис. 84, обобщающий динамику частной температуры вложенности T_m для всех участков водотока, позволяет сделать предположение, что сообщества макрозообентоса в верхней части р. Байтуган (ст. Б_01-Б_03), а также на устьевых станциях р. Сок (СН_13) имеют специфический видовой состав, отличающийся от достаточно однородной и более детерминированной структуры остальной части экосистемы. В целом для р. Сок можно сделать вывод о существовании определенного «островного эффекта»: по мере приближения к устью происходит последовательное накопление видового богатства,

частично аккумулирующего виды, обитающие выше по течению. Эта тенденция нарушается лишь на ст. 05 и 13, где рост T_m свидетельствует о существенной перестройке видового состава.

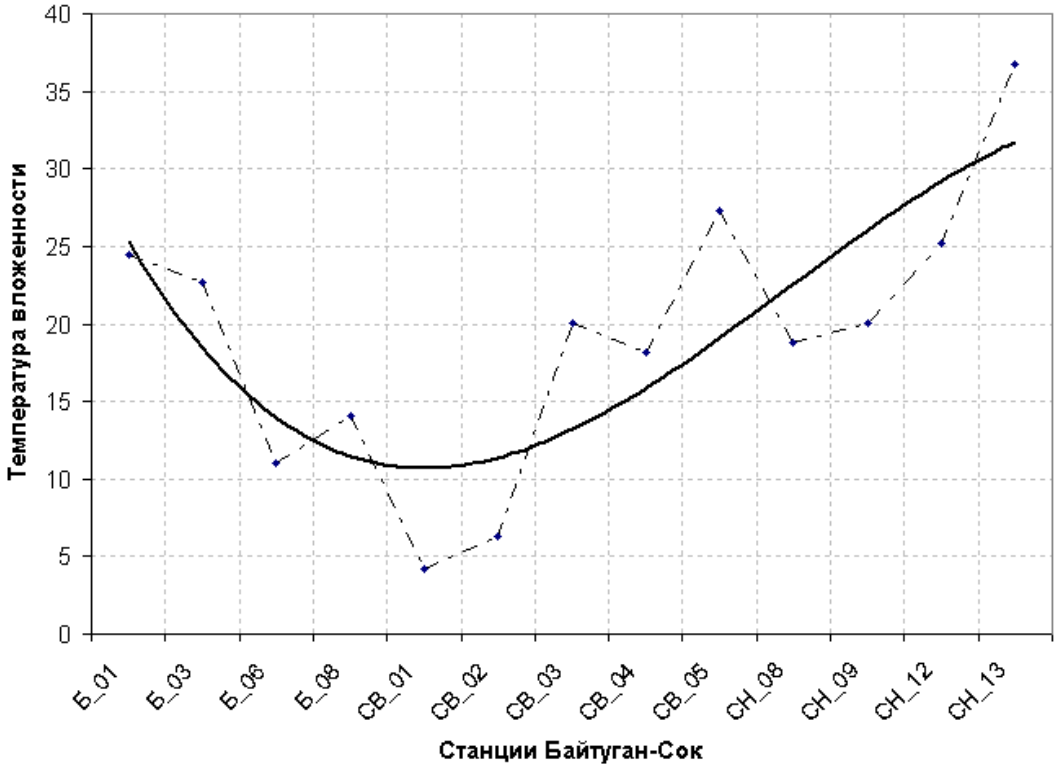


Рис. 84. Распределение температуры вложенности станций по продольному профилю: на оси абсцисс – порядковые номера станций наблюдений по участкам речной системы

Анализ вложенности структуры сообществ привлекает несомненный методический интерес в целях моделирования и познания важнейших механизмов функционирования природных экосистем. В то же время представленные результаты свидетельствуют о недостаточной проработанности некоторых ключевых аспектов метода: не решены вопросы формы представления, масштаба и степени детализации данных; нет ясности с проблемами декомпозиции экосистемы на отдельные блоки. Необходим также поиск надежной метрики вложенности, инвариантной к различным неэкологическим или масштабным модификациям матриц, но чувствительной к оценке анализируемых экологических процессов и явлений.

Тест Мантеля для анализа вклада отдельных компонентов сообщества. При изучении структуры экосистем с фиксированным набором местообитаний часто возникает необходимость оценить обоснованность следующих содержательных гипотез:

- имеется ли взаимосвязь между двумя большими группами организмов, обитающими в одних и тех же биотопах (например, включающих растения и беспозвоночные);
- имеются ли изменения в видовой структуре сообществ до и после нанесения возмущения;
- связаны ли между собой географическое расстояние между местообитаниями и экологическое сходство их видовых составов;
- изменятся ли результаты ординации местообитаний, если использовать несколько иной список видов, (например, ограничиться только одной систематической группой или взять данные за разные экспедиционные периоды)?

Поскольку обычно в основе методов классификации лежит расчет матрицы сходства или корреляции, то в математической плоскости эта проблема сводится к анализу: статистически значимы ли различия между двумя произвольными симметричными мат-

рицами расстояний. Для оценки связи между двумя матрицами расстояний **A** и **B** широко используется *тест Мантеля* (Mantel, 1967), который проверяет гипотезу, что упорядоченность объектов в матрице **A** не зависит от упорядоченности тех же самых объектов в другой матрице **B**.

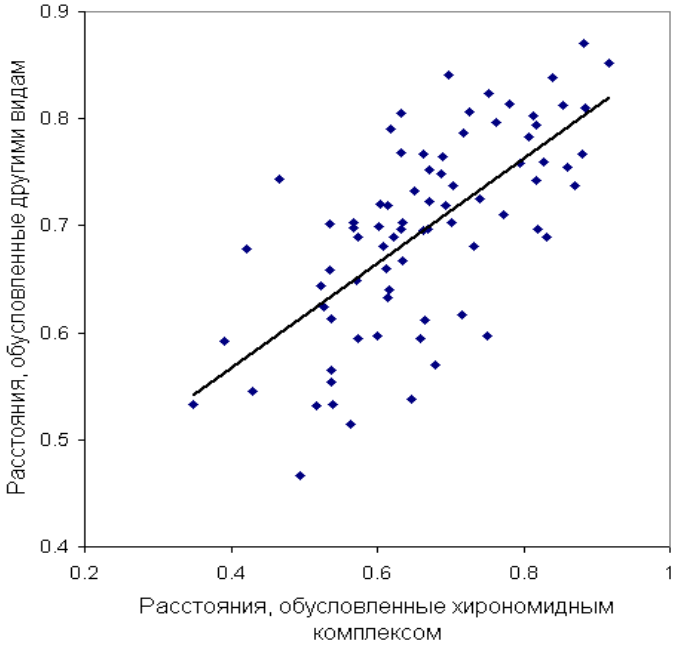
Статистика Z, которая вычисляется в тесте Мантеля, равна сумме элементов в матрице **Z**, которая является произведением обоих сравниваемых матриц расстояний **A** и **B**: **AB = Z**, т.е. $Z = \sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i-1}^{n} a_{ij}b_{ij}$, исключая элементы на главной диагонали. Стандартизованная статистика Мантеля r изменяется от +1 до -1 и соответствует *коэффициенту корреляции Пирсона* между матрицами расстояний **A** и **B**.

Проверим, имеется ли статистическая взаимосвязь между характером распределения 165 видов семейства Chironomidae и 210 остальными видами макрозообентоса по 13 створам рек Байтуган-Сок. Характер взаимосвязи между этими матрицами дистанций с использованием процентного отношения Брея-Кёртиса представлен на рис. 82: каждая из точек биплота соответствует расстояниям между парами местообитаний для двух композиций видов. Если эта зависимость имеет статистически значимо линейный характер, то все семейства макрозообентоса в одинаковой мере реагируют на биотопическую изменчивость по руслу водотока. Для оценки нулевой гипотезы H_0 об отсутствии зависимости между матрицами **A** и **B** использовалась аппроксимация Мантеля (Mantel, 1967) и перестановочный тест Монте-Карло (McCune et al., 2002).

Представленные на рис. 85 результаты теста Мантеля показывают статистически значимую связь между характером распределения двух комплексов видов зообентоса по течению водотока. Сходные выводы могут быть получены при сравнении матрицы расстояний **A**, рассчитанной по полному списку видового состава макрозообентоса, с двумя другими матрицами:

- **B´** по хирономидному комплексу – $r = 0{,}756$, $t = 6{,}59$, $p \cong 0{,}0$;
- **B´´** по списку видов, не включающих хирономид – $r = 0{,}744$, $t = 6{,}50$, $p \cong 0{,}0$.

Это свидетельствует о тесной статистической связи между обоими компонентами донных сообществ.



Эмпирические значения

Статистика Мантеля $Z_{obs} = 19{,}6$
Стандартизированная статистика Мантеля $r = 0{,}657$;

Аппроксимация Мантеля

- t-критерий = 5,84;
- $p = 0{,}001$

Перестановочный тест Монте-Карло

Параметры рандомизированного распределения:

- среднее $Z_{sim} = 19{,}16$:
- минимум $Z_{sim} = 18{,}95$;
- максимум $Z_{sim} = 19{,}43$;

Число перестановок $N = 999$;
Число значений с $Z_{sim} > Z_{obs}$ $n = 0$;
Число значений с $Z_{sim} < Z_{obs}$ – 999;
Вероятность p ошибки I рода = 0,001.

Рис. 85. Характер взаимосвязи между значениями матриц расстояний, обусловленных двумя подмножествами видов макрозообентоса (реки Байтуган-Сок, 13 станций наблюдений)

Тест Мантеля стал основой процедуры *множественной матричной регрессии* (Quinn, Keough, 2002; Manly, 2007), приводящей к модели следующего вида: $\mathbf{Y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^{m} \beta_i \mathbf{A}_i + \mathbf{E}$, где $\mathbf{Y}$ – зависимая матрица; $\mathbf{A}_i$ – матрицы, независимые от $\mathbf{Y}$, β_0, и β_i – свободный член и коэффициенты регрессионной модели; $\mathbf{E}$ – матрица ошибок (остатков). Метод специально предназначен для анализа матриц сходства или корреляции, у которых элементы, расположенные по главной диагонали, равны единице. Множественная процедура Мантеля реализует при этом обычную линейную регрессию, однако вследствие специфической структуры исходных данных для оценки параметров модели используются перестановочные методы Монте-Карло.

Оценим, какой вклад вносят отдельные таксономические группы макрозообентоса (на уровне семейств и подсемейств) в общую изменчивость донных сообществ в продольном направлении рек Байтуган-Сок. Рассчитаем частные матрицы сходства, составленные из коэффициентов Брея-Кёртиса, для видов семейств Ephemeroptera ($\mathbf{A}_1$), Oligochaeta без *Nais* sp. ($\mathbf{A}_2$), Trichoptera ($\mathbf{A}_3$) и Coleoptera ($\mathbf{A}_4$), а также для отдельных таксонов хирономид Orthocladiinae ($\mathbf{B}_1$), Tanypodinae ($\mathbf{B}_2$), Chironomini ($\mathbf{B}_3$) и Tanytarsini ($\mathbf{B}_4$). В качестве зависимых матриц будем использовать аналогичные матрицы сходства, рассчитанные по всему комплексу видов (отдельно для хирономид и остальных таксонов). Результаты множественного матричного регрессионного анализа представлены в табл. 101.

На основании результатов анализа можно сделать вывод, что при общей значимости моделей регрессии по критерию Фишера, далеко не все таксономические группы вносят одинаковый вклад в объяснение вариации видовой структуры донных сообществ по руслу рек. В частности, для модели **A** статистически значимо отличается от 0 коэффициент регрессии для семейства Ephemeroptera, когда как остальные группы макрозообентоса не оцениваются как значимые для объяснения вариации коэффициентов сходства участков. Для более однородного хирономидного ценоза (модель **B**) основные группы видов, за исключением Tanypodinae, вносят приблизительно одинаковый вклад в пространственную изменчивость видовой структуры.

Таблица 101. Параметры моделей множественной матричной регрессии для оценки вклада отдельных групп макрозообентоса в изменчивость донных сообществ речной экосистемы Байтуган-Сок

	Коэффициенты β	**Стандартное отклонение**	***t*-критерий Стьюдента**	***p*-значение вероятности**	**Коэффициент детерминации (R^2) и критерий Фишера (F)**
Модель A – виды, не относящиеся к семейству Chironomidae					
Свободный член	0,127				$R^2 = 0{,}552$ $F = 22{,}5$ ($p = 0{,}001$)
Ephemeroptera	***0,334***	0,041	8,13	***0,001***	
Oligochaeta	0,085	0,046	1,81	0,121	
Trichoptera	0,083	0,046	1,80	0,092	
Coleoptera	-0,007	0,031	-0,22	0,840	
Модель C – виды, относящиеся к семейству Chironomidae					
Свободный член	-0,040				$R^2 = 0{,}888$ $F = 144{,}8$ ($p = 0{,}001$)
Orthocladiinae	***0,491***	0,040	12,30	***0,001***	
Tanypodinae	0,014	0,024	0,58	0,670	
Chironomini	***0,381***	0,033	11,55	***0,001***	
Tanytarsini	***0,201***	0,035	5,64	***0,001***	

3.5. СУКЦЕССИИ В РЕКАХ (ОБЗОР)

Сукцессия является одной из самых старых, труднообъяснимых и менее всего проработанных феноменов экологии. Нельзя не согласиться с утверждением, что «экологическая сукцессия – это одно из центральных понятий в экологии» (Митчелл, 2001, с. 70). На протяжении всей своей истории эта концепция формировалась на основе ботанических представлений. Первые фитоценологи, такие как Г. Каулс (Cowles, 1901), Ф. Клементс (Clements, 1916) и Г. Глизон (Gleason, 1926), рассматривали сукцессию исключительно как изменение наземных растительных сообществ во времени. Имеются сообщения В. Друри и И. Нисбет (Drury, Nisbet, 1973) о том, что идеи о сукцессиях исторически относятся к лесам умеренной зоны и исследования необходимо ограничить этой областью.

Вместе с тем, решая проблемы, связанные с вопросами изучения сложного процесса биотической изменчивости в реках под воздействием комплекса факторов, можно констатировать, что любая попытка применения концепций сукцессионнных изменений является, скажем так, *наименее рискованной*, поскольку иных детально проработанных теорий для проточных экосистем просто нет. С другой стороны, нам представляется, что взаимообогащение двух разных предметных областей позволит прийти к обнадеживающим научным результатам в плане постановки интересных концептуальных вопросов, пусть с не всегда имеющейся возможностью получения готовых ответов на них.

В настоящей работе авторы делают попытку проанализировать, каким образом понятие «экологическая сукцессия» применимо к изменчивости сообществ в проточных водах и насколько это может способствовать пониманию процессов в лотических системах. Будут проанализированы два аспекта сукцессии проточных вод: временная сукцессия, присущая конкретному местообитанию и продольная сукцессия в водотоках вне временного контекста.

Экологические модификации структуры сообщества в некоторой географической точке, происходящие в течение определенного периода времени после внешнего воздействия, являются классической сукцессией. Этот процесс достаточно широко исследован в самых различных биосферных компонентах, включая лотические экосистемы. На сообщества в проточных водах оказывает влияние целый «букет» нестационарно изменяющихся факторов со стохастическими амплитудами, механизм действия которых специфичен на фоне, например, наземных лесов. Здесь мы обращаем особое внимание на проблему периодических воздействий (временных циклов), анализ роли которых позволит глубже заглянуть в общий сукцессиональный процесс.

В случае пространственной сукцессии рассматривается ведущий системообразующий градиент (изменение рельефа, водности, минерализации и т.д.) и структура сообществ в каждой точке этого экоклина интерпретируется в зависимости от факторов окружающей среды, присущих конкретному биотопу. Хотя факторы, определяющие изменчивость экосистемы, являются в основном абиотическими, здесь можно отметить и биотические взаимодействия, такие как конкуренция и хищничество. Предпринимались самые разнообразные попытки наложения пространственной модели на сукцессиональные процессы в наземных экосистемах; однако в проточных водах пространственная продольная модель носит фундаментальный характер и обеспечивает тот естественный контекст, в котором проходит развитие биотических сообществ в текучих водах.

Основные параметры и механизмы сукцессии. Под сукцессией понимается постепенный и необратимый процесс формирования (*первичная сукцессия*) или восстановления (*вторичная сукцессия*) потоков поколений биотических популяций, направленный на достижение экосистемой полной реализации потенциала всех существующих видов в конкретном местообитании (Смирнова, Торопова, 2008). Для модели классической сукцессии характерно наличие *нулевого состояния* (или точки начального отсчета X_0) и *кли-*

макса, т.е. точки регулярного аттрактора **A**, в которой экосистема достигает динамически равновесного состояния, оптимального для существования сообществ, где наблюдается максимальная биомасса или максимальное количество симбиотических связей между организмами (Odum, 1975).

Первичная сукцессия включает в себя два основных элемента: колонизацию в начальной точке X_o и последующую смену типов сообществ. Здесь возникает вопрос о том, является ли первичное заселение реальным феноменом в системах, подверженных природным внешним воздействиям: вряд ли даже одно из них может быть настолько катастрофическим, чтобы привести к полному уничтожению всех популяций. Однако если воздействие является достаточно сильным для того, чтобы локально уничтожить основные биотические компоненты (например, извержение вулкана; разработка россыпного месторождения на Камчатке и территории Корякского нагорья, о которых указано в монографии В.В. Чебановой [2009]), то процесс первичного заселения может быть представлен параметрами скорости сукцессионной модели. Колонизация, несомненно, может осуществляться также отдельными видами, первоначально отсутствующими в данной географической местности (инвазия). В этой связи интересны подходы к выявлению зоогенных сукцессий, связанных с кормодобывающей деятельностию бобров, их возможностью поддерживать сообщества на ранних сукцессионных стадиях и значительно ускорять ход сукцессии в условиях возобновления главных кормовых пород в растительных сообществах при строительстве бобровых плотин в реках (Завьялов и др., 2005). Можно предположить, что *модели колонизации* сами по себе способны объяснить наблюдаемые *сукцессионные модели*, но вряд ли эти термины можно рассматривать в качестве полных синонимов.

На экосистемы могут оказывать влияние такие стохастические повторяющиеся явления как пожар, ураганы, наводнения и некоторые виды человеческой деятельности (дноуглубительные работы, вырубка лесов, применение токсических химических веществ, углубление русла и др.). В этих случаях имеет место вторичная сукцессия, начальная точка X_0 которой уже вполне определена как время завершения воздействия.

При расширенном толковании сукцессии к ней часто относят самые разнообразные экологические процессы, которые связаны с любыми *изменениями в составе сообществ, происходящими после внешнего воздействия в данной географической точке*. К параметрам, описывающим сукцессионный процесс, были отнесены общие свойства сообществ, такие как метаболизм экосистемы и цикличность питания (Odum, 1969), что еще больше запутало дело, поскольку число параметров, в которых можно измерить процессы функционирования экосистем возросло безгранично. Прецедент, созданный в наземной экологии (Pickett, 1976) с включением моделей пространственной динамики, еще больше расширил классическое определение сукцессии. Можно ли считать сукцессией *цикл структурно-функциональных превращений* (например, псаммофильных инфузорий Белого моря; Бурковский, Мазей, 2008), *озерную эвтрофикацию* (сезонное изменение сообществ фито- и зоопланктона, характерное для многих типов озер; Молотков, Свирский, 1975; Lewis, 1978; Кузнецова, 2002) или изменения, происходящие в прибрежных сообществах, – это вопрос терминологического выбора. Он, на наш взгляд, не заслуживает серьезных дискуссий, поскольку, учитывая количество сделанных формулировок и широкий диапазон изучаемых систем, выделение различных типов сукцессии весьма затруднительно, а окончательное их концептуальное разграничение оказывается практически неуловимым.

Период от начала развития экосистемы X_0 до перехода ее в климаксовое состояние **A** называется *собственным временем* сукцессии, которое может быть охарактеризовано как число поколений важнейших (ключевых) видов, необходимых для достижения климакса. Однако это время можно определить лишь при условии внутреннего протекания сукцессии без воздействия извне, т.е. при спонтанном развитии экосистемы, которое получило название «*аутогенная сукцессия*» (Tansley, 1929). Движущей силой аутогенной сукцессии является системообразующая деятельность популяций ключевых видов, в ре-

зультате которой формируется биотически обусловленная и гетерогенная по составу видов структура экосистемы. В ходе сукцессии постоянно увеличивается экологическая емкость местообитания, возрастает функциональное и таксономическое разнообразие. При достижении климакса уменьшается роль конкурентных отношений и увеличивается значимость комплементарных и мутуалистических связей в организации экосистемы.

В работе Дж. Коннелла и Р. Слатиера (Connell, Slatyer, 1977) отмечаются следующие гипотетические механизмы аутогенной сукцессии:

- *стимуляция* или благоприятствование (facilitation model) – каждая приходящая в сообщество группа видов создает благоприятные условия для внедрения и успешного существования последующей группы видов, которая тут же вступает в конкуренцию за ресурсы;
- *ингибирование* или торможение (inhibition model) – на промежуточных этапах сукцессии существующими в сообществе видами создаются неблагоприятные условия для внедрения новых видов, в результате чего ротация популяций временно прекращается;
- преимущество *толерантности* (tolerance model) – по мере смены видов в сообществе постепенно приживаются группы, более толерантные по отношению к существующим экологическим факторам;
- *нейтральность* или независимое популяционное развитие – смена видов происходит только в соответствии с особенностями онтогенеза и типа стратегии;
- модель *насыщения* (saturation model – Смирнова, Торопова, 2008), основной механизм которой сводится к спонтанной деятельности ключевых видов разных трофических групп, преобразующих внутреннюю среду экосистемы и увеличивающих ее структурную гетерогенность.

Вероятно, все описанные механизмы действуют в природе. Однако, несмотря на то, что модель аутогенной сукцессии представляет собой чрезвычайно удобный инструмент исследования, она может использоваться в весьма ограниченных случаях, поскольку не учитывает эффект воздействия экзогенных (в основном антропогенных) факторов.

На необходимость учета изменчивости внешних факторов, имеющих, как правило, абиотическое происхождение (в частности, сезонные, климатические и геоморфологические циклы) указывал А. Тэнсли (Tansley, 1929), который выделил *аллогенные составляющие* сукцессионного процесса. В природе аллогенные и аутогенные причины налагаются друг на друга и оказывают сильное взаимное влияние: например, характер конкурентных отношений может меняться в зависимости от сезонных изменений температуры или концентрации растворенных питательных веществ. Это особенно относится к проточным водам, где организм-хищник и организм-жертва (а также сообщества) могут быть разделены пространственно, однако вероятность их взаимодействия существенно повышается из-за способности к дрифту и иным перемещениям по течению. Будет вполне корректным допустить, что в некоторых экосистемах биологические взаимодействия являются интенсивными, а в других сообществах структурные перестройки целиком определяются экзогенными факторами, поэтому гипотезы об аллогенных и аутогенных механизмах сукцессии не являются взаимно исключающими. В.Б. Чернышев (1996) указывает на возможность конструктивных (постепенное накопление до определенного уровня биомассы в биотопе) и деструктивных (при которых происходит постепенное разрушение биомассы до неорганических соединений) сукцессий, закономерно сменяющих друг друга и сопровождаемых циклическими сукцессиями более мелкого порядка в зависимости от биотопической привязки.

Представители холистической школы Ф. Клементса, к которым относятся Ю. Одум (Odum, 1969), Г. Одум (Odum, 1971) и Р. Маргалеф (Margalef, 1968), рассматривают сообщество как органическое единство, а сукцессию экосистем – как аналог развития организмов. При этом механизмы смены сообществ не объясняются, однако предполагается, что они включают в себя отбор на организменном уровне. Этот подход внес значительный вклад в исследование сукцессии в двух следующих аспектах. Во-первых, холи-

стическая школа, включив в анализ сукцессии такие общие свойства, как продуктивность, поток энергии и круговорот питательных веществ, позволила получить эмпирические зависимости, способствующие лучшему пониманию природных и управляемых экосистем. Во-вторых, экосистемная биология в большей степени принимает во внимание абиотические факторы, которые являются «носителями взаимодействий организмов», чем эволюционная биология популяций или экология сообществ.

Однако уже в середине XX в. было доказано, что применение понятия «сукцессия» с вещественно-энергетических позиций даже к отдельному компоненту экосистемы не имеет законченного смысла, поскольку преобразование энергии протекает в пищевых сетях, которые составляют популяции, относящиеся к видам разных трофических уровней. Параллельное развитие представлений популяционной биологии привело к тому же заключению (Смирнова, Торопова, 2008). Таким образом, становится очевидным, что познание механизмов сукцессий невозможно без согласованного изучения взаимоотношений популяций видов разных трофических уровней как с вещественно-энергетических, так и со структурно-динамических позиций одновременно, поскольку процессы трансформации вещества и энергии реализуются в потоках поколений популяций видов, формирующих биоту экосистемы.

Сезонная и многолетняя сукцессия в проточных водах. Хотя лотические экосистемы хорошо подходят для изучения сукцессии, они долгое время не привлекали внимания исследователей (Gray, Fisher, 1981; Fisher et al., 1982). Литературные источники по сукцессии сообществ в проточных водах для конкретных водотоков немногочисленны и носят в основном поверхностный характер. Частично это объясняется тем, что типы водотоков, которые традиционно изучаются гидроэкологами, не всегда подходят для анализа сукцессии. С одной стороны, в проточных водах доступны уникальные исследования по изучению временной сукцессии, присущей, например, некоторому локальному участку, поскольку природные внешние воздействия влияют на происходящие эрозионные процессы в реках в широком диапазоне и с достаточной для обобщения частотой. Интервалы между половодьями или сильными размывами обычно составляют от одного до нескольких лет, что дает возможность слежения за многократным сезонным или межгодовым воспроизводством доминирующих организмов (Boulton et al., 1988; Чебанова, 2009). Колонизация различными животными, включая откладку яиц гетеротопными двукрылыми, а также параметры дрифта и биостока легко замеряются, что убедительно показано В.В. Богатовым (1994).

Несмотря на эти благоприятные возможности, большинство водотоков по ряду причин не привлекает значительного внимания исследователей сукцессии. Параметры стока крупных рек могут быть легко измерены, однако динамика водных масс не всегда сопровождается ожидаемой изменчивостью интенсивности биотических процессов. Исследования небольших водотоков обычно не обеспечивают достаточные возможности анализа из-за ограниченного состава эколого-фаунистических групп, оптимального в узком диапазоне факторов среды. Быстро протекающие паводковые воды имеют периоды существования, как правило, короче циклов жизни доминирующих видов. И, наконец, во многих проточных водах отмечаются сезонные изменения, присущие исключительно сукцессии, но значительно усложняющие ее изучение.

Можно сформулировать определенные требования к водотокам, являющимся идеальными для изучения сукцессии: 1) паводковое воздействие должно быть значительным; 2) между внешними воздействиями возможна смена нескольких поколений организмов; 3) между катастрофическими воздействиями (событиями) никаких дополнительных воздействий не происходит; 4) сезонные колебания являются минимальными. Известно, что сезонные явления сглаживаются в регионах с ровным климатом, особенно где полный цикл сукцессии завершается в течение одного сезона (например, в проточных водах аридных зон), чего обычно не отмечается в реках Западной Европы и европейской части России.

Водотоки обычно подвергаются внешним воздействиям разного типа и происхождения с различной степенью перестройки динамики потоков и близлежащих гидротехнических систем, в том числе:

- периодические штатные наводнения и паводки (Wiegert, Fraleigh, 1972; Богатов, 1994);
- дноуглубительные и другие гидротехнические работы (Hannan, Dorris, 1970; Дноуглубительные работы.., 1984; Зинченко и др., 1984);
- экстремальные и катастрофические воздействия, такие как засухи (Harrison, 1966), сильные наводнения, промерзания русла (Богатов, 1994; Медведева, 2003) и др.;
- сброс сельскохозяйственных стоков (Dimond, 1967; Abellán et al., 2005).

Основным направлением исследования сукцессионных процессов в проточных водах является оценка динамики и механизмов колонизации свободного субстрата после окончания внешнего воздействия, которые, тем не менее, далеки от полного понимания. Здесь может быть несколько вариантов маршрута, ведущего от пионерного сообщества к нескольким различным типам организации структуры сообществ.

В литературных источниках представлена многочисленная информация по колонизации часто заливаемых новых субстратов, как природных (Kennedy, 1955), так и искусственных (Wiegert, Fraleigh, 1972; Cattaneo, Ghittori, 1975; Reice, 1980; Зинченко, 1981; Zinchenko, 1989; Золотарев, Косолапов, 2003; Шарапова, 2003). Другое направление связано с исследованиями субстратной реколонизации организмов в системах, где имеются многочисленные потенциальные колонизаторы (Townsend, 1989; Богатов, 1994).

Динамика первичного заселения и реколонизации сильно дифференцирована в зависимости от интенсивности воздействия и степени перестройки экосистемных компонентов, поэтому скорость восстановления речных экосистем изменяется в широких пределах (Богатов, 2001; Медведева, 2003). Проточные воды, подвергнутые, например, воздействию наводнения, восстанавливают нормальное состояние в течение некоторого времени, которое варьируется от месяца до нескольких лет. Дж. Коллинзом с соавторами (Collins et al., 1981) описываются процессы длительного (в течение десятилетий) восстановления некоторых видов во время паводка в условиях прорытия канала с сильной эрозией береговых отложений. Известно также несколько документальных случаев, когда воздействие наводнения приводило к исчезновению всей биоты и началу первичной сукцессии.

Обычно же имаго насекомых вне зависимости от силы наводнения быстро заселяют «свободный коридор» после прекращения воздействия. Можно привести ставший уже хрестоматийным пример по Сонoранской пустыне, где наводнение уносит практически 99% фауны насекомых, хотя продолжается всего в течение нескольких часов (Fisher et al., 1982). Однако заселение насекомыми этой пустынной системы происходит непрерывно, а вылет имаго многих видов происходит в течение года (Gray, 1981).

В общем случае скорость сукцессии зависит от продолжительности жизни особей каждого конкретного вида, поэтому, например, сообщества диатомовых водорослей восстанавливаются в течение месяца или двух (Brock, Brock, 1969; Wegert, Fraleigh, 1972), в то время как рыбам может потребоваться несколько лет (Hanson, Waters, 1974). Насекомые занимают промежуточное положение в зависимости от их вида и численности (Gray, 1981).

Реколонизация путем откладки яиц обычно оказывается очень быстрой. В.В. Богатов (1994) приводит пример, когда после трехмесячной засухи все участки до 200 м длиной сухого русла р. Вторая речка (г. Владивосток) уже в первые сутки после восстановления потока были равномерно заселены доминирующими амфиподами и планариями, поступившими из проточных ям (т.е. из «рефугиумов-пятен»), расположенных в пределах речной системы, а затем восстановление продолжалось заселением ручейников. По нашим данным, в соленых реках аридной зоны Приэльтонья отмечается высокая численность, непрерывное воспроизводство галофильных видов двукрылых и быстрая реколонизация яйцами в условиях сильных ветровых потоков и пересыхания рек. Аналогично, если дноуглубительные работы выполняются в середине канала, оставляя не тронутыми

его периферийные зоны, населенные потенциальными колонизаторами, то свободные субстраты после работы земснарядов быстро заселяются не только гетеротопными, но и типично донными организмами из смежных областей (Зинченко и др., 1984).

Восстановление сообществ ускоряется, если свободны пути миграции. Например, в изолированных водотоках период восстановления популяции ручьевой форели равен 4-5 годам (Hanson, Waters, 1974), в то время как Р. Ларимор с соавторами (Larimor et al., 1959) сообщают о двухнедельном периоде восстановления рыбного сообщества впервые затопленного притока р. Вермиллион в штате Иллинойс, где весь прирост популяции был вызван иммиграцией.

Структура раннего сообщества определяется абиотическими условиями, существующими во время начальной колонизации. Скорость и направление колонизации водорослей и беспозвоночных во многом зависят от таких параметров, как гидрологические характеристики, интенсивность происходящих внешних воздействий, времени года (Hynes, 1958; Медведева, 2005). Например, низкая скорость потока может способствовать прикреплению водорослей, в то время как большое течение благоприятно сказывается на их росте после прикрепления (Reisen, Spencer, 1970). Более того, указывается на то, что колонизация водорослей не может происходить в зимнее время, несмотря на их высокую биомассу в этот период времени (Gale, Gurziskyi, 1979). Осенние наводнения в Сьерра-Невада из-за дифференцированного воздействия на икру уничтожают ручьевую форель, а весенние наводнения вызывают высокую смертность у радужной форели (Seegrist, Card, 1972).

Механизмы колонизации имеют высокую стохастичность, поскольку зависят не только от времени, величины и пространственного распространения внешнего воздействия, но и от эндогенных условий для последующего размножения (Eichenberger, Wuhrmann, 1975; Jones, 1978). Если чередующиеся сообщества-пионеры трансформируются в несколько типов более поздних сообществ, то возможные направления развития в начальной фазе сукцессии являются неопределенными. Вероятность последующих переходов зависит от соотношения процессов колонизации и доминирования (Blum, 1956), наличия близко расположенных колонизаторов, интенсивности процессов биостока и дрифта, присутствия организмов, выживших после воздействия (Brock, Brock, 1969) и др.

Кроме начальной колонизации трудно отыскать прямые доказательства интерактивной аутогенной сукцессии. М. Дикман (Dickman, 1974), например, показал, что диатомовое «торможение» в значительной степени изменяет структуру сообществ недиатомовых водорослей-пионеров и их последующее продуцирование. Эту гипотезу подтвердили другие исследователи (Eichenberger, Wuhrmann, 1975; Moore, 1976) на примере спонтанного отслаивания водорослевых обрастаний, что является непременным условием формирования последующих перифитонных сообществ, не подверженных такому отслоению. Сходные данные были получены нами при изучении экосистемы Учинского канала (Зинченко, 1981), когда обрастания кладофоры отслаивались летом от бетонированных стенок водоводов примерно каждые 15 дней вместе с живущими на них гидробионтами. В результате происходило заселение водотока диатомовыми водорослями, а доминирующим компонентом донных сообществ становились гидры и личинки хирономид, сменившие пиявок и танитарзин, развивавшихся ранее на искусственных субстратах. А. Гарриссон (Harrison, 1966) сообщил о доминирующем положении в начальной стадии сукцессии «непарных» видов, таких как *Simulium*, и их полном исчезновении на более позднем этапе в заново затопленных проточных каналах. В работах С. Фишера с соавторами также приводятся примеры изменения в составе сообществ, обусловленные хищничеством и локальным вымиранием особей как в изолированных заводях или прудах (Gray, Fisher, 1981), так и в проточных системах Сикамор-Крик, штат Аризона (Fisher et al., 1982).

Функциональные и вещественно-энергетические показатели сообществ в проточных водах не были удостоены значительного внимания в сукцессиональном контексте. Статистически приближенные эмпирические модели и графики восстановления, о которых обычно идет речь, совершенно справедливо названы Р. Петерсом (Peters, 1976) «наи-

более тавтологическими». Например, биомасса, хлорофил «а» и первичная продукция возрастают за время сукцессии в проточных водах практически для всех экосистем (Fraleigh, Weigert., 1975; Kaufman, 1980). Для отдельных рек отмечен отрицательный баланс органических веществ, что объясняется увеличением сложности гидросистем и возрастанием доли хищников (Богатов, 1994). В Сикамор-Крик, где наблюдение сукцессии в проточных водах не представило никаких затруднений, положения о стратегии развития экосистем Ю. Одума (Odum, 1969) в целом получили свое подтверждение, за исключением тех атрибутов, на которые оказывает наибольшее влияние открытый характер экосистем в проточных водах (Fisher et al., 1982). В частности, не наблюдалась стабильность соотношения P/R из-за постоянных потерь чистой продукции с речным течением. Если говорить о разнообразии видов, то оно после начального роста может незначительно снижаться (Cattaneo, Ghittori, 1975; Siegfried, Knight, 1977) или увеличиваться в низкопродуктивных донных биоценозах метаритрали (Богатов, 1994).

Сукцессионные изменения сообществ обычно происходят в реках на протяжении длительного времени, что требует очень большого объема экспериментальных и полевых исследований, поскольку для изучения водных экосистем из-за их «мобильного» характера *требуются частые, а лучше – ежедневные наблюдения за происходящими процессами.* Поэтому экологи часто подменяют фактор времени пространственными приближениями: участки реки различного возраста (пересыхающий исток, устье, зарегулированный створ) рассматривают как различные стадии развития одного и того же участка во времени, что не всегда бывает верно. Это косвенно подчеркивает тот факт, что продольная сукцессия в проточных водах объективно является важнейшим и неотъемлемым процессом формирования экологических сообществ.

Продольная (пространственная) сукцессия в водотоках. В каждой пространственной точке лотической системы характеристики водных сообществ специфичны и формируются под влиянием комплекса конкретных биотических и абиотических условий (конкуренция, хищничество, скорость потока, уклон, глубина, обеспеченность ресурсами и т.д.), а также биологической активностm. сообществ, расположенных выше по течению. Продольная сукцессия в водотоках отражает пространственную динамику изменения функций и структуры биотических компонент от истоков до устьевых участков рек, т.е. предполагается, что все процессы дифференциации экосистемы протекают вне контекста времени и не соотносятся с временными параметрами. Иначе говоря, данные о популяционном составе водных сообществ на отдельных участках рассматриваются в качестве независимых точек на продольном градиенте биотопических условий реки (во многом сродни тому, как лесной эколог описал бы изменение наземной растительности в высотном топоклине).

Продольная модель сукцессии для проточных вод хорошо описана и чаще всего объясняется влиянием абиотических переменных, в первую очередь гидрологическими особенностями водотока на разных участках (грунт, скорость течения и др.) и факторами антропогенного воздействия. Распределение рыбного сообщества может определяться величиной уклона (Huet, 1959), глубины (Sheldon, 1968), скорости потока (Kuehne, 1962), температуры (Burton, Odum, 1945), биотопических различий (Есин и др., 2009), причем каждый из этих факторов изменяется направленно вдоль по течению реки. Н. Холмс и Б. Уиттон (Holmes, Whitton, 1977) относят изменение типа субстратов к числу важнейших факторов, оказывающих влияние на продольную сукцессию макрофитов. Прибрежные беспозвоночные также реагируют на такие абиотические переменные, как субстрат, температура, расход воды, скорость течения и наличие пищи (Illies, Botosaneanu, 1963; Andrews, Minshall, 1979; Богатов, 1994; Слынько, Кияшко, 2003).

Если при развитии экосистемы в пределах одного местообитания при постепенном дрейфе факторов окружающей среды временная сукцессия связывается в основном с биотическими межвидовыми взаимодействиями (такими как конкуренция и хищничество), то

продольная фаунистическая изменчивость в водотоках в меньшей мере иллюстрируется эндогенными факторами. Тем не менее резкие модификации в продольном распределении насекомых могут быть объяснены биологическими особенностями гетеротопных беспозвоночных и конкуренцией между представителями одного и того же рода (Allan, 1975; Богатов, 1978; Зинченко, 2011).

Вместе с тем лотические системы представляет собой высокоэффективную естественную транспортную артерию, переносящую вещественно-энергетические компоненты в одном направлении, вектор которого совпадает с продольным градиентом потока. Потенциальные возможности сообществ, расположенных выше по течению, оказывать влияние на биоценозы, расположенные ниже по течению, посредством переноса организмов или продуктов их метаболизма, значительно превосходят возможности миграции для наземных аналогов, связи которых ограничены, например, перемещениями с помощью ветров. На особую структуру пространственных взаимодействий между организмами различных трофических уровней в водотоках разных порядков указывал В.В. Богатов (1994), уделявший особое внимание прямым связям между гидробионтами, осуществляемым за счет дрифта организмов.

Остается только сожалеть, что экология проточных вод не использует с достаточной эффективностью это специфическое свойство водотоков. Объективно доказанное наличие вектора преимущественно однонаправленной связи сообществ посредством переноса организмов текущими водами вступает в противоречие с предположением о нейтральности Дж. Коннела и Р. Слатиера (Connell, Slatyer, 1977). Эта не во всем справедливая гипотеза утверждает, что предшественники не оказывают никакого влияния на своих потомков, и эта мысль относится не только к временному аспекту, но и распространяется на сообщества, расположенные выше или ниже по течению реки. В действительности влияние предшественников может быть слабым или сильным, а также прямым или непрямым. Естественно, что в горных потоках, где обитает форель, влияние сообществ, расположенных вверх по течению, является очень слабым и непрямым; однако в эвтотрофных проточных водах в условиях аридного климата биоценозы-предшественники могут оказывать сильное влияние на состав сообществ, расположенных ниже по течению. Поэтому анализ сукцессионных рядов в отрыве от изучения интенсивности *дрифта или биостока* обедняет интерпретацию продольной модели, ограничивая ее особенностями жизненного цикла или адаптацией вида к условиям среды.

За последние десятилетия произошли концептуальные прорывы в трех направлениях экологии проточных вод, которые сформировали теоретический базис продольной сукцессии: 1) наземная детритная обусловленность метаболизма проточных вод; 2) концепция континуума реки и 3) циклическое (спиралеобразное) распределение питательных веществ. Каждая из этих гипотез обосновывает причины и механизмы формирования сообществ сукцессионного ряда.

Предположение о том, что сообщества лотических систем зависят от поступления *наземного детрита* в качестве источника энергии, восходят еще к работам Х. Хайнеса (Hynes, 1958, 1963; Hynes, Kaushnik, 1969) по экологии проточных вод и влиянию аллохтонного материала. Они дали импульс дальнейшим исследованиям детритных пищевых цепей, определяющих количественный баланс органических веществ (Hall, 1972; Fisher, Likens, 1973; Cummins, 1974; Sedell et al., 1974; Petersen, Cummins, 1974; Fisher, 1977). Было установлено, что детритные потоки перемещаются в пространстве от леса к небольшим протокам и перераспределяются далее, причем количественные и качественные характеристики детритного поступления непосредственно определяют типы и обилие организмов, присутствующих в реципиентных лотических экосистемах. Энергия детритных потоков, не использованная в верховьях рек, переносится вниз по течению, где аккумулируется сообществами ритрали и потамали. Детальное изучение процессов детритного метаболизма показало, что влияние на структуру и функции сообществ, расположенных вниз по течению, оказывает, например, размер частиц мертвого органического вещества,

определяющий транспортную динамику (Wallace, 1977).

В основе концепции *речного континуума* (Vannote et al., 1980) также лежит наличие непрерывного градиента важнейших гидрологических условий (топоклина), ориентированного по продольному профилю реки и регулирующего биотические процессы и динамику поступления питательных веществ. В соответствии с градиентом абиотических факторов закономерно и непрерывно изменяются структурно-функциональные особенности биоценозов, что можно интерпретировать как индивидуальную адаптацию сообществ гидробионтов к этому экоклину.

Важным следствием теории континуума является подчеркнутое стремление экосистемы минимизировать диссипативные потери в каждой точке пространства и достичь равновесного оптимума используемого вещества и энергии для всего водотока в целом. Функциональная организация сообществ в продольном сукцессионном ряду определяется стратегией баланса равномерно распределить всю поступающую энергию в течение года и по руслу реки. В частности, сообщества кренали имеют принципиально более низкий КПД использования ресурсов, в то время как биоценозы в нижнем течении сконструированы так, чтобы в максимальной мере утилизировать те остатки кинетической энергии, которые были недоиспользованы гидробионтами в верховьях реки.

Различия в стратегии функционирования находят отражение в закономерном изменении видовой структуры сообществ. Этот процесс представляется как формирование последовательности синхронизированной смены таксономического состава комплекса доминантов. Если тот или иной вид в силу разных причин утратил адаптационные способности к изменяющимся биотопическим, гидрохимическим, климатическим или иным резко изменяющимся факторам, он заменяется другими видами, выполняющими по существу ту же функцию, но более приспособленными к новым условиям.

Несмотря на то, что в концепции Р. Ваннота с соавторами (Vannote et al., 1980) понятие «*континуум*» введено даже в названии, по существу рассматривается дискретный сукцессионный ряд, а континуальность оказывается как бы за скобками. Более того, подробно обсуждаются проблемы продольного зонирования речных экосистем: выделяются три локальные зоны (креналь, ритраль, потамаль) и подчеркиваются их коренные различия.

Концепция *пищевых циклов* (Newbold et al., 1981) не ограничивается рассмотрением только детритных подсистем, а анализирует взаимодействие между детритным компонентом и питательными веществами в растворенном состоянии. Модели пищевых циклов в проточных водах подчеркивают динамический характер трансформации как органических, так и неорганических материалов, и описывают механизм, объясняющий спиралеобразный характер этого процесса, имеющий значительный пространственный компонент. Например, животные-детритофаги зоны кренали поедают и перерабатывают омертвевшие остатки наземной растительности, освобождая первичные биогенные вещества (растворенные формы азота, фосфора и др.), а течение реки обеспечивает их быстрый перенос вниз по течению. Минеральные вещества снова поглощаются фитобионтами (макрофитами и водорослями), являясь в свою очередь питательным компонентом для животных-фитофагов (Kaushik, Hynes, 1971; Vincent, Downs, 1980). Например, в Сикамор-Крик количество растворенного неорганического азота стремительно уменьшается вниз от истоков ручьев в результате ассимиляции диатомовыми водорослями и кладофорой. Гетеротрофные сине-зеленые водоросли становятся доминирующими ниже по течению реки, где растворенный азот уже практически не обнаруживается (Fisher et al., 1982).

Таким образом, питательные вещества и другие основные трофические элементы непрерывно и циклически сменяют друг друга вдоль всей экосистемы реки, определяя и изменяя популяционную структуру биоценозов. Для полноты изложения вспомним афоризм Ю. Одума: «Материя циркулирует, энергия рассеивается» (Odum, 1969). Единственным отходом экосистемы в целом оказывается тепловая энергия дыхания: она рассеивается в атмосфере и непрерывно пополняется через фотосинтез за счет солнечного излучения.

Необходимо подчеркнуть достаточно существенные отличия продольной (про-

странственной) сукцессии в водотоках от ее классического варианта, когда изучаются изменения в конкретной географической точке при длительном периоде времени:

- временной сукцессионный ряд сообществ в локальном местообитании формируется в основном за счет биотических взаимодействий (конкуренции за ресурсы, хищничество), в то время как градиент проточных вод образуется под влиянием преимущественно геоморфологических факторов;
- связь между сообществами во времени не может быть реверсивной (т.е. более поздние сообщества никогда не оказывают влияние на более ранние), однако при продольной сукцессии миграция организмов вверх по течению в ряд случаев может оказаться важным фактором взаимного влияния (Hall, 1972);
- при продольной сукцессии начальное X_0 и климаксовое состояния экосистемы **A** могут быть географически точно обозначены в пространстве, однако их связь, например, с кренальными или устьевыми створами водотока, может оказаться чересчур условной; для классической сукцессии эти критические точки фазовых переходов не всегда точно определены (например, время первичного заселения естественного водотока может теряться во глубине веков), но всегда наполнены конкретным физическим смыслом;
- климакс, как таковой, уже не позиционируется как точка равновесного состояния, при котором «полностью реализуются экологические потребности всех популяций в конкретном местообитании», поскольку определяется только экологическими условиями на том участке, который принят за оптимум.

Если продолжить обсуждение проблемы неопределенности климаксового состояния при продольной сукцессии, то Р. Маргалеф в своей новаторской работе (Margalef, 1968) выдвинул предположение, что климаксовое растительное сообщество проточных вод представляет собой наземное климаксовое сообщество, характеризующее данный регион. Таким образом, первой стадией последовательности смены ассоциаций является, например, фитоценоз почвенного болотистого покрова. Думается, что этот вопрос нуждается в дальнейшей проработке.

Роль пространства и времени в проточных водах. В природе нет чистых аналогов ни временной, ни пространственной сукцессии, поскольку оба процесса происходят синхронно. Есть только наше упрощенное представление о динамике экосистем и попытки интерпретировать результаты исследований в русле решаемых нами задач. Возможно наиболее важными результатами углубленного исследования сообществ в проточных водах в течение длительного периода является то, что многие из них *не находятся в устойчивом состоянии в любое отдельно взятое время.* В большинстве экосистем одно это является безусловным свидетельством сукцессии.

Преимущества расширенного толкования сукцессии не только в контексте времени, но и пространства, носят как концептуальный, так и чисто практический характер. Решение некоторых трудных вопросов, относящихся к сукцессии, присущей конкретному местообитанию, значительно облегчается, если изменения в экосистеме рассматривать одновременно через призму хроноклина и топоклина, выделяя аналоги в обоих сукцессионных рядах. Это имеет особенно важное значение для проточных вод, где взаимодействия между сообществами осуществляются через текущую среду, из которой можно достаточно часто брать образцы, оперативно анализировать их и, наконец, проводить различные стадии активного эксперимента.

Например, не всегда легко проследить основные механизмы преобразования сообщества-пионера в сообщество-преемник при классической сукцессии. Необходимо учесть не только целый комплекс факторов, оказывающих совокупное воздействие в каждой локальной точке водотока (например, внутреннюю конкуренцию, освещенность, изменение количества питательных веществ), но и принять во внимание биотические взаимодействия с сообществами в пространственно смежных областях (наличие механизмов рассеивания, расстояние и интенсивность транспортировки, фертильность среды,

возможность адаптации вновь прибывающих видов и др.).

Если, например, вся дренажная система размыта наводнением, то колонизация и последующее восстановление начнутся *одновременно во всех точках* речной экосистемы. Характер и скорость сукцессии будет зависеть от наличия колонизаторов, местных условий, наличия ресурсов и от взаимного расположения в проточной воде отдельных сообществ. В частности, сообщества, расположенные выше по течению, в своей ускоренной фазе роста на ранней стадии могут уменьшить содержание растворенных питательных веществ или увеличить количество переносимых мелкодисперсных частиц и таким образом оказывать влияние на скорость и характер сукцессии ниже по течению. Исследование дрифта (биостока) может облегчить здесь идентификацию динамики изменения сообществ и количественный прогноз развития экосистемы в будущем.

В качестве активной составляющей для проверки продольной модели ускорения и торможения развития биоты в водотоке предлагается сооружать искусственные каналы (Connell, Slatyer, 1977). Аналогичные эксперименты с природными экосистемами можно провести путем изменения уровня равнинных реках, находящихся под подпором вод водохранилищ, или осуществить искусственную очистку субстратов. Если подтвердится модель ускорения, то проточные воды имеют тенденцию к восстановлению по направлению «сверху вниз»; если подтвердится процесс торможения, то этот процесс происходит наоборот – «снизу вверх».

Важным моментом исследований сукцессии в проточных водах является разделение абиотических и биотических факторов и сравнительная оценка значимости их воздействия. Исследования, проведенные нами в искусственном проточном канале (Зинченко, 1982), показали, что если субстрат и течение являются единственными детерминантами продольного характера водотока, то в течение ряда лет наблюдается стабильный характер сообществ и отсутствие гетерогенных изменений. Значительные продольные флуктуации гидродинамики проточных вод могут поставить под сомнение эту нулевую гипотезу. Для проверки статистической значимости предположения о биотическом характере взаимодействий в продольном направлении, можно смоделировать искусственный водоток, который характеризовался бы существенными физико-химическими и биотопическими изменениями в рециркулируемой воде. Если эта система не отличается от идентичной речной системы со стабильной гидродинамикой, то гипотеза об аутогенных причинах сукцессионного ряда не лишена оснований.

Исследования сукцессии в проточных водах связаны с двумя трудно разрешимыми проблемами: неравномерным характером пространственного распределения гидробионтов и временными циклами. Когда мы говорим о сукцессионнных изменениях в конкретной точке водотока, мы обычно ведем отбор серии гидробиологических проб от одного берега до другого (по поперечному профилю), на некоторой разумной площади, измеряемой десятками квадратных метров, и зачастую при неодинаковых сезонно-климатических условиях. Усреднение этих образцов интерпретируется нами как некоторый статистический «срез» изучаемого сообщества, в то время как на самом деле происходит объединение нескольких разнородных типов сообщества из разных точек пространственно-временного континуума. Наши исследования на р. Байтуган (см. подраздел 2.2.4) показали, что структура сообществ макрозообентоса в каждой точке ритрали проточной воды является в целом предсказуемой, однако носит стохастический характер, вследствие чего сукцессионнные процессы проходят, вероятно, с разными скоростями. Образцы водорослей также разделяются на несколько ярко выраженных типов, в которых несколько видов-доминантов различаются между собой по относительному обилию, в связи с чем хлорофилл «а» и фитомасса распределяются в пространстве неравномерно (Busch, 1979; Busch, Fisher, 1981).

Проточная вода представляет собой мозаику небольших участков с различными формами сукцессионных изменений, поэтому важно рационально учесть степень этой неоднородности, основываясь на сути биологических процессов. Например, диатомовые

пионерные сообщества обычно сменяются образованием смешанного кладофородиатомового сообщества, которые могут в потоке замещаться сообществом с доминированием анабены (Fishenberger, Wuhrmann, 1975; Богатов, 1994). Такие переходы проходят достаточно быстро в ритрали, тогда как в русловой части потока, где скорости потока обычно высоки, диатомовые пионерные комплексы сохраняются неопределенно долго. Здесь стохастический элемент вводится, когда гидробионты отделяются от субстрата, смываются вниз по течению и оставляют чистый субстрат, который затем колонизируется диатомовыми и гидробионтами-обрастателями.

Важным для понимания сути динамики лотических экосистем является анализ цикличности процессов (как внешнего воздействия, так и восстановления сообществ) и здесь спектр возможных механизмов проточной сукцессии чрезвычайно велик. Очевидно, для того, чтобы в сообществе произошли заметные изменения, жизненные циклы организмов должны быть короче, чем период между внешними воздействиями. Здесь вариантов чрезвычайно много: например, циклы детритного кругооборота некоторых небольших рек на северо-западе США достигают 100 лет (Naiman, Sedell, 1980), в то время как другие гетерогенные потоки подвергаются частым (еженедельным) наводнениям, смывающим субстрат до коренной подстилающей породы. Для экосистем, которые подвергаются слишком частому и сильному внешнему воздействию, характерна «усеченная» сукцессия, и типичные резиденты будут называться пионерами. И наоборот, автотрофные сообщества, которые формируются ежегодно, не подвергаясь внешним воздействиям, демонстрируют ярко выраженные сезонные сукцессионные (?) изменения.

В результате нестационарных возмущений в некоторых экосистемах не успевает сформироваться типичный экоклин, к чему резиденты не могут приспособиться. Это может быть вызвано абиотической флуктуацией, быстрыми локальными биологическими модификациями или обеими причинами вместе. В частности, при частых возмущениях возможна потеря экосистемной устойчивости, сопровождающаяся коренной перестройкой видовой структуры с доминированием видов, для которых характерна высокая адаптационная способность. Авторы могут привести пример наблюдаемых временных (климатические изменения) и сезонных (связанных с изменением водности, уровня минерализации) сукцессий в высокоминерализованных реках аридной зоны Приэльтонья (Зинченко и др., 2010). Организмы донных сообществ соленых рек проявляют свои адаптационные характеристики уже на стадии изучения биологии видов (единовременный массовый вылет хирономид, короткий жизненный цикл, галобность видов и т.д.).

Нестационарный процесс в меньшей мере выражен для автотрофных систем, где растения трансформируют физические, химические и биологические свойства среды, но эти биотические модификации проходят за время, достаточное для генерации экоклина, поддерживающего быструю реадаптацию резидентов.

Таким образом, сукцессии в природных экосистемах изучаются достаточно давно в разных сообществах и в разных аспектах. Особое значение эти исследования приобрели в последние 50 лет, когда антропогенное воздействие распространилось на все биомы и регионы биосферы. Под влиянием деятельности человека часть климаксовых экосистем была трансформирована в агроценозы и техногенные ландшафты, а остальная часть выведена из равновесного состояния и переведена в сукцессионное. Вместе с тем представленный обзор литературы показывает, что по-прежнему нет единого мнения по главным вопросам, которые могут быть сформулированы следующим образом: а) имеются ли общие закономерности в сукцессии отдельных компонентов в различных средах; б) детерминирована ли сукцессия и какова роль случайных факторов; в) каковы движущие механизмы сукцессии.

Отсутствует даже однозначное понимание самого термина: Ю. Одум (1986) формулирует сукцессию достаточно узко, относя к ней аутогенные процессы; Р. Риклефс (1979) – только вторичную сукцессию, а иные авторы, склонные к широким обобщениям, рассматривают сукцессию как произвольное, многомерное и непрерывное изменение различных

характеристик экосистемы в пространстве и времени. Излагая целостную и оригинальных концепцию соотношения сукцессии и эволюции Р. Маргалеф пишет: «Можно понять Браун-Бланке, который писал, что, возможно, не существует других областей, кроме изучения сукцессии, где так переплетаются факты и фантазии» (Маргалеф, 1992, с 161).

Движущей силой сукцессий являются комплекс внутренних процессов (эндогенез) и внешних воздействий (экзогенез). Безусловно, что «в чистом виде автогенные и аллогенные сукцессии не существуют в силу того, что внутренние и внешние причины всегда сопутствуют друг другу» (Ипатов, Кирикова, 1997, с. 254). Однако в различных сукцессионных сериях или на разных ее стадиях преимущество получает тот или иной конкретный механизм, или сочетание нескольких таких процессов, разных по генезису и временной шкале их проявления. Поэтому простая констатация сложности и многомерности явления – не слишком результативное занятие, тогда как работы, выделяющие на строгой методической основе ключевые воздействующие факторы, крайне немногочисленны.

Направленный тренд изменений разных структур в экосистеме в ходе сукцессии, по Ф. Клементсу (Clements, 1936), обычно не вызывает сомнения у экологов. Однако Р. Маргалеф (Margalef, 1968) предположил, что состав сообщества в начальных фазах сукцессии находится под большим влиянием случайных обстоятельств - климатических изменений, инвазии видов, в связи с чем для ранних стадий характерны не столько направленный тренд, сколько флуктуации. Можно предположить, что сукцессия детерминирована в том смысле, что существуют определенные генеральные тренды для различных структур экосистемы, обусловленные видовым составом флоры и фауны, а также ведущими факторами среды. В то же время движение каждой структуры постоянно отклоняется от базовой траектории под влиянием непредсказуемых, случайных воздействий и предыдущей истории данной сукцессии. Придет ли развивающаяся экосистема к климаксу и когда – зависит от частоты и силы случайных флуктуаций.

Для описания сукцессионных процессов разрабатываются модели, учитывающие «кинетику» изменения таксономического состава биотопов или интенсивность начального отклика и последующей трансформации того или иного ведущего интегрального параметра экосистемы. А.С. Исаевым с соавторами (2005) предложена и верифицирована математическая модель последовательного преобразования древесных ценозов из одного сукцессионного состояния в другое с использованием представлений о *фазовых переходах* разного типа. Экологический аналог уравнений Ван дер Вальса дает возможность определить критические значения фитомассы насаждения, по достижению которых начинаются сукцессионные изменения. В литературе представлены и другие модели сукцессионной динамики, которые оценивают уровень детерминизма в развитии экосистемы и прогнозирующие ее состояние в фазовом пространстве. Их спектр простирается от оценки *топологического подобия* двух фазовых траекторий – наблюдаемого и при случайных переходах (Orlóci, 2001) до сложных имитационных или нелинейных моделей круговорота веществ и целых «прогнозных комплексов» (Чернышенко, 2005). Однако в случае водных сообществ, где состав биоты существенно более разнообразен и гетерогенен, выбор ведущих параметров функционирования экосистем при построении таких моделей имеет трудно разрешимые проблемы.

Другой подход в математическом моделировании связан с выделением фиксированных последовательностей дискретных состояний ценоза, т.е. формированием сукцессионного ряда. Если последовательность сукцессионных переходов интерпретировать как случайные процессы в дискретном пространстве состояний, то использование *марковских цепей* позволяет количественно оценить матрицу альтернативных переходных вероятностей в таком ряду (Логофет, 2010). Однако набор выделенных типов или ассоциаций видов экосистемы обычно определяется экспертно на основе субъективных заключений, поэтому в литературе существует значительный разнобой в представлении конкретных сообществ.

Если в ходе мониторинга сформированы динамические массивы данных, можно определить выраженность и частоту смен ассоциаций видов во времени или по продольному градиенту водотока. В разделе 3.3 настоящей монографии анализируются критерии стационарности и автокорелляции обобщенных показателей сообществ макрозообентоса в рядах экологических последовательностей. В ней также обсуждаются проблемы выделения статистически значимых изолированных зон, на границе которых происходит сукцессионная смена видового состава гидробионтов и приведены результаты корреляционного анализа матриц видового сходства, формирования дендритов и нахождения «барьеров» на основе алгоритма максимума различий Монмоньера.

Эффективным методом формирования рядов продольной сукцессии является *ординация*, т.е. построение графиков рассеивания разнотипных местообитаний вдоль выбранных факторов среды в декартовой системе координат. Местоположение каждой точки определяется через сумму экологических индексов всех видов, характерных для данного биотопа, рассчитанную с учетом показателей обилия (численность, встречаемость, биомасса). Анализ результатов ординации и аутэкологических особенностей организмов, имеющих оптимальную стратегию жизненного цикла в определенных условиях обитания, дал нам возможность сформировать последовательности продольных сукцессионных смен в равнинных водотоках бассейна Нижней Волги различного типа и уровня воздействий:

- в р.Чапаевка (Шитиков, Зинченко, 2008), для отдельных участков которой характерно ярко выраженное техногенное воздействие;
- в р. Сок (подраздел 3.2 настоящей монографии, Шитиков и др., 2009), являющейся типичной средней равнинной рекой с умеренной антропогенной нагрузкой;
- в высокоминерализованных реках аридной зоны Приэльтонья (Зинченко и др., 2010).

Показано, что объективно существующую динамику состояния изученных рек определяют (в разных вариантах) сукцессионные переходы между следующими комплексами популяций макрозообентоса, которые можно выделить по особенностям жизненных циклов доминантов, характеру питания или распределению ключевых видов: фитореофильные виды кренали, литореофильное сообщество детритофагов и всеядных в ритрали, «посткризисный» ценоз фитофильных организмов ниже участков сильного антропогенного воздействия, сообщества лимнофильных и пелофильных видов потамали, специфичные галофильные сообщества в градиенте солености рек и т.д. Однако надо помнить и о ежегодной горизонтальной миграции животных, связанной с эксплуатацией сообществ на ранних стадиях сукцессии или с весенней волной продукции в речных экосистемах с выраженным сезонным ходом (миграция рыб, воздушная колонизация насекомых в ручьи и реки и др.), т.е. проблемах перемещения разных возрастных групп или стадий одного вида, входящих в различные экосистемы, анализ которых наталкивается на существенные трудности. Реки являются особым видом экосистем со встроенной системой однонаправленного транспорта, в которых активное перемещение против течения, хорошо известное у мигрирующих рыб, у беспозвоночных, является эффективным компенсационным перемещением (Маргалеф, 1992). Организация пространственной динамики основана на гетерогенности и разделять градиенты и границы не всегда нужно да и не всегда возможно.

Настоящий обзор показывает, что теория сукцессий переживает процесс активного переосмысления, превращаясь из чисто геоботанического феномена в концепцию изучения широкого круга различных биосферных компонент. Многое еще остается спорным и неясным, однако применение сукцессионных представлений и механизмов может оказать существенное влияние на наши современные представления о проточных водах. В то же время уникальный характер пространственной динамики сообществ в лотических системах может способствовать лучшему пониманию сущности и роли сукцессии как общей экологической концепции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка видового богатства в различных пространственных масштабах является краеугольным камнем изучения биологического разнообразия (Ricklefs, Schluter, 1993) и наиболее существенным критерием происходящих экологических изменений (Karr, 1991; Rosenberg, Resh, 1993) в водных экосистемах.

Структурирующее влияние абиотических факторов на водные сообщества и экосистемы осуществляется дискретно, т.е. интенсивность меняется во времени, создавая определенный градиент действия фактора. Величина это градиента определяет скорость изменения биологического разнообразия в экосистеме, а также характер функционального отклика системы на внешние воздействия (Wetzel, 2001). Для оценки состояния экосистем крупных рек необходима разработка методов сбора данных, пространственных и временных шкал, индикаторных таксонов, выявления потребностей в менеджменте и адекватных экосистемных характеристиках.

Значительную роль играют долговременные наблюдения в процессе мониторинга локальных физических, химических и биологических характеристик, но их недостаточно для интегрированного экосистемного подхода к оценке состояния рек. Необходим переход от локальных к системным оценкам с использованием вероятностных подходов и биоиндикаторов (водорослей, донных беспозвоночных, рыб) речных экосистем, включая и параметры водосборной площади.

В настоящее время биоразнообразие большинства растительных и животных ассоциаций в экосистемах водотоков, озер и прибрежных участков рек изучено очень слабо. Несмотря на значительные успехи в понимании общих закономерностей функционирования водных экосистем, достигнутые в последнее десятилетие (Алимов, 2000; Alimov, 2004).

В системе мониторинга текучих вод бассейновый принцип исследования является основополагающим. В его основе лежит описание экологического статуса водного объекта на основе результатов изучения речного бассейна в целом. Согласно принятой Европейским Союзом Базовой Директивы по водным ресурсам (European Water Framework Directive, WFD), достижение удовлетворительного состояния воды для речного бассейна должно осуществляться таким образом, чтобы меры в отношении поверхностных вод, были согласованными и скоординированными (Семенченко, 2005). Выделение речного бассейна происходит на основании идентификации и типологизации отдельных водных объектов. Экологический статус водотока устанавливается на основании данных комплексной экологической характеристики отдельных водных объектов и суммирования результатов мониторинга (Зинченко, 2008), в результате чего определяется их экологическое состояние, что служит основой для управления речным бассейном. Следует учитывать определяющий экологический фактор в зависимости от типологического статуса реки. Он определяется по отношению к эталонным створам и рекам. Эталонные створы (reference sites) реки – одно из необходимых и ключевых понятий в системе мониторинга поверхностных вод. Под речным эталонным створом (участком) понимают гидроморфологические, биологические, физико-химические условия на ненарушенных участках реки (Семенченко, 2005). Региональные створы, о которых идет речь в отдельных разделах книги, представляют собой створы в относительно гомогенном регионе со сходным типом местообитания. Для разработки основных принципов создания сети эталонных створов в Европейском Сообществе в рамках WFD был создан специальный проект, в рамках которого регламентируются основные требования к сети эталонных створов с учетом специфики той или иной страны ЕС (http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html; http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ). Процесс создания сети эталонных створов состоит из нескольких фаз: дифференциация речного бассейна; определение сети эталонных створов; установление эталонных показателей; специфика эталонных показателей для

оценки экологического статуса речного бассейна. При исследовании р. Сок и ее притоков – первая фаза – это исследование равнинных рек первого и второго порядков. Вторая фаза – выбор участков (створов) реки (в том числе и на водосборном бассейне), которые могли бы выступать как эталонные. При отборе таких створов выделяются основные требования – типичность створов для данной реки или бассейна по своим физико-химическим и гидроморфологическим характеристикам и отсутствие антропогенной трансформации на данных участках.

Исходя из знаний об экологической ситуации равнинных рек бассейна Нижней Волги (Зинченко, 2007), выбор р. Сок (с учетом ее географического и исторического положения, зональной уникальности и привлекательности региона), был преднамеренным. К наиболее важным природным характеристикам, которые определяют земельно-ресурсный потенциал региона, относятся: равнинный характер рельефа; комфортные для постоянного проживания и различной хозяйственной деятельности климатические условия; очень плодородные почвы, пригодные для высокопродуктивного земледелия; богатая травянистая растительность заливных и влажных лугов пойм рек и днищ крупных балок, позволяющая заниматься разными видами животноводства; лесные массивы с ценными породами деревьев, имеющие как промысловое значение, так и являющиеся прекрасными местами отдыха; многочисленные малые реки, ручьи и родники, которые служат источниками водоснабжения населения и хозяйственных предприятий. Встречаются различные виды лекарственных растений, промысловые виды зверей и рыб. Регион обладает достаточно благоприятными климатическими условиями, что положительно влияет на рекреационные и бальнеологические свойства территории.

Цель исследований базировалась на основополагающих принципах и подходах к исследованию незарегулированной реки с умеренной антропогенной нагрузкой и выявлению эталонных створов реки и участков, с применением методологических подходов к анализу типичных равнинных рек, широко используемых в последние годы для оценки экологического состояния равнинных рек бассейна Средней и Нижней Волги (Биоиндикация экологического.., 2007).

Представленные в книге современные достижения в области исследования бассейна равнинных рек и представленные оригинальные данные существенно расширяют известные оценки экологического состояния рек, их особенностей и уникальности. Подчеркивается необходимость междисциплинарного подхода при исследовании речных экосистем, что позволяет выявлять и анализировать воздействия на экосистемы рек наземных сообществ, взаимодействия между различными морфоэкологическими группами организмов, апробировать и внедрять унифицированные методические подходы к исследованию и анализу состояния экосистем рек.

В книге дается анализ пространственной динамики биоразнообразия донных организмов в зависимости от биотопического разнообразия; показана доля видов вселенцев в толще воды и донных отложениях. Большая динамичность и мозаичность в распределении биоты в водной толще и бентосе отражают структурно-функциональные особенности планктонных и донных организмов и транзитный характер среды обитания.

Проявление определенной «эталонности» реки и притоков (особенно в ее верхнем течении) фиксируется авторами книги на разных уровнях организации и подходах к исследованию гидроэкосистемы – флора, растительность, планкто- и бентоценозы ихтиофауна, герпетофауна и др.

Особо следует подчеркнуть, что оценка закономерностей распределения сообществ гидробионтов по продольному профилю водотоков относится к фундаментальным задачам экологии и гидробиологии. В соответствующих разделах книги авторы пытаются разными методами подойти к анализу основных факторов, определяющих процессы в лотических системах. Выполнен детальный обзор разнообразных статистических методов анализа пространственной структурированности водных экосистем, применимость и обоснованность которых иллюстрируется на примере

сообщества донных организмов типичной средней равнинной реки лесостепной зоны Нижнего Поволжья. Поскольку «в любых реках условия существования в верхнем, среднем и нижнем течении совершенно различны...» (Алимов, 2001, с. 10), вводится понятие *экологической последовательности,* под которой понимается «цепочка срезов» состояния экосистемы. Для гидрографической речной сети эти последовательности могут иметь сложную иерархическую структуру, чем они отличаются от традиционных линейных ценотопоклинов, используемых в градиентном анализе. Анализ последовательностей для водотоков отличается направленным характером выделяемых цепочек «срезов» при продвижении от истоков к устью и неопределенностью значений экологических параметров вне трансекты наблюдений. Вслед за Дж. Перри и Д. Шеффером (Perry, Schaeffer, 1987), которые в своей статье «Продольное распределение речного бентоса: речной дисконтинуум?» подобный феномен характеризовали как «акцентированный градиент», когда постепенное изменение видовой структуры от истока к устью сопровождается локальными сменами типов сообщества, обусловленными гидрологическими и гидрохимическими флуктуациями. Такая модель изменчивости гидробиоценозов характерна для большинства типичных не зарегулированных равнинных рек с естественным гидрологическим режимом.

В обзоре авторов о сукцессиях в реках показано, что теория сукцессий переживает процесс активного переосмысления, превращаясь из чисто геоботанического феномена в концепцию изучения широкого круга различных биосферных компонент. Многое еще остается спорным и неясным. И здесь можно привести слова Р. Маргалефа из замечательной книги «Облик биосферы» (1992, с. 161), где он пишет о том, « что почти никто не верит о существовании климакса. Климакс оборачивается просто названием утопии, созданной группой экологов. Но это-то и хорошо, поскольку он может служить идеальным пределом или асимптотой, которая может быть по существу эталоном действия обратной связи на экосистемном уровне, имея в виду специфическую обратную связь, охватывающую все сообщество и поддерживающую сохранение данного состояния. Можно понять Браун-Бланке, который писал, что, возможно, не существует других областей, кроме изучения сукцессии, где ***так переплетаются факты и фантазии***». В то же время, уникальный характер пространственной динамики сообществ в лотических системах может способствовать лучшему пониманию сущности и роли сукцессии как одной из экологических концепций.

Несомненную значимость имеет включенный в данное издание Паспорт реки Сок, выполненный коллективом сотрудников института и иных ведомств.

Проведенные комплексные исследования нашли свое отражение в ходе решения практических задач: оценке лесов и растительности региона, экологической экспертизе гидрохимического состояния речной системы, оценке качества почв, антропогенной нагрузки на экосистему реки, разработке индексов, критериев и метрик как для оценки качества вод и экологического состояния рек.

Исследованные водотоки бассейна р.Сок относятся к «чистым» – 2-го класса качества (р. Байтуган), «умеренно загрязненным» – 3-го класса качества, а также «загрязненным» – 4-го класса качества (участки р. Сок и ее притоки). Несмотря на достаточно благополучное состояние реки в целом, загрязнение поверхностных вод является важнейшей проблемой и требует дальнейшего строительства и реконструкции очистных сооружений, разработки современных малосточных и малоотходных технологий, Федеральных целевых программ оздоровления экологической обстановки реки Волга и ее притоков, восстановления и предотвращения деградации природных комплексов Волжского бассейна.

ЛИТЕРАТУРА

Абакумов Е.В., Гагарина Э.И., Саксонов С.В. Опыт применения классификации и диагностики почв России (2004 г.) при почвенных исследованиях в Самарской области // Изв. СамНЦ РАН. 2010. Т. 12, № 1. С. 27-30.

Абакумов Е.В., Саксонов С.В. Савельев К.Н. Почвенно-ботанические экскурсии по Северо-востоку и востоку Самарской области: переспективы создания региональной Красной книги почв // Изв. СамНЦ РАН. 2009. Т. 11, № 1(4). С. 552-555.

Айвазян С.А., Буштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерностей. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.

Алексеев В.Р., Наумов Е.Ю., Сухим Н.М. Введение. Пресноводный зоопланктон // Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. М: Тов-во науч. изданий КМК, 2010. Т. 1. С. 5-13.

Алехин В.В. Методика полевых ботанических исследований. М.: Наука, 1987. 218 с.

Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2001. 147 с.

Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем. СПб.: Наука, 1996. 186 с.

Анненкова Н.П. Определители организмов пресных вод СССР. Пресноводная фауна. Вып. 2. Пресноводные и солоноватоводные полихеты СССР. Л.: Наука, 1930. 48 с.

Атлас земель Самарской области. Самара, 2002. 101 с.

Ахметзянова Н.Ш., Яковлев В.А. Зообентос реки Меша // Экологические проблемы малых рек Республики Татарстан. Казань: Изд-во «Фэн», 2003. С. 190-197.

Баканов А.И. О появлении пиявки *Archaeobdella esmonti* (Arhynchobdella, Herpobdellidae) в волжских водохранилищах // Зоол. журн. 1993. Т. 72. Вып. 6. С. 135-137.

Баканов А.И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов // Биол. внутр. вод. 2000. № 1. С. 68-83.

Бакиев А.Г. Эколого-фаунистические исследования змей Среднего Поволжья, экологические основы охраны офидиофауны и рационального использования ядовитых видов в регионе: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Н. Новгород, 1998. 23 с.

Бакиев А.Г., Маленев А.Л. Пресмыкающиеся в Красной книге Самарской области // Биологическое разнообразие заповедных территорий: оценка, охрана, мониторинг. М.; Самара, 2000. С. 336-338.

Бакиев А.Г., Маленев А.Л., Зайцева О.В., Шуршина И.В. Змеи Самарской области. Тольятти: «Кассандра», 2009. 170 с.

Бакиев А.Г., Файзулин А.И. Материалы к кадастру земноводных и пресмыкающихся Самарской области // Материалы к кадастру амфибий и рептилий бассейна Средней Волги. Н. Новгород: Междунар. социал.-экол. союз; Экоцентр «Дронт», 2002. С. 97-133.

Балушкина Е.В. Функциональное значение личинок хирономид в континентальных водоемах. Л.: Наука, 1987. 179 с.

Балушкина Е.В. Структура сообществ донных животных и оценка экологического состояния р. Ижоры по структурным характеристикам донных животных в разные годы // Биол. внутр. вод. 2002. № 4. С. 61-68.

Банников А.Г., Даревский И.С., Ищенко В.Г., Рустамов А.К. и др. Определитель земноводных и пресмыкающихся фауны СССР. М.: Просвещение, 1977. 414 с.

Безматерных Д.М. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири: аналитический обзор / Гос. публич. науч.-техн. б-ка Сиб. отд-ния РАН. Ин-т вод. и экол. проблем. Новосибирск, 2007. 87 с.

Биоиндикация экологического состояния равнинных рек/ Под. ред. О.В. Бухарина, Г.С. Розенберга. М.: Наука, 2007. 404 с.

Богатов В.В. Влияние паводка на снос бентоса в реке Бомнак (бассейн реки Зеи) // Экология. 1978. № 6. С. 36-41.

Богатов В.В. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1994. 218 с.

Богатов В.В. Комбинированная концепция функционирования речных экосистем // Вестн. ДВО РАН. 1995. № 3. С. 51-61.

Бойченко В.К., Эйнор Л.О., Ланцов В.Ф., Дмитриева Н.Г. и др. К вопросу о загрязнении и самоочищении воды в малой реке // Водные ресурсы. 1986. № 2. С. 102-110.

Болдырев А.А., Котелевцев С.В., Ланио М., Альварес К. и др. Введение в мембранологию. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 208 с.

Боруцкий Е.В., Степанова Л.А., Кос М.С. Определитель Calanoida пресных вод СССР. Л.: Наука, 1991. 504 с.

Буркова Т.Н. Фитопланктон реки Сок (Среднее Поволжье) // Самарская Лука: Бюл. 2008. Т. 17, № 1 (23). С. 71-86.

Бурковский Р.Н., Мазей Ю.А. Межгодовая вариабельность хода сезонной сукцессии в сообществе псаммофильных инфузорий Белого моря // Успехи современной биологии. 2008. Т. 128, № 6. С. 562-579.

Бурковский Р.Н., Мазей Ю.А. Межгодовая вариабельность хода сезонной сукцессии в сообществе псаммофильных инфузорий Белого моря // Успехи современной биологии. Т. 128, № 6. 2008. С. 562-579.

Бухарин О.В., Захаров В.М., Зинченко Т.Д., Немцева Н.В., Розенберг Г.С., Шитиков В.К. Методы биомониторинга для оценки состояния антропогенно нагруженной равнинной реки // Экология и промышленность России. Ноябрь, 2010. С. 10-15.

Быков В.Д., Васильев А.Д. Гидрометрия. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 477 с.

Быховская-Павловская И.Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению. Л.: Наука, 1985. 121 с.

Вершинин В.Л. Экологические особенности популяций амфибий урбанизированных территорий: Автореф. дис. … д-ра биол. наук. Екатеринбург, 1997. 47 с.

Водохозяйственные балансы рек первого порядка Самарской области (ВХБ). Река Сок. Самара, 2005. 111 с.

Волга: независимые исследования. Общественный российско-голландский проект. Н. Новгород, 1994. 77 с.

Воронин М.Ю., Ермохин М.В. Видовой состав бентоса водоема-охладителя Балаковской АЭС и прилегающих водоемов // Межд. симп. «Биоресурсы и биоразнообразие экосистем Поволжья». Саратов, 2005. С. 214-216.

Воронов А.Г. Геоботаника. М.: Высшая школа, 1973. 384 с.

Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод. М., 1986. 5 с.

Выхристюк Л.А., Зинченко Т.Д., Лаптева Е.В. Комплексная оценка экологического состояния равнинной р. Сок (бассейн Нижней Волги) // Изв. СамНЦ РАН. 2010. Т. 12, № 1. С. 185-195.

Выхристюк Л.А., Зинченко Т.Д., Шитиков В.К. Комплексная оценка экологического состояния равнинных рек в условиях антропогенных воздействий // Тр. Всерос. конф. «Научные аспекты экологических проблем России». М.: Наука, 2001. С. 370-375.

Выхристюк Л.А., Ромашкова Ю.А. Роль химического состава воды и донных отложений в оценке экологического состояния // Биоиндикация экологического состояния равнинных рек. М.: Наука, 2007. С. 145-164.

Выхристюк Л.А., Цыкало В.А., Лаптева Е.В. Антропогенное воздействие на бассейн р. Чапаевка // Биоиндикация экологического состояния равнинных рек. М.: Наука, 2007. С. 137-145.

Гавлена Ф.К. Ихтиофауна реки Сок и ее притоков // Волга - I. Проблемы изучения и рационального использования биологических ресурсов водоемов. Материалы Первой конференции по изучению водоемов бассейна Волги. Куйбыш. кн. изд-во, 1971. С. 254-261.

Гелашвили Д.Б., Розенберг Г.С., Ануфриев Г.А., Сидоренко М.В., Юнина В.П., Иванова А.В. Стратегия сохранения биоразнообразия природных комплексов на территории Волжского бассейна // Экологические проблемы бассейнов крупных рек - 2: Тез. докл. Междунар. конф. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1998. С. 14.

Гелашвили Д.Б., Зинченко Т.Д., Выхристюк Л.А., Карандашова А.А. Интегральная оценка экологического состояния водных объектов по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Изв. СамНЦ РАН. 2002. Т. 4, № 2. С. 270-275.

Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С., Якимов В.Н. Степенной характер накопления видового богатства как проявление фрактальной структуры биоценоза // Журн. общ. биол. 2007. Т. 68, № 2. С. 115-124.

Геоботаническое районирование СССР // Тр. Комиссии по естественно-историческому районированию СССР. Т. II. Вып. 2. М. Л., 1947. 152 с.

Гидробиологический режим малых рек в условиях антропогенного воздействия / Под ред. Г.П. Андрушайтиса, О.Л. Качаловой. Рига: Зинатне, 1981. 166 с.

Головатюк Л.В. Макрозообентос равнинных рек бассейна Нижней Волги как показатель их экологического состояния: на примере р. Сок и ее притоков: Дис. … канд. биол. наук. Тольятти, 2005. 210 с.

Головатюк Л.В., Зинченко Т.Д. Формирование трофической структуры сообществ зообентоса при антропогенной трансформации рек бассейна Нижней Волги // Комплексные исследования биологических ресурсов южных морей и рек. Астрахань, 2004. С 56-57.

Головатюк Л.А., Зинченко Т.Д. Структурная организация сообществ макрозообентоса равнинных рек Нижнего Поволжья (на примере р. Сок и ее притоков) // IX съезд Гидробиол. общ-ва РАН (г. Тольятти, Россия. 18-22 сентября 2006 г.) Тез. докл., Т. 1. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2006. С. 107.

Головатюк Л.В., Зинченко Т.Д., Шитиков В.К. Индикаторная оценка организмов макрозообентоса текучих вод // Биол. внутр. вод. 2008. № 3. С. 66-79.

Голубая книга Самарской области: Редкие и охраняемые гидробиоценозы / Под ред. Г.С. Розенберга и С.В. Саксонова. Самара: СамНЦ РАН, 2006. 200 с.

Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:1 000 000. Лист N-39 (Куйбышев). Полезные ископаемые. Объяснительная записка. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 116 с.

Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:1 000 000. Лист N-39 (Куйбышев). Объяснительная записка. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 92 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсов в Самарской области в 2008 г. Самара, 2009. 314 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды и природных ресурсах Самарской области за 2009 год. Вып. 20. Самара, 2010. 328 с.

Дзюбан Н.А., Слободчиков Н.Б. Hypania invalida (Grube, 1860) в волжских водохранилищах и гидробиологический мониторинг // Гидробиол. журн. 1980. Т. 16, № 5. С. 56-59.

Дноуглубительные работы и проблемы охраны рыбных запасов и окружающей среды рыбохозяйственных водоемов. Астрахань: АТИРПХ, 1984. 227 с.

Добровольский А.А. Некоторые данные о жизненном цикле сосальщика *Opisthioglyphe ranae* (Froelich, 1791) (Plagiorchiidae) // Helminthologia. 1965. Вып. 3. P. 205-221.

Добровольский А.А. Жизненный цикл *Paralepoderma cloacicola* (Lühe, 1909) Dollfus, 1950 (Trematoda, Plagiorchiidae) // Вестник Ленингр. ун-та. 1969. № 21. С. 28-38.

Добровольский А.А., Райхель А.С. Жизненный цикл *Haplometra cylindracea* Zeder, 1800 (Trematoda, Plagiorchiidae) // Вестник Ленингр. ун-та. 1973. № 3. С. 5-13.

Драчев С.М. Борьба с загрязнением рек и водохранилищ промышленными бытовыми стоками. М.: Наука, 1964. 275 с.

Дыренков С.А., Акатов В.В. Экологическое пространство второго порядка: скорости изменений функций отклика на градиенте экологических факторов // Экология. 1990. Т. 21, № 3. С. 13-21.

Евланов И.А., Козловский С.В., Антонов П.И. Кадастр рыб Самарской области. Тольятти: ИЭБВ РАН, 1998. 222 с.

Евланов И.А., Минеев А.К., Розенберг Г.С. Оценка состояния пресноводных экосистем по морфологическим аномалиям у личинок рыб (Методическое пособие). Тольятти: ИЭВБ РАН, 1999. 38 с.

Егоров В.В., Фридланд Е.Н., Иванова Е.Н. и др. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.

Епланова Г.В. Распространение живородящей ящерицы на юге ареала в Поволжье // Теоретические проблемы экологии и эволюции. Теория ареалов: виды, сообщества, экосистемы (V Любищевские чтения). Тольятти: «Кассандра», 2010. С. 41-44.

Есин Е.В., Чебанова В.В., Леман В.Н. Экосистема малой лососевой реки Западной Камчатки (среда обитания, донное население и ихтиофауна). М.: Тов-во. науч. изд. КМК, 2009. 171 с.

Жадин В.И., *Герд С.В.* Реки, озера и водохранилища СССР, их фауна и флора. М.: Учпедгиз, 1961. 599 с.

Жгарева Н.Н., Щербина Г.Х. Фауна макробеспозвоночных малых рек Верхнего Поволжья // Экологическое состояние малых рек Верхнего Поволжья. М.: Наука, 2003. С. 110-118.

Завьялов Е.В., Ручин А.Б., Шляхтин Г.В. и др. Рыбы севера Нижнего Поволжья, книга 1. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2007. 20 8с.

Завьялов Н.А., Крылов А.В., *Бобров А.А.*, *Иванов В.К.*, *Дгебуадзе Ю.Ю*. Влияние речного бобра на экосистемы малых рек М.: Наука, 2005. 186 с.

Зарудный Н. Материалы для фауны амфибий и рептилий Оренбургского края // Bull. Société Impériale des Naturalistes de Moscou. Année 1895. Nov. Série. 1896. T. 9, № 3. P. 361-370.

Заславская М.Б. Роль естественных и антропогенных факторов в формировании фосфорной нагрузки на водосборах малых рек // Малые реки: Современное экологическое состояние, актуальные проблемы: Материалы Междунар. конф. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2001. С. 85.

Заславская М.Б., Захарова Е.А. Влияние антропогенных факторов на изменение химического состава речных вод // Проблемы гидрологии и гидроэкологии. М., 1999. Вып. 1. С. 171-188.

Захаров А.С. Рельеф Куйбышевской области. Куйбыш. кн. изд-во, 1971. 86 с.

Захаров А.С. Рельеф // Природа Куйбышевской области. Куйбыш. кн. изд-во, 1990. С. 45-75.

Захаров В.М., Чубинишвили А.Т., Дмитриев С.Г. и др. Здоровье среды: практика оценки. М.: ЦЭПР, 2000. 317 с.

Зеленая книга Самарской области: редкие и охраняемые растительные сообщества / Под ред. Г.С. Розенберга и С.В. Саксонова. Самара: СамНЦ РАН, 2006. 201 с.

Зимбалевская Л.Н. Фитофильные беспозвоночные равнинных рек и водохранилищ: эколог. очерк. Киев: Наук. думка, 1981. 201 с.

Зимбалевская Л.Н. Структура и сукцессия литоральных биоценозов днепровских водохранилищ. Киев: Наук. думка, 1987. 203 с.

Зинченко Т.Д. Хирономиды (Diptera, Chironomidae) – основная группа фауны обрастаний Учинского водопроводного канала и некоторые вопросы биоиндикации качества вод // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям: Тр. Всесоюз. конф. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. С. 183-193.

Зинченко Т.Д. К характеристике малых рек Самарской области // Экологическая ситуация в Самарской области: состояние и прогноз. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1994. С. 82-97.

Зинченко Т.Д. Хирономиды поверхностных вод бассейна Средней и Нижней Волги (Самарская область). Эколого-фаунистический обзор. Самара: ИЭВБ РАН, 2002. 174 с.

Зинченко Т.Д. Биоиндикация природных и техногенных гидросистем Волжского бассейна на примере хирономид (Diptera: Chironomidae): Дис. … д-ра биол. наук. Тольятти, 2004. 527 с.

Зинченко Т.Д. Бассейн Средней и Нижней Волги: краткая характеристика равнинных рек // Биоиндикация экологического состояния равнинных рек / Под ред. О.В. Бухарина и Г.С. Розенберга. М.: Наука, 2007. С. 14-24.

Зинченко Т.Д. Методологический подход к проведению мониторинговых исследований природных гидросистем (на примере Волжского бассейна) // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Вып. 4. Владивосток, 2008. С. 25-30.

Зинченко Т.Д. Эколого-фаунистическая характеристика хирономид (Diptera, Chironomidae) малых рек бассейна Средней и Нижней Волги (Атлас). Тольятти: «Кассандра», 2011. 258 с.

Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В. Изменение состояния бентоса малых рек бассейна Средней Волги. 1. Состав и распределение бентофауны притоков реки Сок (Камышла, Сосновка, Черновка, Хорошенькая) // Изв. СамНЦ РАН. 2000. Т. 2, № 2. С. 257-267.

Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В. Водотоки и водоемы Самарской области: Общая характеристика. Реки // Голубая книга Самарской области: Редкие и охраняемые гидробиоценозы. Самара: СамНЦ РАН, 2007а. С. 22-29.

Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В. Реофильные гидробиоценозы. Река Байтуган // Голубая книга Самарской области: Редкие и охраняемые гидробиоценозы. Самара: СамНЦ-РАН, 2007б. С. 121-126.

Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В. Структура реофильных сообществ макрозообентоса малой реки Байтуган (бассейн Нижней Волги) // Изв. СамНЦ РАН, 2007в. Т. 9, № 4. С. 1020-1035.

Зинченко Т.Д., Шитиков В.К. Разнообразие хирономид в равнинных реках Самарской области // Проблемы биологического разнообразия водных организмов Поволжья: Материалы конф., Тольятти: ИЭВБ РАН, 1997. С. 87-97.

Зинченко Т.Д., Шитиков В.К. Гидробиологический мониторинг как основа типологии малых рек Самарской области // Изв. СамНЦ РАН. 1999. №1, -С. 118- 127.

Зинченко Т.Д., *Ненастьев А.В.*, *Едский Л.Б.* Состояние бентофауны «морской» акватории Волго-Каспийского канала в районе проведения дноуглубительных работ // Дноуглубительные работы и проблемы охраны рыбных запасов и окружающей среды рыбохозяйственных водоемов. Астрахань: АТИРПХ, 1984. С. 218-220.

Зинченко Т.Д., Выхристюк Л.А., Шитиков В.К. Методологический подход к оценке экологического состояния речных систем по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Изв. СамНЦ РАН. 2000. Т. 2, № 2. С. 233-243.

Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В., Загорская Е.П. Структурная организация сообществ макрозообентоса равнинных рек при антропогенном воздействии // Биоиндикация экологического состояния равнинных рек М.: Наука, 2007. С. 113-128.

Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В., Выхристюк Л.А, Шитиков В.К. Разнообразие и структура сообществ макрозообентоса высокоминерализованной реки Хара (Приэльтонье) // Поволж. экол. журн. 2010. № 1. С. 14-30.

Золотарев В.А., Косолапов Н.Г. Роль гетеротрофных жгутиконосцев в первичной сукцессии на искусственных субстратах // Перифитон континентальных вод: современное состояние изученности и перспективы дальнейших исследований: Материалы докл. междунар. симпоз. Тюмень: ООО «Опцион ТМ-Холдинг», 2003. С. 16-17.

Иванов А.М., Поляков К.В. Геологическое строение Куйбышевской области. Куй-

бышевский областной музей краеведения. Куйбышев, 1960. 84 с.

Иванова Т.П. Климат // Природа Куйбышевской области. Куйбыш. кн. изд-во, 1990. С. 6-27.

Иватин А.В. Распределение бактерий в воде и донных отложениях // Экологическое состояние бассейна р. Чапаевка в условиях антропогенного воздействия: (Биологическая индикация). Тольятти, 1997. С. 108-114.

Ильина Н.С., *Устинова А.А.* Степи // Природа Куйбышевской области. Куйбыш. кн. изд-во, 1990. С. 173-192.

Ильина Н.С., Ильина В.Н., Волынцева А.Д. Изучение памятника природы «Успенская шишка» // Вестн. Самар. пед. ун-та. Естественно-географ. ф-т. 2008. Вып. 6. Ч. 1. С. 37-41.

Ильина Н.С., *Устинова А.А.*, *Ильина В.Н.*, *Митрошенкова А.Е*. Итоги изучения флоры каменистых степей Самарского Заволжья // Изучение флоры Восточной Европы: достижения и перспективы: Тез. докл. междунар. конф. М.; СПб: Т-во науч. изд. КМК, 2005. С. 33-34.

Ипатов В.С., Кирикова Л.А. Фитоценология. СПб: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 1997. 316 с.

Исаев А.С., *Суховольский В.Г.*, *Хлебопрос Р.Г.* Моделирование лесообразовательного процесса: феноменологический подход // Лесоведение. 2005. № 1. С. 1-9.

Калабеков А.Л. Циклы развития некоторых трематод малоазиатской лягушки (Rana macrocnemis Boul.) // Вопросы экологии и биологии животных северных склонов Центрального Кавказа. Орджоникидзе, 1976. С. 3-42.

Карпов Д.Н., *Миркин Б.М.* Новый класс растительности пастбищ на солонцах - Festuco-Limonietea cl. nova // Антропогенные процессы в растительности: Сб. науч. Тр. Уфа, 1985. С. 183-192.

Катанская В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Л.: Наука, 1981. 187 с.

Кейтс М. Техника липидологии. М.: Мир, 1975. 323 с.

Кириллов А.А. Фауна гельминтов пресмыкающихся Самарской области // Изв. СамНЦ РАН. 2000. № 3. С. 324-329.

Кириллов А.А. Сообщества гельминтов обыкновенного ужа в мониторинге биоценозов Самарской области // Региональный экологический мониторинг в целях управления биологическими ресурсами. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. С. 47-51.

Кириллов А.А. Сообщества гельминтов обыкновенного ужа // Изв. СамНЦ РАН. 2011. Т. 13, №. 1. С. 127-134.

Кириллов А.А., Евланов И.А. Использование паразитов обыкновенного ужа для мониторинга наземных биоценозов // Экологические проблемы крупных рек – 2: Тез. докл. Междунар. конф.: Тольятти: ИЭВБ РАН, 1998. С. 67.

Кириллов А.А., Чихляев И.В., Евланов И.А. Исследования гельминтов амфибий и рептилий в Самарской области // Самарский край в истории России: Материалы науч. конф. «150-лет Самарской губернии». Самара: Изд-во ЗАР «Файн-Дизайн», 2001. С. 278-281.

Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карел. НЦ РАН, 2007. 395 с.

Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.

Клинкова Г.Ю., Горелов В.П., Волынова Л.Г. Комплексные индикаторы состяния биоразнообразия водно-болотных угодий // ООПТ Нижней Волги как важнейший механизм сохранения биоразнообразия: итоги, проблемы и перспективы: Материалы науч.-практич. конф. Волгоград: ПРООН/ГЭФ. 2010. С. 126-131.

Клоченко П.Д., Харченко Г.В., Кленус В.Г., Каглян А.Е., Шевченко Т.Ф. Накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr высшими водными растениями и фитоэпифитоном в водоемах урбанизированных территорий // Гидробиол. журн. 2007. № 5. С. 51-64.

Ковалевский А.П. Книга Ахмеда Ибн-Фадлана о его путешествии на Волгу в 921-922 гг. Харьков: Изд-во Харьков. ун-та, 1956. 348 с.

Кокин К.А. Экология высших водных растений. М.: Изд-во МГУ, 1982. 158 с.

Комулайнен С.Ф. Экология фитоперефитона малых рек Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2004. 182 с.

Константинов А.С. Общая гидробиология. М.: Высш. школа, 1967. 430с.

Копылов А.И., Косолапов Д.Б. Бактериопланктон водохранилищ Верхней и Средней Волги. М.: Изд-во СГУ, 2008. 377 с.

Коржинский С.И. Степи // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. Полутом 62. СПб., 1901. С. 598-603.

Коровчинский Н.М. Ветвистоусые ракообразные отряда Ctenopoda мировой фауны (морфология, систематика, зоогеография). М.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. 410 с.

Котлова Е.Р., Синютина Н.Ф. Изменение содержания индивидуальных классов липидов лишайника *Peltigera aphthosa* в процессе обезвоживания и последующего реувлажнения // Физиология растений. 2005. Т. 52, № 1. С. 43-50.

Красная книга Оренбургской области. Оренбург. кн. изд-во, 1998. 176 с.

Красная книга Российской Федерации (животные). М.: АСТ; Астрель, 2001. 860 с.

Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Т-во науч. изд. КМК, 2008. 855 с.

Красная книга Самарской области. Т. 1. Редкие виды растений, лишайников и грибов. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2007. 327 с.

Красная книга Самарской области. Т. 2. Редкие виды животных. Тольятти: «Кассандра», 2009. 332 с.

Краснова Е.С., *Уманская М.В., Горбунов М.Ю.* Физико-химическая характеристика сульфидных озер и источников северо-востока Самарской области // Изв. СамНЦ РАН. 2008. Т. 10, № 2. С. 488-498.

Краснолобова Т.А., Илюшина Т.Л. Стрекозы как промежуточные хозяева гельминтов // Гельминты животных. Тр. ГЕЛАН. 1991. Т. 38. С. 59-70.

Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.: Минприрода, 1992. 37 с.

Крылов А.В. Коловратки озерно-проточной системы // Коловратки (таксономия, биология и экология). Ярославль, 2005а. С. 115-123.

Крылов А.В. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука, 2005б. 263 с.

Крылов А.В., Дулмаа А. Зоопланктон озер и рек бассейна р. Селенги // Водные экосистемы бассейна Селенги. М.: Типография Россельхозакадемии, 2009. С. 166-206.

Крылов А.В., Малин М.И., Цветков А.И., Подубный С.А., Отюкова Н.Г. Краевой эффект в зоне выклинивания подпора вод малого притока равнинного водохранилища // Проблемы изучения краевых структур биоценозов. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2008. С. 50-53.

Крылов А.В., Романенко А.В., Транквилевский Д.В. и др. Планктон и экологическое состояние водотоков на разных типах территорий (на примере Воронежской области) // Поволж. Экол. журн. 2010. № 1. С. 52-61.

Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 288 с.

Кузнецова М.А. Изменение структурно-функциональных характеристик зоопланктона в ходе эвтрофикации разнотипных озер в аспекте концепции сукцессии (на примере озер Восточно-Европейской равнины): Автореф. Дис. … д-ра биол. наук. Н.Новгород, 2002. 36 с.

Кузьмин С.Л. Земноводные бывшего СССР. М.: Т-во науч. изд. КМК, 1999. 298 с.

Кутикова Л.А. Коловратки фауны СССР. Л.: Наука, 1970. 744 с.

Ласточкин Д.А. Ассоциация животного населения береговой области Переяславского озера // Изв. Иваново-Вознесен. политехн. ин-та. Иваново-Вознесенск, 1930. Т. 27. 88 с.

Лебедев Ю.М. Что такое малая река? // Малые реки: Современное экологическое состояние, актуальные проблемы: Материалы Междунар. конф. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2001.С. 154.

Левич А.П. Биотическая концепция контроля природной среды // Докл. РАН. 1994. Т. 337, №2. С. 257-259.

Логофет Д.О. Марковские цепи как модели сукцессии: новые перспективы классической парадигмы // Лесоведение. 2010. № 2. С. 46-59.

Лукин Е.И. Класс пиявки Hirudinea // Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос). Л.: Гидрометеоиздат, 1977. С. 201-212.

Лукина Л.Ф., Смирнова Н.Н. Физиология высших водных растений. Киев: Наук. думка, 1988. 186 с.

Лысенко Т.М. Новые данные о растительном покрове Самарской области // Поволж. Экол. журн. Саратов, 2009. № 2. С. 107-114.

Лысенко Т.М., Митрошенкова А.Е. Фитоэкологическая характеристика галофитных сообществ одной из охраняемых территорий Самарской области - Майтуганской депрессии // Изв. СамНЦ РАН. Спецвып. «Природное наследие России». 2004. Т. 2. С. 255-268.

Лысенко Т.М., Иванова А.В., *Митрошенкова А.Е. и др.* Сообщества галофитов в Самарском Заволжье как индикаторы засоления почв // Изв. СамНЦ РАН. Спецвып. «Безопасность. Технологии. Управление». 2008. С. 262-270.

Лысенко Т.М., *Карпов Д.Н.*, *Голуб В.Б.* Галофитные растительные сообщества Ставропольской депрессии (Самарская область) // Растительность России. 2003. № 4. С. 42-50.

Ляховская Л.Ф., *Сергейчук Е.Е.* Природные условия формирования и изменения стока реки Сок // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2010. Т. 19, № 1. С. 78-87.

Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 264 с.

Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод. Л.: ЗИН АН СССР, 1974. 59 с.

Малинина Ю.А., Далечина И.Н., Джаяни Е.А. и др. Характеристика гидробиоценозов пойменных мелководий Саратовского водохранилища (на примере Безенчукской поймы) // Состояние, охрана, воспроизводство и устойчивое использование биологических ресурсов внутренних водоемов: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Волгоградское отд. Волгоград: ФГНУ ГосНИОРХ, 2007. С. 187-189

Малые реки Волжского бассейна / Под ред. Н.И. Алексеевского. М.: Изд-во МГУ, 1998. 234 с.

Маргалеф Р. Облик биосферы. М.: Наука, 1992. 214 с.

Матвеев В.И. Динамика растительности водоемов бассейна Средней Волги. Куйбышев. кн. изд-во, 1990а. 192 с.

Матвеев В.И. Реки и другие водоемы // Природа Куйбышевской области. Куйбыш. кн. изд-во, 1990б. С. 76-99.

Матвеев В.И., Плаксина Т.И., Ильина Н.С. Фрагменты каменистых степей Жигулевских гор в Заволжье // Вопросы морфологии и динамики растительного покрова: Науч. тр. Куйбыш. пед. ин-та. 1979. Т. 229, вып. 7. С. 16-24.

Матвеев В.И., Соловьева В.В., Саксонов С.В. Экология водных растений. Самара, 2004. 239 с.

Медведева Л.А. Влияние паводков на численность и биомассу водорослей перифитона малой лососевой рек (Приморский край) // Перифитон континентальных вод: современное состояние изученности и перспективы дальнейших исследований: Материалы докл. Междунар. симпоз. Тюмень: ООО «Опцион ТМ-Холдинг», 2003. С. 70-71.

Мережко А.И., Пасичная Е.А., Пасичный А.П. Биотестирование токсичности водной среды по функциональным характеристикам макрофитов // Гидробиол. журн. 1996. Т. 32, № 1. С. 87-94.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.

Методические рекомендации по обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция / Под ред. Г.Г. Винберга и Г.М. Лаврентьевой. Л.: ЗИН АН СССР, 1984. 52 с.

Мингазова Н.М. Типология и стадии развития озер // Уникальные экосистемы солоноватоводных карстовых озер Среднего Поволжья. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2001. 256 с.

Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Фитоценология. Принципы и методы. М.: Наука, 1978. 212 с.

Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Количественные методы классификации, ординации и геоботанической индикации // Итоги науки и техники. Ботаника. М.: Изд-во ВИНИТИ, 1979. Т. 3. С. 71-137.

Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Наумова Л.Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М.: Наука, 1989. 223 с.

Митрошенкова А.Е., Бирюкова Е.Г. Характеристика растительности карстовых озер // Формирование экологической культуры – актуальная задача современности: Материалы Всерос. науч. конф. Ч. II. Пенза: ПГПУ, 1997. С. 120-121.

Митчелл П. 101 ключевая идея: Экология. М.: ФАИР-ПРЕСС, 2001. 224 с.

Мишурин А.В. Условия формирования подземных вод Бугульминского бассейна (на примере северо-западных районов Оренбургской области): Автореф. дис. … канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 2006. 24 с.

Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А., Кудрявцева Л.П., Сандимиров С.С. Зональные особенности формирования химического состава вод малых озер на территории Европейской части России // Водные ресурсы. 2006. Т. 33, № 2. С. 163-180.

Молотков В.М., Свирский В.Г. Экологическая сукцессия, видовое разнообразие в сообществах зоопланктона прудовых экосистем в связи с их эвтрофикацией // Моделирование биологических сообществ. Владивосток, 1975. С. 54-61.

Монаков А.В. Питание пресноводных беспозвоночных. М., 1998. 319 с.

Монченко В.И. Шелепнороти циклоподібни циклопи (Cyclopidae) // Фауна Украіни. Вып. 27, № 3. Киев: Наук. думка, 1974. 452 с.

Мордухай-Болтовской Ф.Д., Ляхов С.М. Новый вид амфипод рода *Stenogammarus* (Gammaridae) в бассейне Волги // Зоол. журн. 1972. Т. 51, вып. 1. С. 21-27 с.

Мухортова О.В. Сообщества зоопланктона пелагиали и зарослей высших водных растений разнотипных водоемов Средней и Нижней Волги: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Тольятти, 2009. 21. с.

Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 181 с.

Мяэметс А.Х. Изменения зоопланктона // Антропогенное воздействие на малые озера. Л.: Наука, 1980. С. 54-64.

Ноинский М.Э. Некоторые данные относительно строения и фациального характера казанского яруса в Приказанском районе // Изв. геол. ком. 1924. Т. XIII, № 6. С. 565-622.

Ноинский М.Э. Краткий очерк истории изучения недр Татарской республики // Геология и полезные ископаемые Татарской республики. Вып. 2. Казань: Татиздат, 1932.

Одум Ю. Экология. В 2 т. М.: Мир, 1986. Т. 1. 328 с.; Т. 2. 376 с.

Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Багринский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29, № 4. С. 62-77.

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / Под ред. В.Р. Алексеева и С.Я. Цалолихина. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. 495 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос). Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 511 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 1. Низшие беспозвоночные. СПб.: ЗИН РАН, 1994. 394 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 2. Ракообразные. СПб., 1995. 627 с.

Официальный сайт ВСЕГЕИ http://www.vsegei.ru/

Охапкин А.Г., *Генкал С.И.* Экология массовых видов диатомовых водорослей планктона водотоков бассейна Средней Волги: виды родов *Aulacosira* Thw., *Melosira* Ag., *Cyclotella* Kütz., *Cyclostephanos* Round., *Sceletonema* Grev., пеннатные диатомеи // Биол. внутр. вод. 2001. № 1. С. 27-35.

Оценка эколого-гигиенического состояния в рамках санитарной охраны малых рек // Отчет о НИР. Самара, 2007.135 с.

Палаш А.Л. Индикаторное значение планктобентических видов Cladocera при оценке трофического статуса водоемов // Ветвистоусые ракообразные: систематика и биология. Н. Новгород: Вектор ТиС, 2007. С. 294-296.

Палий В.Ф. О количественных показателях при обработке фаунистических материалов // Зоол. журн. 1961. Т. 60, № 1. С. 3-12.

Памятники природы Куйбышевской области / Составители: В.И. Матвеев и М.С. Горелов. Куйбышев. кн. изд-во, 1986. 157 с.

Папченков В.Г. К методике изучения продуктивности водной растительности в средних и малых реках // Растительные ресурсы. 1979. Т. 15, вып. 3. С. 454-459.

Папченков В.Г. Характеристика высшей водной растительности рек Среднего Поволжья: Дис. ... канд. биол. наук. Казань, 1981. 292 с.

Папченков В.Г. Зарастание рек Среднего Поволжья и связь его с условиями среды // Экология. 1985а. № 3. С. 20-27.

Папченков В.Г. О классификации макрофитов водоемов и водной растительности // Экология. 1985б. № 6. С. 8-12.

Папченков В.Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: ЦМП МУБиНТ, 2001. 214 с.

Пестов М.В., Маннапова Е.И., Ушаков В.А., Катунов Д.П. Материалы к кадастру земноводных и пресмыкающихся Нижегородской области // Материалы к кадастру амфибий и рептилий бассейна Средней Волги. Н. Новгород: Междунар. Социал.-экол. союз; Экоцентр «Дронт», 2002. С. 9-72.

Пирогов В.В. О нахождении *Lithoglyphus naticoides* в дельте Волги //Зоол. журн. 1972. Т. 51. Вып. 6. С. 912-913.

Полевая геоботаника / Под ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагиной. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1959. Т. 1. 436 с.

Потехина Л.Ф. Цикл развития возбудителя аляриоза лисиц и собак // Докл. АН СССР. 1951. Т. 76, № 2. С. 325-327.

Почвы Куйбышевской области. Куйбышев: ОГИЗ, 1949. 382 с.

Почвы Куйбышевской области. Куйбышев. кн. изд-во, 1985. 390 с.

Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. Охрана природы. Гидросфера. 1982. ГОСТ 17.1.3.07-82.

Пресноводные экосистемы бассейна реки Амур. Владивосток: Дальнаука, 2008. 320 с.

Пресс-релиз. Экологическая обстановка на территории Самарской области в 2009 году по данным государственного мониторинга, проводимого подразделениями Приволжского УГМС, 2010 г.

Приоритеты национальной экологической политики России / Под ред. В.М. Захарова. М.: Наука, 1999.100 с.

Природа Куйбышевской области. Куйбышев. кн. изд-во, 1990. 460 с.

Прокин А.А. Водные жесткокрылые (Coleoptera) малых рек Европейской части России: разнообразие, биоценотическая и индикационная роль // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана: лекции и материалы докладов Всерос. Шк.-конф. Ярославль: изд-во ООО «Ярославский печатный двор», 2008. С. 38-54.

Путешествие Ибн-Фадлана на Волгу. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1939. 193+[37] с.

Растительность европейской части СССР / Под ред. С.А. Грибовой, Т.И. Исаченко, Е.М. Лавренко. Л.: Наука, 1980. 429 с.

Ратушняк А.А. Эколого-физиологические аспекты регуляции гомеостаза водных биосистем разного уровня организации с участием фитогидроценоза: Автореф. дис. … д-ра биол. наук. Н. Новгород, 2002. 58 с.

Рахуба А.В. Моделирование гидрологических и гидрохимических процессов в зоне переменного подпора реки Сок // Экология малых рек в XXI веке: биоразнообразие, глобальные изменения и восстановление экосистем: Тез. докл. Всерос. конф. с Междунар. участием: Тольятти: «Кассандра», 2011. С. 137.

Реестр особо охраняемых природных территорий регионального значения Самарской области. Самара: «Экотон», 2010. 259 с.

Риклефс Р. Основы общей экологии. М.: Мир, 1979. 424 с.

Родники Самарской области. Самара: ООО «Растр», 2002. 532 с.

Розенберг Г.С. Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2009. 478 с.

Розенберг Г.С., Бухарин О.В., Захаров В.М., Зинченко Т.Д. Введение // Биоиндикация экологического состояния равнинных рек. М.: Наука, 2007. С. 8-12.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 319 с.

Рыжиков К.М., Шарпило В.П., Шевченко Н.Н. Гельминты амфибий фауны СССР. М.: Наука, 1980. 279 с.

Рылов В.М. Cyclopoida пресных вод. Фауна СССР. Ракообразные. Л: Изд-во АН СССР, 1948. Т. III, вып. 3. 320 с.

Саксонов С.В., Лобанова А.В., Иванова А.В., и др. Флора памятника природы «Гора Зеленая» Елховского района Самарской области // Вестн. Волжск. ун-та им. В.Н. Татищева. Сер. «Экология». Вып. 5. Тольятти: ВУиТ, 2005. С. 3-22.

Саксонов С.В., Иванова А.В., Ильина В.Н. и др. Флора озера Молочка и его ближайших окрестностей в Самарской области (Высокое Заволжье, Сокский флористический район) // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2007. № 2. С. 76-97.

Самарина В.П. Пространственно-временная изменчивость биогенных веществ в воде р. Оскол // Водные ресурсы. 2008. Т. 35, № 3. С. 364-369.

Самарский статистический ежегодник 2007 / Под ред. Чудилина Г.И. Самара, 2007. 410 с.

Семенченко В.П. Принципы и системы биоиндикации текучих вод. Минск: «Орех», 2004. 124 с.

Семенченко В.П., Мороз М.Д. Сравнительный анализ биотических индексов в системе мониторинга текучих вод биосферного заповедника // Водные ресурсы. 2005. Т. 32, № 2. С. 223-231.

Семенченко В.П., Тищиков И.Г. Оценка качества воды и мониторинг поверхностных вод в бассейне реки Припять путем создания сети эталонных створов как шаг к внедрению Водной Рамочной Директивы: Методическое руководство. 2000. 13 с.

Семенченко В.П., Мороз М.Д., Тищиков И.Г. Использование структурных показателей сообществ макрозообентоса для биоиндикации качества текучих вод // Гидробиол. журн. 2006. Т.42, № 5. С. 57-65.

Сенатор С.А., Раков Н.С., Саксонов С.В. Самарско-Ульяновское Поволжье: топологическая структура флоры и проблемы ее районирования // Тр. Рязан. отд. РБО. Вып. 2,

ч. 2: Сравнительная флористика: материалы Всерос. школы-семинара по сравнительной флористике, посвящ. 100-летию «Окской флоры» А.Ф. Флерова. Рязань, 2010. С. 243-247.

Скорняков. В.А. Учет распределения природных факторов и антропогенных нагрузок при оценке качества воды в реках // Проблемы гидрологии и гидроэкологии. М., 1999. Вып. 1. С. 238-262.

Скрябин К.И. Метод полных гельминтологических вскрытий позвоночных, включая человека. М.: Изд-во 1-го МГУ, 1928. 45 с.

Скрябин К.И., *Антипин Д.Н.* Надсемейство Plagiorchioidea Dollfus, 1930 // Скрябин К.И. Трематоды животных и человека. М.: Наука, 1962. Т. 20. С. 49-166.

Слынько Ю.В., *Кияшко В.И.* Ихтиофауна малых рек Верхнего Поволжья // Экологическое состояние малых рек Верхнего Поволжья. М.: Наука, 2003. С. 134-174.

Смирнов Л.П. Липиды в физиолого-биохимических адаптациях экотермных организмов к абиотическим и биотическим факторам среды. М.: Наука, 2007. 182 с.

Смирнова О.В., *Торопова Н.А*. Сукцессия и климакс как экосистемный процесс // Успехи совр. биол. 2008. № 2. С. 129-144.

Состояние изученности стратиграфии докембрия и фанерозоя России. Задачи дальнейших исследований / Тр. ВСЕГЕИ. СПб., 2008. Вып. 38. 132 с.

Ступишин А.В. Равнинный карст и закономерности его развития на примере Среднего Поволжья. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1967. 292 с.

Судариков В.Е. Биологические особенности трематод рода *Alaria* / Тр. ГЕЛАН СССР. 1959. Т. 9. С. 326-332.

Судариков В.Е. К биологии трематод *Strigea strigis* (Schrank, 1788) и *S. sphaerula* (Rud., 1803) / Тр. ГЕЛАН СССР. 1960а. Т. 10. С. 217-226.

Судариков В.Е. Отряд Strigeidida (La Rue, 1926) Sudarikov, 1959 // Скрябин К.И. Трематоды животных и человека. М.: Изд-во АН СССР, 1960б. Т. 17, Ч. 2. С. 157-533.

Судариков В.Е. Новая среда для просветления препаратов // Вопросы биологии гельминтов и их взаимоотношений с хозяевами / Тр. ГЕЛАН. 1965. Т. 15. С. 156-157.

Судариков В.Е., Шигин А.А. К методике работы с метацеркариями трематод отряда Strigeidida // Тр. ГЕЛАН. 1965. Т. 15. С. 158-166.

Судариков В.Е., Ломакин В.В., Семенова Н.Н. Трематода *Pharyngostomum cordatum* (Alariidae, Hall et Wigdor, 1918) и ее жизненный цикл в условиях дельты Волги // Гельминты животных. М.: Наука, 1991. С. 142-147.

Судариков В.Е., Шигин А.А., Курочкин Ю.В. и др. Метацеркарии трематод - паразиты гидробионтов России. Т. 1. Метацеркарии трематод - паразиты пресноводных гидробионтов Центральной России. М.: Наука, 2002. 298 с.

Тимофеев В.Е. Растительные комплексы долины р. Сок // Учен. зап. Куйб. пед. ин-та. 1961. Вып. 35. С. 17-31.

Ткачев Б.П., Булатов В.И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы. Аналит. обзор. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН., 2002. 114 с.

Ткаченко К.С., Таразанов В.В. Экосистема озера Голубого как пример карстового серного водоема с изолированной биотой // Изв. СамНЦ РАН. 2009. Т. 11, № 1. С. 140-145.

Тузовский П.В. Водяные клещи (Hydrachnidia, Acariformes) // Экологическое состояние бассейна реки Чапаевка в условиях антропогенного воздействия (Биологическая индикация). Тольятти: ИЭВБ РАН, 1997. С. 162-177.

Тузовский П.В. Водяные клещи (Hydrachnidia, Acariformes) // Биоиндикация экологического состояния равнинных рек. М.: Наука, 2007. С. 255-261.

Уманская М.В. Экологические особенности развития бактериопланктона малых эвтрофных озер Самарской Луки: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Тольятти, 2004. 19 с.

Уманская М.В. Бактериопланктон и бактериобентос р. Чапаевка в современных условиях // Биоиндикация экологического состояния равнинных рек. М.: Наука, 2007. С. 171-178.

Уманская М.В. Бактериопланктон разнотипных водоемов Самарской области // Протисты и бактерии озер Самарской области. Тольятти: «Кассандра», 2009. С. 61-77.

Устинова А.А., Матвеев В.И., Ильин Н.С. Бассейновый принцип изучения природных систем (на примере рек Среднего Поволжья) // Малые реки: современное состояние, актуальные проблемы: Тез. докл. Междунар. науч. конф. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2001. С. 209.

Файзулин А.И. Земноводные как биоиндикаторы состояния окружающей среды в условиях Среднего Поволжья: Поло-возрастная структура популяции // Изв. СамНЦ РАН. Спец. вып. 9. «Безопасность. Технологии. Управление». 2008. С. 271-274.

Файзулин А.И. Анализ кислотности (pH) нерестовых водоемов как параметр экологической ниши бесхвостых земноводных (Anura, Amphibia) Среднего Поволжья // Изв. СамНЦ РАН, 2010. Т. 12, № 1. С. 122-125.

Файзулин А.И., Чихляев И.В., Вехник В.П. Обыкновенный тритон. Класс Земноводные - Amphibia // Красная книга Самарской области. Т. 2. Редкие виды животных. Тольятти: ИЭВБ РАН; Касандра, 2009. С. 234.

Файзулин А.И., Чихляев И.В., Кривошеев В.А., Кузовенко А.Е. Анализ спектра питания озерной лягушки (*Rana ridibunda*) урбанизированных территорий Среднего Поволжья// Изв. СамНЦ РАН. 2010. Т. 12, № 1. С. 126-129.

Фауна аэротенков. Л.: Наука, 1984. 264 с.

Физико-географическое районирование Среднего Поволжья / Под ред. А.В. Ступишина. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1964. 197 с.

Форш Н.Н. Пермские отложения. Уфимская свита и казанский ярус / Тр. ВНИГРИ. Л.: Гостоптехиздат, 1955. Вып. 92. 156 с.

Хавроньин А. Водораздельные (Генковские) лесные полосы в степном Заволжье // «Зеленая книга» Поволжья: Охраняемые природные территории Самарской области. Самара: Кн. изд-во, 1995. С. 36-44.

Харченко Г.А., Карпезо Ю.И., Ляшенко А.В. Гидробиота р. Тисы и ее изменения в условиях антропогенного пресса // Гидробиол. журн. 2003. Т. 39, № 3. С. 11-26.

Хасаев Г.Р., Емельянов В.К., Карев А.Л. Минерально-сырьевая база Самарской области: состояние и перспективы. Самара: изд. дом «Агни», 2006. 216 с.

Холина М.Г. Почвы // Природа Куйбышевской области. Куйбыш. кн. изд-во, 1990. С. 76-99.

Хотеновский И.А. Семейство Pleurogenidae Looss, 1899 // Скрябин К.И. Трематоды животных и человека. М.: Наука, 1970. Т. 23. С. 139-306.

Хочачка П., Сомеро Дж. Биохимическая адаптация. Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 568 с.

Цимдинь П.А. Сообщества зоопланктона бассейна р. Салаца // Биоценотическая структура малых рек Латвии. Бассейн реки Салаца. Рига: Зинатне, 1989. С. 97-107.

Чебанова В.В. Бентос лососевых рек Камчатки. М.: Изд-во ВНИРО, 2009. 172 с.

Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.

Чернышев В.Б. Экология насекомых. М.: изд-во МГУ, 1996. 304 с.

Чернышенко С.В. Нелинейные методы анализа динамики лесных биогеоценозов. Днепропетровск: изд-во Днепропетров. ун-та, 2005. 510 с.

Чихляев И.В., Файзулин А.И., Замалетдинов Р.И., Кузовенко А.Е. Трофические связи и гельминтофауна зеленых лягушек *Rana esculenta* complex (Anura, Amphibia) урбанизированных территорий Волжского бассейна // Праці Україн. герпетологічного товариства. 2009. №. 2. С. 102-109.

Чубинишвили А.Т. Гомеостаз развития в популяциях озерной лягушки (*Rana ridibunda* Pall.), обитающих в условиях химического загрязнения в районе Средней Волги // Экология. 1998. № 1. С. 71-74.

Чубирко М.И., Мамчик Н.П., Махотин Г.И., Новиков Ю.В. Охрана водных ресурсов: Учеб. Пособие. Воронеж, 2000. 416 с.

Шапошников В.М. Животные Куйбышевской области, нуждающиеся в особой охране // Вопросы лесной биогеоценологии, экологии и охраны природы в степной зоне. Вып. 3. Куйбышев, 1978. С. 120-131.

Шарапова Т.А. Особенности заселения экспериментальных субстратов в водоемах различного типа // Перифитон континентальных вод: современное состояние изученности и перспективы дальнейших исследований: Материалы докл. Междунар. симпоз. Тюмень: ООО «Опцион ТМ-Холдинг», 2003. С. 81-82.

Шарпило В.П. Паразитические черви пресмыкающихся фауны СССР. Киев: Наук. думка, 1976. 286 с.

Шашуловский В.А., Мосияш С.С. Формирование биологических ресурсов Волгоградского водохранилища в ходе сукцессий его экосистемы. М.: Т-во науч. изданий КМК, 2010. 250 с.

Шевцова Л.В., Яворский В.Ю., Омельяненко Д.И. Зообентос реки Десны, устьевых участков некоторых ее притоков и оценка их экологического состояния на территории Украины // Гидробиол. журн. 2002. Т. 26, № 5. С. 3-16.

Шевченко Н.Н., Вергун Г.И. Расшифровка цикла развития трематоды *Astiotrema monticelli* Stossich, 1904 // Докл. АН СССР. 1960. Т. 130, № 4. С. 949-952.

Шевченко Н.Н., Вергун Г.И. О жизненном цикле трематоды амфибий *Prosotocus confusus* (Looss, 1894) Looss, 1899 // Helminthologia, 1961. V. 3, № 1-4. С. 294-298.

Шенников А.А. Введение в геоботанику. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1964. 447 с.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

Шитиков В.К., *Зинченко Т.Д.* Анализ пространственно-временной изменчивости водных экосистем при статистической обработке данных мониторинга // Проблемы экологического эксперимента (Планирование и анализ наблюдений). Тольятти: СамНЦ РАН; «Кассандра», 2008. С. 129-150.

Шитиков В.К., *Зинченко Т.Д.*, *Абросимова Э.В.* Анализ пространственной динамики бентосных сообществ малых рек // X съезд Гидробиол. общ-ва при РАН: Тез. докл. Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 448-449.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. М.: Наука, 2005. Кн. 1. 281 с.; Кн. 2. 337 с.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Крамаренко С.С., Якимов В.Н. Современные подходы к статистическому анализу экспериментальных данных // Проблемы экологического эксперимента (Планирование и анализ наблюдений). Тольятти: СамНЦ РАН; «Кассандра», 2008. С. 212-250.

Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., Абросимова Э.В. Непараметрические методы сравнительной оценки видового разнообразия речных сообществ макрозообентоса // Журн. общ. биол. 2010. Т. 71, № 3. С. 263-274.

Шпынов А.В. Сравнительный анализ некоторых биологических параметров и методов их обработки применительно к системе биомониторинга: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Калуга, 1998. 30 с.

Шульц Р.С., Гвоздев В.Е. Основы общей гельминтологии. Т. 2.: Биология гельминтов. М.: Наука, 1972. 515 с.

Щербина Г.Х. Сравнительный анализ структуры макрозообентоса на участках верхнего и нижнего бьефов Рыбинского гидроузла // Биол. внутр. вод. 2002. № 3. С. 44-54.

Щербина Г.Х. Структура макрозообентоса устьевых участков некоторых притоков Рыбинского водохранилища // Биол. внутр. вод. 2005. № 4. С. 50-58.

Экологические проблемы малых рек Республики Татарстан. Казань: изд-во «Фэн», 2003. 289 с.

Экологическое состояние бассейна реки Чапаевка в условиях антропогенного воздействия (Биологическая индикация). Экологическая безопасность и устойчивое развитие Самарской области. Вып. 3. / Под ред. Т.Д. Зинченко и Г.С. Розенберга. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1997. 337 с.

Экологическое состояние малых рек Верхнего Поволжья / Под ред. В.Г. Папченкова. М.: Наука, 2003. 389 с.

Экосистема малой реки в изменяющихся условиях среды / Под ред. А.В. Крылова и А.А. Боброва. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2007. 372 с.

Эфрон Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа. М.: Финансы и статистика, 1988. 263 с.

Яковлев В.А. Оценка качества поверхностных вод Кольского Севера по гидробиологическим показателям и данным биотестирования (практические рекомендации). Апатиты, 1988. 27 с.

Яковлев В.А. Зообентос реки Свияга // Экологические проблемы малых рек Республики Татарстан. Казань: Изд-во «Фэн», 2003. С. 184-189.

Яковлев В.А. Экспансия видов-вселенцев и эволюция экосистем крупных водохранилищ // Чужеродные виды в Голарктике (Борок-2): Тез докл. 2-го Междунар. симпоз. по изуч. инвазийных видов. Борок: ИБВВ РАН, Россия. 2005. С. 34.

Яковлев В.А., Ахметзянова Н.Ш., Кондратьева Т.А. Зообентос реки Казанка // Экологические проблемы малых рек Республики Татарстан. Казань: Изд-во «Фэн», 2003. С. 181-184.

Яковлев В.А., Ахметзянова Е.Ш., Яковлева А.В. Встречаемость, распределение и размерно-весовые характеристики *Lithoglyphus naticoides* (Gastropoda, Hydrobiidae) в верхней части Куйбышевского водохранилища // Российск. журнал биол. инвазий. 2009. №1. С. 39-52.

Ярошенко П.Д. Геоботаника: основные понятия, направления и методы. М.;Л.: Изд-во АН СССР, Ленингр. отд-ние, 1961. 474 с.

Abellán P., *Sánchez-Fernández D.*, *Velasco J.*, *Millán A.* Conservation of freshwater biodiversity: a comparison of different area selection methods // Biodiversity and Conservation. 2005. Vol. 14. P. 3457-3474.

Allan J.D. The distributional ecology and diversity of benthic insects in Cement Creek, Colorado // Ecology. 1975. Vol. 56. P. 1040-1053.

Almeida-Neto M., Guimarães P., Guimarães J.P. et al. A consistent metric for nestedness analysis in ecological systems: reconciling concept and quantification // Oikos. 2008. Vol. 117. P. 1227-1239.

Anderson M.J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance // Austral. Ecol. 2001. Vol. 26. P. 32-46.

Andrews D.A., *Minshall G.W.* Longitudinal and seasonal distribution of benthic invertebrates in the little Lost River, Idaho // Amer. Midi. Nat. 1979. Vol. 102. P. 225-236.

Anne I., Fidalgo M.L., Thosthrup L., Christoffersen K. Influence of filtration and glucose amendment on bacterial growth rate at different tidal conditions in the Minho Estuary River (NW Portugal) // Limnetica. 2006. Vol. 25, N 3. P. 637-646.

Archibald E.E. The specific character of plant communities. II. A quantitative approach // J. Ecol. 1949. N 37. P. 260-274.

Arrhenius O. Species and area // J. Ecol. 1921. N 9. P. 95-99.

Atmar W., Patterson B.D. The measure of order and disorder in the distribution of species in fragmented habitat // Oecologia. 1993. Vol. 96. P. 373-382.

Azam F., Fenchel T., Field J.G., Gray J.S. et al., The ecological role of water-column microbes in the sea. / Marine Ecology Progress Series. 1983. Vol. 10. P. 257-263.

Barabesi L., Fattorini L. The use of replicated plot, line and point sampling for estimating species abundances and ecological diversity // Environmental and Ecol. Statist. 1998. Vol. 5. P. 353-370.

Benjamini Y., Yekutieli D. The control of false discovery rate in multiple testing under dependency // Ann. Statist. 2001. Vol. 29. P. 1165-1188.

Berlow E.L., Neutel A.-M., Joel E. et al. Interaction strength in food webs: issues and opportunities // J. Animal Ecol. 2004. N 73. P. 585-598.

Bezdek J.C. Partition structures: a tutorial // Analysis of Fuzzy Information. Florida: CRC Press, Boca Raton, 1987. Vol. 3. P. 81-107.

Blum J.L. The application of the climax concept to algal communities of streams // Ecology. 1956. Vol. 37. P. 603-604.

Boon P.I. Bacterial assemblages in rivers and billabongs of south-eastern Australia // Microbial Ecology. 1991. Vol. 22. P. 27-52.

Borcard D., Legendre P. All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbour matrices // Ecol. Modelling. 2002. Vol. 153. P. 51-68.

Boulton A.J., *Spangaro G.M.*, *Lake P.S.* Macroinvertebrate distribution and recolonization on stones subjected to varying degrees of disturbance - an experimental approach // Arch. Hydrobiol. 1988. Vol. 113. P. 551-576.

Braun-Blanquet J. Prinzipien einer Systematik der Pflanzengesellschaften auf floristischer Grundlage // Jahrb. St. Gall. Naturwiss. Ges. 1921. Vol. 57. P. 305-351.

Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Wien; New York, 1964. 865 p.

Brock T.D., *Brock M.L.* Recovery of a hot spring community from a catastrophe // J. Phycol. 1969. N 5. P. 75-77.

Brualdi R.A., Sanderson J.G. Nested species subsets, gaps, and discrepancy // Oecologia. 1999. Vol. 119. P. 256-264.

Bruelheide H. A new measure of fidelity and its application to defining species groups // J. Veg. Sci. 2000. Vol. 11. P. 167-178.

Bunge J., Fitzpatrick M. Estimating the number of species: A review // J. Amer. Statist. Ass. 1993. Vol. 88. P. 364-373.

Burnham K.P., Overton W.S. Estimation of the size of a closed population when capture probabilities vary among animals // Biometrika. 1978. Vol. 65. P. 623-633.

Burton G.W., *Odum S.P.* The distribution of stream fish in the vicinity of Mountain Lake, Virginia // Ecology. 1945. Vol. 26. P. 182-194.

Busch D.E. Patchiness of diatom distribution in a desert stream // J. Az. Nev. Acad. Sci. 1979. Vol. 14. P. 43-46.

Busch D.E., *Fisher S.G.* Metabolism of a desert stream // Freshwat. Biol. 1981. Vol. 11. P. 301-308.

Cattaneo A., *Ghittori S.* The development of benthonic phytocoenosis on artificial substrates in the Ticino River // Oecologia. 1975. Vol. 19. P. 315-327.

Chao A. Species richness estimation // Encyclopedia of Statistical Sciences. N.Y.: Wiley, 2005. P. 7909-7916.

Chao A., Shen T. J. 2003-2005. Program SPADE (Species Prediction And Diversity Estimation). Program and User's Guide at the website. http://chao.stat.nthu.edu.tw

Chao A., Shen T.J. Nonparametric estimation of Shannon`s index of diversity when there are unseen species in sample // Environmental and Ecol. Statist. 2003. Vol. 10. P. 429-443.

Chytrý M., Tichý L., Holt J., Botta-Dukat Z. Determination of diagnostic species with statistical fidelity measures // J. Veg. Sci. 2002. V. 13. P. 79-90.

Clarke K.R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure // Austral. J. Ecol. 1993. Vol. 18. P. 117-143.

Clements F.E. Plant succesion, an analysis of the development of vegetation. Washington: Carnegie Inst., Publ. N 424. 1916. 512 p.

Clements F.E. Nature and structure of the climax // J. Ecology. 1936. N 24. P. 252-284.

Collins J.P., Young C., Howell J., Minckley W.L. Impact of flooding in a Sonoran Desert stream, including elimination of an endangered fish population (*Poeciliopsis* o. *occidentalis*,

Poeciliidae) // Southwest. Nat. 1981. V. 26. P. 415-423.

Colwell R.K. 1994-2005. Program Estimates: (Statistical estimation of species richness and shared species from samples). Program and User's, Guide. http://viceroy.eeb. uconn. edu/

Colwell R.K., Coddington J.A. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation // Philosoph. Transactions of the Royal Soc. Ser. B. 1994. Vol. 345. P. 101-118.

Colwell R.K., Mao C.X., Chang J. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves // Ecology. 2004. Vol. 85. P. 2717-2727.

Connell J.H., Slatyer R.O. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization // Amer. Nat. 1977. Vol. 111. P. 1119-1144.

Connor E.F., McCoy E.D. The statistics and biology of the species-area relationship // Amer. Nat. 1979. Vol. 113. P. 791-833.

Connor E.F., Simberloff D. The assembly of species communities: chance or competition? // Ecology. 1979. Vol. 60. P. 1132-1140.

Cowles H.C. The physiographic ecology of Chicago and vicinity: a study of the origin, development and classification of plant societies // Bot. Gaz. 1901. Vol. 31. P. 73-108.

Cox N.A., Temple H.J. European Red List of Reptiles. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2009. 34 p.

Crist T., Veech J. Additive partitioning of rarefaction curves and species–area relationships: unifying α-, β- and γ-diversity with sample size and habitat area // Ecol. Letters. 2006. Vol. 9. P. 923-932.

Cummins K.W. Structure and function of stream ecosystems. BioScience. 1974. Vol. 24. P. 631-641.

Curtis J.T., McIntosh R.P. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin // Ecology. 1951. Vol. 32. P. 476-496.

de Caprariis P., Lindeman R.H., Collins C.M. A method for determining optimum sample size in species diversity studies // J. Intl. Assn. Math. Geol. 1976. Vol. 8. P. 575-581.

Dengler J. Which function describes the species-area relationship best? A review and empirical evaluation // J. Biogeogr. 2009. Vol. 36. P. 728-744.

Dennis B., Patil G.P., Rossi O. et al. A bibliography of literature on ecological diversity and related methodology // Ecological Diversity in Theory and Practice. Fairland (MD): Intern. Cooperative Publ. House, 1979. P. 319-354.

Dickey D.A., Fuller W.A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root // J. Amer. Statist. Ass. 1979. Vol. 74. P. 427-431.

Dickman M. Changes in periphyton community structure following diatom inhibition. // Oikos, 1974. Vol. 25. P. 187-193.

Diamond J.M. Assembly of species communities // Ecology and Evolution of Communities. Cambridge (MA): Harvard Univ. Press, 1975. P. 342-444.

Dimond J.B. Pesticides and stream insects // Marine Forest Service. 1967. Bull. N 23. 21 p.

Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council - Establishing a framework for Community action in the field of water policy. European Commission. Brussels, Belgium, 23 October 2000.

Drury W.H., Nisbet I.C.T. Succession // J. Arnold Arboretum. 1973. N 54. P. 331-368.

Efron B. Bootstrep methods. Another look at the Jacknife // Ann. Statist. 1979. N 7. P. 1-26.

Efron B. Bayesians, frequentists, and scientists // J. Amer. Stat. Ass. 2005. Vol. 100. P. 1-5.

Eichenberger E., *Wuhrmann K.* Growth and photosynthesis during the formation of a benthic algal community // Verh. Intern. Ver. Lirnnol. 1975. Vol. 19. P. 2035-2042.

Fisher R.A., Corbet A.S., Williams C.B. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population // J. Animal Ecol. 1943. Vol. 12. P. 42-58.

Fisher S.G. Organic matter processing by a stream-segment ecosystem Fort River. Massachusetts, U.S.A. // Intern. Rev. Ges. Hydrobiol. 1977. Vol. 62. P. 701-727.

Fisher S.G., Likens G.E. Energy flow in Bear Brook, New Hampshire: an integrative approach to stream ecosystem metabolism // Ecol. Monogr. 1973. Vol. 43. P. 421-439.

Fisher S.G., Gray L.J., Griram N.B., Busch D.E. Temporal succession in a desert stream ecosystem following flash flooding // Ecol. Monogr. 1982. Vol. 52. P. 93-110.

Fisher S.G., Barnes J.R., Minshall G.W. Succession in streams // Stream Ecology: Application and Testing of General Ecological Theory. N.Y.: Plenum Press, 1983. P. 7-27.

Foggo A., Frost M.T., Attrill M.J. Abundance-occupancy patterns in British estuarine macroinvertebrates // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2003. Vol. 265. P. 297-302.

Foissner W. Protozoological monographs. The Sphagnum Ponds of Simmelried in Germany: a Biodiversity Hot - Spot for Microscopic Organisms. Shaker-Publishers, 2006. Vol. 3, N 1. 267 p.

Fraleigh P.C., Wiegert R.G. A model explaining successional change in standing crop of thermal blue-green algae // Ecology. 1975. Vol. 56. P. 656-664.

Frissell C.A., Liss W.J., Warren C., Hurley M. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context // J. Environmental Manag. 1986. Vol. 10. P. 199-214.

Gale W.F., Gurzynski A.J. Colonization and standing crops of epilithic algae in the Susquehanna River, Pennsylvania. // J. Phycol. 1979. Vol. 15. P. 117-123.

Gauch H.J. Multivariate Analysis in Community Ecology. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1982. 298 p.

Gering J.C., Crist T.O., Veech J.A. Additive partitioning of species diversity across multiple spatial scales: implications for regional conservation of biodiversity // Conserv. Biol. 2003. Vol. 17. P. 488-499.

Gernes M.C., Helgen J.C. Indexes of biotic integrity for wetlands: vegetation and invertebrate IBIs/ Final report to U.S. Environmental Protection Agency. St. Paul, MN, USA. 1999.

Gleason H.A. On the relation between species and area // Ecology. 1922. Vol. 3. P. 158-162.

Gleason H.A. The individualistic concept of the plant association // Bull. Torrey Bot. Club. 1926. Vol. 44. P. 1-20.

Golub V.B. Class Asteretea tripolium on the Territory of the Former USSR and Mongolia // Folia Geobot. Phytotax. Praha, 1994. N 29. P. 251-312.

Golub V.B. Halophytic, desert and semi-desert plant communities on the territory of the former USSR. Togliatti, 1995. 32 p.

Golub V.B., Karpov D.N., Lysenko T.M., Bazhanova N.B. Conspectus of communities of the class Scorzonero-Juncetea gerardii Golub et al. 2001 on the territory of the Commonwealth of Independent States and Mongolia // Бюлл. «Самарская Лука». 2003. N 13. С. 88-140.

Gotelli N.J. Null model analysis of species co-occurrence patterns // Ecology. 2000. Vol. 81. P. 2606-2621.

Gotelli N.J., Colwell R.K. Quantifying biodiversity: Procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness // Ecol. Letters. 2001. Vol. 4. P. 379-391.

Gotelli N., Ulrich W. The empirical Bayes approach as a tool to identify non-random species associations // Oecologia. 2010. Vol. 162, N 2. P. 463-477.

Grabda B. Life cycle of Haematoloechus similis (Looss, 1899) (Trematoda: Plagiorchidae) // Acta Parasitol. Polon., 1960. Vol. 8, № 23. P. 357-366.

Grabda-Kazubska B. Studies on the life-cycle of Haplometra cylindracea (Zeder, 1800) (Trematoda, Plagiorchiidae) // Acta. Parasitol. Polon. 1970. Vol. 18. P. 497-512.

Grabda-Kazubska B. Life cycle of *Pleurogenes claviger* (Rudolphi, 1819) (Trematoda: Pleurogenidae) // Acta. Parasitol. Polon. 1971. Vol. 19. P. 337-348.

Gray J.S., Ugland K.I., Lambshead J. Species accumulation and species area curves - a comment on Scheiner (2003) // Global Ecol. & Biogeogr. 2004. Vol. 13. P. 469-476.

Gray L.J. Species composition and life histories of aquatic insects in a lowland Sonoran Desert stream // Amer. Midi. Nat. 1981. Vol. 106. P. 229-242.

Gray L.J., Fisher S.G. Postflood recolonization pathways of macroinvertebrates in a lowland Sonoran Desert stream // Amer. Midi. Nat. 1981. Vol. 106. P. 249-257.

Guisan A., Thuillier W. Predicting species distribution: offering more than simple habitats models // Ecol. letters. 2005. Vol. 8. P. 993-1009.

Hall C.A.S. Migration and metabolism in a temperate stream ecosystem // Ecology. 1972. Vol. 53. P. 585-604.

Hannan H.H., *Dorris T.C.* Succession of a macrophyte community in a constant temperature river // Limnol. Oceanogr. 1970. Vol. 15. P. 442-453.

Hanson D.L., Waters T.F. Recovery of standing crop and production rate of a brook trout population in a flood-damaged stream // Trans. Amer. Fish Soc. 1974. Vol. 103. P. 431-439.

Harrison A.D. Recolonization of a Rhodesian stream after drought // Arch. Hydrobiol. 1966. Vol. 62. P. 405-421.

Hartwich G. Die Tierwelt Deutschlands. I: Rhabditida und Ascaridida // Mitt. Zool. Mus. Berlin. 1975. N. 62. 256 p.

Harwood J.L. Environmental Effects on Plant Lipid Biochemistry // Plant Lipid Biosynthesis. Fundamentals and Agricultural Applications / Ed. Harwood J.L. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1999. P. 305-363.

Hausdorf B., *Hennig C.* Null model tests of clustering of species, negative co-occurrence patterns and nestedness in meta-communities // Oikos. 2007. Vol. 116. P. 818-828.

He F., Legendre P. On species-area relation // Amer. Nat. 1996. Vol. 148. P. 719-737.

Hellmann J.J., *Fowler G.W.* Bias, precision, and accuracy of four measures of species richness // Ecol. Appl. 1999. Vol. 9. P. 824-834.

Heltshe J., *Forrester N.E.* Estimating species richness using the jackknife procedure // Biometrics. 1983. Vol. 39. P. 1-11.

Hennekens S.M. TURBO (VEG): Software package for input, processing and presentation of phytosociological data. User's guide. Version July 1996. Lancaster, 1996a. 59 p.

Hennekens S.M. MEGATAB - a visual editor for phytosociological tables. Version 1.0. October 1996. Ulft., 1996b. 11 p.

Hill M.O. Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination // J. Ecol. 1973. V. 61. P. 237-249.

Hill M.O. TWINSPAN - a FORTRAN Program for Arranging Multivariate Data in an Ordered Two Way Table by Classification of the Individuals and the Attributes. Ecology and Systematic. Ithaca: Cornell Univ. Press, 1979. 48 p.

Hill M.O. Computerised matching of relives and association tables, with an application to the British national vegetation classification // Vegetatio. 1989. Vol. 83. P. 187-194.

Holdridge L.R., Grenke W.C., Hatheway W.H. et al. Forest Environments in Tropical Life Zones: a Pilot Study. Oxford: Pergamon Press, 1971. 747 p.

Holmes N.T.H., Whitton B.A. Macrophytic vegetation of the River Swale, Yorkshire // Freshwat. Biol. 1977. Vol.7. P. 545-558.

Hölzl G., Dörman P. Structure and function of glycerolipids in plants and bacteria // Progr. Lipid Res. 2007. Vol. 46. P. 225-243.

Huet M. Profiles and biology of western European streams as related to fish management // Trans. Amer. Fish. Soc. 1959. Vol. 88. P. 155-163.

Huisman J., Olff H., Fresco L.F. A hierarchical set of models for species response analysis // J. Veg. Sci. 1993. Vol. 4. P. 37-46.

Hynes H.B.N. The effect of drought on the fauna of a small mountain stream in Wales. // Verh. Internat. Ver. Limnol. 1958. Vol. 3. P. 836-833.

Hynes H.B.N. Imported organic matter and secondary productivity in streams // Proc. 16th Internat. Cong. Zool. 1963. Vol. 16. P. 324-329.

Hynes H.B.N., Kaushik N.K. The relationship between dissolved nutrient salts and pro-

tein production in submerged autumnal leaves // Verh. Internat. Ver. Limnol. 1969. Vol. 17. P. 95-103.

Illies J.L. Botosaneanu L. Problems et methods de la classification et de la zonation ecologique de eaux courantes, considerees surtout du point de vue faunistique // Mitt. Intern. Ver. Theor. Angew. Limnol. 1963. Vol. 12. P. 1-57.

Jones R.C. Algal biomass dynamics during colonization of artificial islands: experimental results and a model // Hydrobiologia. 1978. Vol. 59. P. 165-180.

Jongman R.H.G., ter Braak C.J.F., van Tongeren O.F.R. Data Analysis in Community and Landscape Ecology. Wageningen (The Netherlands): Pudoc, 1987. 299 p. (Пер. с англ.: Джонгман Р.Г.Г., тер Браак С.Дж.Ф., ван Тонгерен О.Ф.Р. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов. М.: РАСХН, 1999. 306 с.).

Jost L. Entropy and diversity // Oikos. 2006. Vol. 113. P. 363-375.

Joy M.K., Death R.G. Control of freshwater fish and crayfish community structure in Taranaki, New Zeland: dams, diadromy or habitat structure? // Freshwater Biology. 2000. V.46. P. 417-429.

Karr J.R. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management // Ecol. Appl. 1991. Vol. 1. P. 66-84.

Kaufman L.H. Stream aufwuchs accumulation processes: effects of ecosystem depopulation // Hydrobiologia. 1980. Vol. 70. P. 75-81.

Kaushik N.K., Hynes H.B.N. The fate of dead leaves that fall into streams // Arch. hydrobiol. 1971. Vol. 68. P. 465-515.

Kaushik N. K., Robinson J.B. Preliminary observations on nitrogen transport during summer in a small spring-fed Ontario stream // Hydrobiologia. 1976. Vol. 49. P. 59-63.

Kenkel N. Trends and interrelationship in boreal wetland vegetation // Can. J. Bot. 1986. Vol. 65. P. 12-22.

Kennedy H.D. Colonization of a previously barren stream section by aquatic invertebrates and trout // Prog. Fish-Culturist. 1955. Vol. 17. P. 119-122.

Klammer S., Posch T., Sonntag B. et al. Dynamics of bacterial abundance, biomass, activity, and community composition in the oligotrophic Traunsee and the Traun river (Austria) // Water, Air, and Soil Pollution: Focus 2. 2002. P. 137-163.

Kownacki A. Taxocens of Chironomidae in streams of the Polish Hight Tarta, Mts // Acta Hydrobiol. 1971. Vol. 13, N 2. P. 439-464.

Krishna A., Guimarães P.R., Jordano P., Bascompte J. A neutral-niche theory of nestedness in mutualistic networks // Oikos. 2008. Vol. 117. P. 1609-1618.

Kuehne R.A. A classification of streams, illustrated by fish distribution in an eastern Kentucky creek// Ecology. 1962. Vol. 43. P. 608-614.

Kurina E.M., Zinchenko T.D. Distribution of invasive species in the bottom cenoses of the Saratov reservoir // The III Intern. Symp. «Invasion of alien species in Holartic (Borok - 3)». Borok; Myshkin, 2010. P. 63-64.

Lande R. Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities // Oikos. 1996. Vol. 76. P. 5-13.

Larimore R.W., Childers W.F., Heckrotte C. Destruction and re-establishment of stream fish and invertebrates affected by drought // Trans. Amer. Fish. Soc. 1959. Vol. 88. P. 261-285.

Leeds-Harrison P.B., Quinton J.N., Walker M.J. et al. Buffer Zones in headwater catchments // Report on MAFF/English Nature Buffer Zone Project CSA 2285. Silsoe, UK: Cranfield Univ. 1996. 22 p.

Leibold M.A., Mikkelson G.M. Coherence, species turnover, and boundary clumping: elements of meta-community structure // Oikos. 2002. Vol. 97. P. 237-250.

Levine U.Y., Crump B.C. Bacterioplankton Community Composition in Flowing Waters of the Ipswich River // Watershed Biol. Bull. 2002. Vol. 203. P. 251-252.

Lewis W.M. Analysis of succession in a tropical plankton community and a new measure of succession rate // Amer. Nat. 1978. Vol. 112. P. 401-414.

Lilijenberg C.S. The effects of water deficit stress on plant membrane lipids // Progr. Lipid Res. 1992. Vol. 31. P. 335-343.

Ljung G.M., Box G.E.P. On a measure of a lack of fit in time series models // Biometrika. 1978. Vol. 65. P. 297-303.

MacArthur R.H., Wilson E.O. The theory of Island Biogeography. Princeton N.J.: Princeton University Press, 1967. 208 p.

Manly B.F. Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology. London: Chapman & Hall., 2007. 455 p.

Manni F., Guerard E., Heyer E. Geographic patterns of (genetic, morphologic, linguistic) variation: how barriers can be detected by using Monmonier's algorithm // Human Biol. 2004. Vol. 76, № 2. P. 173-190.

Mantel N. The detection of disease clustering and a generalized regression approach // Cancer Res. 1967. Vol. 27. P. 209-220.

Mao C.X., Colwell R.K. Estimation of species richness: mixture models, the role of rare species, and inferential challenges // Ecology. 2005. Vol. 86, № 5. P. 1143-1153.

Mao C.X., Colwell R.K., Chang J. Estimating species accumulation curves using mixtures // Biometrics. 2005. V. 61. P. 433-441.

Mao C.X., *Lindsey B.G.* Estimating the number of classes in multiple populations: a geometric analysis // Canad. J. Statist. 2004. Vol. 32, № 3. P. 1-12.

Margalef R. Ideas for a synthetic approach to the ecology of running waters // Internat. Rev. ges Hydrobiol. 1960. Vol. 45. P. 133-153.

Margalef R. Perspectives in ecological theory. Chicago: Chicago Univ. Press, 1968. 111 p.

McCune B., *Grace J.B.*, *Urban D.L.* (eds.) Analysis of Ecological Communities. Gleneden Beach (Oregon): MjM Software, 2002. 285 p.

Mclntosh R.P. The relationship between succession and the recovery process in ecosystems // The recovery process in damaged ecosystems. Ann Arbor, Michigan: Ann Arbor Science Publ., 1980. P. 11-62.

Minchin P.R. An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination // Vegetatio. 1987. Vol. 67. P. 1167-1179.

Monmonier M. Maximum-difference barriers: An alternative numerical regionalization method // Geogr. Anal. 1973. Vol. 3. P. 245-261.

Monod J. La technique de culture continue theorie et applications // Annls. Inst. Pasteur. Paris, 1950. Vol. 79. P. 390-401.

Montgomery D.R. Process domains and the river continuum concept // J. Amer. Water Res. Ass. 1999. Vol. 35. P. 397-410.

Moore J.W. Seasonal succession of algae in rivers. I. Examples from the Avon, a large slow-flowing river // J. Phycol. 1976. Vol. 12. P. 342-349.

Moran P.A.P. Notes on continuous stochastic phenomena // Biometrika. 1950. Vol. 37. P. 17-23.

Muneepeerakul R., Levin S.A., Rinaldo A., Rodriguez-Iturbe I. On biodiversity in river networks: a trage-off metapopulation model and comparative analysis // Water Resources Res. 2007. Vol. 43. 11 p.

Naiman R.J., *Sedell J.R.* Relationships between metabolic parameters and stream order in Oregon. Can // J. Fish. Aquatic Sci. 1980. Vol. 37. P. 834-847.

Newbold J.D., *Elwood J.W., O'Neill R.V., Van Winkle W.* Measuring nutrient spiralling in streams // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1981. Vol. 38. P. 860-863.

Niewiadomska K. The life cycle of Codonocephalus urnigerus (Rudolphi, 1819) Strigeidae // Acta Paras. Polon. 1964. Vol. 12. P. 283-296.

Odum E.P. The strategy of ecosystem development // Science. 1969. N 164. P. 262-269.

Odum E.P., *Saunders W.B.* Fundamentals of Ecology. Philadelphia, PA. 1953.

Odum H.T. Environment, power and society. New York: Wiley-Interscience, 1971. 331 p.

Odum H.T. Energy quality and carrying capacity of the Earth // Trop. Ecol. 1975. Vol.

16, N 1. P. 1-8.

Oksanen J., Minchin P.R. Continuum theory revisited: what shape are species responses along ecological gradients? // Ecol. Modelling. 2002. Vol. 157. P. 119-129.

Olszewski T.D. A unified mathematical framework for the measurement of richness and evenness within and among multiple communities // Oikos. 2004. Vol. 104. P. 377-387.

Orlóci L. Pattern dynamics: an essay concerning principles, techniques, and applications // Community Ecol. 2001. Vol. 2. P. 1-15.

Pantle R., *Buck H.* Die biologische Überwachung der Gewasser und die Darstellung der Ergerbnisse // Gas- und Wasserfach. 1955. Bd. 96, N 18. S. 604.

Patterson B.D., Atmar W. Nested subsets and the structure of insular mammalian faunas and archipelagos // Biol. J. Linn. Soc. 1986. Vol. 28. P. 65-82.

Patterson B.D., Atmar W. Analyzing species composition in fragments // Bonner Zool. Monogr. 2000. Vol. 46. P. 9-24.

Perry J.A., Schaeffer D.J. The longitudinal distributions of or riverine benthos: a river discontinuum? // Hydrobiologia. 1987. Vol. 148. P. 257-268.

Peters R.H. Tautology in evolution and ecology // Amer. Nat. 1976. Vol. 110. P. 1-12.

Petersen R.C., *Cummins K.W.* Leaf processing in a woodland stream // Freshwat. Biol. 1974. Vol. 4. P. 343-368.

Pickett S.T.A. Succession: an evolutionary interpretation // Amer. Nat. 1976. Vol. 110. P. 107-119.

Pielou D.P., Pielou E.C. Association among species of infrequent occurrence: the insect and spider fauna of *Polyporus betulinus* (Bulliard) Fries // J. Theor. Biol. 1968. Vol. 21. P. 202-216.

Pielou E.C. Probing multivariate data with random skewers: a preliminary to direct gradient analysts // Oikos. 1984. Vol. 42. P. 161-165.

Pillar V.D. The bootstrapped ordination reexamined // J. Veget. Sci. 1999. Vol. 10. P. 895-902.

Plafkin, J.L., Barbour M.T., Porter K.D. et al. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish // U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards, Washington, D.C. EPA 440-4-89-001. 1989.

Pomeroy L.R. The Ocean's Food Web, A Changing Paradigm // Bioscience. 1974. Vol. 24. P. 499-504.

Prentice I.C. Non-metric ordination methods in ecology // J. Ecol. 1977. Vol. 65. P. 85-94.

Preston F.W. Time and space and the variation of species // Ecology. 1960. Vol. 41. P. 611-627.

Quinn G.P., Keough M.J. Experimental Design and Data Analysis for Biologists. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2002. 520 p.

Raaijmakers J.G. Statistical analysis of the Michaelis–Menten equation // Biometrics. 1987. Vol. 43. P. 793-803.

Rao C.R. Diversity and dissimilarity coefficients: a unified approach // Theor. Popul. Biol. 1982. Vol. 21. P. 24-43.

Rao C.R. The use and interpretation of principal component analysis in applied research // Sankhya. 1964. Ser. A. Vol. 26. P. 329-358.

Reasoner D.J., Geldreich E.E. A new medium for the enumeration and subculture of bacteria from potable water // Aquat. Environ. Microbiol. 1985. Vol. 49, N 1. P. 1-7.

Reice S.R. The role of substratum in benthic macroinvertebrate microdistribution and litter decomposition in a woodland stream // Ecology. 1980. N 61. P. 580-590.

Reisen W.K., Spencer D.J. Succession and current demand relationships of diatoms on artificial substrates in Prater's Creek, South Carolina // J. Phycol. 1970. N 6. P. 117-121.

Ricklefs R.E., Schluter D. Species diversity: regional and historical influences // Species Diversity in Ecological Communities: Historical and Geographical Perspectives. Chicago: Chicago Univ. Press, 1993. P. 350-362.

Roberts D.W. Ordination on the basis of fuzzy set theory // Vegetatio. 1986. Vol. 66. P. 123-131.

Roberts D.W. Statistical analysis of multidimensional fuzzy set ordinations // Ecology. 2008. Vol. 89, N 5. P. 1246-1260.

Robertson A.I., Bunn S.E., Boon P.I., Walker K.F. Sources, sinks and transformations of organic carbon in Australian floodplain rivers // Marine and Freshwater Res. 1999. Vol. 50. P. 813-829.

Rosenberg D.M., Resh V.H. (eds.). Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. London: Chapman and Hall, 1993. 488 p.

Sanders H. Marine benthic diversity: a comparative study // Amer. Nat. 1968. Vol. 102. P. 243-282.

Sanderson J.G. Null model analysis of communities on gradients // J. Biogeogr. 2004. Vol. 31. P. 879-883.

Scheiner S.M. Six types of species–area curves // Global Ecol. and Biogeogr. 2003. Vol. 12. P. 441-447.

Schluter D. A variance test for detecting species associations, with some example applications // Ecology. 1984. Vol. 65. P. 998-1005.

Schoener T.W. The species-area relation within archipelagos: models and evidence from island land birds // Proc. of the 16th Intern. Ornithological Conf. Canberra: Austral. Acad. Sci., 1976. P. 629-642.

Sedell J.R., Triska F.J., Hall J.D., Anderson N.H., Lyford J.H. Sources and fates of organic inputs in coniferous forest streams // Integrated research in the Coniferous Forest Biome. (Proc. AIBS Symp.) Conif. Forest Biome. 1974. Bull. 5. P. 57-69.

Seegrist D.W., Gard R. Effects of floods on trout in Sagehen Creek, California // Trans. Amer. Fish. Soc. 1972. Vol. 101. P. 478-482.

Servais P. Bacterioplanktonic biomass and production in the river Meuse (Belgium) // Hydrobiologia. 1989. Vol. 174, N 2. P. 99-110.

Shannon C.E. A mathematical theory of communication // Bell Systems Techn. J. 1948. Vol. 27 (July and October). P. 379-423, 623-656.

Sheldon A.L. Species diversity and longitudinal succession in stream fishes // Ecology. 1968. Vol. 49. P. 193-198.

Siegenthaler P.A. Lipids in photosynthesis: structure, function and genetics / P.A. Siegenthaler, N. Murata. London, 1998. 303 p.

Siegfried C.A., Knight A.W. The effects of washout in a Sierra foothill stream // Amer. Midl. Nat. 1977. Vol. 98. P. 200-207.

Sladeček V. System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol. Ergebn. Limnol. 1973. N 7. S. 1-218.

Smirnov N.N. CLADOCERA: the Chidorinae and Sayciinae (Chydoridae) of the World. Bd. 11. Belgium, 1996. 204 p.

Smith E.P., van Belle G. Nonparametric estimation of species richness // Biometrics. 1984. Vol. 40. P. 119-129.

Stone L., Roberts A. Competitive exclusion or species aggregation? An aid in deciding // Oecologia. 1992. Vol. 91. P. 419-424.

Stone L., Roberts A. The checkerboard score and species distributions // Oecologia. 1990. Vol. 85. P. 74-79.

Tansley A.G. Succession: the concept and its value // Intern. Congr. Plant. Sci., Ithaca, Proc. 1929. Vol. 1. P. 677-686.

Taylor D.R., Kempton R.A., Woiwod J.P. Diversity statistics and log-series model // J. Animal Ecol. 1976. Vol. 45. P. 255-271.

Taylor W.D., Lambou V.W., Williams L.R., Hern S.C. Trophic state of lakes and reservoirs // Technical Report E-80-3. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. 1980. 31 pp.

ter Braak C.J. Principal components biplots and alpha and beta diversity // Ecology. 1983. Vol. 64. P. 454-462.

ter Braak C.J. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis // Ecology. 1986. Vol. 67. P. 1167-1179.

Thorp J.H., Thoms M.C., DeLong M.D. The riverine ecosystem synthesis: biocomplexity in river networks across space and time // River Res. & Appl. 2006. Vol. 22. P. 123-147.

Tjørve E. Shapes and functions of species-area curves: a review of possible models // J. Biogeogr. 2003. Vol. 30. P. 827-835.

Townsend C.R. The path dynamics concept of stream community ecology // J. Nat. Amer. Benthol. Soc. 1989. Vol. 8. P. 36-50.

Townsend C.R., Scarsbrook M.R., Dolédec S. Quantifying disturbance in streams: alternative measures of disturbance in relation to macroinvertebrate species traits and species richness // J. North Amer. Benthological Soc. 1997. Vol. 16. P. 531-544.

Ulrich W., Almeida-Neto M., Gotelli N.C. A consumer's guide to nestedness analysis // Oikos. 2009. Vol. 118. P. 3-17.

Ulrich W., Gotelli N.J. Null model analysis of species nestedness patterns // Ecology. 2007. Vol. 88. P. 1824-1831.

Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W. et al. The river continuum concept // Can. J. Fish. Aquatic Sci. 1980. Vol. 37. P. 130-137.

Veech J.A., Summerville K.S., Crist T.O., Gering J.C. The additive partitioning of species diversity: recent revival of an old idea // Oikos. 2002. Vol. 99. P. 3-9.

Vincent W.F., Downs M.T. Variation in nutrient removal from a stream by watercress (*Nasturtium officinale* Br.) // Aquat. Bot. 1980. Vol. 9. P. 221-235.

Wagner H.H., Wildi O., Ewald K.C. Additive partitioning of plant species diversity in an agricultural mosaic landscape // Lands. Ecol. 2000. Vol. 15. P. 219-227.

Wallace J.B. The role of filter feeders in flowing waters // Arch. Hydrobiol. 1977. N 79. P. 506-532.

Weber H.E., Moravec J., Theurillat J.-P. International Code of Phytosociological Nomenclature. 3rd edition // J. Veg. Sci. 2000. N 11. P. 739-768.

Weiher E., Keddy P.A. (eds.). Ecological Assembly Rules: Perspectives, Advances, Retreats. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1999. 393 p.

Whittaker R.H. Evolution and measurement of species diversity // Taxon. 1972. Vol. 21. P. 213-251. [Пер. с англ.: Уиттекер Р. Эволюция и измерение видового разнообразия) // Антология экологии / Сост. и комент. Г.С. Розенберга. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2004. С. 331-378].

Wiegert R.G., Fraleigh P.C. Ecology of Yellowstone thermal effluent systems: net primary production and species diversity of a successional blue-green algal mat // Limnol. Oceanogr. 1972. N 17. P. 215-228.

Williams E.J. Use of scores for the analysis of association in contingency tables // Biometrika. 1952. Vol. 39. P. 274-289.

Woodowiiss F.S. The biological system of stream classification used by the Trent River Board // Chem. and Industry. 1964. N 11. P. 443-447.

Yodzis P. Competition, mortality and community structure // Community Ecology. N.Y.: Harper and Row, 1986. P. 480-491.

Zadeh L.A. Fuzzy sets // Information and Control. 1965. Vol. 8. P. 338-353.

Zahl S. Jackknifing an index of diversity // Ecology. 1977. Vol. 58. P. 907-913.

Zinchenko T.D. Chironomidae as biological hindrances in water-supplay // Acta Biol. Debr. Oecol. Huhg: Debrecen, 1989. Vol. 3. P. 190-201.

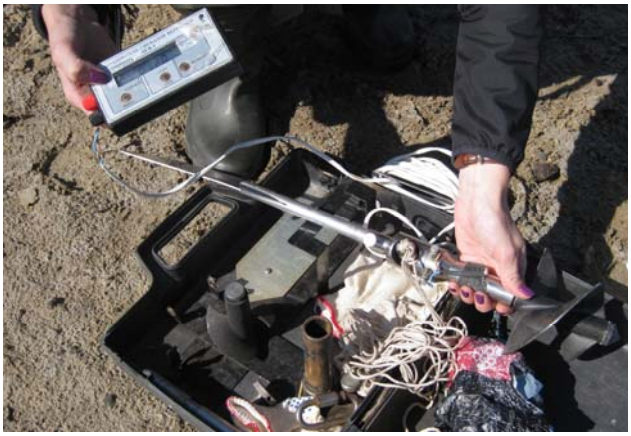
Zobel M. The relative role of species pools in determining plant species richness: an alternative explanation of species coexistence // Trends Ecol. Evol. 1997. Vol. 12. P. 266-269.

ВКЛЕЙКА 1

(цветные фотографии и рисунки к главам 1-3)



а



б

Фото 1. Вертушки



Фото 2. Темно-серая лесная краснопрофильная почва на водоразделе (Исаклинский район)



Фото 3. Байрачные леса и каменистая степь в окресностях с. Воскресенка (Клявлинский район)



Фото 4. Луговая степь на черноземах дисперсно-карбонатных, Сокские Яры



Фото 5. Сообщества луговой степи с *Salvia nutans* L.(Красноярский район)



Фото 6. Каменистая степь на темно-гумусовых краснопрофильных почвах (Сергиевский район)



Фото 7. Аллювиальная серо-гумусовая (А) и аллювиальная темно-гумусовая (Б) почвы поймы, берег Кондурчинского водохранилища(Сергиевский район)



Фото 8. Осокорево-ветловые леса на органо-аккумулятивных серо-гумусовых почвах на прирусловых песчаных валах р. Сок



Фото 9. Линейные формы водной эрозии на залежных землях в бассейне р. Сок



Фото 10. Памятник природы Озеро Молочка (Исаклинский район)



Фото 11. Некоторые макрофиты приустьевого участка р. Сок
(сусак зонтичный, рогоз узколистный, стрелолист обыкновеный)

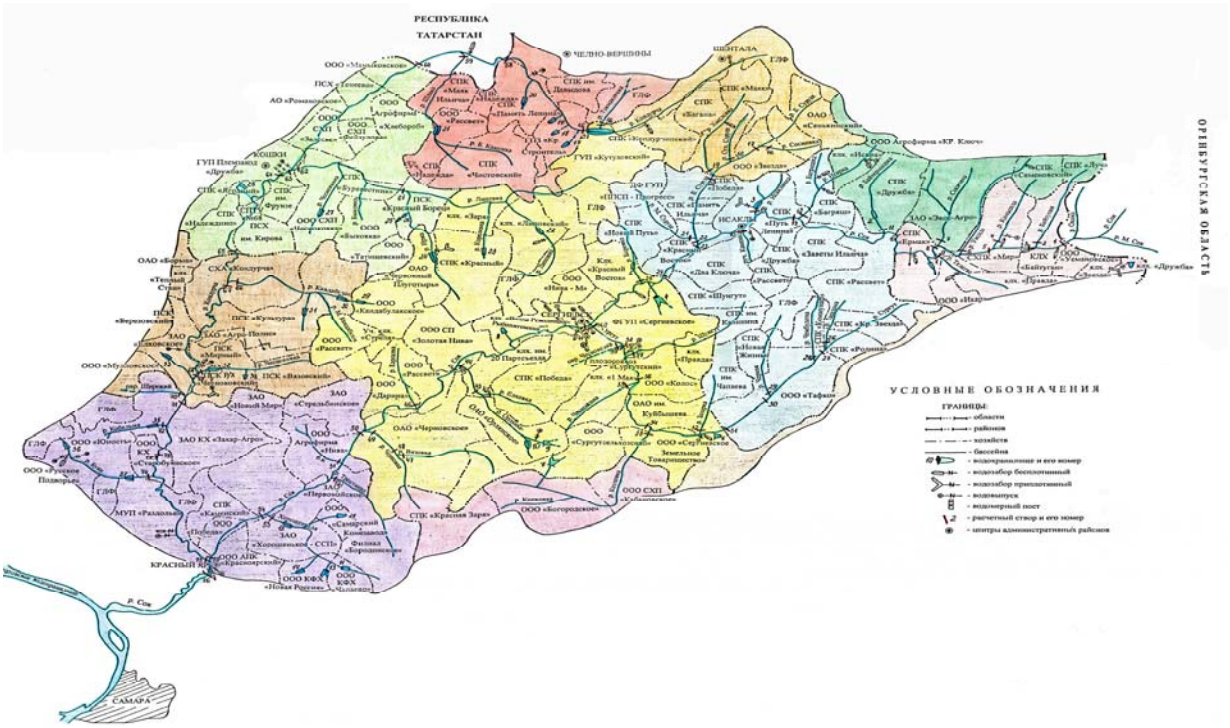


Рис. 2. Бассейн р. Сок



Рис. 3. Регион исследований: бассейн р. Сок

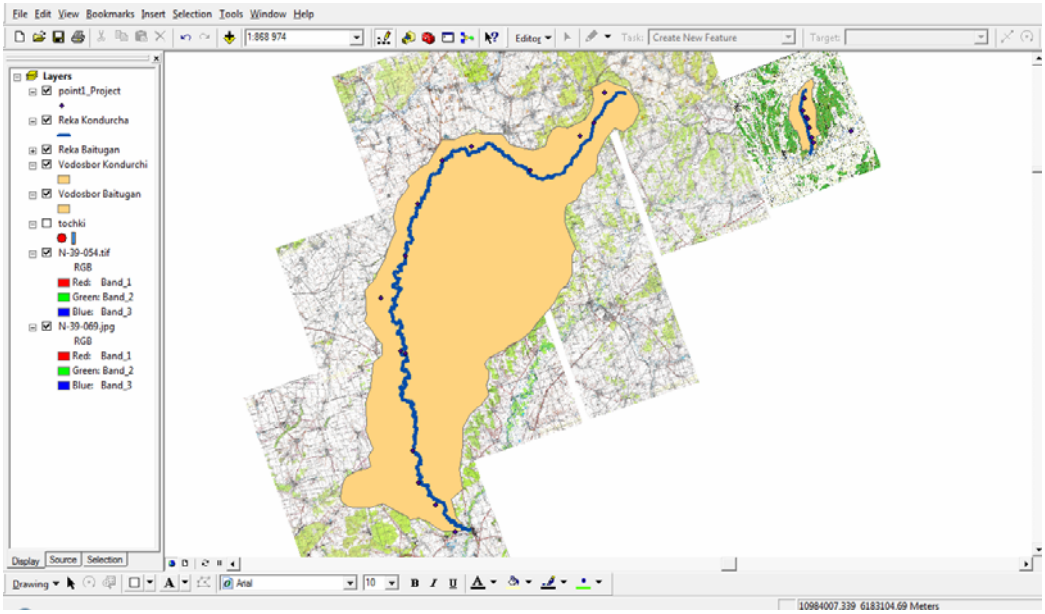


Рис. 5. Определение морфометрических показателей с помощью программы ArcGIS

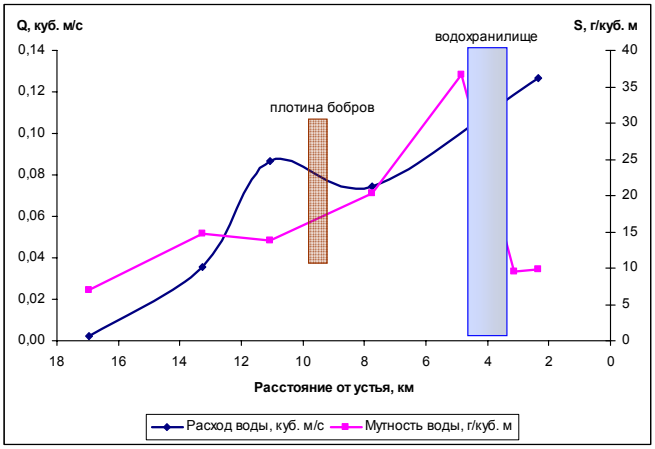


Рис. 7. Изменение расходов и мутности воды по длине р. Байтуган

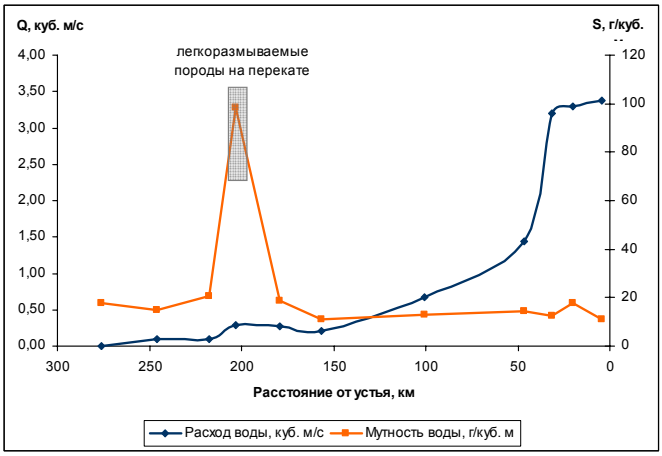
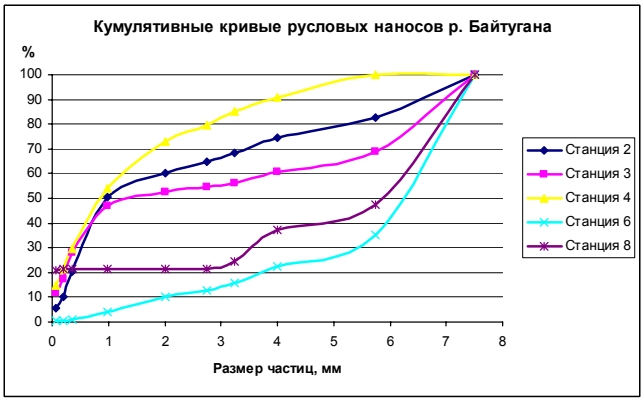


Рис. 8. Изменение расходов и мутности воды по длине р. Кондурча



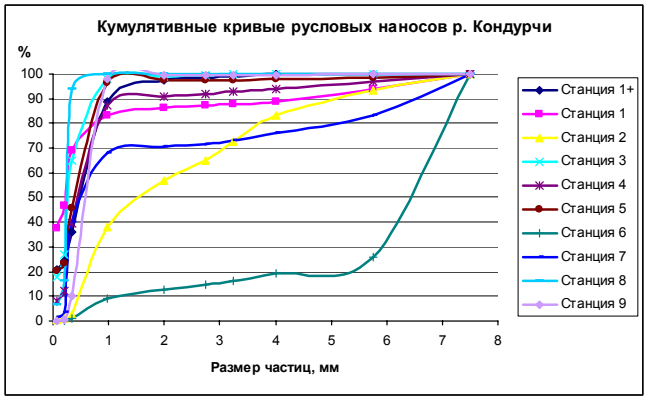


Рис. 9. Кумулятивные кривые гранулометрического состава русловых наносов

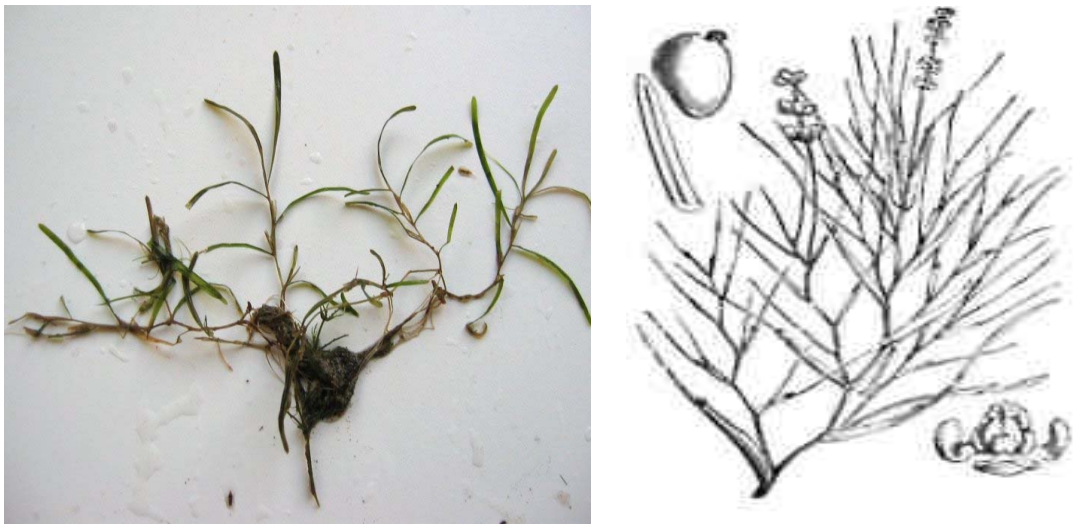


Рис. 24. Внешний вид рдеста гребенчатого (*Potamogeton pectinatus*)

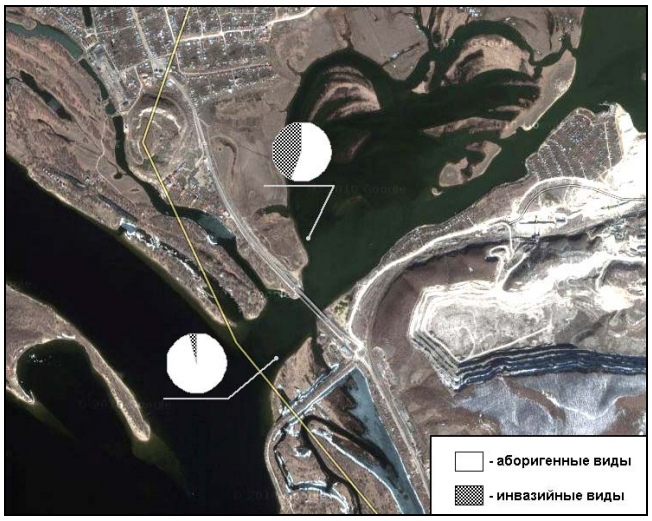


Рис. 62. Соотношение аборигенных и видов-вселенцев в устьевом участке р. Сок в 1995 г.



Рис. 63. Соотношение аборигенных и видов-вселенцев в устьевом участке р. Сок в 2000-2005 гг.

ПРИЛОЖЕНИЕ

(ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ РЕКИ СОК)

Правительство Самарской области

Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Самарской области

Нижне-Волжское бассейновое водное управление отдела водных ресурсов по Самарской области

Российская академия наук

Институт экологии Волжского бассейна

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ

р. СОК



Фото 1-П. Река Сок

Организации-разработчики

Организация-заказчик: Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Самарской области

Ведущая организация:

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти
(ИЭВБ РАН)
Почтовый адрес: 445003, Тольятти, ул. Комзина,10.
Факс **(8482) 489504,**
Телефон: **489977**
489431
e-mail: **ievbras2005@mail.ru.**

Организации-соисполнители:

ООО «Центр мониторинга водной и геологической среды»,
г. Самара.

Филиал ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Самарской области в г. Тольятти»

Координаторы: зам. начальника Отдела водных ресурсов по Самарской области НВББВУ (г. Самара) **В.А. Цыкало**

Научный руководитель:
Член-корреспондент РАН, докт. биол. наук, профессор **Г.С. Розенберг**

Ответственный исполнитель:
Докт. Биол. наук, профессор,
зав. лабораторией экологии малых рек **Т. Д. Зинченко**

Оформление:
Э.В. Абросимова

Авторы-разработчики:

Зинченко Т.Д., д.б.н.; Абросимова Э.В., инж.; Буркова. Т.Н. инж.; Выхристюк Л.А., к.г.н.; Головатюк Л.В., к.б.н.; Сидоренко М.В., к.б.н.; Соловьева В.В., к.б.н.; Тимохина А.Ф., к.б.н.;. Уманская М.В., к.б.н.; Юнина В.П., с.н.с.

Дата составления Экологического
паспорта водного объекта 2007 г.

Структура и содержание экологического паспорта реки Сок

Стр.

1. Общие положения……..……..……..... 281

2. Термины, определения и сокращения……..... 281

3. Природно-географическая характеристика водоохранной зоны реки Сок…… 287

3.1. *Геоботаническая характеристика*…….....……..…. 289

3.2. *Растительность водоохранной зоны*…….....……... 293

3.3. *Рекреационная оценка*…….....……..…….. 297

4. Гидрографическая и гидрологическая характеристика реки Сок…….. 297

5. Гидрохимическая характеристика реки Сок…….....……... 299

5.1. *Антропогенная нагрузка*…….....……..…….. 299

5.2. *Химический состав воды и донных отложений*…….....……. 301

6. Гидробиологическая характеристика реки Сок…….....…….. 305

6.1. *Фитопланктон*…….....……..…….. 305

6.2. *Зоопланктон*…….....……..…….. 307

6.3. *Зообентос*…….....……..…….. 309

6.4. *Ихтиофауна*…….....……..…….. 312

6.5. *Бактериопланктон*……. 314

7. Экологическое состояние реки Сок……..……. 316

8. Практические рекомендации по рациональному использованию водных ресурсов и восстановлению реки Сок……..... 319

9. Перечень использованных нормативных и методических документов……...…….. 320

10. Список цитируемой литературы…….....……..……... 322

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Экологический паспорт водного объекта (река, ручей, канал) – научно-технический документ, включающий данные о состоянии водотока и его рекреационных ресурсах, необходимые для осуществления оперативного контроля за экологическим благополучием водного объекта.
2. Экологический паспорт водотока представляет собой комплекс данных, выраженных через систему показателей, отражающих экологическое благополучие водотока в соответствие с нормами охраны вод и требованиями к рекреационным зонам, регламентированными действующей научно-технической документацией.
3. Экологический паспорт водотока разрабатывается водопользователем. Порядок согласования и утверждения экологического паспорта водотока определяется органами местного самоуправления.
4. Основой для разработки экологического паспорта водотока являются данные комплексного гидрологического, гидрохимического, гидробиологического, ландшафтно-экологического и санитарно-бактериологического обследования, полученные аккредитованными организациями.
5. Экологический паспорт водотока не заменяет и не отменяет действующие формы и виды государственной отчетности.
6. Периодичность заполнения экологического паспорта водотока определяется территориальным органом Госкомэкологии РФ в зависимости от складывающейся экологической обстановки.
7. Порядок заполнения и ведения экологического паспорта водотока определяется методическими рекомендациями, являющимися составной частью экологического паспорта.

2. ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Алкалифилы (алкалибионты)	Виды, обитающие в щелочных водах
Бактериопланктон	Совокупность микроорганизмов, населяющих толщу морских и пресных вод
Балтийская система (БС) высот	Система абсолютных отметок земной поверхности, принятая в Российской Федерации (Постановление Совета Министров СССР от 7.04.1946 г. №760). Нулевая поверхность системы соответствует нулю рейки на водомерном посту Кронштадт (остров Котлин в Финском заливе Балтийского моря).
Бенталь	Дно водотоков, заселенное микроорганизмами, растениями и животными, обитающими на его поверхности или в толще грунта.
Биогенные элементы	Химические элементы, постоянно входящие в состав организмов и необходимые им для жизнедеятельности. Для водных экосистем наиболее важны азот и фосфор, как факторы, ограничивающие их продуктивность.

Бонитет насаждения	Показатель продуктивности насаждения, зависящий от добротности условий произрастания. Бонитировочная шкала включает 5 основных классов: от I-го (наиболее продуктивные насаждения) до V-го (наименее продуктивные насаждения).
БПК	Количество кислорода потребляемого за определенное время при биохимическом окислении содержащихся в воде органических веществ в аэробных условиях. БПК $_{полн.}$ – полное химическое потребление кислорода (15-20 суток); $БПК_5$ – химическое потребление кислорода за 5 суток.
Верховодка	Подземные воды, залегающие вблизи земной поверхности, периодически накапливающиеся за счет осадков и исчезающие в результате испарения и перетекания в более глубокие горизонты.
Водоохранная зона	Территория, примыкающая к акваториям рек, озер, водохранилищ и другим поверхностным водным объектам, на которой устанавливается специальный режим хозяйственной и иных видов деятельности с целью предотвращения загрязнения, засорения, заиления и истощения водных объектов, а также сохранения среды обитания объектов животного и растительного мира.
Гелофиты	Болотные растения.
Гигрофиты	Наземные организмы, предпочитающие влажную или переувлажненную среду.
Гигрогелофиты	Наземно-болотные растения, предпочитающие влажную или переувлажненную среду.
Гидрографическая сеть	Система постоянно и временно действующих водотоков и озер.
Гидатофиты	Растения, целиком или большей своей частью погруженные в воду (лилии, кувшинки).
Гидрофиты	Любые растения – обитатели водной среды.
Дигрессия	Ухудшение состояния биотических сообществ и экосистем из-за внешних или внутренних причин.
Загрязнение окружающей среды	Поступление в окружающую среду вещества и (или) энергии, свойства, местоположение или количество которых оказывают негативное воздействие на окружающую среду.

Зарастаемость (%)	Площадь покрытия макроскопическими водорослями и другими водными растениями береговой зоны рек.
Зона сапробности	Степень загрязненности вод органическими веществами, поступающими в водоемы преимущественно с хозяйственно-бытовыми сточными водами. Различают поли-, мезо-(α-мезо и β-мезо) и олигосапробную степень загрязнения (зону сапробности) в соответствии со снижением уровня органического загрязнения воды.
Зона рекреации водного объекта	Водный объект или его участок с прилегающим к нему берегом, используемый для отдыха.
Зообентос	Совокупность животных организмов, обитающих на грунте и в грунте морских и континентальных водоемов.
Зоопланктон	Совокупность животных, населяющих толщу морских и пресных вод и пассивно переносимых течениями.
Индекс видового разнообразия	Величина, отражающая количество видов в природных сообществах и степень равномерности распределения обилий каждого из них.
Индекс Вудивисса	Числовая оценка состояния загрязненности водоемов по организмам зообентоса. Основана на встречаемости устойчивых к загрязнению групп организмов или индикаторов чистых вод. Изменяется от 0 (в очень загрязненных водах) до 10 (в очень чистых).
Индекс загрязнения воды (ИЗВ)	Обобщенная числовая оценка качества воды по совокупности загрязняющих химических веществ, имеющих наибольшие концентрации в ПДК.
Индекс колифага	Показатель вирусного загрязнения, измеряемый количеством негативных колоний бактериофагов в бляшкообразующих единицах (БОЕ) в 1 $дм^3$ пробы воды.
Индекс сапробности (по Пантле-Букку в модификации Сладечека)	Величина, показывающая принадлежность водных объектов или их частей к той или иной зоне сапробности.
Индифференты	Организмы, приспособленные к широкому диапазону колебаний pH воды.
Исток реки	Место начало реки.
Ихтиофауна (фауна рыб)	Совокупность тех или иных видов рыб в водных объектах.

Класс качества воды	Критерий, установленный в зависимости от градаций коэффициентов, дающих формализованную оценку состояния воды.
Класс качества воды по гидробиологическим показателям	Критерий, установленный в зависимости от градации формализованных характеристик водных биоценозов. Диапазон измерения – от «очень чистых» (I класс) до «очень грязных» (VI класс). Соответствует значениям индекса сапробности от < 1 (I класс) до > 4,0 (VI класс).
Класс качества воды по гидрохимическим показателям	Критерий, установленный в зависимости от градаций ИЗВ от I класса («очень чистая», ИЗВ < 0,3) до VII класса («чрезвычайно грязная», ИЗВ > 10).
Классы устойчивости насаждений	Характеристика биологической устойчивости насаждений к рекреационным нагрузкам по их состоянию (наличию вредителей, болезней и т.д.). Изменяется от 1-го класса (устойчивые насаждения) до 3-го класса (устойчивость утрачена).
КДА	Коэффициент донной аккумуляции, определяемый по формуле КДА = $С_{до}$ / $С_{в}$, где $С_{до}$ – концентрация загрязнения в донных отложениях, $С_{в}$ – в воде.
Контролируемые показатели	Показатели состава и свойств воды, подлежащие контролю при проверке соблюдения установленных норм качества воды в водном объекте.
Космополиты	Виды организмов, обитающие во всех географических широтах земного шара
Ландшафтной таксации нормативы	Показатели оценки устойчивости насаждений, рекреационной нагрузки, общей благоприятности территории для массового отдыха, применяемые при лесоустроительных работах в рекреационных зонах.
Литораль	Приливно-отливная зона моря, периодически (1 или 2 раза в сутки) заливаемая водой. В озерах «литораль» – прибрежная часть бентали, простирающаяся от уреза воды до границы произрастания макрофитов (до глубины 5-7 м).
Макрофиты	Совокупность высшей водной растительности водоема.
Медиаль	Срединная часть реки.
Межень	Фаза водного режима реки, ежегодно повторяющаяся в одни и те же сезоны, характеризующаяся малой водностью. Различают летнюю и зимнюю межени.

Мониторинг окружающей среды (экологический мониторинг)	Комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов.
Нормативы качества окружающей среды	Нормативы, которые установлены в соответствии с физическими, химическими, биологическими и иными показателями для оценки состояния окружающей среды и при соблюдении которых обеспечивается благоприятная окружающая среда.
Нормы качества воды	Установленные значения показателей качества воды по видам водопользования.
Нормы охраны вод	Установленные значения показателей, соблюдение которых обеспечивает экологическое благополучие водных объектов и необходимые условия для охраны здоровья населения и водопользования.
Окружающая среда	Совокупность компонентов природной среды, природных, природно-антропогенных объектов и антропогенных объектов.
Охрана окружающей среды	Деятельность органов государственной власти РФ, органов государственной власти субъектов РФ, органов местного самоуправления, общественных и иных некоммерческих объединений, юридических и физических лиц, направленная на сохранение и восстановление природной среды, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, предотвращение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и ликвидацию ее последствий (далее также – природоохранная деятельность).
Паразитофауна	Совокупность паразитов той или иной группы организмов.
Предельно допустимая концентрация (ПДК)	Максимальная концентрация загрязняющего вещества в водотоках хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, не оказывающая прямого или опосредованного влияния на человека в течение всей жизни или на здоровье последующих поколений, а также не ухудшающая гигиенические условия водопользования.
Природный ландшафт	Территория, которая не подвергалась изменению в результате хозяйственной и иной деятельности и характеризуется сочетанием определенных типов рельефа местности, почв, растительности,

	сформированных в единых климатических условиях.
Природный объект	Естественная экологическая система, природный ландшафт и составляющие их элементы, сохранившие свои природные свойства.
ПДК к/б	Максимальная концентрация загрязняющего вещества в водотоках, используемых для культурно-бытовых целей населения, рекреации и спорта.
Приоритетные загрязняющие вещества	Вещества, главным образом, определяющие общий уровень загрязнения водотока.
Река	Водоток значительных размеров, текущий в естественном русле и питающийся за счет поверхностного и подземного стока своего водосборного бассейна.
Река малая	Река с резко колеблющимся стоком, имеющая площадь водосбора порядка 1-2 тыс. км^2 и обычно протяженностью порядка 100 км.
Река средняя	Река, протекающая в пределах одной географической зоны.
Река равнинная	Река с относительно медленным течением, широкими террасированными долинами.
Рекреационная нагрузка	Степень непосредственного влияния людей на рекреационный объект.
Рекреационные леса	Леса, предназначенные для отдыха населения.
Реофил	Организм, предпочитающий местообитания в проточных водах с быстрым течением.
Рипаль	Прибрежная зона водотока.
Русло	Углубление в суше, по которому движутся речные воды.
Рыбохозяйственная классификация	Классификация водотока с позиций его использования для целей рыборазведения или промысла.
Рыбопродуктивность	Продукция (органическое вещество), образованная за счет трансформации энергии при потреблении рыбами продукции растений и животных.
Состав воды	Совокупность примесей в воде минеральных и органических веществ в ионном, молекулярном, комплексном, коллоидном и взвешенном состоянии, а также изотопный состав содержащихся в ней радионуклидов.

Состояние водного объекта	Характеристика водного объекта по совокупности его количественных и качественных показателей применительно к видам водопользования.
Степень «цветения» воды	Степень массового развития фитопланктона, вызывающего изменения окраски воды (от слабого цветения до гиперцветения).
Трофический тип водотока	Обобщенная характеристика водотока по степени трофности (кормности), определяемая уровнем первичной продукции, численностью и биомассой фитопланктона, количеством биогенных веществ, содержанием хлорофилла. Выделяют 4 основных трофических типа водных объектов: олиготрофные, мезотрофные, эвтрофные и гиперэвтрофные.
Токсикологический контроль воды	Проверка методом биотестирования соответствия токсических свойств воды установленным требованиям.
Уклон водной поверхности	Падение напора на единицу длины потока – обычно отношение разности высотных отметок уровня воды на рассматриваемом участке к длине этого участка.
Устье	Конечный участок течения водотока, где его режим сильно изменяется под воздействием водного объекта (море, озеро, водохранилище, река, болото и т.д.), в который он впадает, или условия, вызывающие его прекращения.
Фитопланктон	Совокупность микроскопических растений (главным образом водорослей), обитающих в толще морских и пресных вод и пассивно передвигающихся под влиянием водных течений. Источник органических веществ в водоеме – пищи для других водных организмов.
ХОП	Хлорорганические пестициды.

3. ПРИРОДНО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДООХРАННОЙ ЗОНЫ РЕКИ СОК

Анализ природных условий, оценка состояния водоохраной зоны и трансформации природных комплексов на отдельных участках р. Сок проведены на основе имеющейся картографической базы, фондовых материалов, а также на основании результатов полевых исследований.

Бассейн реки находится на территории двух областей (Оренбургской, Самарской) и Республики Татарстан (Октябрьский район). Большая часть водосбора (93%) расположена на территории Самарской области (рис. 2, см. вклейку 1). Длина реки – 375 км, площадь водосбора – 11 870 км^2. общее падение – 209 км, уклон – 6-0,1‰, средняя

высота водосбора – 140 км. Низовье реки находится в зоне подпора водами Саратовского водохранилища, которая распространяется на 31-45 км от ее устья.

Река Сок берет начало на западных склонах Бугульминско-Белебеевской возвышенности, в 0,5 км к югу от с. Курско-Васильевка Северного района Оренбургской области, и впадает в Саратовское водохранилище слева, в 1,5 км к юго-востоку от пос. Волжский (с. Большая Царевщина).

Река протекает по широкой долине с возвышенным правым берегом по территории сокский гор. В верховье река течет между отрогами Бугульминско-Белебеевской возвышенности (высота – от 150 до 230 м н.у.м.). Русло извилистое, на отдельных участках разделяющееся на рукава. Водоразделы длинные, узкие; они вытянуты в меридиональном направлении. Для долины р. Сок характерна резко выраженная асимметрия поперечного профиля. В верхнем и на большей части среднего течения (до с. Большая Раковка) долина проходит вдоль флексуры. Река размывает на правом коренном берегу ее поднятое крыло, благодаря чему правый берег крутой и высокий (Сокские горы) с наивысшей абсолютной отметкой (а.о.) 317 м. На склонах Сокских гор наблюдаются эрозионные процессы и выветривание горных пород.

В верхнем течении наряду с балками широко распространены глубоко врезанные (на 150-200 м ниже междуречий) овраги и балки, поэтому местность имеет горный вид.

Долина реки широкая, хорошо выражена, ассиметричная. Ширина ее изменяется от 0,5 км в верховье до 4-6 км в устьевой части. Пойма реки на всем протяжении двухсторонняя, луговая. Преобладающая ширина ее – 1-2 км. Поверхность поймы пересечена озерами и старицами, местами заболочена. В многоводные годы она затопляется на глубину 1,5-2,5 м, в обычные - на 0,5-1,5 м сроком на 18-31 день.

Ширина реки – в основном 23-35 м, наибольшая – 100 м (в устье). Берега русла преимущественно крутые, местами обрывистые, с преобладающей высотой 2-3 м. Дно реки сравнительно ровное, преимущественно песчаное.

В формировании рельефа существенную роль играют коренные породы пермской системы: известняки, доломиты и песчаники казанского яруса и пестроцветные мергели, глины и известняки татарского яруса. На поверхности водоразделов возвышаются «шишки» (шиханы), т.е. эрозионные останцы высотой до 100 м, сложенные устойчивыми к разрушению породами. Элювий пермских отложений является почвообразующей породой в бассейне р. Сок.

В нижнем течении долина р. Сок проходит по району распространения Волжских террас, из которых наибольшее распространение имеет 3-я надпойменная терраса, 2-я и 1-я террасы развиты в виде нешироких полос и отдельных фрагментов.

Климатические условия бассейна р. Сок складываются под влиянием Азиатского континента, сильно прогретого летом и охлажденного зимой, а также – Атлантического океана, смягчающего температурные контрасты. Влияние данных факторов создает резко выраженную неустойчивость погоды и возможность глубоких аномалий ее элементов. Характерными чертами климата являются холодная малоснежная зима, жаркое сухое лето, короткие весна и осень.

Климат территории – континентальный, с умеренным увлажнением. Для формирования экосистем важное значение имеют теплоэнергетические характеристики (температура) и атмосферное увлажнение. Для изучаемой территории характерны: среднегодовая температура воздуха от 2,9 до 3,9°С, средняя температура января -11,7°С, средняя температура июля 20,6°С, сумма биологически активных температур 2287-2420°С. Годовое количество осадков – 480-500 мм. Коэффициент увлажнения, т.е. отношение суммы выпадающих за год осадков к годовой испаряемости, несколько менее 1. Таким образом, территория по климатическим условиям относится к зоне лесостепи.

В бассейне р. Сок в верхнем и среднем течении много родников (места разгрузки карбонатных пород казанского яруса). Их вода обогащена серными соединениями.

Преобладание среди почвообразующих пород карбонатных отложений обусловило широкое распространение дерново-карбонатных почв, остаточно-карбонатных каменисто-щебневатых черноземов, насыщенность почв карбонатами. Вследствие неглубокого залегания известняков получили развитие карстовые явления.

Наиболее распространенными почвами в бассейне р. Сок являются черноземы типичные и выщелоченные, преимущественно среднего и тяжелого механического состава, сформированные под злаково-разнотравными степями. Они содержат до 12-15% гумуса. В доагрикультурный период растительность разнотравно-злаковых степей была представлена ассоциациями с преобладанием типчака, мятлика, келерии, ковылей и богатого разнотравья. Для Сокских гор характерна карбонатно-каменистая степь.

3.1. Геоботаническая характеристика

Речные долины характеризуются пестротой экологических условий, разновозрастностью местообитаний и динамичным комплексным растительным покровом. В основу классификации растительности речных долин положены: растительность, тип местообитания, происхождение и распространение по речной долине.

Река Сок характеризуется богатым растительным покровом, большое распространение получили пойменные леса с преобладанием дуба, язя, осокоря, ветлы и ряда других древесных пород. Промышленным рубкам эти леса практически не подвергаются и не могут давать много древесины, но служат источником дебильного корня, гуттаперченосных корней бересклета бородавчатого, содержат большое количество пищевых (боярышник кроваво-красный, ежевика, вишня степная, малина, калина, терновник, черная смородина, черемуха) и других хозяйственно ценных растении. Однако наибольшее значение для местного населения имеют сокские луга и пастбища, которые почти целиком представляют здесь природные кормовые площади, так как водоразделы распаханы и дикая растительность сохранилась преимущественно в оврагах. Растительность долины р. Сока используется далеко не полно. Многие растительные комплексы не эксплуатируются.

Долина реки изучена от верховья до устья, в результате чего выделены следующие ее районы.

1. Район от восточной границы Самарской области до с. Ново-Ермаково. В этом районе растительность практически отсутствует в связи с распаханностью поймы.

2. Район между с. Ново-Ермаково и Исаклы. Появляются участки первой надпойменной террасы. В этом районе описаны следующие 4 растительных комплекса:

Комплекс среднезональных пойменных лесов, который характеризуется гидрофильностью и слагается березово-ольховыми (*Alnus glutmosa-Betula pubescens*), ольхово-вязовыми (*Uimus laevis-Alnus glutinosa*) лесами, осинниками, зарослями черемухи. В подлеске – черная смородина, черемуха, кустарниковые ивы. В травостое преобладает крапива двудомная, высокорослые лесные зонтичные, злаки, осоки и широколистное разнотравье, в значительной степени гидрофильное. Местами в изобилии встречается недотрога (*Impatiens noli tangere*), относящаяся к редким видам Самарской области. Следует отметить наличие папоротниковых, которые не характерны для пойменных лесов. Леса занимают выравненные площадки или положительные элементы рельефа. Почва черноземовидная суглинистая. Лесная подстилка не превышает толщины 1-2 см, наилок тонкий.

Комплекс среднезональных пойменных лугов представлен осоковыми и крупноразнотравными формациями. Травостой последних плотный, высокий, изобилует грубостебельным разнотравьем. Среди доминирующих растений отмечается девясил высокий (*lnula helenium*), достигающий 2-метровой высоты, лабазник (*Filipendula*

ulmaria), многочисленные представители осок, гидрофильных злаков и ряд других видов. По видовому составу среднезональные луга напоминают травяной покров лесных полян и опушек, что свидетельствует об их лесном происхождении. Располагаются они на тех же элементах рельефа, что и леса, но по площади значительно им уступают.

Незначительное распространение между селами Ново-Ермаково и Исаклы имеет *комплекс растительности озер-стариц и безводных котловин*. В комплекс входят болотистые осоковые луга, частично выкашиваемые на сено, и ассоциации тростника, рогоза, камыша. Последние тяготеют к побережьям водоемов.

Комплекс растительности приматериковой поймы мало распространен, представлен ольховыми и березово-ольховыми заболоченными лесами.

3. Район сел Исаклы и Сергиевск в геоморфологическом отношении отличается меньшей увлажненностью и большей шириной долины. Первая надпойменная терраса сплошной полосой тянется по левому и отдельными участками встречается по правому берегам. Растительный покров представлен аналогичными комплексами, но менее гидрофилен.

Комплекс среднезональных лесов слагают липовые (*Tilia cordata*), осиново-липовые (*Tilia cordata* - *Populus tremula*) и осиновые насаждения (*Populus tremula*). Встречаются дубравы и даже заросли степных кустарников (*Spiraea crenata*, *Cerasus fruticosa*), что свидетельствует о некоторой ксерофитизации пойменной растительности. Кустарниковый ярус имеет иной видовой состав: боярышник (*Crataegus sanguinea*), жестер слабительный (*Rhamnus cathartica*), бересклет бородавчатый (*Evonymus verrucosa*), клен татарский (*Acer tataricum*), крушина ломкая (*Frangula alnus*), черемуха (*Padus racemosa*), шиповник (*Rosa cinnamomea*). Травостой имеет обычный вид для пойменных лесов. В нем получили большое распространение полукустарник ежевика (*Rubus caesius*), ландыш (*Convallaria majalis*), подмаренник (*Galiurn boreale*), исчезли папоротники. Рельеф, как и на предыдущем отрезке, выравненный, почва черноземовидная, затопление ежегодное.

Комплекс среднезональных лугов отличается разнообразием. По понижениям распространены болотистые осоковые и ситняговые луга, на положительных элементах рельефа встречаются настоящие и остепненные луга, в травостое которых преобладают как влаголюбивые – полевица обыкновенная (*Agrostis alba*) и мятлик болотный (*Poa palustris*), так и ксерофильный злак типчак (*Festuca sulcata*) в сопровождении разнотравья. Луга ежегодно выкашиваются, причем лучшее в кормовом отношении сено дают положительные элементы рельефа, где усиливаются злаки и обогащается бобовыми разнотравье. Наибольшие урожаи сена тяготеют к болотистым лугам.

Комплекс растительности озер-стариц не отличается от подобного же комплекса предыдущего района, расположенного выше села Исаклы.

4. Район села Сергиевск (участок реки) характеризуется разновидностью долины и сложностью растительного покрова. Река в указанном районе более полноводная, геологически деятельная, и влияние ее на растительность возрастает. Пойма становится высокой, с хорошо выраженным гривистым рельефом. Ее экологические условия становятся сложнее: кроме среднезональных условий, которые распространены выше по течению, здесь появляются приречнозональные. Наряду с первой надпойменной террасой, повсеместно выраженной, отмечается и вторая надпойменная терраса. Усложнение речной долины привело к появлению новых растительных комплексов.

Комплекс приречнозональной растительности долгопоемных местообитаний представлен зарослями кустарниковых ив иногда с осокорем или несложившимися травянистыми группировками. Этот комплекс встречается на самой нижней, молодой пойменной ступени, формирующейся поймы. Последняя чаще встречается и лучше выражена в нижней части указанного района.

Примером хорошо выраженной формирующейся поймы может служить ее участок у с. Ветлянки (ниже с. Красный Яр). Она имеет гривистую поверхность,

подразделяющуюся на три высотные ступени. Первая – нижняя, наиболее близкая к воде ступень, сложена слоистыми аллювиальными песками. Благодаря низкому положению в рельефе, она надолго и на большую глубину затопляется весенними паводковыми водами. Растительность здесь редкая, разомкнутая, образованная единичными, далеко друг от друга стоящими экземплярами сорняков и некоторых гидрофитов. Вторая ступень на 1,5 м выше в рельефе, сложена теми же почвогрунтами, имеет сходный по составу растительный покров, но более густой. Третья верхняя ступень более чем на 1м возвышается над второй. С нижележащими ступенями она сходна по построению почвогрунтов и травянистому покрову, но отличается наличием зарослей кустарниковых ив и осокоря.

Формирующаяся пойма в верхней части района слабее развита и более просто устроена. У с. Лебяжинки, например, она представляет узкую отмель шириной 1-3 м или пологий склон к реке и покрыта зарослями ивовых кустарников.

Комплекс приречнозональной растительности коротко-пойменных-местообитаний образован высокоствольными ветлово-осокоревыми лесами (*Populus nigra-Salbx alba*) и встречающимися разнотравно-злаковыми лугами. Приречно-зональные леса характеризуются полным или почти полным отсутствием подлеска. Травостой не густой, до 50-70 см высотой, слагается злаками, осоками, разнотравьем луговой и лесной флоры. Распространена ежевика. Комплекс располагается на ступени развитой поймы, достигающей 5-6 м над меженью. Паводковые воды не заходят или происходит затопление гривистой поверхности прирусловой зоны на короткий период. Почвы супесчаные, в различной степени гумусированные, слоистые. Под супесчаным перестилом на разной глубине находятся черноземовидные, болотистые и другие пойменные почвы.

Комплексы среднезональных пойменных лесов сложены дубовыми, вязовыми, липовыми и осиновыми насаждениями. В отличие от растительного комплекса предыдущего района долины р. Сок наиболее распространены дубравы и вязовые леса, которые ранее отсутствовали. Кустарниковый ярус сходен с таковым липовых и осиновых лесов между селами. Исаклы и Сергиевск, но богаче по видовому составу. Значительно распространение получают клен татарский (*Acer tataricum*), степная вишня (*Cerasus fruticosa*), шиповник (*Rosa cinnamomea*), появляются жимолость татарская (*Lonicera tatarica*), терн (*Primus spinosa*), спирея (*Spirea crenata*), калина (*Viburnum opulus*). Травяной покров на разных участках имеет значительные различия, включая в себя 150 видов. Рельеф гривистый, почва пойменная черноземо-видная суглинистая, затопление ежегодное, но высокие гривы часто поднимаются выше уровня паводков.

Комплекс среднезональных пойменных лугов напоминает среднезональные пойменные луга предыдущего района долины, но отличается некоторой ксерофитизацией и усилением злаковости травостоя. Комплекс занимает средне-зональную гривистую пойму, чередуясь с среднезональными лесами. Эксплуатация лугов выражается в «сенокошении» с последующим выпасом скота.

Комплекс растительности суходольных пойменных местообитаний представлен остепненными лугами, зарослями степных кустарников с остатками выпавших пойменных лесов в виде одиночных суховершинящих деревьев, пней, мезофильных кустарников подлеска, лесных трав и т.д. Комплекс обычно расположен на высоких гривах или повышенных площадках поймы, куда полые воды не достигают. Ксерофитизированный низкий травостой для скашивания не пригоден и используется на выпас.

Комплекс растительности пойменных озер-стариц более разнообразен. На пологих берегах стариц отмечены три пояса растительности. Ближе к воде располагаются осоковые, ситняговые и другие болотистые луга, выше по склону – полевицево-клеверные, затем типчаковые или иные остепненные луга. Нижние два пояса выкашиваются,

верхний остепненный пригоден для корма скоту. Почвы пойменные, илистые, от болотистых до черноземовидных. По берегам озер заросли кустарниковых ив.

Комплекс приматериковой пойменной растительности в районе утрачивает ольху. Получают распространение иво-березовые леса (*Betula pubescens*-*Salix cinerea*) в комплексе с мелкими участками различных болотистых лугов.

Комплекс степной растительности первой надпойменной террасы представляет сложную мозаику разнотравно-злаковых остепненных и галофитных группировок, а также зарослей степных кустарников. Почвенный покров составляет черноземы, чередующиеся с пятнами солонцеватых почв и солонцов. Степные массивы с черноземными почвами распахиваются, галофитные комплексы на солонцеватых почвах используются под выпас.

Комплекс растительности побережий пойменных озер-стариц напоминает растительность пойменных стариц, но отличается более резкой, отчетливой поясностью, усилением ксерофильных и галофильных элементов. На обширных низких берегах и террасовых стариц доминирует кермек (*Limonium gmelini*) и ячмень Богданов (*Hordeum bogdanii*), занимающие значительные площади. Последние в поймах встречаются, но не получают широкого распространения.

Комплекс западинных террасовых лугов состоит из различных осоковых, злаковых и других болотистых лугов с высокорослыми зарослями камыша, тростника, рогоза. Эта гидрофильная растительность занимает – неглубокие, но плоские и порой обширные понижения, дно которых скрыто водной поверхностью или сухое. Близость грунтовых вод и болотистые почвы создают условия для гидрофитов. Комплекс дает строительный материал и плохое осоковое сено.

Комплекс западинных террасовых лесов в долине р. Сок не имеет широкого распространения, слабо выражен и порой трудно отличим от облесенных стариц. Этот комплекс слагают осинники и заросли пепельной ивы (*Salix cinerea*), которые располагаются поясами по берегам плоских понижений с осочниками и озерами в центре.

Комплекс растительности террасовых песчаных наносов расположен в низовьях долины, где представлен обширными сосновыми борами, смешанными лесами и разомкнутыми травянистыми псаммофитами на безлесных пространствах.

Интетерес представляют представители второй группы, к которой относятся растительные комплексы, располагающиеся ниже с. Сергиевск и отсутствующие на других участках долины. Приуроченность их к низовьям р. Сок обусловлена естественно-историческими (геоморфологическими, почвенно-грунтовыми, гидрологическими и др.) причинами. Приречно-зональная растительность исчезает в верхних трех района по причине отсутствия приречных (в экологическом, а не в топографическом отношении) условий. Относящаяся к этой группе комплексов растительность пойменных суходольных местообитаний не может быть в верхних частях долины в связи с выравненностью рельефа и отсутствием высокоприподнятых участков, куда не доходят полые воды. Распространение растительных комплексов по поперечнику долины р. Сока проявляют свои закономерности.

Растительный комплекс приречных долгопоемных мест обитаний занимает самое низкое положение в рельефе формирующейся поймы. Это местообитание относится к наиболее молодым.

Пойменные леса, пойменные луга, как среднезональные, так и приречнозональные (короткопоемные), а также комплек суходольной растительности располагаются на ступени поймы и являются следующими по возрасту в процессе формирования долины. Растительность побережий пойменных озер-стариц стоит отдельно: в отличие от прочих комплексов поймы она не имеет генетических связей с растительностью формирующейся поймы, так как последняя, благодаря своей молодости, не имеет стариц.

Террасовая растительность характеризуется разновозрастностью и неоднородностью по происхождению. Комплекс растительности первой надпойменной террасы – результат остепнения и галофитизации пойменной растительности (Тимофеев, 1959). Несомненно, пойменное происхождение имеет растительность побережий террасовых озер-стариц.

Выявлен процесс остепнения основных растительных комплексов. Последний в различных экологических условиях своеобразен и имеет разный хозяйственный эффект. В пойменных условиях, т.е. при регулярном затоплении весенними паводковыми водами, остепнение выражается в ксерофитизации растительности внутри комплексов. В пойменном лесу это сопровождается сменой пород от кустарниковых ив и ольхи к дубу и вязу, в травостое лугов гидрофильные осоки уступают место злакам, что ведет к улучшению кормовых качеств и некоторому понижению урожайности сена.

При наступлении суходольных условий (в результате углубления речного русла и понижения уровня паводков) происходит смена пойменных растительных комплексов суходольными степными. Пойменный лес при этом гибнет и сменяется степью, луга из сенокосных угодий превращаются в степные пастбища. Остепнение связано с галофитизацией растительности, которая обусловлена явлениями засоления-рассоления почв и наиболее ярко проявляется на первой надпойменной террасе, где распространены комплексы степной и галофитной растительности. Следовательно, при осушных работах необходимо учитывать возможность гибели пойменной растительности и засоления почв.

Таким образом, все растительные комплексы долины р. Сока можно разбить на три группы:

1. Водоохранные и грунтоукрепляющие леса (приречнозональные коротко- и долгопойменные, среднезональные пойменные западинные террасовые леса, боры на песках).

2. Луга и пастбища, используемые без применения мелиоративных мероприятий (среднезональные пойменные луга, степная растительность суходольных пойменных и террасовых местобитаний).

3. Растительные комплексы, эксплуатация которых требует коренных улучшений (растительность побережий пойменных террасовых озер, западинные террасовые луга, комплекс галофитной растительности).

Улучшение первых двух групп комплексов возможно обычными методами лесоводства и луговодства. Для хозяйственного освоения третьей группы необходимы специальные приемы. Использование этих территорий значительно увеличит кормовую базу, а следовательно, и продукцию местного животноводства.

3.2. Растительность водоохранной зоны

Исследования природных условий водоохранной зоны р. Сок и оценка антропогенной трансформации наземных и прибрежно-водных экосистем на ее территории были проведены на ключевых участках, заложенных в верхнем (от истока до с. Камышла), среднем (от с. Камышла до с. Красный Яр) и нижнем (от с. Красный Яр до устья) течении реки.

Проведенные исследования показали, что в водоохранной зоне р. Сок встречаются как различные типы антропогенно измененных (сельскохозяйственные угодья, пастбища, жилая застройка и др.), так и естественные природные комплексы: заливные и суходольные остепненные луга, пойменные древесно-кустарниковые насаждения.

На водоразделах, а также в нижних частях водораздельных и долинных склонов были распространены леса (широколиственные и сосняки сложные). Под лесными ассоциациями сформированы темно-серые лесные и дерново-карбонатные почвы. Среди лесных фитоценозов преобладали дубравы с большим или меньшим участием клена

остролистного, липы, березы. Подлесок состоит из лещины, рябины, крушины, бересклета. В травяном покрове преобладают лесные виды: сныть обыкновенная, осока волосистая, ясменник душистый.

В настоящее время естественная растительность водоразделов сильно изменена деятельностью человека. Основной фон здесь создают пахотные сельскохозяйственные угодья.

В пойме р. Сок преобладают аллювиальные дерновые почвы, их разнообразие находится в тесной связи с водным режимом реки. В верховье, где пойма уже не подвергается ежегодным разливам, распространены аллювиальные дерновые карбонатные почвы. В среднем течении, где наблюдается весеннее затопление, в почвенном покрове распространены аллювиальные луговые почвы. Встречаются также засоленные и солонцеватые почвы. В устьевой части р. Сок в условиях длительного весеннего паводка формируются различные почвенные разности, преобладают аллювиальные слоистые почвы и наносы разного химического состава.

Характерной чертой аллювиальных почв долины р. Сок является высокая гумусность. Растительность поймы очень разнообразна и тесно связана с почвенным покровом, глубиной грунтовых вод и продолжительностью половодья. Это влажнотравные луга, заболоченные луга, болота, остепненные луга, иногда - с галофитной растительностью. Вследствие выпаса скота травостой луговых фитоценозов сильно изменен.

Верхнее течение (фото 2-П, см. вклейку 2)

Русло р. Сок вблизи от истока представляет собой ручей, постепенно расширяющийся к среднему течению. Состояние природных комплексов водоохранной зоны р. Сок в верхнем течении характеризуют ключевые участки близи истока (участок 1), в окрестностях с. Стародомосейкино (участок 2), в месте впадения в р. Сок притока – р. Малый Сок (участок 3), в окрестностях с. Ново-Усманово (участок 4), в окрестностях с. Камышла (участок 5).

Участок 1 расположен в верхнем течении р. Сок, недалеко от истока. В переделах водоохранной зоны распространены злаково-разнотравные луга. По берегам реки произрастают заросли ив (пепельная, ломкая, трехтычинковая). В береговой зоне распространены луговые и сорные виды: щавель конский, чертополох, мятлик луговой, крапива двудомная, паслен сладко-горький, лютик ползучий, бодяк полевой, горошек мышиный. На заболоченных участках распространен хвощ речной.

Крутые склоны реки также занимают луговые ассоциации. В их составе преобладают сорные и луговые виды: пырей ползучий, крапива двудомная, пустырник, клевер луговой, герань луговая, чертополох, смолевка белая, репешок, горошек мышиный, бодяк полевой, зверобой продырявленный.

В пределах водоохранной зоны распространены остепенные луга. В состав травостоя входят сорные, луговые и степные виды: полыни горькая, австрийская и обыкновенная, тысячелистник обыкновенный, бодяк полевой, вьюнок луговой, льнянка обыкновенная, мятлик луговой, лапчатка серебристая, икотник серо-зеленый, чертополох, звездчатка злаковая, одуванчик лекарственный, кострец безостый, короставник полевой, лопух большой, подорожник средний, пастушья сумка, ковыль перистый и др.

Участок 2 расположен в окрестностях с. Стародомосейкино. Берега реки крутые, высотой 1-2 м. Вблизи береговой зоны произрастают ива белая (средняя высота – 24 м, диаметр 90 см), ольха черная (высота – 9 м, диаметр – 16 см).

По берегам и склонам реки произрастают: мать-и-мачеха, полынь обыкновенная, овсяница луговая, кострец безостый, тимофеевка луговая, тысячелистник обыкновенный, герань луговая, крапива двудомная, цикорий обыкновенный.

К берегам примыкают злаково-разнотравные луга. В составе травостоя преобладают сорные и луговые виды: пырей ползучий, герань луговая, мать-и-мачеха, тимофеевка луговая, тысячелистник обыкновенный, ежа сборная, горошек мышиный,

мятлик луговой, лопух большой, репешок, гравилат городской, полевица гигантская, чертополох, подорожник большой, хвощ полевой, лапчатка гусиная, цикорий обыкновенный и др.

На правом берегу р. Сок в пределах водоохранной зоны к берегам примыкают уступы так называемых Сокских гор, по склонам которых преобладает лугово-степная растительность. В составе травостоя встречаются степные и луговые виды, и, как следствие, выпаса, сорные: полыни – горькая и австрийская, ковыль-волосатик, тимьян, качим высочайший, короставники обыкновенный и полевой, тонконог, мелколепестник канадский, мордовник шароголовый, лапчатка серебристая, тысячелистник обыкновенный, овсяница валисская, репешок, подорожник средний, пырей ползучий.

Участок 3 расположен в месте впадения в р.Сок ее притока – р. Малый Сок.

Берега реки заболочены, на данных участках распространены заросли двукисточника тростниковидного и осоки острой. На мелководьях произрастает сусак зонтичный. Вблизи береговой зоны распространены заросли кустарниковых ив (пепельная и трехтычинковая), а также произрастает смородина черная и черемуха. Встречается также ива белая (высота – 18-22 м, диаметр около – 60 см). По берегам реки на более дренированных участках произрастают: щавель конский, зюзник европейский, дербенник иволистный, вербейник обыкновенный, хмель, крапива двудомная, подмаренник цепкий, таволга вязолистная, бодяк полевой, герань луговая, лопух большой, паслен сладко-горький.

К берегам примыкают сенокосные луга, здесь доминируют: крапива жгучая, ежа сборная, кострец безостый, лопух большой, таволга вязолистная, горошек мышиный, подмаренник цепкий, щавель конский, лапчатка гусиная, щучка дернистая, пырей ползучий, гравилат речной, тысячелистник обыкновенный, цикорий обыкновенный, лютик ползучий.

Участок 4 расположен ниже по течению от места впадения в р. Сок притока – р. Малый Сок, в окрестностях с.Ново-Усманово. На правом высоком берегу имеются древесно-кустарниковые насаждения, в составе которых ива белая (высота – до 24 м), клен ясенелистный (высота – 14 м), кустарниковые виды ив. В прибрежной зоне по левому и правому берегу произрастают: дербенник иволистный, двукисточник тростниковидный, лютик ползучий, ежеголовник прямой, горец змеиный.

На лугах (выгонах), расположенных в водоохранной зоне, произрастают луговые и сорные виды: тысячелистник обыкновенный, мятлик луговой, кульбаба осенняя, крапива жгучая, подорожник большой, пастушья сумка, лапчатка серебристая, горец птичий, кострец безостый, цикорий обыкновенный, полынь австрийская, хвощ луговой.

Участок 5 расположен в окрестностях с. Старая Камышла. По левому и правому берегу распространены древесно-кустарниковые насаждения. В их состав входят кустарниковые (пепельная, трехтычинковая) и древовидные (белая) ивы, клен ясенелистный, осина. В подлеске встречается лещина. Покров в ивняковых насаждений редкий, проективное покрытие составляет 5-8%. В составе травостоя входят: дремлик широколистный, вербейник луговой, крапива двудомная, борщевик, горошек мышиный, хвощ луговой, полынь обыкновенная, двукисточник тростниковидный, норичник шишковатый, хмель, лопух большой, вербейник обыкновенный.

В пределах водоохранной зоны расположены сенокосные луга и участки пахотных почв с посадками сельскохозяйственных культур (картофель и др.). В луговых сообществах преобладают луговые и сорные виды: кострец безостый, мятлик луговой, пырей ползучий, мать-и-мачеха, щавель конский, тысячелистник обыкновенный, вьюнок полевой, лопух большой, бодяк полевой, цикорий обыкновенный и др.

Среднее течение (фото 3-П, см. вклейку 2)

Состояние природных комплексов водоохранной зоны р. Сок в среднем течении характеризуют ключевые участки в окрестностях г. Сургут (участок 6), в окрестностях с. Сергиевск (участок 7).

Участок 6 расположен в окрестностях г. Сургут. По берегам и на мелководьях распространены заросли рогоза узколистного, тростника обыкновенного, двукисточника тростниковидного, ежеголовника прямого, частухи подорожниковой, сусака зонтичного, манника. Встречаются также ситники и осоки. На более дренированных участках берега произрастают: крапива жгучая, мята полевая, щавель конский, дербенник иволистный, полевица гигантская, подорожник большой. Также распространены заросли кустарниковых и древовидных ив.

В воде произрастают гидрофиты: рдесты гребенчатый и пронзеннолистный, ряска малая, водокрас лягушачий, многокоренник обыкновенный, кубышка желтая.

На лугах, прилегающих к берегам преобладают луговые и сорные виды: амарант, пырей ползучий, ежа сборная, подорожник большой, полевица гигантская, лапчатка гусиная, двукисточник тростниковидный, клевер ползучий, тысячелистник обыкновенный, мята полевая, щавель конский, горец птичий.

Участок 7 расположен в окрестностях с. Сергиевск. По берегам распространены заросли кустарниковых ив и ивы белой. Вблизи берегов и заболоченным участкам произрастают: щавель прибрежный, рогоз узколистный, мята полевая, стрелолист обыкновенный, тростник обыкновенный, дербенник иволистный, зюзник европейский, сусак зонтичный, частуха подорожниковая, паслен сладко-горький.

Среди гидрофитов на данном участке встречаются: кубышка желтая, рдесты гребенчатый, блестящий и пронзеннолистный, роголистник погруженный, ряска малая, водокрас лягушачий, многокоренник обыкновенный, кубышка желтая, кувшинка белоснежная.

На участке луга, примыкающем к реке, отмечается прогон и выпас скота. В результате пасквальных воздействий в составе луговых ассоциаций преобладают сорные виды: горец птичий (проективное покрытие – 40%), цикорий, кульбаба осенняя, лопух большой, щавель конский, бодяк полевой, подорожник большой, вьюнок полевой, частуха подорожниковая, полевица гигантская, лапчатка гусиная, полынь высокая.

Нижнее течение (фото 4-П, см. вклейку 2)

Состояние природных комплексов водоохранной зоны р. Сок в нижнем течении характеризуют ключевые участки в окрестностях с. Красный Яр (участок 8) и ниже по течению, 2 км от с. Красный Яр (участок 9).

Участок 8 расположен в окрестностях с. Красный Яр. Территория представляет собой развитую пойму р. Сок. По берегам распространены кустарниковые и древовидные виды ив. В прибрежной зоне на заболоченных участках произрастают: стрелолист обыкновенный, ежеголовник прямой, сусак зонтичный, хвощ речной, горец змениный, осока острая. На берегах преобладают: вьюнок полевой, вербейник обыкновенный, полынь высокая, паслен сладко-горький, хвощ луговой.

В воде обычны гидрофиты: рдесты гребенчатый, курчавый и пронзеннолистный, наяда большая.

Участок 9 расположен ниже по течению, 2 км от с. Красный Яр. В прибрежной зоне произрастают: сусак зонтичный, ежеголовник прямой, камыш озерный, осока острая, стрелолист обыкновенный. На песчаных почвах (пляж) распространены: белокопытник, мята полевая, куриное просо, подорожник большой, полынь высокая, хвощ луговой.

В воде произрастают гигрофиты: роголистник погруженный, наяда большая, рдесты пронзеннолистный и гребенчатый.

На левом и правом берегу распространены древесно-кустарниковые насаждения из ив белой, пепельной и трехтычинковой, тополя дельтовидного.

Участок является зоной для отдыха жителей г. Самары и других населенных пунктов Самарской области.

3.3. Рекреационная оценка

Территория водоохранной зоны согласно допустимым нормам интенсивности рекреационной нагрузки (Общесоюзные нормативы.., 1992) пригодна для рекреационных целей, включая участок нижнего течения реки (ниже с. Красный Яр).

4. ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ И ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКИ СОК

Основные гидрографические и гидрологические данные реки и ее притоков, определенные на основании экспедиционных исследований, литературных (Быков, Васильев, 1972; Водохозяйственные балансы.., 2005) и картографических материалов, представлены в табл. 1-П и 2-П).

Таблица 1-П. Гидрографические и гидрологические характеристики р. Сок

№	Основные показатели	Значения
1.	Географические координаты положения бассейна, φ, λ	**Исток:** 52°45’ в.д. 54°13’ с.ш. **Устье:** 50°06’ в.д. 53°30’ с.ш.
2.	Средняя высота бассейна над уровнем моря, H	140 м
3.	Площадь бассейна реки, F	11 700 км^2
4.	Количество притоков	91
5.	Общее падение реки	209 км
6.	Уклон реки, i	6-0,1‰
7.	Длина реки, L	375 км
8.	Ширина реки, B: в верховье в устьевой части	 0,5 м до 100 м
9.	Глубина, h: в верховье в устьевой части	 0,3-0,5 м 2,5-5,0 м
10.	Скорость течения, v (межень)	0,2-0,4 м/с
11.	Среднегодовой расход воды, Q: 50% обеспеченности 95% обеспеченности	 33,1 м^3/с 15,31 м^3/с
12.	Среднегодовая мутность, ρ	г/м^3
13.	Годовой объем сточных вод, поступающих в реку, V	15,36 млн. м^3/год
14.	Масса загрязняющих веществ, поступающих в реку со сточными водами	1929,2 т/год

Гидрографическая сеть бассейна р. Сок широко развита. В реку впадает 91 приток; наиболее крупным является Кондурча, площадь водосбора которой 4360 км^3, длина – 294 км, общее падение – 172 м, средний уклон – 0,6‰, средняя высота водосбора – 137 м. В бассейне р. Сок по проектам построено 9 водохранилищ и 28 прудов, общей емкостью 45,69 млн. м^3. Самое крупное водохранилище – Кондурчинское; площадь водного зеркала – 6930 тыс. м^2, объем водной массы – 26,400 млн. м^3.

Водный режим реки и ее притоков характеризуется высоким весенним половодьем, редкими и невысокими летними и осенними паводками, и продолжительной летнее-осенней и зимней меженью. Наиболее характерной фазой водного режима р. Сок является весеннее половодье, в период которого проходит 60-80% годового стока.

Весеннее половодье начинается в среднем в первых числах апреля и продолжается около 30 дней. Пик половодья проходит в первой половине апреля, после чего устанавливается устойчивая и продолжительная межень.

Доля летне-осеннего стока (от годового) составляет 10-30%. Минимальные расходы летней межени наблюдаются обычно в сентябре. Начало зимней межени приходится на середину ноября (табл. 3-П).

Таблица 2-П. Некоторые показатели основных притоков р. Сок

Притоки	Местоположение	Длина км	Площадь водосбора,км^2
Кондурча	правый берег, 33 км	294	4360
Сургут	левый берег, 179 км	97	1450
Большой Суруш	правый берег, 214 км	44	527
Черновка	левый берег, 92 км	37	329
Уксада	правый берег, 292 км	31	148
Орлянка	левый берег, 135 км	30	258
Тростянка	левый берег, 175 км	26	105
Хорошенькая	левый берег, 25 км	25	168
Игарка	правый берег, 227 км	22	169

Таблица 3-П. Водный сток р. Сок разной обеспеченности в створе 30 км от устья* (по: Водохозяйственные балансы.., 2005)

Среднегодовой сток					Среднемесячный минимальный сток			
					Летне-осенний период			Зимний период
Обеспеченность, %	норма	50	75	95	50	75	95	95
м^3/с	35,3	33,1	24,9	15,31	10,60	6,60	3,06	2,81
млн. м^3	1113,0	1044,0	785,0	483,0	27,90	17,4	8,06	7,40

*Примечание:** – зона выклинивания подпорных вод Саратовского водохранилища.

Таблица 4-П. Среднегодовой водный баланс р. Сок (по: Водохозяйственные балансы рек…, 2005)

Приходная часть баланса	
Составляющие	млн. м^3/год
Сток с верхнего участка (из Оренбургской области и Кондурчинского водохранилища)	33,879
Сток, формирующийся на участке	964,178
Водоотведение (сброс использованных вод)	15,973
Отдача прудов и водохранилищ	0,022
Итого	1014,052
Расходная часть баланса	
Составляющие	млн. м^3/год
Водопотребление из поверхностных источников	24,787
Уменьшение поверхностного стока за счет отбора подземных вод	4,037
Санитарный попуск	217,243
Итого	246,067
Избыток	+767,985
Степень использования поверхностного стока, %	2,9
Сток, поступающий на нижний участок	985,228

Таблица 5-П. Водный сток притоков р. Сок (по: Водохозяйственные балансы рек…, 2005)

№ п/п	Река	Годовой сток		№ п/п	Река	Годовой сток	
		$м^3/с$	млн. $м^3$			$м^3/с$	млн. $м^3$
1.	Байтуган	0,49	1,54	17.	Черная	0,17	5,36
2.	Камышла	0,39	12,3	18.	Захарка	0,16	5,05
3.	Уксада	0,71	22,4	19.	Козловка	0,78	24,6
4.	Сосновка	0,45	14,2	20.	Чесноковка	0,58	18,3
5.	Телегас	0,66	20,8	21.	Шунгут	0,82	25,9
6.	Байтермишка	0,42	13,2	22.	Сургрт	4,60	145,1
7.	Игарка	0,76	24,0	23.	Орлянка	0,40	12,6
8.	Исаклинка	0,21	6,62	24.	Каргалка	0,10	3,15
9.	Сухой Суруш	0,12	3,78	25.	Черновка	12,9	0,41
10.	Хмелевка	0,26	8,20	26.	Тростянка	0,20	6,31
11.	Малый Сургуш	0,60	18,9	27.	Хорошенькая	0,40	12,6
12.	Большой Сургуш	2,15	67,8	28.	Такмалинка	0,22	6,94
13.	Боровка	0,53	16,7	29.	Шлама	24,0	0,76
14.	Чембулатка	0,20	6,31	30.	Липовка	3,05	96,2
15.	Кандабулак	0,87	27,4	31.	Буян	0,60	18,9
16.	Кобельма	0,14	4,42	32.	Кондурча	391,0	12,4

Питание р. Сок происходит в основном за счет стока, формирующегося в бассейне реки. Это – атмосферные осадки, накопившиеся в снежном покрове, и дождевые, а также подземные воды, поступающие из водоносных горизонтов осадочной толщи (табл. 4-П).

Среднегодовые стоки притоков резко отличаются друг от друга в зависимости от водосборной площади (табл. 5-П).

5. ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКИ СОК

Гидрохимический фон реки формируется, главным образом, за счет привноса химических веществ с притоками, поверхностным стоком и выщелачиванием выстилающих речную долину осадочных пород. На фоновые показатели оказывают влияния последствия хозяйственной деятельности на водосборе. Накапливающиеся на водосборной площади биогенные элементы сносятся поверхностным стоком в реку, усиливая процессы естественного эвтрофирования водотока; точечные источники загрязнения способствуют токсическому загрязнению водных масс и донных отложений.

5.1. Антропогенная нагрузка

По выраженной неоднородности качества воды по длине реки, по типу антропогенного воздействия, в р. Сок выделяются следующие участки:

- участок *верхнего течения* реки – от истока реки до с. Ново-Ермаково, слабо подверженный антропогенному воздействию;
- участок *среднего течения* реки – ниже с. Ново-Ермаково до с. Красный Яр, испытывающий воздействие сточных вод от Сергиевской коммунальной компании;

• участок *нижнего течения* – ниже с. Красный Яр до устья реки, находящийся под влиянием потока, поступающего с вышерасположенного участка реки и водных масс Саратовского водохранилища.

В целом р. Сок относится к равнинным рекам, испытывающим слабый антропогенный пресс. Основными источникам поступления загрязняющих веществ в речной водоток являются: сброс городских промышленных и коммунально-бытовых сточных вод и поверхностный сток с водосборной площади (табл. 6-П, 7-П, 8-П; рис. 2-П).

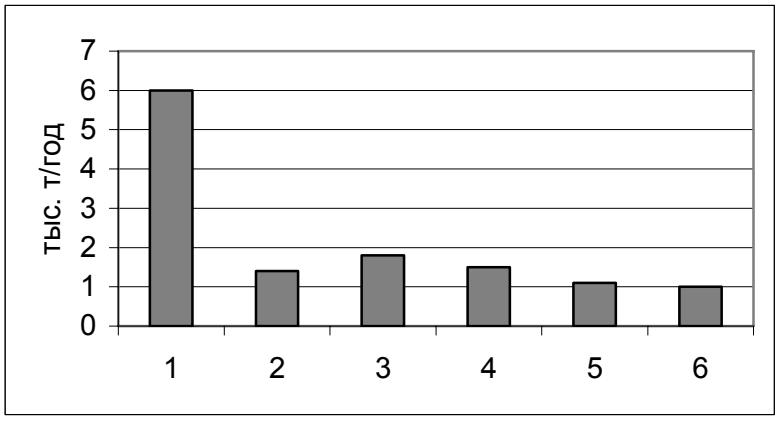


Рис. 2-П. Межгодовая динамика сброса загрязняющих веществ в р. Сок за период 2001-2006 гг. (1-6) - 2001-2006 гг.

Таблица 6-П. Межгодовая динамика сброса сточных вод в р. Сок (млн. м^3/год) (данные госстатотчетов предприятий по форме 2ТП-Водхоз)

Вид сточных вод	Годы					
	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Всего	16,62	16,59	16,50	15,90	11,99	14,87
Загрязненные	7,18	4,42	4,48	3,88	3,56	2,85
Нормативноочищенные	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблица 7-П. Основные предприятия, сбрасывающие сточные воды в р. Сок в 2006 г. (данные госстатотчетов предприятий по форме 2ТП-Водхоз)

Предприятие	Расстояние от устья, км	Годы	Объем сточных вод, тыс. м^3
Верхний участок реки			
МУП «Волжское ЖКХ», Красноярский р-он	3	2002-2006	213,3
ОАО «Ростелеком», Красноярский р-н	32	2002-2006	11,9
Средний участок реки			
МП ПУ ЖКХ «Суходол», Сергиевский р-н	115	2002-2004	1154,5
ООО «Сергиевская коммунальная компания»	115	2005-2006	1315,2
ООО «Сергиевская коммунальная компания»	183	2004-2006	134,8
ООО «Сергиевская коммунальная компания»	185	2004-2006	167,4
ООО «Сергиевская коммунальная компания»	188	2004-2006	123,5
Нижний участок реки			
АООТ Маслодельный завод «Исаклинский»	218	2002-2006	30,9

Таблица 8-П. Межгодовая динамика сброса загрязняющих веществ р. Сок (данные госстатотчетов предприятий по форме 2ТП-Водхоз)

Вещества, тыс.т/год	Годы					
	2001	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**
ХПК	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$БПК_{пол}$	0,14	0,04	0,06	0,05	0,03	0,03
Азот нитритный	0,0006	0,0003	0,0006	0,0007	0,001	0,0004
Азот нитратный	0,03	0,04	0,15	0,09	0,1	0,09
Азот аммонийный	0,00943	0,00692	0,00737	0,00591	0,00506	0,00505
Фосфор общий	0,00701	0,00807	0,00759	0,00660	0,01955	0,00429
Сульфаты	3,89	0,88	1,06	0,86	0,60	0,59
Хлориды	1,90	0,42	0,47	0,46	0,32	0,24
Кальций	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Натрий	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Магний	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Железо	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
НПР	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Фенолы	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
СПАВ	0,0005	0,0006	0,0006	0,0005	0,0001	0,0004
Марганец	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Медь	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Цинк	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Никель	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Хром	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Свинец	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Итого	5,98	1,4	1,75	1,5	1,07	0,96

Из табл. 5-П и рис. 2 (см. вклеку 1) отчетливо видно резкое снижение объема загрязненных сточных вод с 7,18 (1998 г.) до 2,85 млн. $м^3$ (2006 г.) и количества сбрасываемых с ними в реку загрязняющих веществ: 5,98 тыс. т (2001 г.) и 0,96 тыс. т (2006 г.).

5.2. Химический состав воды и донных отложений

В связи с тем, что водные ресурсы р. Сок одновременно используются в различных целях (рекреационных, рыбохозяйственных, хозяйственно-питьевых), для определения состояния воды реки, согласно Постановлению Росгидромета от 22.02.1996 г. № 140-287, взяты наиболее жесткие нормативы ПДК, характерные для водных объектов рыбохозяйственного назначения.

Отбор проб воды производился с поверхностного горизонта на станциях верхнего, среднего и нижнего течения водотока (14 станций, рис. 3-П) в летнюю межень (наиболее жесткий по водности период) в 2001-2004 и 2007 гг.

Определение химического состава воды выполнено гостированными методиками аккредитованной гидрохимической лабораторией «Центр мониторинга водной и геологической среды» (г. Самара).

Из общесанитарных показателей состояния р. Сок определялись прозрачность воды, водородный показатель (pH), содержание растворенного кислорода и биохимическое потребление кислорода.

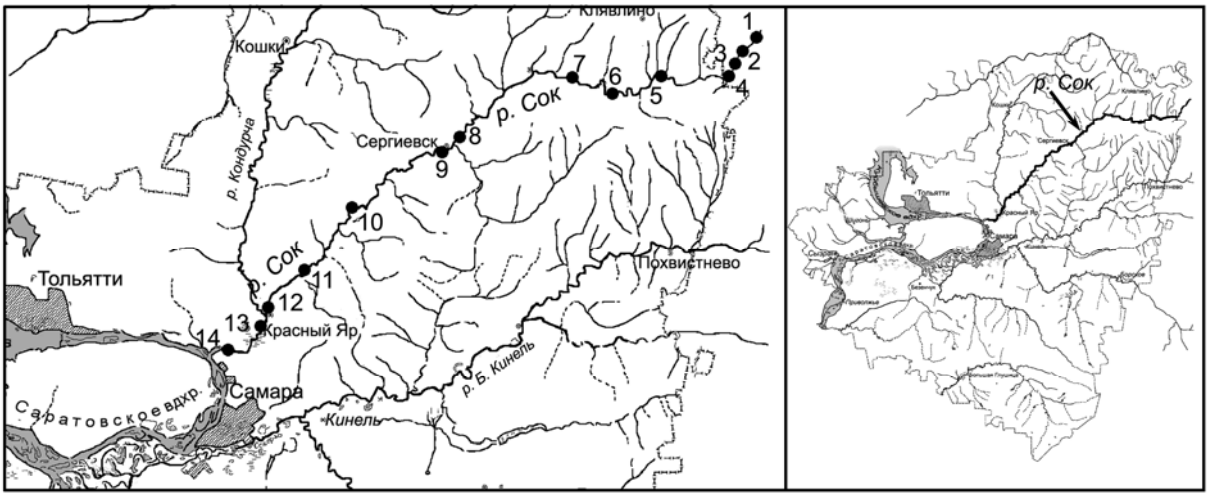


Рис. 3-П. Схема расположения станций отбора проб на р. Сок

Водородный показатель (pH). По концентрации водородных ионов вода р. Сок имеет слабощелочную реакцию (7,65-8,60). Изменчивость pH по длине реки невелика; коэффициент вариации равен 5%. Средние значения pH воды в верхнем течении – 8,17; в среднем – 8,09 и в нижнем – 8,19 (рис. 4-П, см. вклейку 2).

Кислородный режим реки благоприятный для существования и развития гидробионтов; концентрации кислорода за период наблюдений не падали ниже нормативных показателей и находились в диапазоне 7,43-11,30 мг/дм^3, что соответствует 78-113% насыщения. Определенного тренда в изменении содержания растворенного кислорода по длине реки не выявлено; характер его изменчивости неустойчив с относительно невысокой степенью вариабельности. В среднем по участкам прослеживается тенденция повышения величин кислорода от верхнего к нижнему - 7,84; 9,20; 9,70 мг/дм^3, соответственно (рис. 4-П, см. вклейку 2).

Биохимическое потребление кислорода. Содержание лабильной фракции органического вещества ($БПК_5$) в среднем не превышает установленные для природных вод рыбохозяйственного назначения нормативы и лишь в верхнем течении реки достигает величины ПДК (рис. 4-П, см. вклейку 2). По концентрации $БПК_5$ вода р. Сок в верхнем и среднем течении характеризуется как «чистая», в нижнем – «умеренно загрязненная».

Общая минерализация воды в целом для реки не превышает значение рыбохозяйственного ПДК и находится в диапазоне 321-970 мг/дм^3. Наибольшие значения минерализации (800-977 мг/дм^3) характерны для среднего течения реки, минимальные (321-609 мг/дм^3) – для приустьевого участка. По соотношению главных ионов вода реки (табл. 9-П) относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция (Алекин, 1977). Изменения в соотношении ионного состава и общей минерализации воды связано с химическим составом осадочных пород бассейна реки и влиянием в среднем течении сбросов сточных вод.

Соответственно росту минерализации изменяется и жесткость воды: на верхнем участке реки вода характеризуется, согласно О.А Алекину (1970), как жесткая (7,2-8,6 мг-экв/дм^3), на среднем – очень жесткая (8,3-12,0 мг-экв/дм^3), на нижнем – умеренно жесткая (4,6-6,8 мг-экв/дм^3).

Таблица 9-П. Макрокомпонентный состав р. Сок

Участок реки	Компонент, мг/л						Сумма ионов
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^++K^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	
Верхний	105,4	29,1	26,0	19,0	178,0	206,3	563,8
Средний	168,0	38,0	48,6	34,0	392,5	241,0	922,1
Нижний	77,0	43,7	23,0	32,7	98,2	175,3	449,9

Биогенные элементы. Из биогенных элементов определялись фосфаты, формы азота (нитритная, нитратная и аммонийная) и общее железо.

В *азотной группе* содержание нитратного азота на 1-2 порядка ниже ПДК. Концентрации аммонийного азота находятся в пределах от 0,10 до 0,63 мг/дм^3, что соответствует 0,3 и 1,6 ПДК. Диапазон нитритной формы азота – 0,01-0,023 мг/дм^3(0,5-1,2 ПДК). Наиболее загрязнен соединениями $N\text{-}NH_4$ и $N\text{-}NO_2$ средний участок реки, где на их фоновые показатели накладывается влияние техногенных стоков (табл. 9-П; рис. 4-П, см. вклейку 2).

Содержание *фосфатов* в воде реки в основном не превышает предельно допустимый норматив, преобладающие концентрации – 0,065-0,100 мг/дм^3. И только средний участок водотока, испытывающий влияние сточных вод, обогащен фосфатами до 0,500-0,600 мг/дм^3 (2,7-2,8 ПДК) (рис. 4-П, см. вклейку 2). Незначительное превышение нормативного показателя содержания $P\text{-}PO_4$ в воде (в 1,5 раза) отмечено также в приустьевой части реки, что возможно объясняется поступлением обогащенных фосфатами вод выше расположенного участка реки. В межгодовой динамике (за 2001-2004 гг.) минерального фосфора существенных изменений в его среднем для водотока содержании не наблюдалось; незначительный рост отмечен в 2007 г. за счет увеличения концентраций $P\text{-}PO_4$ в среднем течении реки:

Годы	2001	2002	2003	2004	2007
мг/дм^3	0,082	0,080	0,103	0,082	0,120

Общее железо. На всем протяжении реки концентрации железа выше ПДК, диапазон изменений лежит в пределах – от 1 ПДК до 3,7 ПДК (0,1-0,37 мг/дм^3) (рис. 4-П, см. вклейку 2). Максимальное превышение ПДК (3,7 мг/дм^3) характерно для среднего наиболее загрязненного участка реки.

Среди специфических органических соединений исследовались *нефтепродукты* (*НПР*) и *фенолы*, содержание которых, за исключением приустьевого участка, ниже ПДК. В верхней и средней части водотока концентрации НПР в среднем составляют 0,03 мг/дм^3 (0,6 ПДК) и 0,02 мг/дм^3 (0,4 ПДК) соответственно; в нижнем течении содержание НПР достигает максимального значения за весь период исследований - 0,085 мг/дм^3 (1,7 ПДК) (рис. 4-П, см. вклейку 2).

Фенольные соединения в верховье р. Сок не обнаружены, в среднем и нижнем течении концентрации изменяются от 0 до 0,001 мг/дм^3 (> ПДК) (табл. 10-П).

Микроэлементы. Основными токсикантами неорганического происхождения в воде реки, в концентрациях, превышающих ПДК, являются марганец и медь, реже –цинк (табл. 10-П; рис. 4-П, см. вклейку 2). Наиболее высокий уровень токсического загрязнения реки микроэлементами зафиксирован в воде нижнего течения: среднее содержание марганца достигает 5 ПДК (максимум – 9,8 ПДК), меди – 4,2 ПДК (максимум – 6,1 ПДК), цинка – 1,4 ПДК (максимум – 2,7 ПДК). Хром, свинец, никель и кадмий отсутствуют.

Качество воды р. Сок, оцениваемое по индексу загрязнения (ИЗВ) на основе комплекса контролируемых показателей, наиболее превышающих ПДК, находится в пределах одного класса (III класс чистоты) – вода «умеренно загрязненная» (табл. 11-П; рис. 5-П).

Приоритетными загрязняющими веществами (ЗВ) в воде на всем протяжении р. Сок, превышающими в разной степени нормативные показатели, являются медь, железо, нитритная форма азота. На среднем и нижнем участках число ЗВ, концентрации которых выше ПДК, увеличивается за счет марганца, нефтепродуктов, цинка, органического вещества ($БПК_5$), аммонийного азота и фенолов (табл. 11-П).

По концентрациям химических ингредиентов экологическое состояние воды р. Сок, согласно «Критериям оценки..» (1992), соответствует «удовлетворительной экологической ситуации» (табл. 20-П).

Таблица 10-П. Состояние загрязнения воды р. Сок

№ п/п	Загрязняющие вещества и показатели загрязнения	Участок реки	Содержание за период наблюдений (в ПДК р/х)		
			Пределы колебаний		Среднее значение
			min	max	
1.	Марганец	Верхний	0	ПДК	ПДК
		Средний	ПДК	ПДК	ПДК
		Нижний	0,8	9,8	5,0
2	Медь	Верхний	2,8	5,0	3,6
		Средний	1,9	2,0	2,0
		Нижний	ПДК	6,1	4,2
3.	$БПК_5$	Верхний	0,7	1,1	0,8
		Средний	0,9	2,6	1,4
		Нижний	0,4	2,2	ПДК
4.	Азот нитритный	Верхний	0,8	1,1	ПДК
		Средний	1,1	1,2	1,1
		Нижний	0,5	1,1	0,9
5.	Цинк	Верхний	0,5	0,9	0,7
		Средний	0,6	0,7	0,7
		Нижний	0,6	2,7	1,4
6.	Фенолы	Верхний	0	0	0
		Средний	0	ПДК	ПДК
		Нижний	0	ПДК	ПДК
7.	Железо	Верхний	1,7	2,2	1,9
		Средний	1,3	3,7	2,5
		Нижний	ПДК	2,4	1,7
8.	Нефтепродукты	Верхний	0,4	0,8	0,6
		Средний	0	0,8	0,4
		Нижний	0,4	1,7	0,8
9.	Азот аммонийный	Верхний	0,5	0,5	0,5
		Средний	0,7	0,8	0,8
		Нижний	0,4	1,6	0,8
10.	Фосфаты, мг/л	Верхний	0,065	0,080	0,080
		Средний	0,500	0,600	0,550
		Нижний	0,070	0,300	0,150
11.	Растворенный кислород, мг/л	Верхний	8,00	11,30	9,40
		Средний	8,50	9,80	9,10
		Нижний	7,43	10,80	8,90
12.	Растворенный кислород, %	Верхний	85	117	113
		Средний	96	106	101
		Нижний	78	107	102
13.	Хлорорганические пестициды	Верхний	н/о	н/о	н/о
		Средний	н/о	н/о	н/о
		Нижний	н/о	н/о	н/о

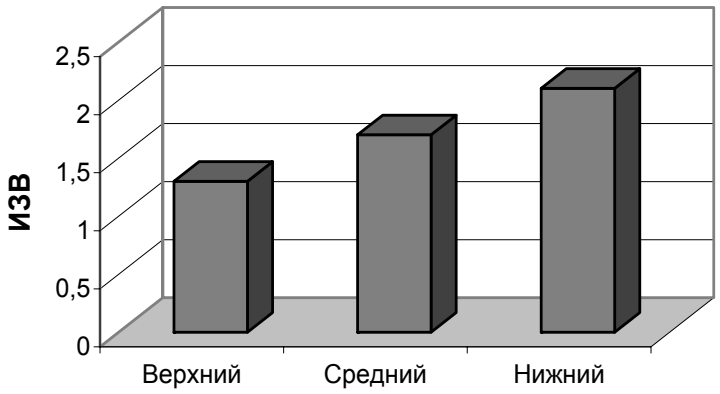


Рис. 5-П. Изменение индекса загрязнения воды (ИЗВ) по течению р. Сок

Донные отложения реки представлены разнотипными грунтами. В верхнем участке реки в составе грунтов преобладают в основном каменисто-галечно-песчаные осадки. Средний участок имеет пестрое покрытие дна: в русловой части - илисто-песчаные отложения, в прибрежье – песчаные, в р-не с. Сергиевск – глинистые. В приустьевой части реки грунты представлены заиленными песками. Илисто-песчаные и песчано-илистые отложения, обладающие более высокими сорбционными способностями к депонированию поллютантов (чем мельче осадок, тем выше его сорбционная способность), более обогащены микроэлементами. В донных отложениях р. Сок из загрязняющих веществ определялись те же показатели, что и в воде (табл. 12-П).

Таблица 12-П. Содержание загрязняющих веществ в донных отложениях р. Сок

Загрязняющее вещество	Содержание, мг/кг	
	Диапазон колебаний	Среднее
Свинец	7,5	7,5
Железо	10 000-15 000	11 967
Марганец	250-680	412
Медь	7,0-15,5	11,8
Цинк	19,5-31,5	25

По накоплению микроэлементов, согласно коэффициента донной аккумуляции (КДА – отношение величины концентрации вещества в грунтах к его содержанию в воде), состояние донных отложений изменяется от **«относительно удовлетворительной экологической ситуации»** до **«чрезвычайной экологической ситуации»** (табл. 21-П, рис. 6-П, см. вклейку 2). Величина КДА для меди и цинка находится в пределах $1{,}8x10^3$-$6{,}5x10^3$ и $1{,}4x10^3$-$4{,}5x10^3$, соответственно, что свидетельствует об «относительно удовлетворительной экологической ситуации» в грунтах по этим химическим элементам. По величине накопления железа ($4{,}4x10^4$-$7{,}9x10^4$) состояние осадков относится к классу «чрезвычайной экологической ситуации».

6. ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКИ СОК

Гидробиологическое состояние р. Сок включает данные по качественному и количественному составу фитопланктона, зоопланктона и зообентоса за вегетационный период, по которым можно оценить качество воды и степень загрязнения водоема.

Отбор проб воды осуществлялся на всем протяжении реки в 1998-1999 (14 постоянных станций (см. рис. 3-П) и 2007 гг. – на реперных станциях (ст. 4, 9, 14) верхнего, среднего и нижнего участков, характеризующих экологическое состояние реки. Дополнительно образцы бентоса брали в прибрежье устьевого участка реки.

6.1. Фитопланктон

Альгологические пробы на р. Сок отбирались с 1991 по 2007 гг., локально, на различных участках реки. Мониторинговые исследования проводились в районе ниже с. Красный Яр (1991 г., июнь; 1992 г., июль, сентябрь), верхнем течении р. Сок (1998 г., июль; 1999 г., август) и на всем протяжении реки в июне 2007 г. Фитопланктон р. Сок характеризуется высоким флористическим разнообразием. Всего встречено 320 таксонов водорослей рангом ниже рода из 8 отделов. Наиболее разнообразны диатомовые водоросли – 142 таксона; зеленые представлены 97 таксонами, эвгленовые – 24, синезеленые – 23, криптофитовые – 16, золотистые – 9, динофитовые – 8, желтозеленые водоросли – 1 видом (рис. 7-П, см. вклейку 2).

Комплекс планктонных организмов преобладает во всех отделах, кроме диатомовых и эвгленовых, экологический спектр которых формируют бентосные виды и формы, приуроченные к прибрежным, мелководным биотопам.

Основу фитопланктона р. Сок создают космополиты (88,8% таксонов с известными данными по географическому распространению), пресноводные формы (индифференты – 73,4%), обитающие в нейтральных или слабощелочных водах (индифференты – 45,9%, алкалифилы-алкалибионты – 48,8%).

По отношению к степени органического загрязнения воды состав водорослей – индикаторов сапробности – на 34,4% образован β-мезосапробами. Преобладают виды – показатели III класса чистоты воды («вода умеренно загрязненная», 61,6% всех водорослей – индикаторы сапробности).

Численность и биомасса фитопланктона увеличиваются от истока (1,45 млн. кл./л и 0,8 г/м^3 в 1991-1999 гг.; 2,3 млн. кл./л и 3,78 г/м^3 в 2007 г.) к устью (9,96 млн. кл./л и 2,86 г/м^3 в 1991-1999 гг.; 9,02 млн. кл./л и 3,1 г/м^3 в 2007 г.) (рис. 8-П и 9-П, см. вклейку 2). При относительно невысоких показателях количественного развития альгофлоры р. Сок на фоне богатого видового разнообразия на протяжении всей реки (табл. 13-П) доминирующих видов, достигающих значительного развития, не отмечено.

Особенностью развития фитопланктона р. Сок является лидирующее развитие *диатомовых водорослей* на всех ее участках. По составу диатомовая флора отличается на различных участках реки. В верхнем течении преобладают *пеннатные* формы (до 100% видового состава, численности и биомассы). В среднем и нижнем течении реки на 65%-92% диатомовые водоросли представлены *центрическими формами*, преимущественно мелкоклеточными видами родов *Stephanodiscus*, *Cyclotella* и *Thalassiosira* – типичный состав массовых видов фитопланктона эвтрофированных речных и озерных экосистем в условиях избытка биогенных элементов (Охапкин, Генкал, 2001).

По величине биомассы фитопланктона состояние реки изменяется от олиготрофного на верхнем и среднем ее участках до мезотрофного на нижнем, или «вода вполне чистая» и «вода достаточно чистая» соответственно (Оксиюк и др., 1993). Ниже приводятся многолетние данные по структуре сообществ фитопланктона (табл. 13-П и 14-П).

Таблица 13-П. Основные структурные характеристики фитопланктона р. Сок в 1991-1999 гг.

Показатель	Участок реки		
	Верхний	Средний	Нижний
Численность, млн. кл./л (средняя/максимальная)	0,28/1,33	0,77/2,06	2,56/8,53
Биомасса, г/м^3 (средняя/максимальная)	0,60/2,24	0,64/1,49	1,46/5,08
Индекс видового разнообразия Шеннона по численности (средняя/максимальная)	3,28/5,05	4,61/5,06	4,23/5,08
Индекс видового разнообразия Шеннона по биомассе (средняя/максимальная)	2,76/4,59	4,50/6,25	4,29/4,67
Индекс сапробности по численности (средняя/максимальная)	2,03/2,47	2,09/2,35	2,29/2,73
Индекс сапробности по биомассе (средняя/максимальная)	1,82/2,28	2,07/2,28	2,24/2,47
Зона сапробности	Мезосапробная	Мезосапробная	Мезосапробная
Класс качества воды (по сапробности)	III – умеренно загрязненная	III – умеренно загрязненная	III – умеренно загрязненная
Экологическое состояние	Относительно удовлетвори-тельное	Относительно удовлетвори-тельное	Относительно удовлетвори-тельное

Таблица 14-П. Основные структурные характеристики фитопланктона р. Сок (лето 2007 г.)

Показатель	Участок реки		
	Верхний	Средний	Нижний
Численность, млн. кл./л	2,32	2,05	9,02
Биомасса, г/м^3	3,74	1,44	3,11
Индекс видового разнообразия Шеннона по численности	4,09	4,89	4,41
Индекс видового разнообразия Шеннона по биомассе	3,42	4,13	4,57
Индекс сапробности по численности	2,48	2,14	2,09
Индекс сапробности по биомассе	2,12	2,27	2,18
Зона сапробности	Мезосапробная	Мезосапробная	Мезосапробная
Класс качества воды (по сапробности)	III – умеренно загрязненная	III – умеренно загрязненная	III – умеренно загрязненная
Экологическое состояние	Относительно удовлетвори-тельное	Относительно удовлетвори-тельное	Относительно удовлетвори-тельное

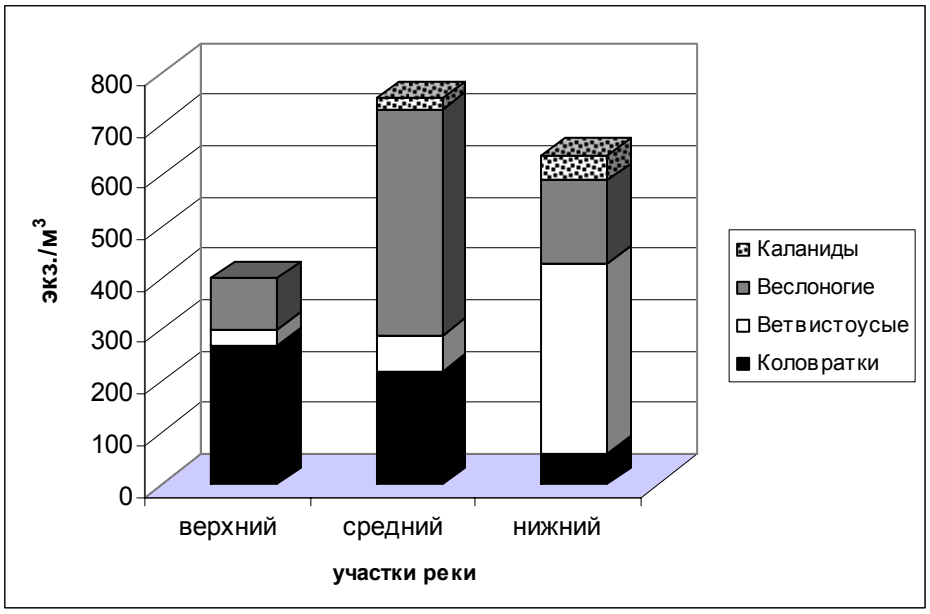
6.2. Зоопланктон

Отбор проб зоопланктона производили путем процеживания 100 л воды через количественную сеть Джеди. В нижнем течении реки пробы воды отбирали батометром объемом 10 л в столбе воды от поверхности до дна. Содержимое батометра процеживали через капроновую сеть из газа № 64 (размер ячеи – 0,076 мм). Пробы фиксировали 4%-ным раствором формальдегида.

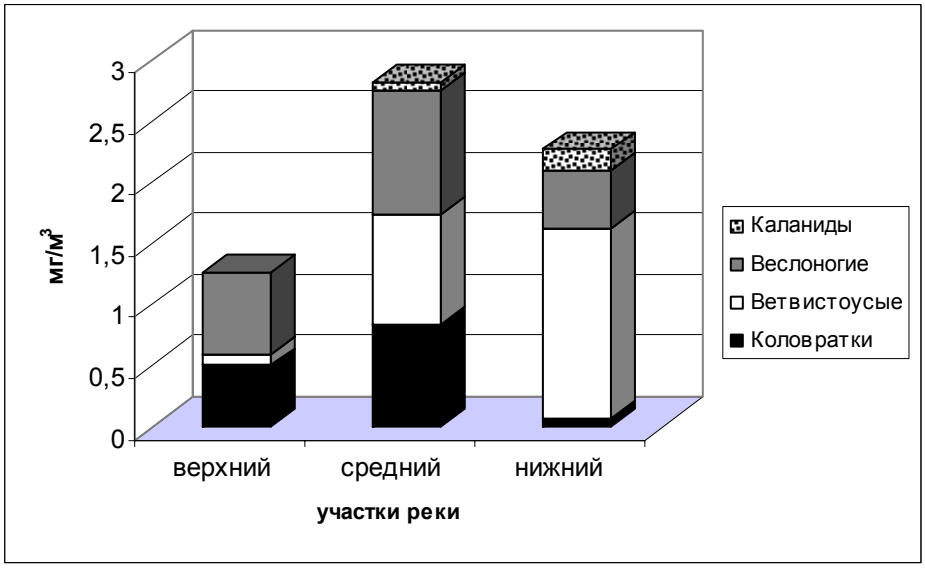
За период летних исследований 2007 г. в р. Сок зарегистрировано 23 видов зоопланктона, в том числе 15 – коловраток, 7 – ветвистоусых раков и один вид из семейства Cyclopoidae. Наибольшее число видов отмечено в среднем участке реки (6 км ниже с. Сергиевск), где обнаружено 16 видов, из которых по численности преобладают копеподитные стадии циклопоида (370 экз./м^3). На всем протяжении реки отмечаются низкие показатели численности и биомассы зоопланктона. Минимальные их значения (400 экз./м^3 и 1,26 мг/м^3 соответсвенно) характерны для верхнего участка реки и обусловлены развитием коловраток; максимальные – 750 экз./м^3 и 2,82 мг/м^3 характерны для участка, расположенного ниже на 6 км от с. Сергиевск, что обусловлено развитием коловраток *Asplanchna* sp. и науплиальных стадий циклопоида. Нижний участок реки (10 км ниже с. Красный Яр) характеризуется развитием в зоопланктоне ветвистоусых рачков, которые здесь доминируют по численности и биомассе за счет развития *Bosmina longirostris* и *Ceriodaphnia affinis* (рис. 10-П; табл. 15-П).

Индекс видового разнообразия Шеннона, рассчитанный по численности и биомассе гидробионтов, в зоопланктоне всей реки имеет сходные величины – 2,6-2,9 бит/экз.

На всем протяжении реки по составу и количественным показателям зоопланктона водоток относится к β-мезосапробной зоне (по индексам сапробности). В среднем течении локально отмечены загрязненные участки за счет высокой численности мезосапробных видов.



а)



б)

Рис. 10-П. Распределение численности (***а***) и биомассы (***б***) зоопланктона н а различных участках р. Сок в 2007 г.

По комплексу показателей (индекс видового разнообразия, сапробность численность, биомасса) вода реки относится к III классу качества («умеренно-загрязненная»). В районе ниже с. Сергиевск класс качества воды изменяется от III до IV («умеренно загрязненная»-«загрязненная») (табл. 15-П).

Экологическое состояние реки Сок на всем ее протяжении по показателям зоопланктона характеризуется как «относительно удовлетворительное» (табл. 15-П).

Таблица 15-П. Основные структурные характеристики сообществ зоопланктона р. Сок (лето, 2007 г.)

Показатель	**Участок реки**		
	Верхний	**Средний**	**Нижний**
Численность, экз./м^3	400	750	640
Биомасса, г/м^3	1,26	2,82	2,27
Доминирующие виды	*Brachionus urcens, Euchlanis* sp.	*Asplanchna* sp., *Nauplii* *Cyclopoida*	*Bosmina longirostris, Ceriodaphnia affinis*
Соотношение основных групп, % (численность/биомасса) Коловратки Ветвистоусые Веслоногие Каланиды	 67,5/39,7 7,5/7,1 25,0/53,2 -	 29,3/29,8 9,3/31,9 58,7/35,8 2,7/2,5	 9,4/2,7 57,8/68,7 25,0/21,1 7,8/7,5
Индекс видового разнообразия Шеннона (численность/биомасса)	2,9 / 2,8	2,6 / 2,7	2,7 / 2,7
Индекс сапробности (численность)	1,63	1,73	1,56
Зона сапробности	β-мезосапробная	β-мезосапробная.	β-мезосапробная
Класс качества воды	III – «умеренно загрязненная»	III-IV – «умеренно загрязненная-загрязненная»	III – «умеренно загрязненная»
Экологическое состояние	Относительно удовлетворительное	Относительно удовлетворительное	Относительно удовлетворительное

6.3. Зообентос

Отбор количественных проб бентоса осуществлялся с различных биотопов. Биотопы р. Сок в верхнем течении представлены каменистыми, галечно-песчаными грунтами, в среднем - илисто-песчаными, песчаными и глинистыми, в нижнем – заиленными песками.

За период исследований (1990-1993, 1995, 1998, 1999 и 2007 гг.) в составе фауны донных беспозвоночных р. Сок найдено 270 видов гидробионтов. Ведущей по видовому составу группой организмов являются двукрылые, из которых наибольшим числом видов представлены комары-звонцы (хирономиды) – 143 вида. Из других групп донных животных зарегистрировано 25 видов моллюсков, 19 – клещей, 16 – ручейников, 14 – поденок, по 11 – малощетинковых червей (олигохет) и жуков, 7 – пиявок; по 5 – веснянок, стрекоз, клопов и ракообразных, по 1 – вислокрылок и гидр. В бентосе реки отмечены также нематоды и паукообразные (рис. 11-П, см. вклейку 2).

Для верхнего участка реки характерно наибольшее фаунистическое богатство макрозообентоса (1991-1993, 1995-1999 и 2007 гг.) – 188 видов (табл. 16-П). Преобладают литореофильные виды (обитатели каменистых грунтов на участках с быстрым течением): комары-звонцы, ручейники, водяные клещи, мошки, жуки, поденки и веснянки.

Ниже нами приводится оценка численности и биомассы организмов макрозообентоса р. Сок за 1999 и 2007 гг. (табл. 17-П; рис. 12-П, см. вклейку 2). В верховьях реки по численности доминировали фитореофильные личинки хирономид (2698 экз./м^2) *Cricotopus bicinctus*, *Cladotanytarsus* gr. *mancus, Eukiefferiella* gr. *gracei* и малощетинковые черви (2684 экз./м^2). Основу биомассы составили личинки ручейников, хирономид (0,97 г/м^2), пиявки (0,5 г/м^2) и поденки (0,5 г/м^2).

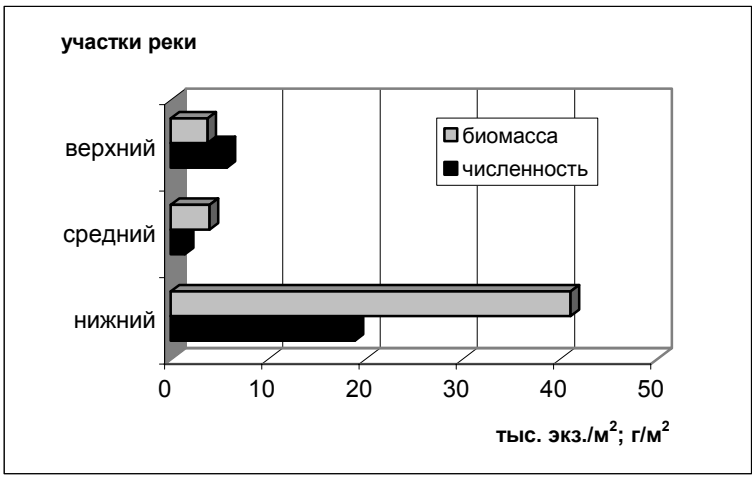


Рис. 12-П. Изменение, численности (тыс. экз./м^2) и биомассы (г/м^2) зообентоса на различных участках р. Сок в 1999, 2007 гг.

В среднем течении реки в составе макрозообентоса отмечается уменьшение разнообразия на 70 видов. Это обусловлено биотопическим однообразием (заиленные пески и илы) этого участка реки, особенно в местах концентрации загрязняющих веществ и временного зарегулирования стока (район ниже с. Сергиевск). На этом участке из состава макрозообентоса выпадают наиболее чувствительные к токсическому загрязнению группы гидробионтов (ракообразные и личинки веснянок), значительно сокращается число видов ручейников и клещей (от 14 до 5 видов) (табл. 16-П). Отмеченное нами сокращение, несомненно, является результатом воздействия поллютантов на водоем. В количественной динамике зообентоса также отмечается снижение численности гидробионтов в среднем участке реки. Особенно четко это проявляется по результатам исследований 1999 и 2007 гг., когда численность организмов снижалась в 4 раза (от 5770 до 1440 экз./м^2) (табл. 17-П; рис. 12-П, см. вклейку 2). Относительно высокая биомасса (4 г/м^2) сохраняется на уровне многолетних величин за счет развития пелофильных полисапробных олигохет.

Таблица 16-П. Таксономический состав зообентоса р. Сок (прибрежье и русло) в 1990-1993, 1995, 1998, 1999 и 2007 гг.

Организмы	Верхнее течение	Среднее течение	Нижнее течение
Малощетинковые черви (Oligochaeta)	8	11	5
Пиявки (Hirudinea)	5	2	3
Комары-звонцы (Chironomidae)	90	51	61
Веснянки (Plecoptera)	5	-	-
Поденки (Ephemeroptera)	10	7	7
Ручейники (Trichoptera)	14	5	2
Жуки (Coleoptera)	10	3	2
Прочие насекомые (Insecta *)	23	15	10
Ракообразные (Crustacea)	1	-	5
Моллюски	5	17	20
Водяные клещи	14	5	5
Прочие	3	2	2
Всего видов	188	118	122

Примечание: * – личинки двукрылых (кроме хирономид) и стрекоз, клопы.

В нижнем участке реки, качество воды которого определяется влиянием транзитного потока, несущего загрязняющие вещества, в составе бентоса установлено 122 вида

гидробионтов. Характерной особенностью этого участка реки, расположенного в зоне подпора водами Саратовского водохранилища, являются высокие показатели численности (до 18 920 экз./м^2) и биомассы (до 41,1 г/м^2) гидробионтов исключительно за счет развития типичных для Саратовского водохранилища лимнофильных видов хирономид *Lipiniella araenicola, Chironomus nudiventris, Cladotanytarsus mancus, Polypedilum nubeculosum.* В нижнем течении реки отмечены виды-вселенцы из Каспийского моря: ракообразные *Dikerogammarus caspius*, *Schizorhynchus bilamellatus*, *Paramysis intermedia*, *Corophium curvispinum*.

Индекс видового разнообразия Шеннона в верхнем участке изменяется в пределах 1,9-3,1; в среднем – 0,1-4,03; в нижнем – 1,9-2,3 бит/экз., что соответствует показателям низкого видового разнообразия на отдельных участках среднего течения реки при воздействии загрязнения.

Донное население ритрали и медиали верхнего участка реки относится преимущественно к олигосапробным и β-мезосапробным видам. Сапробность в прибрежье и на русле среднего течения реки изменяется от β-α-мезосапробной до полисапробной; нижний участок в прибрежье характеризуется как β-α-мезосапробный и на русле – как α-мезосапробный (табл. 17-П).

Таблица 17-П. Основные структурные характеристики и оценка экологического состояния р. Сок по зообентосу в 1999 и 2007 гг.

Показатель	Участок реки		
	Верхний	Средний	Нижний
Численность, экз./м^2 средняя максимальная	 57 70 22 290	 1440 3900	 18 920 33 400
Биомасса, г/м^2 средняя максимальная	 3,8 6,6	 4,0 7,2	 41,1 78,1
Доминирующие виды, группы (по численности)	личинки хирономид *Cricotopus bicinctus, Cladotanytarsus* gr. *mancus*, *Eukiefferiella* gr. *gracei,* олигохеты	олигохеты; личинки хирономид *Rheocricotopus fuscipes*	личинки хирономид *Chironomus nudiventris, Polypedilum nubeculosum, Cladotanytarsus* gr. *mancus*
Индекс видового разнообразия Шеннона (мин./ макс.)	1,9/3,1	0,1/4,03	1,9/2,3
Биотический индекс Вудивисса (прибрежье/русло)	6-9/-	0-7/5	5-6/6
Индекс сапробности по численности видов (прибрежье/русло)	1,2-1,9/-	2,3-4,0/2,7-3,1	1,9-3,3/2,8-3,2
Зона сапробности (прибрежье/русло)	олигосапробная - β-мезосапробная/-	β-α-мезосапробная-полисапробная/ α-мезосапробная	β-α-мезосапробная/ α-мезосапробная
Олигохетный индекс, % (прибрежье/русло)	0-97/-	1,7-27/65-81	10-61/28-36
Класс качества воды (по индексу Вудивисса) (прибрежье/русло)	II-III – «чистая-умеренно загрязненная»/-	II-VI – «чистая-очень грязная»/ III – «умеренно загрязненная»	III – «умеренно загрязненная»/ III – «умеренно загрязненная»
Экологическое состояние водотока (прибрежье/русло)	Относительно удовлетворительное/ -	Относительно удовлетворительное/ Относительно удовлетворительное	Относительно удовлетворительное/ Относительно удовлетворительное

По результатам многолетних исследований качество воды верхнего участка реки, оцениваемое по показателям индекса Вудивисса, находилось в пределах II-III классов – «чистая-умеренно загрязненная»; в среднем течении качество воды прибрежных участков изменяется от «чистой» до «очень грязной». Русловой участок среднего течения и все нижнее течение р. Сок относится к III классу качества – «умеренно загрязненная».

Экологическое состояние р. Сок на всем ее протяжении по состоянию сообществ макрозообентоса оценивается как «относительно удовлетворительное» (табл. 17-П).
Можно констатировать, что устьевой участок реки по состоянию кормовой базы для бентосоядных рыб характеризуется как высококормный.

6.4. Ихтиофауна

Исследования ихтиофауны проводили на 13 участках р. Сок, на 5 участках р. Кондурча, 3 участках р. Малый Сок и в отдельных районах рек Камышла, Большой Суруш, Сургут, Шунгут и Липовка. Для лова рыб использовали мелкоячейные мальковые невода, сети Кори и сачки.

Видовой состав рыб р. Сок и ее притоков включает 51 вид (с учетом временно заходящих), принадлежащих к 15 семействам (табл. 18-П). Указанное видовое богатство обусловлено разнообразием гидрологических и биотопических условий, а также субстратов для нереста рыб.

Доминирующие по численности виды рыб в бассейне р. Сок - плотва и уклея, которые заселяют сходные участки реки, преимущественно плесы, хотя и обитают в разных горизонтах. При этом уклея встречается и на мелких длинных перекатах со сравнительно быстрым течением.

В верхнем участке р. Сок основными рыбами являются гольян (70%), голец (15%) и шиповка (13%). В небольшом количестве встречаются пескарь, мелкий голавль, а из хищников-налим.

В среднем и нижнем участках р. Сок, где чередуются длинные и более глубокие плесы с перекатами и имеется значительное количество стариц и пойменных озер, преобладают уклея (22%), пескарь (16%), плотва (17%), голавль (13%) и густера (8%). Основная масса голавля, густеры и окуня держится на плесах. В верхней части среднего течения встречаются гольян и голец (4%). Очень редки на перекатах верховка и подуст; в плесах и закоряженных участках – линь и налим. Ерш, который в единичных экземплярах встречается почти по всей системе реки и ее притоков, в основном держится в устьевом участке. Щука также встречается преимущественно в среднем и нижнем течении р. Сок, но заходит и в притоки, где локализуется в коряжистых и заросших высшими водными растениями местах.

В устьевом участке р. Сок, находящимся под непосредственным влиянием вод Саратовского водохранилища, состав ихтиофауны богаче. Наиболее многочисленны в этом районе плотва (29%), уклея (26%), окунь (14%), язь (6%), елец (5%) и щука (5%). Остальные рыбы составляют лишь 15% от улова. Во время паводка из Саратовского водохранилища в р. Сок заходят стерлядь, плотва, елец, голавль, язь, жерех, подуст, уклея, синец, лещ, чехонь, судак, а изредка - отдельные экземпляры осетровых.

В связи с зарегулированием стока р. Волга и созданием в европейской части России судоходных каналов произошло саморасселение рыб. В устье р. Сок в настоящее время регистрируется ряд видов-вселенцев: европейская корюшка, головешка-ротан, бычок-кругляк, бычок-песочник, бычок-головач, бычок-цуцик и звездчатая пуголовка (Евланов и др., 1998).

Таблица 18-П. Видовой состав ихтиофауны реки Сок и ее притоков

Рыбы	Реки							
	Сок	Камышла	Малый Сок	Большой Суруш	Шунгут	Сургут	Кондурча	Липовка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сем. Осетровые*								
Белуга	+							
Осетр	+							
Стерлядь	+							
Сем. Корюшковые								
Европейская корюшка	+							
Сем. Сельдевые								
Черноспинка	+							
Тюлька	+							
Сем. Лососевые								
Белорыбица*	+						+	
Ряпушка	+							
Пелядь	+							
Снеток	+							
Сем. Щуковые								
Щука	+		+		+		+	
Сем. Карповые								
Плотва	+		+	+	+	+	+	+
Елец	+		+			+	+	
Голавль	+		+	+	+	+	+	
Язь	+		+	+	+	+	+	
Гольян	+	+	+		+	+		
Красноперка	+						+	
Амур белый	+							
Жерех	+						+	
Верховка	+						+	
Линь	+						+	
Подуст	+						+	
Пескарь обыкн.	+		+	+		+	+	+
Пескарь белоперый	+			+			+	
Уклея	+	+	+	+	+	+	+	+
Быстрянка	+						+	
Густера	+			+	+		+	
Синец	+							
Лещ	+		+				+	
Белоглазка	+							
Чехонь	+						+	
Карась	+						+	
Сазан	+						+	
Сем. Вьюновые								
Голец	+	+	+		+	+	+	
Шиповка	+	+	+	+	+	+	+	
Вьюн	+							
Сем. Сомовые								
Сом	+						+	
Сем. Речные угри								
Угорь	+							
Сем. Налимовые								
Налим	+			+				
Сем. Игловые**								
Черноморская Пухлощекая игла-рыба	+							

Окончание табл. 18-П

Сем. Окуневые								
Судак	+						+	
Берш	+							
Окунь	+		+		+	+	+	
Ерш	+		+	+	+		+	
Сем. Головешковые								
Головешка-ротан	+							
Сем. Бычковые**								
Бычок-кругляк	+							
Бычок-песочник	+							
Бычок-головач	+							
Бычок-цуцик	+							
Звездчатая пуголовка	+							
Сем. Керчаковые								
Подкаменщик	+							

Примечание:* – Гавлена, 1971; ** –Евланов и др., 1998.

В р. Кондурча наиболее многочисленными представителями ихтиофауны являются: пескарь (19,9%), уклея (18,7%), плотва (10,8%), густера (10,8%) и елец (8,7%).

Мелкие притоки по видовому составу беднее, основными видами в них являлись плотва, уклея, щиповка, гольян и голец, а из хищников – щука и налим.

Установлено, что основу ихтиофауны р. Сок и ее притоков составляют малоценные и сорные рыбы, обладающие высокой репродукционной способностью. Высокая численность рыбного населения обусловлена низкой конкуренцией со стороны ценных видов рыб – леща, сазана, линя, язя и др. и слабым воздействием хищников – щуки, сома, судака и налима, которые продолжают оставаться объектами промысла и любительского рыболовства и достигают половой зрелости значительно дольше, чем рыбы, входящие в состав их рациона питания.

6.5. Бактериопланктон

Исследование бактериопланктона р. Сок проводили летом 2007 г. Пробы отбирали из поверхностного слоя воды в стерильные склянки и немедленно фиксировали до конечной концентрации 4% – раствором формальдегида.

Общую численность и биомассу бактериопланктона подсчитывали на фильтрах после окраски эритрозином. Численность гетеротрофных бактерий учитывали методом посева на рыбо-пептонный агар, разбавленный в 10 раз (РПА/10), численность сапрофитных бактерий (общее микробное число) – посевом на неразбавленный рыбо-пептонный агар (РПА).

Бактериопланктон р. Сок представлен преимущественно одиночными свободноплавающими клетками. Морфологически планктон беден: клетки сложных форм, а также агрегаты отсутствуют. На частицах детрита обнаружены единичные бактериальные клетки. Только в верхнем течении реки в небольшом количестве зарегистрированы некрупные слизистые скопления бактериальных клеток.

Общая численность бактериопланктона невелика и мало меняется по течению реки (табл. 19-П). Однако выявлен слабовыраженный тренд к уменьшению численности бактериопланктона от верховья реки к устью. По биомассе эта тенденция проявляется сильнее - общая биомасса в нижнем течении почти в 2 раза меньше, чем в верхнем.

На всем протяжении реки в планктоне преобладают палочки, но их доля снижается от верхнего течения к нижнему (рис. 13-П). Нитевидные клетки в верхнем и среднем

течение реки составляют всего 0,05-0,09% от общей численности, и в нижнем течении они отсутствуют.

Индивидуальные линейные размеры бактериальных клеток изменяются в широких пределах – 0,67-4,67×0,33-0,67 мкм (палочки) и 0,334-1,001 мкм (кокки). Тем не менее соотношение крупных и мелких клеток на разных участках реки различно. При переходе от верхнего к нижнему течению реки возрастает доля более мелких клеток, поэтому средний объем бактериальных клеток (за исключением нитей) уменьшается (рис. 14-П).

В составе гетеротрофного планктона были обнаружены представители родов *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Xanthomonas* и др. Количество гетеротрофных бактерий невелико и составляет в верхнем и среднем течении реки 0,14-0,17%, а в нижнем резко снижается до 0,07% от общей численности бактериопланктона. Вниз по течению реки уменьшается доля клеток, способных к образованию пигментированных колоний. Это является одним из свидетельств снижения активности бактериопланктона.

Численность сапрофитных бактерий (общее микробное число) также мала (табл. 19-П), и даже в верхнем течении (где отмечена максимальная численность бактерий этой группы) не выходит за пределы санитарных норм.

Таблица 19-П. Бактериопланктон реки Сок (лето 2007 г.)

Показатель	Верхнее течение (8 км ниже с. Камышла)	Среднее течение (6 км ниже с. Сергиевск)	Нижнее течение (10 км ниже с. Красный Яр)
Общая численность (ОЧБ), млн кл./мл	1,61	1,60	1,17
Биомасса, мг/л	0,21	0,17	0,11
Общее микробное число (ОМЧ), КОЕ/мл	1000	400	125
ОМЧ/ОЧБ, %	0,06	0,02	0,01

Общая численность бактериопланктона на всем протяжении реки соответствует мезотрофному уровню. Качество воды, определяемое по совокупности микробиологических показателей, соответствует II-III классам («чистая»-«умеренно-загрязненная»). В целом состояние воды в р. Сок можно считать «удовлетворительным».

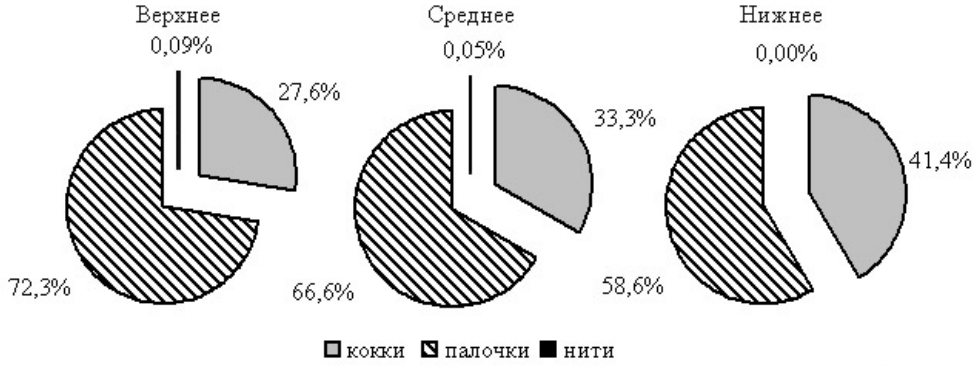


Рис. 13-П. Соотношение клеток разных морфологических групп в общей численности бактериопланктона на различных участках реки

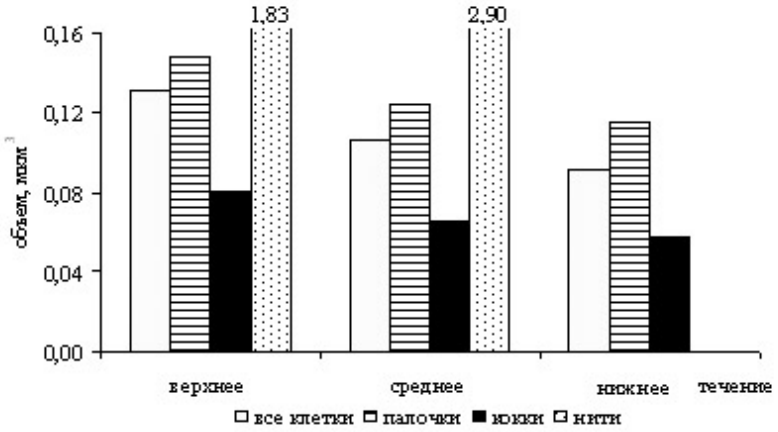


Рис. 14-П. Изменение средних размеров бактериальных клеток в р. Сок

7. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕКИ СОК

По совокупности абиотических факторов, формированию структурных и продукционных показателей биоты, гидрологическим, гидрохимическим и микробиологическим характеристикам р. Сок относится к равнинным рекам, испытывающим умеренный антропогенный пресс.

К основным источникам поступления загрязняющих веществ (ЗВ) в речной водоток относятся: сброс ЗВ в составе коммунально-бытовых сточных вод, промышленных предприятий, поверхностного стока сельскохозяйственных предприятий и с водосборной площади. Главными загрязняющими веществами, превышающими в той или иной степени ПДК, являются *медь, железо, нитритная форма азота*. На среднем и нижнем участках число ЗВ, концентрации которых выше ПДК, увеличивается за счет *марганца, нефтепродуктов, цинка, органического вещества (БПК$_5$), аммонийного азота и фенолов*. Максимальные величины ПДК характерны для марганца (9,8 ПДК), меди (6,1 ПДК) и железа (3,7 ПДК). Концентрации большинства из исследованных химических ингредиентов ниже ПДК или не превышают нормативные показатели более чем в 1,5-2,5 раза.

Водные массы реки имеют широкий диапазон минерализации – от 321 до 970 мг/дм^3. Наибольшие значения минерализации (800-977 мг/дм^3) характерны для среднего течения реки; вода приустьевого участка менее минерализована (321-609 мг/дм^3) по сравнению с верхним и нижним течениями. По соотношению главных ионов вода реки в верховье и устьевом участке относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция; в средней части – к классу гидрокарбонатных вод кальциевой группе. Соответственно росту минерализации изменяется и жесткость воды: на верхнем участке реки вода характеризуется как жесткая, на среднем - очень жесткая и на нижнем – умеренно жесткая.

Содержание растворенного кислорода на всем протяжении реки было удовлетворительным. Степень насыщение воды кислородом находилась в пределах 78-113%.

К биогенным элементам, определяющим уровень продуктивности реки, и присутствующих в концентрациях, превышающих ПДК, относятся: минеральный фосфор (максимум 2,8 ПДК), аммонийный азот (максимум 1,6 ПДК) и нитритный азот (максимум 1,2 ПДК). Содержание нитратного азота на 1-2 порядка ниже ПДК.

По уровню концентрации фосфатов р. Сок относится к **эвтрофному типу** природных водотоков.

Химическое загрязнение воды реки, оцениваемое по ИЗВ, соответствует III классу качества воды – **«умеренно загрязненная»**.

По большинству контролируемых гидрохимических показателей экологическая ситуация р. Сок **«относительно удовлетворительная»**, тогда как по концентрации нитритного азота в среднем течении **создается «напряженная экологическая ситуация»**; по содержанию фосфатного фосфора в среднем течении – **«чрезвычайная экологическая ситуация»**, а в нижнем – **«напряженная экологическая ситуация»** (табл. 20-П).

Состояние донных отложений, согласно нормативным документам (Критерии оценки.., 1992), по КДА железа определяется как **«чрезвычайная экологическая ситуация»**, по КДА *меди*, *цинка* и *свинца* – **«относительно удовлетворительная ситуация»** (табл. 20-П).

По данным гидробиологического анализа прибрежье (рипаль) и русловая часть (медиаль) на всем протяжении реки по индикаторным видам фито- и зоопланктона относится к β-мезосапробной зоне, имеет III класс качества воды – **«умеренно загрязненная».**

По состоянию зообентоса качество воды верхнего участка реки находится в диапазоне **II-III классов – вода «чистая»-«умеренно загрязненная»**. Качество воды среднего участка реки в рипали изменяется от **II до VI классов – вода «чистая»-«очень грязная»**. Медиаль среднего течения и весь участок нижнего течения реки характеризуются как **«умеренно загрязненные» – III класс качества** (табл. 21-П).

Качество воды, определяемое по совокупности микробиологических показателей, соответствует **II-III классу (вода «чистая»-«умеренно загрязненная»**), что характеризует состояние реки как **«удовлетворительное».**

Интегральная оценка состояния р. Сок по результатам комплексного обследования, проведенная с учетом гидрохимических и гидробиологических характеристик, в соответствии с рекомендациями, изложенными в «Критериях оценки экологической обстановки..» (1992) свидетельствует об **относительно удовлетворительном состоянии** реки на всем ее протяжении.

Таблица 20-П. Критерии оценки экологического состояния реки Сок по гидрохимическим показателям

Показатели	Параметры	Экологическая ситуация
Запахи, привкусы, баллы:		
верхний участок	2	Относительно удовлетворительная ситуация
средний участок	2	Относительно удовлетворительная ситуация
нижний участок	2	Относительно удовлетворительная ситуация
Плавающие примеси (нефть и нефтепродукты):		
верхний участок	отсутствие	Относительно удовлетворительная ситуация
средний участок	отсутствие	Относительно удовлетворительная ситуация
нижний участок	отсутствие	Относительно удовлетворительная ситуация
Реакция среды, pH:		
верхний участок	8,30	Относительно удовлетворительная ситуация
средний участок	8,09	Относительно удовлетворительная ситуация
нижний участок	8,52	Относительно удовлетворительная ситуация
Растворенный кислород (% насыщения):		
верхний участок	113	Относительно удовлетворительная ситуация
средний участок	101	Относительно удовлетворительная ситуация
нижний участок	102	Относительно удовлетворительная ситуация
Биогенные вещества:		
Нитриты, ПДК:		
верхний участок	<1	Относительно удовлетворительная ситуация
средний участок	1,1	Напряженная экологическая ситуация
нижний участок	<1	Относительно удовлетворительная ситуация

Окончание табл. 20-П

Нитраты, ПДК:		
верхний участок	<1	
средний участок	<1	Относительно удовлетворительная ситуация
нижний участок	<1	Относительно удовлетворительная ситуация
		Относительно удовлетворительная ситуация
Соли аммония, ПДК:		
верхний участок	<1	
средний участок	<1	Относительно удовлетворительная ситуация
нижний участок	<1	Относительно удовлетворительная ситуация
		Относительно удовлетворительная ситуация
Фосфаты, мг/л:		
верхний участок	0,080	
средний участок	0,550	Напряженная экологическая ситуация
нижний участок в целом	0,150	Чрезвычайная экологическая ситуация
		Напряженная экологическая ситуация
Коэффициент донной аккумуляции (КДА):		
железо	$6{,}1\cdot10^4$	Чрезвычайная экологическая ситуация
медь	$4{,}1\cdot10^3$	Относительно удовлетворительная ситуация
цинк	$3{,}1\cdot10^3$	Относительно удовлетворительная ситуация
свинец	$1{,}9\cdot10^3$	Относительно удовлетворительная ситуация

Таблица 21-П. Оценка экологического состояния реки Сок по данным гидробиологического и гидрохимического анализов

Индикатор экологического состояния водоема	**Критерий экологического состояния водоема**	**Участок реки**		
		Верхний	**Средний**	**Нижний**
Фитопланктон	Индекс сапробности (по биомассе)	2,12	2,27	2,18
	Зона сапробности	Мезосапробная	Мезосапробная	Мезосапробная
	Класс качества воды	Ш – умеренно загрязненная	Ш – умеренно загрязненная	III, IV – умеренно загрязненная, загрязненная
Зоопланктон	Индекс сапробности	1,63	1,73	1,56
	Зона сапробности	β-мезосапробная	β-мезосапробная	β-мезосапробная
	Класс качества воды	III – умеренно загрязненная	III, IV – умеренно загрязненная, загрязненная	III – умеренно загрязненная
Зообентос	Индекс сапробности (рипаль/медиаль)	1,2-1,9/-	2,3-4,0/2,7-3,1	1,9-3,3/2,8-3,2
	Зона сапробности (рипаль/медиаль)	олигосапробная - β-мезосапробная/-	β-α-мезосапробная /α-мезосапробная	β-α-мезосапробная/ α-мезосапробная
	Биотический индекс Вудивисса (рипаль/медиаль)	6-9/-	0-7/5	5-6/6
	Класс качества воды (рипаль/медиаль)	II-III – чистая-умеренно загрязненная /-	II-VI – чистая - очень грязная / III – умеренно загрязненная	III – умеренно загрязненная / III – умеренно загрязненная
Химическое загрязнение	Индекс загрязнения воды (ИЗВ)	1,3	1,7	2,1
	Класс качества воды	III – умеренно загрязненная	III – умеренно загрязненная	III – умеренно загрязненная

8. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ВОССТАНОВЛЕНИЮ РЕКИ СОК

1. При проведении биоиндикационных исследований и оценке экологической обстановки р. Сок на всем протяжении в пределах Самарской области установлено, что ее состояние удовлетворительное, за исключением локальных участков среднего течения реки, характеризующихся повышенными концентрациями отдельных поллютантов.

Отмечено, что прибрежная зона на отдельных участках распахивается вплоть до уреза воды. Русло реки зарегулировано на отдельных створах временными земляными плотинами, которые размываются паводковыми водами, что приводит к переформированию русла, заиливанию и разрушению берегов.

Целесообразно произвести реконструкцию плотин согласно действующим СНИПам и нормам по соответствующим техническим проектам, часть земляных плотин ликвидировать.

Вблизи населенных пунктов русло реки захламлено бытовыми отходами. В прибрежной полосе находятся объекты-загрязнители, включая промышленные предприятия (НГДУ «Сергиевскнефть», «Сергиевский мясокомбинат», «Сергиевские минеральные воды»), сельскохозяйственные фермы (включая свалки от сельскохозяйственной деятельности в бассейне реки) и сток с поверхности водосбора.

2. Экологическое состояние реки и качество ее воды за последнее десятилетие стабилизированы, на что указывают проведенные многолетние исследования р. Сок и результаты гидролого-гидрохимических, бактериологических и гидробиологических анализов.

Однако интенсификация нефтедобычи неизбежно **приведет к загрязнению малых рек (притоков) и ухудшению экологического состояния р. Сок, что будет вызвано увеличением объемов закачки пластовой воды в подземные горизонты.**

Требуется реконструкция очистных сооружений районного центра Сергиевск, необходимость которой обусловлена ростом строительства коттеджных поселков и жилых домов, их физическим износом.

3. Вода р. Сок на современном этапе удовлетворяет требованиям, предъявляемым для водоемов рыбохозяйственного использования.

4. Донные отложения р. Сок, особенно в ее среднем и нижнем течении, содержат повышенные концентрации тяжелых металлов и могут являться источником вторичного загрязнения реки.

5. Научно-обоснованных противопоказаний к использованию вод реки для целей питьевого водоснабжения, рекреации и рыболовства не выявлено.

Использование воды р. Сок для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения возможно при условии соблюдения правил соответствующей водоподготовки.

6. Для улучшения экологической обстановки в бассейне р. Сок необходимо проведение комплексных природоохранных мероприятий, направленных на оздоровление санитарного состояния реки, а также создание рекреационной привлекательности водоохранной зоны, ликвидация источников антропогенного загрязнения реки.

7. В связи с введением в действие с 1 января 2007 г. нового Водного кодекса изменились требования к обустройству водоохранных зон и их параметров. Необходимо **произвести корректировку ранее разработанного технического проекта** по обустройству водоохранной зоны р. Сок в пределах Самарской области.

8. На первом этапе необходимыми мероприятиями, способствующими повышению эффективности влияния водоохранных зон на качество воды в реке, выполнению режима хозяйственной деятельности в пределах водоохраной зоны и прибрежной полосы, являются:

- провести агротехнические мелиоративные берего-укрепительные, противоэрозионные мероприятия по выносу и реконструкции объектов-загрязнителей; ликвидацию земляных плотин, построенных хозяйственным способом;
- следует начать залужение и посадку деревьев и кустарников в прибрежной и водоохранной зонах реки, что будет служить естественным препятствием для смыва в реку загрязняющих веществ;
- ивняки, в которых находится верхнее течение р. Сок, должны охраняться особенно тщательно;
- необходимо предусмотреть расчистку русла реки в отдельных ее участках (в первую очередь Камышлинский и Сергиевский районы) для **восстановления нормального гидрологического режима реки**, что создаст условия для снижения процессов эвтрофикации, улучшения кислородного режима, самоочищения реки и дополнительных ресурсов рекреации;
- провести обязательную расчистку и благоустройство родников, расположенных в водоохраной зоне р. Сок и ее притоков.

9. Одним из важнейших мероприятий улучшения санитарного состояния реки должны стать недопущение сброса неочищенных стоков с предприятий, нефтеразработок и животноводческих комплексов, расположенных в бассейне реки.

10. Необходимо ввести **единый контроль водопользования** для всего бассейна р. Сок и рационально использовать как поверхностные воды, так и запасы подземных вод.

11. Целесообразно ведение гидроэкологического мониторинга на эталонных участках реки.

9. ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ НОРМАТИВНЫХ И МЕТОДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

Анализ проб воды. РД 52.24.66-88.

Анализ проб донных отложений. РД 52.24.71-88.

Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод. Утв. Госкомитетом СССР 22.09.86 № 250-1163.

Водохозяйственные балансы рек первого порядка Самарской области (ВХБ) р. Сок. Самара, 2005. 111 с.

ГОСТ 17.1.1.01-82. Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения. М., 1982.

ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды в водоемах и водотоках. М., 1982.

ГОСТ 17.1.5.02-80. Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов. М., 1980.

ГОСТ 17.1.5.02-80. Охрана природы. Гидросфера. Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов. М., 1980.

ГОСТ 17.6.3.01-78. Охрана природы. Флора. Охрана и рациональное использование лесов зеленых зон городов. Общие требования. М., 1978.

Древесные породы мира. В 3-х т. М.: Лесн. пром-сть, 1982.

Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Утв. Минприроды РФ 30.11.1992 г.

Лесная энциклопедия. Т.2. М.: Сов. энциклопедия, 1986.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах (зообентос, фитопланктон, бактериопланктон, зоопланктон). Л.: ГосНИОРХ, 1984.

Общесоюзные нормативы для таксации лесов: справочник/ В.В. Загреев, В.И.Сухих, А.З. Швиденко, Н.Н. Гусев, А.Г. Мошкалев. М.: Колос, 1992.

Определитель сосудистых растений центра европейской России/ И.А. Губанов, К.В. Киселева, В.С. Неовиков, В.Н. Тихомиров. М.: Аргус, 1995.

Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши в системе Росгидромета. РД 52.24.3.09-92.

ОСТ 56-84-85. Использование лесов в рекреационных целях. М., 1985.

Положение о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах. Постановление Правительства РФ от 23.11.1996 г. № 1404.

Постановление об утверждении положения о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах от 23.11.1996 г. № 1404.

Постановление о признании утратившими силу отдельных правовых актов Самарской области от 14.11.2005 г. № 285.

Правила охраны поверхностных вод (Типовые положения). Утв. Госкомприроды СССР от 21.02.1991 г. № 03-13/57-442.

Приказ о минимальных размерах водоохранных зон водных объектов и их прибрежных защитных полос на территории самарской области от 14.12.2005 г. № 6.

Реймерс Н.Ф. Основные биологические понятия и термины. М.: Просвещение, 1988.

Рекомендации по организации и ведению хозяйства в лесах рекреационного значения. М.: Союзгипролесхоз, 1988.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем/ под ред. В.А. Абакумова. Л., 1992.

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1977.

Санитарные правила и нормативы «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения. СанПиН 2.1.4.1110-02». Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 14.03.2002 г. № 10, введены в действие с 1.06.2002 г.

Санитарные правила «Зоны санитарной охраны источников питьевого водоснабжения г. Москвы. СП 2.1.4.1075-01». Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 08.11.2001 г. № 32 вводятся в действие с 1.04.2002 г.

СанПиН 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнений. М., 1988.

Унифицированные методы анализа вод/ под ред. Ю.Ю. Лурье, Л., 1978.

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (с изменениями от 22 августа, 29 декабря 2004 г.).

Шиманюк А.П. Дендрология. М.: Лесн. Пром-сть, 1974.

10. СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л., 1970. 442 с.

Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия. Л., 1972. 448 с.

Гавлена Ф.К. Ихтиофауна реки Сок и его притоков// Волга-I. Проблемы изучения и рационального использования биологических ресурсов водоемов. Куйбышев, 1971. С. 254-262.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Самарской области в 2002 году. Самара, 2003. 186 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Самарской области в 2004 году. Самара, 2005. 216 с.

Евланов И.А., Козловский С.В., Антонов П.И. Кадастр рыб Самарской области. Тольятти, 1998. 222 с.

Зинченко Т.Д. Хирономиды поверхностных вод бассейна Средней и Нижней Волги (Самарская область). Эколого-фаунистический обзор. Самара: ИЭВБ РАН. 2002. 174 с.

Кокин К.А. Экология высших водных растений. М., 1982. 160 с.

Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29, № 4. С. 62-77.

Охапкин А.Г., Генкал С.И. Экология массовых видов диатомовых водо-рослей планктона водотоков бассейна Средней Волги: виды родов *Aulacosira* Thw., *Melosira* Ag., *Cyclotella* Kutz., *Cyclostephanos* Round, *Sceletonema* Grev., пеннатные диатомеи // Биол. внутр. вод. 2001. № 1. С. 27-35.

Семенов А.Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л., 1977. 540 с.

Тимофеев В.Е. Ботаника и сельское хозяйство // Учен. Зап. Куйб. Пед. Ин-та. 1959. Вып. 35.

ВКЛЕЙКА 2

(цветные фотографии и рисунки Приложения)



Фото 2-П. Верхнее течение р. Сок в районе с. Камышла



Фото 3-П. Среднее течение р. Сок в районе г. Сергиевск



Фото 4-П. Нижнее течение р. Сок в районе с. Красный Яр

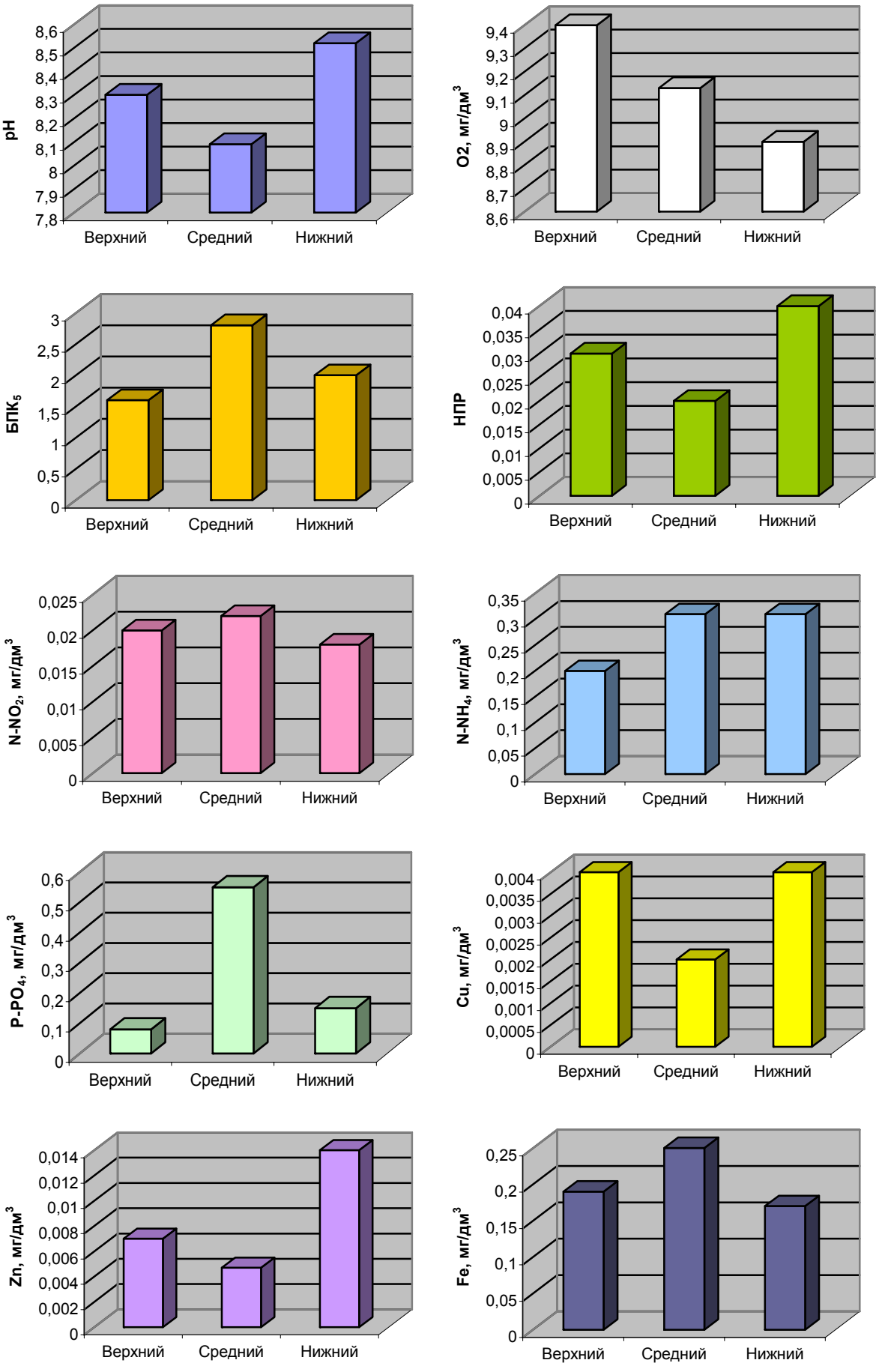


Рис. 4-П. Изменение концентраций химических характеристик в воде р. Сок

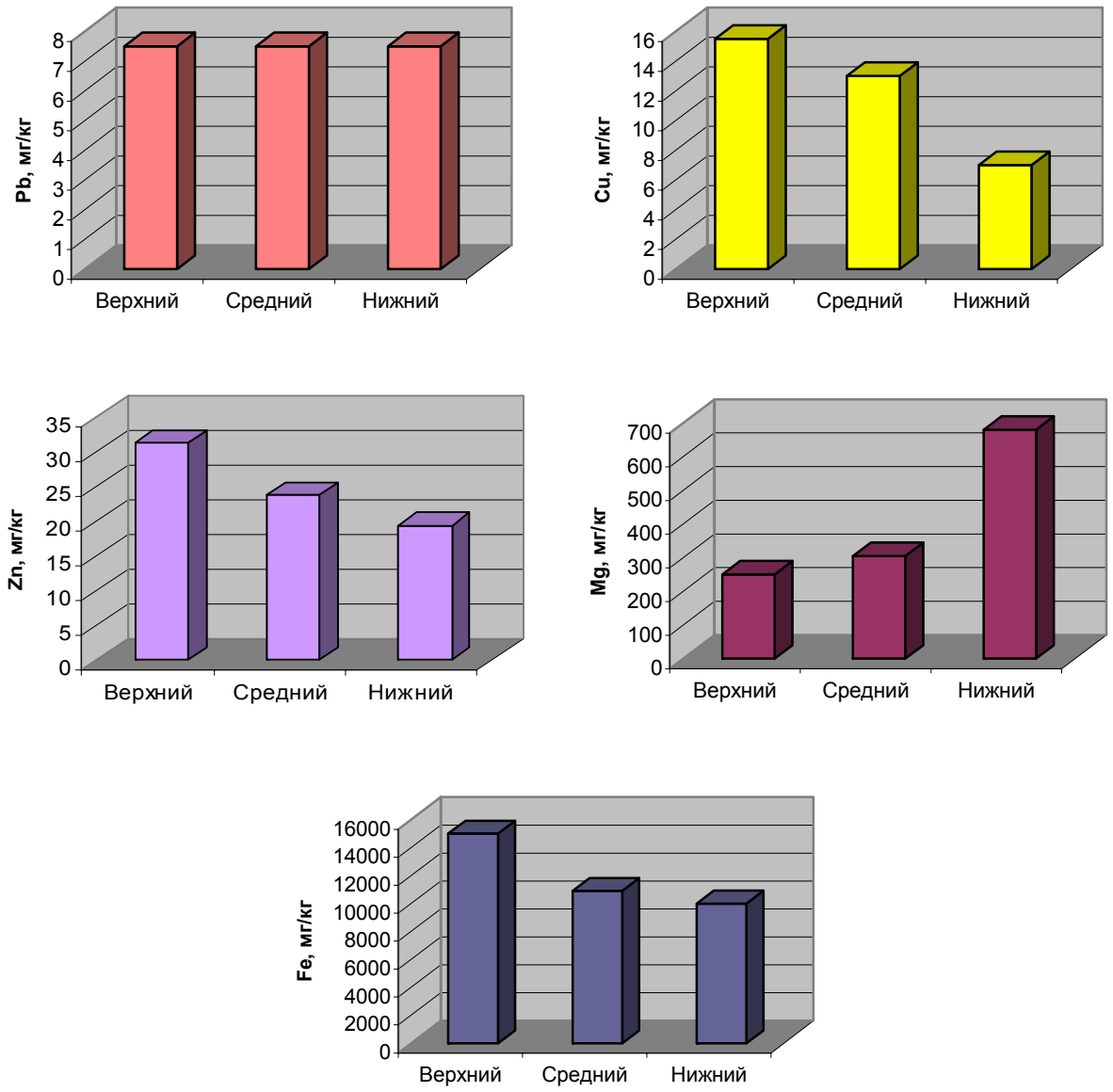


Рис. 6-П. Содержание свинца, меди, цинка, марганца и железа в грунтах р. Сок

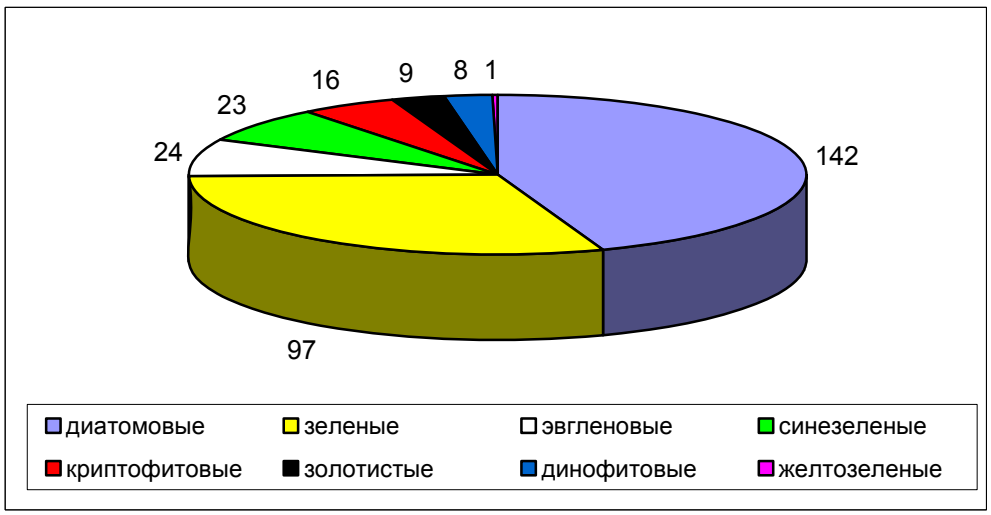


Рис. 7-П. Видовой состав фитопланктона р. Сок

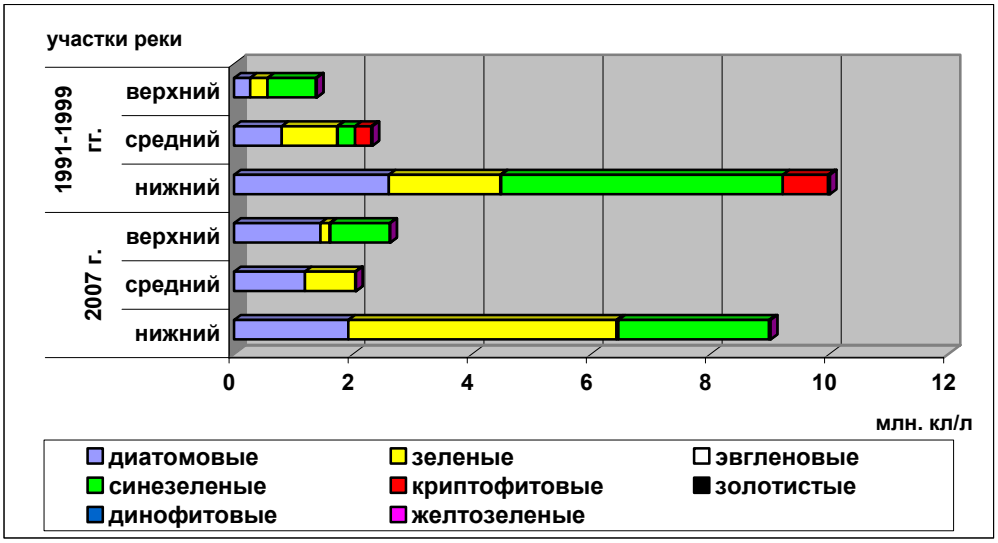


Рис. 8-П. Динамика численности водорослей разных отделов на различных участках р. Сок в 1991-1999, 2007 гг.

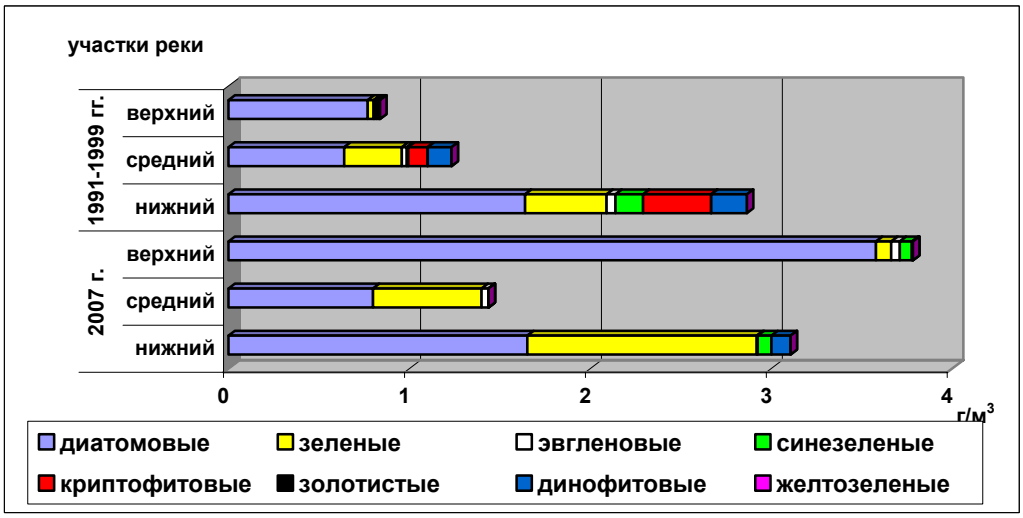


Рис. 9-П. Динамика биомассы водорослей разных отделов на различных участках р. Сок в 1991-1999, 2007 гг.

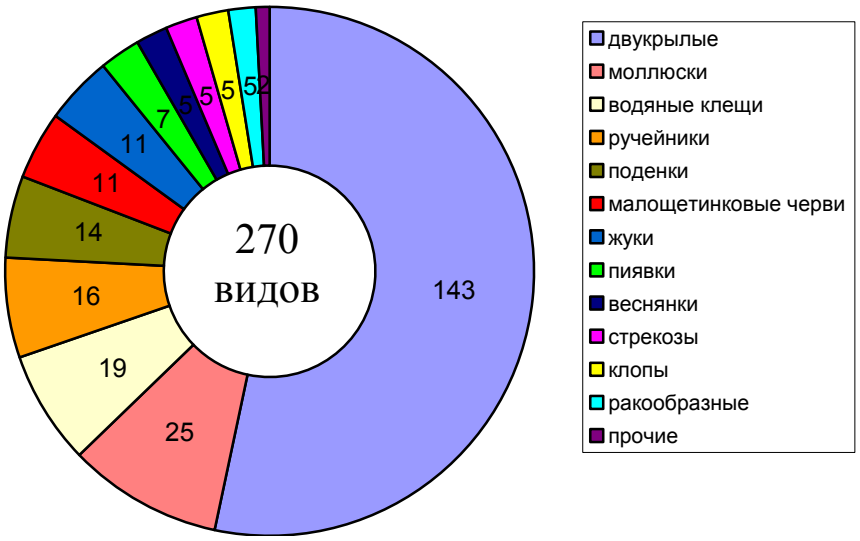


Рис. 11-П5. Видовой состав зообентоса р. Сок за период 1990-2007 гг.

Научное издание

ОСОБЕННОСТИ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ МАЛЫХ РЕК ВОЛЖСКОГО БАССЕЙНА

Утверждено к печати
Ученым советом Института
экологии Волжского бассейна
Российской академии наук

Редакторы
Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко
Технический редактор Л.А. Выхристюк
Корректор О.Л. Носкова
Художественный редактор Э.В. Абросимова

Подписано к печати 05.12.2011
Формат А4. Гарнитура Times New Roman
Печать оперативная. Усл. печ. л. 20,13
Тираж 150 экз. Заказ № 262

Издательство ООО «Кассандра»
445061, Тольятти, д. 7. Тел./факс (8482) 57-00-04
Отпечатано в типографии ООО «Кассандра»

Вперед! Сквозь белизну молочную черемух
зеленая река застенчиво блестит,
кой-где подернута парчою тонкой тины...
Спешу к тебе, спешу, знакомая река!
Неровный ветерок несет издалека
крик сельских петухов и мерный шум плотины.
Напротив берега я вижу мягкий скат,
на бархатной траве разбросанные бревна,
а дале частокол, рябин цветущих ряд,
в лучах, над избами, горящий крест церковный
и небо ясное... Как хорошо!

Владимир Набоков

В раковину-жемчужницу иной раз попадает песчинка…
своей шероховатостью песчинка начинает беспокоить
жемчужницу, заставляет ее мыслить:
выбросить не может, вытолкнуть ног нет;
сказать, чтобы убиралась, языка нет.
В конце концов ей приходит в голову
сделать песчинку ценной.

Беинса Дуно

