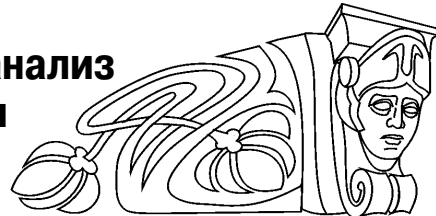




Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 21, вып. 2. С. 118–136
Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2021, vol. 21, iss. 2, pp. 118–136

Научная статья
УДК 565.33:551.762.33(470.43)
<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-2-118-136>

Кимериджские – волжские остракоды Самарской Луки: палеоэкологический анализ и отражение условий осадконакопления в магнетизме пород



Ю. Н. Савельева¹, А. Ю. Гужиков² ✉

¹ АО «Геологоразведка», Россия, 192019, г. Санкт-Петербург, ул. Фаянсовая, д. 20

² Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Савельева Юлия Николаевна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, julia-savelieva7@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1064-4734>

Гужиков Андрей Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук, aguzhikov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0579-3981>

Аннотация. Анализ распределения кимериджских–волжских остракод в разрезе у с. Вали позволил установить последовательность из восьми сообществ, смена которых отражает изменение палеоэкологических условий в бассейне. Реконструировано изменение колебаний уровня моря, основных физико-химических параметров среды обитания остракод – температуры, солености воды, содержания в ней кислорода, эвтрофии, концентрации органического вещества в осадке. Получены сведения о магнитной восприимчивости пород и ее приросте после нагрева, установлена статистически значимая связь между петромагнитными характеристиками и некоторыми условиями осадконакопления, сделан вывод об актуальности проведения совместных микрофаунистических и петромагнитных исследований.

Ключевые слова: палеоэкология, остракодовый анализ, кимеридж, волжский регион, магнитная восприимчивость, термокаппаметрия, Среднее Поволжье

Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность М. А. Рогову (ГИН РАН) за проведенную геологическую экскурсию, А. Г. Маникину (СГУ) за помощь в опробовании разреза, Р. А. Ракитову (ПИН РАН) за содействие при фотографировании остракод, Е. М. Тесаковой (МГУ) за консультации и обсуждение результатов микрофаунистических исследований, Е. С. Очкасову (АО «Геологоразведка») за техническую помощь.

Для цитирования: Савельева Ю. Н., Гужиков А. Ю. Кимериджские – волжские остракоды Самарской Луки: палеоэкологический анализ и отражение условий осадконакопления в магнетизме пород // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 21, вып. 2. С. 118–136. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-2-118-136>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Article
<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-2-118-136>

Kimmeridgian–Volgian ostracods of Samarskaya Luka: Paleoecological analysis and reflection of sedimentation conditions in rock magnetism

Ju. N. Savelieva¹, A. Yu. Guzhikov² ✉

¹ JSC “Geologorazvedka”, Fayansovaya 20, Saint Petersburg 192019, Russia

² Saratov State University, Astrakhanskaya 83, Saratov 410012, Russia

Julia N. Savelieva, julia-savelieva7@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1064-4734>

Andrey Yu. Guzhikov, aguzhikov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0579-3981>

Abstract. The analysis of the distribution of the Kimmeridgian–Volgian ostracods in the section near the village Vally made it possible to establish a sequence of eight communities, the change of which reflects changes in the ecological conditions in the basin. Changes in sea level fluctuations, the main physical and chemical parameters of the ostracod habitat – temperature, salinity of water, oxygen content in it, eutrophy and concentration of organic matter in sediment – are reconstructed. Information on the magnetic susceptibility and its increase after



heating was obtained. Statistically significant relationships between the petromagnetic characteristics and some conditions of sedimentation were established. The conclusion about the relevance of continuing such studies at objects of different ages and genesis was made.

Keywords: palaeoecology, ostracod analysis, Kimmeridgian, Volgian, magnetic susceptibility, increase of magnetic susceptibility after heating, Middle Volga region

Acknowledgments: The authors express their sincere gratitude to Mikhail A. Rogov (GIN RAS) for the geological excursion, Aleksey G. Manikin (Saratov State University) for help in testing the section, Roman A. Rakitov (PIN RAS) for assistance in photographing ostracods, Ekaterina M. Tesakova (Moscow State University) for consultations and discussion of microfaunistic studies results, Elena S. Ochkasova (JSC "Geologorazvedka") for technical assistance.

For citation: Savelieva Ju. N., Guzhikov A. Yu. Kimmeridgian–Volgian ostracods of Samarckaya Luka: Paleoeological analysis and reflection of sedimentation conditions in rock magnetism. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2021, vol. 21, iss. 2, pp. 118–136 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-2-118-136>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Введение

Карьер по добыче верхнеюрских глин расположен примерно в 1 км северо-восточнее с. Валы Ставропольского района Самарской области (рис. 1). До недавнего времени этот разрез не был известен по публикациям. О присутствии в окрестностях с. Валы киммериджского и волжского ярусов лишь вкратце упоминалось в записке к геологической карте масштаба 1:200000 [1]. Описание разреза киммериджских и волжских отложений у с. Валы и предварительные стратиграфические разбивки были выполнены М. А. Роговым в 2015 г. во время полевой экскурсии, проведенной в рамках международной научной конференции по проблеме границы юрской и меловой систем (7–13 сент. 2015 г., Самара). Тогда же нами был проведен рекогносцировочный отбор проб для микропалеонтологического (остракоды и диноцисты) и петромагнитного анализа. В дальнейшем планировалось детальное опробование разреза, но в 2017 г. карьер был рекультивирован.

В разрезе, видимой мощностью ~ 22 м, представлены оба киммериджских подъяруса, нижний и средневолжский подъярус. Киммериджские и средневолжские отложения сложены глинами серыми и темно-серыми с редкими горизонтами фосфоритов и включениями известковых конкреций; средневолжские (зона *Dorsoplanites panderi*) состоят из глин преимущественно бурых и темно-серых до черных, выше с размывом они перекрываются песками, содержащими переотложенные аммониты средневолжского – рязанского возраста. Послойное описание и подробные результаты комплексного био-стратиграфического изучения (аммониты, остракоды, палиноморфы) киммериджских и волжских отложений разреза Валы будут опубликованы в дальнейшем.

При анализе микрофаунистических и петромагнитных материалов по разрезу были обнаружены значимые корреляции между величинами магнитной восприимчивости пород (до и после нагрева) и количественными характеристиками остракод (количество экземпляров, родов, видов и т. д.), что послужило стимулом к поиску взаимосвязи палеоэкологических условий и магнитных свойств отложений. В настоящей

статье представлены результаты детального палеоэкологического анализа встреченных остракод и совместного статистического анализа микрофаунистических и петромагнитных данных.

Остракоды и палеоэкологический анализ

Современные остракоды успешно используются как индикаторы состояния и прослеживаемой динамики экосистем морских акваторий [2]. Являясь по образу жизни слабоподвижным бентосом, они чутко реагируют на изменение параметров среды в придонных слоях бассейна. Анализ ископаемых остракод давно применяется при палеоэкологических и палеогеографических построениях [3–6].

В разрезе Валы были отобраны 26 образцов весом 0,5 кг для микропалеонтологического изучения: 5 (с интервалом 0,4–5 м) из киммериджских глин и 21 (с интервалом 0,4–0,5 м) из средневолжских глин. Образцы из волжской части разреза взяты по системе «образец в образец» с пробами для петромагнитного изучения.

Полученная микропалеонтологическая коллекция № РП-О-15 хранится в отделе стратиграфии АО «Геологоразведка» (Санкт-Петербург). Фотографии остракод выполнены Ю. Н. Савельевой на электронном сканирующем микроскопе Tescan Vega 2 (ПИН РАН).

Всего в разрезе Валы встречены представители 72 видов, принадлежащие 21 роду (фототабл. 1, 2). Среди них есть как новые, так и неопределенной родовой принадлежности формы (рис. 2). Остракоды обнаружены во всех образцах, кроме верхних пяти (обр. 3073-1-17–3073-21). При проведении таксономического анализа велся количественный подсчет родов, видов и форм неопределенной родовой принадлежности, а также раковин, створок и их обломков (табл. 1). Это позволило выявить доминирующие и субдоминирующие таксоны, определить их изменение по разрезу. В количественном отношении доминируют представители рода *Galliaecytheridea* (957 экз., 8 видов), субдоминируют *Cytherella* (368 экз., 6 видов), много *Eucytherura* (215 экз., 13 видов). Последние преобладают и по количеству видов. Сохранность раковин средняя и хорошая. Ракови-

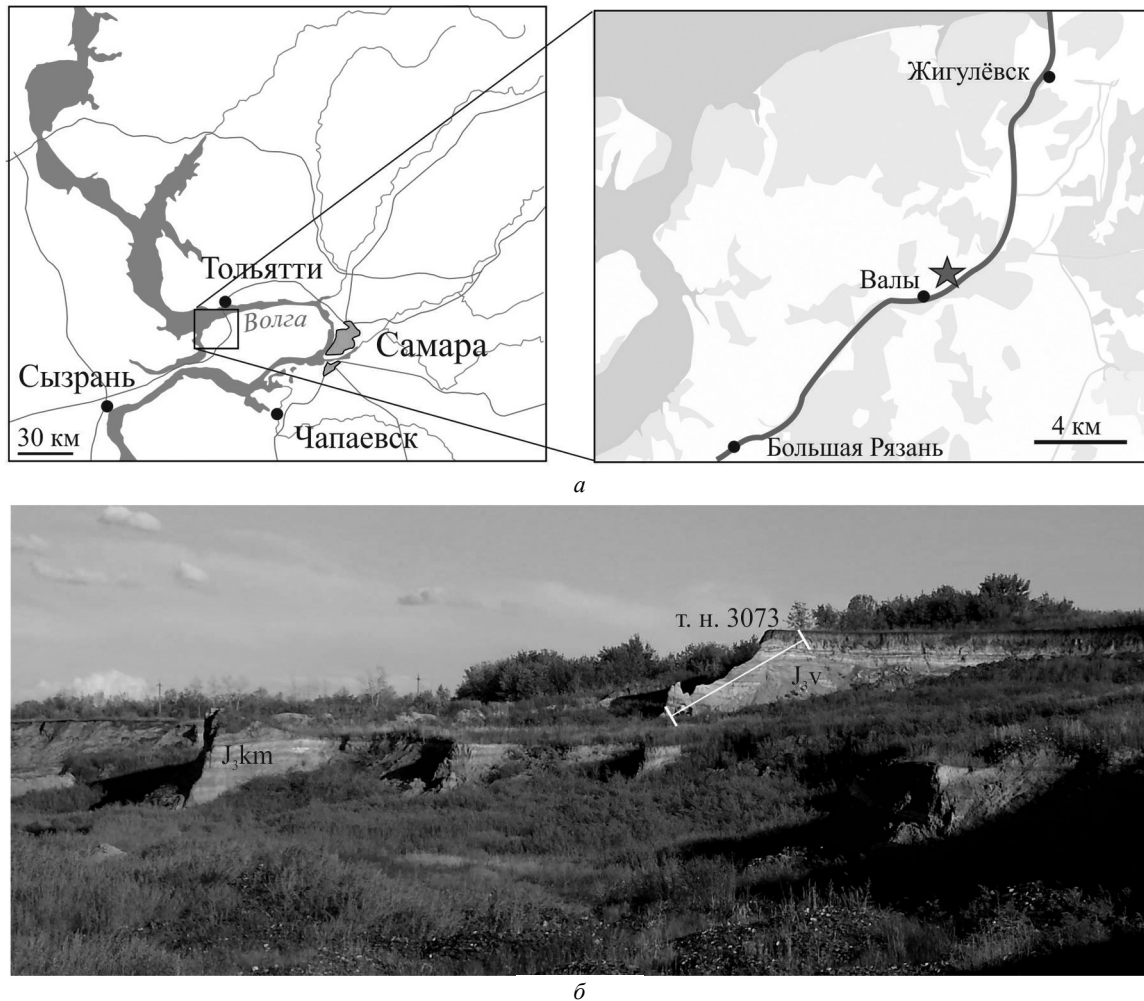


Рис. 1. Местоположение разреза карьера Валы (а) и его общий вид (б) (фото Ю. Н. Савельевой) (цвет online)

ны тонко-, средне- и толстостенные, как правило, целые, но встречаются и обломки. Хорошая сохранность остракод, отсутствие размерной дифференциации и совместная встречаемость взрослых и личиночных экземпляров разных возрастных генераций у многих видов позволяют говорить об их автохтонном захоронении.

Остракодовый анализ проводился на родовом уровне. Для всех установленных в разрезе Валы родов остракод в табл. 2 по литературным данным (в том числе с учетом результатов авторских исследований) указаны основные параметры среды их обитания: температура, глубина, соленость, эвтрофия [3, 6–9]. При описании сообществ используются палеоэкологические термины: «Schuleridea-сигнал» – маркер прибрежной обстановки [5], «Galliaecytheridea-сигнал» – индикатор распределения и «Eucytherura-сигнал» – индекс глубоководности [3]. Известно, что *Cytherella* за счет способности прогонять воду сквозь раковину вдвое быстрее других остракод наиболее приспособлены к дизоксидным обстановкам. Их монокомплексы или существенное преобладание в комплексах указывают на возрастание эвтрофии и называются «*Cytherella*-сигнал» [10]. Показателем высокой эвтрофии бассейна также считается существенное

преобладание представителей родов *Eucytherura*, *Galliaecytheridea* и *Mandelstamia* на фоне снижения общего разнообразия [3]. Как видно из табл. 1, все встреченные остракоды характерны для нормально-морских вод, некоторые из них выдерживают опреснение. Большинство из них эвритермных родов, но присутствие теплолюбивых говорит о наличии теплого палеобассейна. Гладкостенные *Cytherella*, *Paracypris*, *Pontocyprilla*, *Pontocypris*, *Macrocyparis* обитают на разных глубинах, но предпочитают спокойные, удаленные от берега обстановки, поэтому включены в группу родов «обязательный компонент глубоководной фауны» [11]. Рост их количества в комплексах говорит об увеличении глубины бассейна. Представители рода *Bythoceratina* типично морские (стенобионты), хотя некоторые из ныне живущих проникают в опресненные моря. Они включены в табл. 1 в группу «мелководные», в современных морях обитают на разных глубинах, в холодных и умеренных водах сосредоточены в основном на глубинах от 30–50 до 500 м, а в тропиках наибольшее видовое разнообразие имеют на мелководье [12]. По изменению родового состава, количественных характеристик с привлечением данных об известных экологических предпочтениях встреченных родов выделено 8 со-

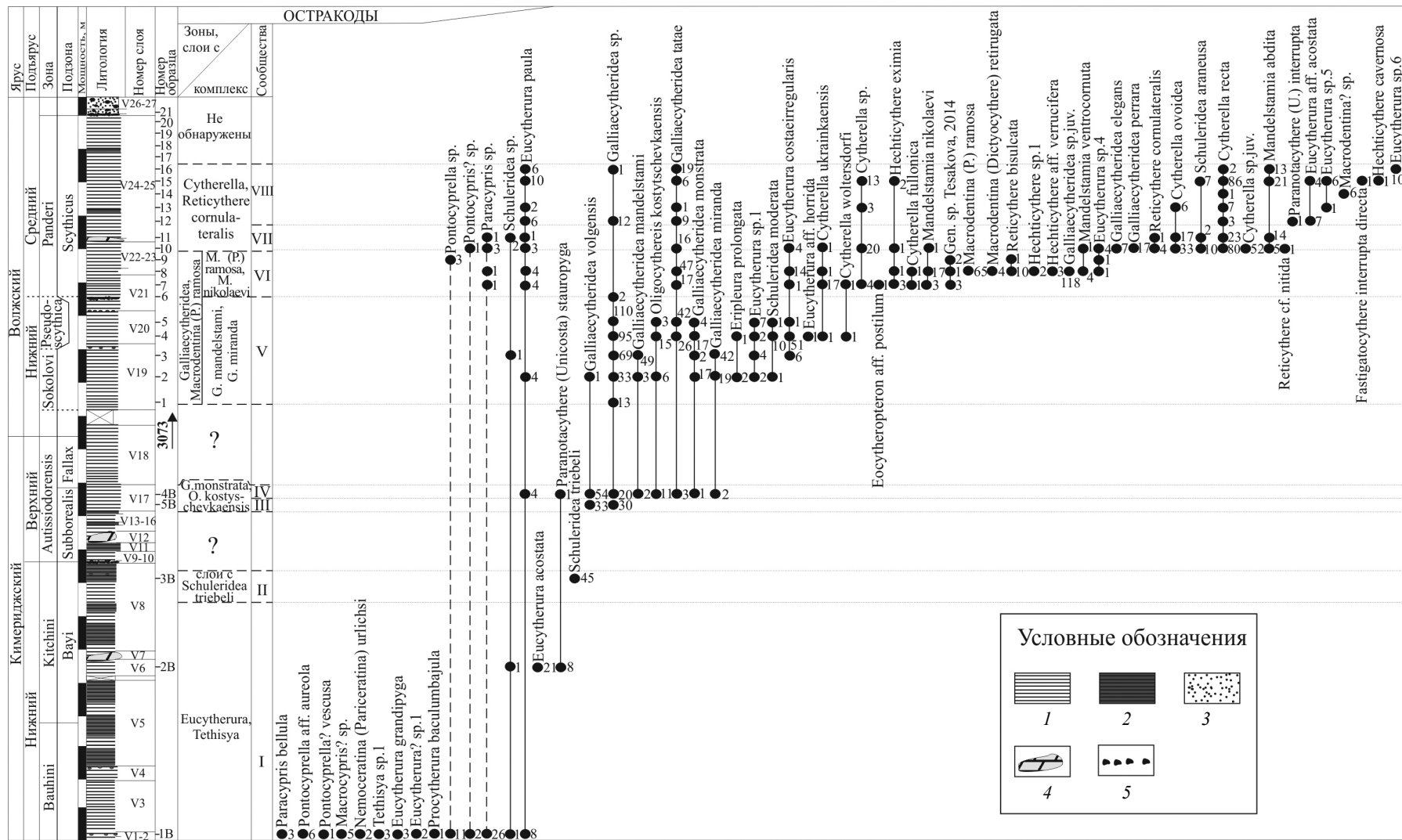


Рис. 2. Распространение основных видов остракод по разрезу Вала: 1 – светло-серые глины; 2 – темно-серые глины; 3 – пески; 4 – конкреции мергеля; 5 – конкреции фосфорита; ●3 – присутствие остракод и количество экземпляров в образце; juv. – ювенильные экземпляры



Петромагнитные показатели и количественные характеристики встреченных родов остракод в кимериджских–волжских отложениях в разрезе Вали

Номер образца	$K \cdot (10^{-8} \text{м}^3/\text{кг})$	$dK \cdot (10^{-8} \text{м}^3/\text{кг})$	Общее количество (без обломков)	Общее количество	Роды	Виды	Parasupris	Pontosuprella	Pontosupris	Macrosupris	Bythoceratina	Tethysia	Eucytherura	Procytherura	Paranotacythere	Schuleridea	Galliaecytheridea (без личинок)	Galliaecytheridea	Oligocythereis	Eripleura	Funhbergiella	Mandelstamia	Cytherella	Eocytheropteron	Hechtythere	Macrodentina	Reticythere	Fastigatocythere
3073-21	20.89	-0.69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3073-20	14.22	-0.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3073-19	6.44	-0.89	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3073-18	8.93	0.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3073-17	7.54	0.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3073-16	6.32	0.65	57	117	4	7	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	20	20	0	0	0	14	2	0	0	0	0	0
3073-15	5.52	0.44	145	164	7	10	0	0	0	0	0	0	20	0	0	7	6	6	0	0	0	21	99	0	3	0	0	1
3073-14	7.18	-0.14	1	7	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6	0	0
3073-13	7.19	-0.54	19	24	4	6	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0
3073-12	8.31	-0.81	38	43	4	6	0	0	0	0	0	0	13	0	1	0	21	21	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
3073-11	4.35	-0.22	72	77	8	11	1	0	0	0	1	0	6	1	0	4	0	0	0	0	0	14	40	1	1	0	0	0
3073-10	5.91	0.08	271	291	9	15	3	0	1	0	0	0	11	0	0	10	33	33	0	0	0	5	182	0	5	0	0	0
3073-9	10.00	-0.98	6	7	3	3	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3073-8	6.25	-0.56	308	355	11	17	1	0	0	0	1	0	19	0	0	0	47	165	0	0	0	17	2	0	4	69	13	0
3073-7	7.45	-0.70	59	70	8	12	1	0	0	0	0	0	5	0	0	0	17	17	0	0	0	3	23	1	3	0	0	0
3073-6	10.50	-0.75	1	3	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3073-5	8.32	-0.69	53	170	4	7	0	0	0	0	0	0	8	0	0	1	156	156	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3073-4	7.15	-0.49	185	285	8	13	0	0	0	0	1	0	54	5	0	10	141	141	15	1	8	5	1	0	0	0	0	0
3073-3	9.50	-2.33	118	186	3	7	0	0	0	0	0	0	10	0	0	1	162	162	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3073-2	7.73	-0.05	50	83	9	14	0	0	0	0	0	0	6	0	0	1	73	73	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0
3073-1	9.36	-0.42	0	13	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4			76	96	4	9	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	81	81	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5			33	66	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3			0	45	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2			0	30	4	4	0	0	0	0	0	0	21	0	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1			0	125	10	16	31	24	2	2	2	3	13	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Примечание. Жирной рамкой обведены параметры, которые использовались при расчете корреляционной матрицы.



Встреченные роды остракод в кимериджских–волжских отложениях разреза Вали и их отношение к температуре, глубине, солености и эвтрофии

Таксономический состав остракод			Отношение изученных родов к экологическим параметрам													
Отряд	Семейство	Род	Температура			Соленость			Глубина				Эвтрофия			
			тепло- водный	T	эври- термный	морская	соле- ность, ‰	эврига- линная	мелко- водные	глубоководные		эвриба- тиальные	эвтроф- ные	олиго- трофные		
								обязательный компонент глубок. фауны	индекс- глубоков.							
Platycopida	Cytherellidae	Cytherella		2 - > 20			10 - 40									
Podocopida	Macrocyprididae	Macrocypris		5 - 10												
	Pontocyprididae	Pontocyprilla		2 - > 20			28 - 35									
	Paracyprididae	Pontocypris		2 - 20												
		Paracypris		2 - > 20			9 - 35									
	Bythocytheridae	Bythoceratina		2 - > 20												
	Cytheruridae	Eucytherura		2 - > 20												
		Procytherura		5 - >20												
		Paranotacythere		2 - 18			28 - 40									
		Eocytheropteron		2 - 20			5 - 30									
		Eripleura		>20												
	Loxoconchidae	Mandelstamia														
	Progonocytheridae	Macrodentina		>20			5 - 30									
		Fastigatocythere		10 - 20												
	Neurocytheridae	Funrbergiella		2 - 15												
	Protocytheridae	Hechticythere		14 - 20			10 - 30									
		Reticythere		14 - 20			10 - 30									
	Trachyleberidacea	Tethysia		2-17												
		Oligocythereis		>20												
	Cytherideidae	Galliaecytheridea		12 - >20												
	Schulerideidae	Schuleridea					5 - 37									

Примечание. Сост. по: [3,6–9].



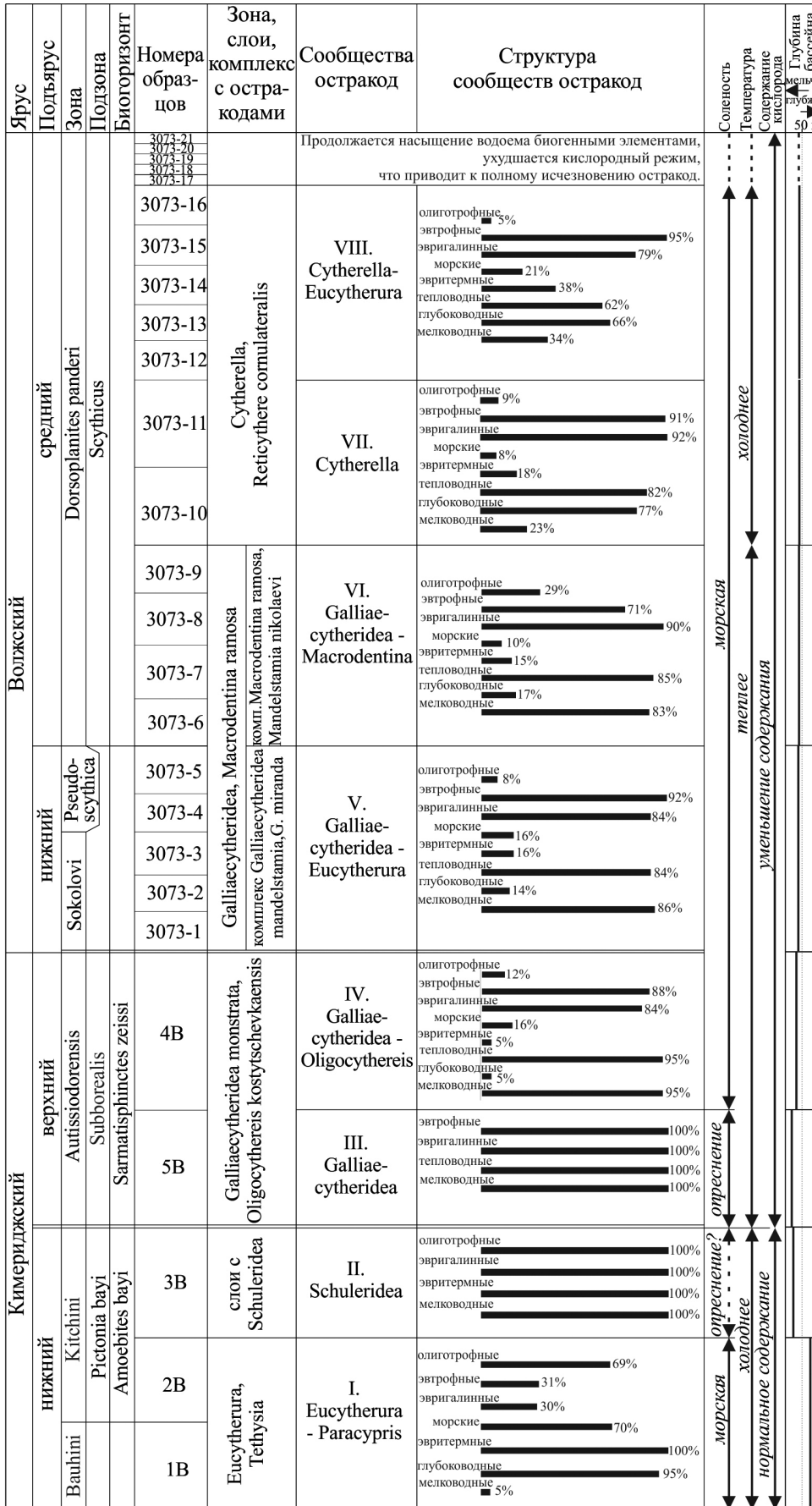


Рис. 3. Структура сообществ остракод из кимериджских-волжских отложений разреза Валы



обществ остракод (I–VIII), названия которых даны по доминирующим родам (рис. 3).

В низах разреза (обр. 1В, 2В) установлено **I сообщество** – *Eucytherura* – *Paracypriis* (нижний кимеридж, зоны *Vauhini* и *Kitchini*, подзона *Baui*, биогоризонт *baui*). В ассоциации встречены представители 16 видов, принадлежащих 10 родам. Раковины в основном тонкостенные хорошей сохранности. Доминируют морские, эвритермные, эвтрофные *Eucytherura* (34 экз.), которые являются «индексом-глубоководности» [3], субдоминируют глубоководные *Paracypriis* (24 экз.). Все обнаруженные роды эвритермные. Много гладкостенных, преимущественно морских родов *Macrocypris*, *Paracypriis*, *Pontocyprella*, *Pontocypriis*, которые относятся к группе «обязательный компонент глубоководной фауны» [6, 11]. Представители рода *Tethysia* считаются обитателями суббатинальных и батинальных глубин [13]; при изучении юрских отложений Русской плиты (РП) Е. М. Тесакова их отнесла к характерным обитателям верхней части сублиторали [3]. Сообщество формировалось в нормально-морской обстановке, со спокойным гидродинамическим режимом в условиях средней сублиторали (более 50 м).

При ухудшении условий структуры комплексов меняются, снижаются их разнообразие и численность вплоть до полного исчезновения или происходит значительное увеличение численности доминирующего таксона, иногда образующего моновидовое сообщество. Выше по разрезу установлены два монокомплекса (см. рис. 3).

В моновидовом **II сообществе** обнаружены представители только одного вида *Schuleridea triebeli* (обр. 3В, нижний кимеридж, зона *Kitchini*, подзона *Baui*, биогоризонт *baui*). Раковины достаточно толстостенные, встречаются как целые, так и обломки. Род шулеридеи – эвритермные, эвригалинные, олиготрофные и предпочитают мелководье [3]. Комплекс, в котором они резко преобладают, вплоть до образования монокомплекса, называется «*Schuleridea*-сигнал» обмеления. Скорее всего, произошло не только уменьшение глубины бассейна, приближение береговой линии и увеличение подвижности придонных вод, но, возможно, и опреснение до 17%. Такую соленость указывают для аналогичной ситуации при формировании кимериджских отложений Северо-Западной Швейцарии [14]. Присутствие аммонитов исключает опреснение в целом, но, возможно, оно носило кратковременный характер в верхней части слоя V8 (см. рис. 2).

Выше выделяется **III сообщество** – монокомплекс *Galliaecytheridea* (обр. 5В, верхний кимеридж, зона *Autissiodorensis*, подзона *Subborealis*, биогоризонт *zeissi*). Представители этого рода предпочитают теплые небольшие глубины, они выдерживают опреснение и понижение уровня кислорода в воде и считаются показателем высокой эвтрофии бассейна [3, 15]. По-видимому, произошло повышение температуры воды и насыщение

бассейна биогенными элементами, что привело к нарушению кислородного режима, при сохранении небольших глубин, так как галлиецитеридеи и шулеридеи предпочитают мелководье. Поскольку и те и другие выдерживают опреснение, солевой режим мог измениться незначительно. Но если II сообщество формировалось в обстановке нормальной солености, то III – в условиях опреснения водоема.

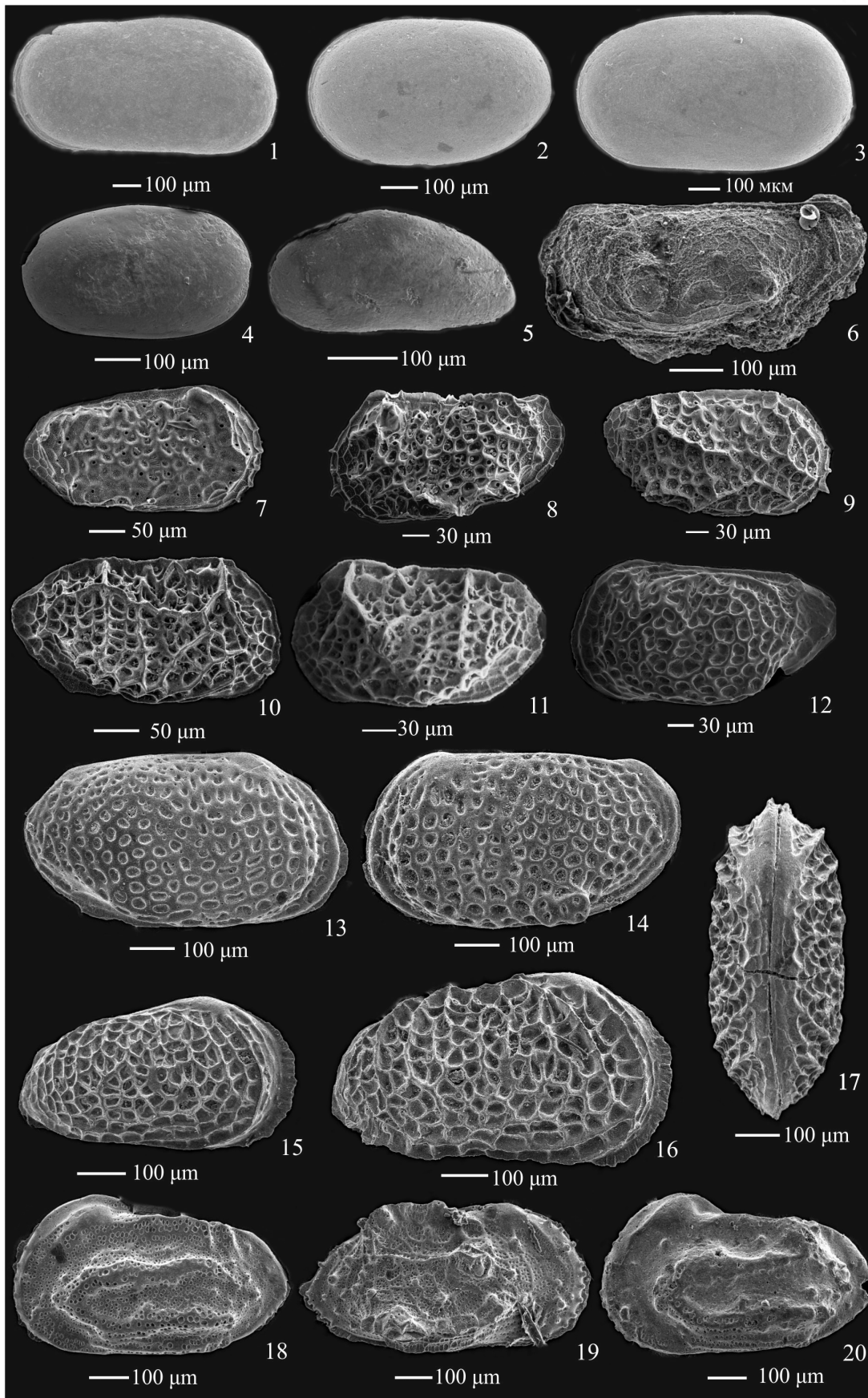
Выше по разрезу фиксируется **IV сообщество** – *Galliaecytheridea* – *Oligocythereis* (обр. 4В, верхний кимеридж, зона *Autissiodorensis*, подзона *Subborealis*, биогоризонт *zeissi*), которое указывает на постепенное восстановление морских условий в бассейне. В комплексе, несмотря на небольшое таксономическое разнообразие (7 видов 4 родов) и абсолютное доминирование эвригалинных и эвтрофных *Galliaecytheridea* (81 экз.), обнаружены исключительно морские роды *Eucytherura*, *Paranotacythere*, *Oligocythereis* (11 экз.). Сохранность раковин, преимущественно средне- и толстостенных, хорошая. При сохранении тепловодного бассейна, умеренной гидродинамики происходит незначительное увеличение глубины и восстановление нормально-морской солености воды, по-видимому, уменьшается степень эвтрофии и улучшается кислородный режим.

Далее выделяется **V сообщество** – *Galliaecytheridea* – *Eucytherura* (обр. 3071-1-3073-5, нижняя волга, зоны *Sokolovi* и *Pseudoscythica*). Таксономическое разнообразие увеличивается, встречены представители 23 видов, принадлежавших к 11 родам. Продолжается абсолютное доминирование *Galliaecytheridea* (545 экз.), много морских «индекс-глубоководности» *Eucytherura* (78 экз.). Процент глубоководных родов увеличился почти в 3 раза (с 5 до 14%), тепловодных уменьшился (с 95 до 84%). Вероятно, условия жизни становятся более благоприятными: происходит незначительное увеличение глубины бассейна, небольшое снижение температуры воды при сохранении умеренной гидродинамики и нормальной солености умеренно эвтрофного бассейна.

Самым таксономически разнообразным является **VI сообщество** – *Galliaecytheridea* – *Macrodentina* (обр. 3073-6 – 3073-9, средняя волга, зона *Panderi*, подзона *Scythicus*). Встречены представители 26 видов, принадлежащих 13 родам. Доминируют все также *Galliaecytheridea* (184 экз.), но по количеству экземпляров их становится значительно меньше, среди них есть как взрослые особи, так и много личинок разных возрастных генераций. Появляются представители родов *Cytherella* и мелководных – *Reticythere*, *Hechticythere*, *Mandelstamia* и *Macrodentina*, последние занимают субдоминирующее положение (69 экз.). Присутствуют глубоководные *Paracypriis* и *Pontocyprella*. Установились самые благоприятные условия для жизни остракод. Палеобассейн был теплый (тепловодных родов 85%), с небольшими глубинами, с нормальной соленостью, умеренной насыщенностью биогенными элементами



Фототаблица 1





(уменьшилось количество эвтрофных родов) и благоприятным уровнем кислорода.

Выше в остракодовых сообществах происходит смена доминантов, *Galliaecytheridea* становится значительно меньше, а *Cytherella* – больше. На РП в ранней волге (зоны Sokolovi и Pseudoscythica) и в начале средней волги фиксируется резкое доминирование рода *Galliaecytheridea*, а выше (в первой половине Panderi) доминируют *Cytherella*. Оба эти рода одинаково толерантны к повышению эвтрофии, но, по предположению Е. М. Тесаковой, галлиецитеридеи более теплолюбивы, чем цитереллы [3].

В VII сообществе (обр. 3073-10–3073-11, подзона Scythicus) наблюдается абсолютное доминирование *Cytherella* (222 экз.), встречаются как взрослые особи, так и личинки. Процент глубоководных родов резко увеличился (с 17 до 77%) за счет цитерелл, которые здесь отнесены к группе «обязательный компонент глубоководной фауны». Видимо, глубина бассейна значительно не изменилась, так же как и соленость. Сообщество формировалось в условиях более низких температур и более высокой степени эвтрофии. Факт похолодания подтверждается и исчезновением теплолюбивого *Macrodentina*, который в VI сообществе занимал субдоминирующее положение.

Выше таксономическое разнообразие уменьшается. В VIII сообществе *Cytherella* – *Eucytherura* (обр. 3073-12 до 3073-16, подзона Scythicus) обнаружены представители 17 видов, относящиеся к 8 родам. Доминируют все те же *Cytherella*, но количество их существенно меньше (120 экз.). Субдоминируют глубоководные *Eucytherura* (57 экз.), много теплолю-

бивых и мелководных *Galliaecytheridea* (48 экз.), немного меньше мелководных *Mandelstamia* (35 экз.). Существенное преобладание всех этих четырех родов в комплексах на фоне снижения разнообразия и количества других считается показателем высокой эвтрофии водоема. Вероятно, при сохранении небольшой глубины бассейна и нормальной солености идет дальнейшее понижение температуры воды и насыщение водоема биогенными элементами, что приводит к ухудшению кислородного режима. Как следствие, уменьшается таксономическое разнообразие и доминирование родов, способных обитать при пониженном уровне кислорода. В обр. 3073-16 обнаружены представители только этих четырех родов.

Дальнейший рост биологической продуктивности бассейна привел к скоплению на дне органического вещества в еще больших количествах, которое не успевало перерабатываться, что и обусловило образование аноксидной обстановки, выше в образцах с 3073-17 по 3073-21 остракоды не обнаружены.

На формирование осадка в условиях открытого шельфа (средняя-нижняя сублитораль) в кимериджское время указывают данные О. В. Шурековой (АО «Геологоразведка», Санкт-Петербург) о процентном соотношении групп палиноморф в спектре (обр. 1В и 5В). Кроме того, значительное количество прازیнофитов (14%) в образце 5В (биогоризонт zeissi) свидетельствует о морских условиях с низким содержанием кислорода [16]. Повышение количества прازیнофитовых водорослей вверх по разрезу до 50% и снижение раз-

Фототабл. 1. Остракоды кимериджских – волжских отложений карьера Валы: пс – правая створка; лс – левая створка; рак. – раковина; juv. – ювенильная особь

Фиг. 1. *Cytherella fullonica* Jones et Sherbon, 1888, экз. № РП-О-15/51, лс; обр. 3073-10, слой V22-23, зона Panderi, подзона Scythicus.

Фиг. 2. *Cytherella ovoidea* Donze, 1962, экз. № РП-О-15/52, лс; обр. 3073-10, слой V22-23, зона Panderi, подзона Scythicus.

Фиг. 3. *Cytherella recta* (Sharapova, 1939), экз. № РП-О-15/53, лс; обр. 3073-15, слой V22-23, зона Panderi, подзона Scythicus.

Фиг. 4. *Cytherella ukrainaensis* Lyubimova, 1955, экз. № РП-О-15/54, пс; обр. 3073-7, слой V21, зона Panderi, подзона Scythicus.

Фиг. 5. *Pontocypris?* sp., экз. № РП-О-15/55, лс; обр. 1В, слой V1-2, зона Bauhini.

Фиг. 6. *Bythoceratina* sp., экз. № РП-О-15/56, лс; обр. 1В, слой V1-2, зона Bauhini.

Фиг. 7. *Eucytherura acostata* (Tesakova, 2003), экз. № РП-О-15/57, пс; обр. 2В, слой V6, зона Kitchini, подзона Bayi, биогоризонт bayi.

Фиг. 8. *Eucytherura paula* (Lyubimova, 1955), экз. № РП-О-15/58, лс; обр. 3073-7, слой V21, зона Panderi, подзона Scythicus.

Фиг. 9. *Eucytherura ex gr. paula* (Lyubimova, 1955), экз. № РП-О-15/59, пс; обр. 3073-8, слой V22-23, зона Panderi, подзона Scythicus.

Фиг. 10–11. *Paranotocythere* (Unicosta) *stauropyga*

Tesakova, 2003, обр. 2В, 10. экз. № РП-О-15/60, пс, 11; экз. № РП-О-15/61, лс; зона Kitchini, подзона Bayi, биогоризонт bayi.

Фиг. 12. *Eripleura prolongata* (Sharapova, 1939), экз. № РП-О-15/62, лс; обр. 3073-2, слой V19, зоны Sokolovi – Pseudoscythica.

Фиг. 13. *Mandelstamia ventrocornuta* Lyubimova, 1955, экз. № РП-О-15/63, пс; обр. 3073-8, слой V22-23, зона Panderi, подзона Scythicus.

Фиг. 14. *Mandelstamia abdita* Lyubimova, 1955, экз. № РП-О-15/64, лс; обр. 3073-10, слой V22-23, зона Panderi, подзона Scythicus.

Фиг. 15–17. *Macrodentina* (*Polydentina*) *ramosa* (Lyubimova, 1955) : 15 – экз. № РП-О-15/65, пс juv.; 16 – экз. № РП-О-15/24, пс, самка; 17 – экз. № РП-О-15/25, рак. со спинной стороны; обр. 3073-8, слой V22-23, зона Panderi, подзона Scythicus.

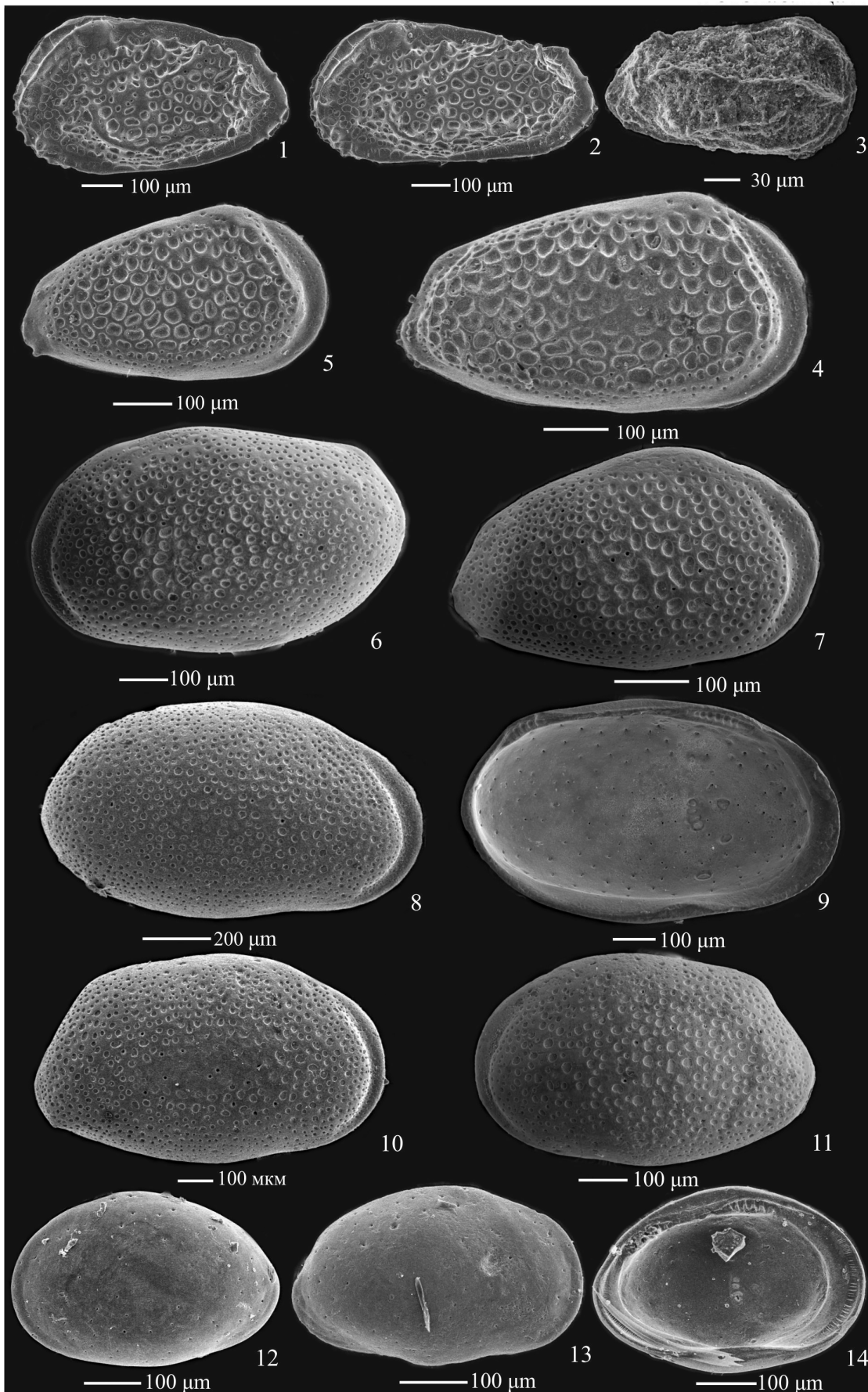
Фиг. 18. *Hechticythere eximia* (Scharapova, 1939), экз. № РП-О-15/66, лс; обр. 3073-8, слой V22-23, зона Panderi, подзона Scythicus.

Фиг. 19. *Hechticythere cornulateralis* (Lyubimova, 1955), экз. № РП-О-15/67, пс; обр. 3073-10, слой V22-23, зона Panderi, подзона Scythicus.

Фиг. 20. *Reticythere bisulcata* (Scharapova, 1939), экз. № РП-О-15/68, лс; обр. 3073-8, слой V22-23, зона Panderi, подзона Scythicus.



Фототаблица 2





нообразия диноцист (обр. 4В, биогоризонт zeissi) указывают на увеличение степени аноксичности бассейна [17]. В двух образцах (2В и 3В, биогоризонт bayi) обнаружено только сильно деградированное аморфное органическое вещество. В ниже- и средневолжских образцах палиноморфы не выявлены.

В разрезе встречено большое количество аммонитов. По данным М. А. Рогова [18], на отдельных уровнях вместе с бореальными и суббореальными аммонитами встречаются также таксоны тетического происхождения. Наиболее интересен в этом отношении линзовидный прослой мергеля (слой V7) (см. рис. 2), в котором найден обломок аммонита тетического происхождения (*Taramelliceras*). Вместе с ним найдены белемниты средиземноморского происхождения (*Hibolites*), а также несколько одиночных кораллов, условно отнесённых к роду *Trochocyathus*. Еще один тетический аммонит был встречен в более высокой части биогоризонта bayi (в 0,3 м ниже кровли слоя V8). Так как были найдены аммониты тетического происхождения в биогоризонте bayi других разрезов европейской части России, то, по мнению М. А. Рогова, это может говорить о существовании одного-двух эпизодов кратковременного потепления, что привело к инвазии в Среднерусское море теплолюбивых таксонов [19].

В период второго потепления (верхняя часть слоя V8), вероятно, глубина и температура бассейна изменились незначительно, так как в обр. 3В встречены эвритермные *Schuleridea*, предпочитающие небольшие глубины. Появление моновидового сообщества с *Schuleridea triebeli* – западноевропейским таксоном – обозначает начало трансгрессивного этапа [3]. Кратковременное потепление отмечено и в верхнем кимеридже (слои V13-16), где также обнаружены тетические аммониты. Во всех 26 микрофаунистических пробах встречены зубы акул. По устному сообщению Ф. А. Триколиди (ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург), акулы довольно часто заходят на мелководье.

Проведенный палеоэкологический анализ остракод позволил установить, что в раннекимериджское время (фаза bayi) осадконакопление шло в условиях морского нормально-соленого бассейна с глубинами более 50 м (средняя сублитораль), с умеренными температурами, со спокойным гидродинамическим режимом. К концу фазы bayi происходят уменьшение глубины бассейна (менее 50 м, верхняя сублитораль), приближение к береговой линии, как следствие, повышение гидродинамического режима и, возможно, кратковременное опреснение воды, так как присутствие аммонитов исключает длительное опреснение. Начиная с позднекимериджского времени глубина бассейна оставалась в пределах верхней сублиторали (до 50 м), шло обогащение бассейна органическими веществами, приведшее к ухудшению кислородного режима и образованию диоксидных, а потом и аноксидных обстановок. Во второй половине фазы *subborealis* происходит опреснение (до 17 ‰), но уже более тепловодного бассейна. Далее солевой режим становится нормально-морским с сохранением прежних температур, но примерно с середины фазы *randei* температура воды вновь понижается.

Полученные результаты согласуются с выводами Е. М. Тесаковой, базирующимися на анализе остракод РП [3]. В раннем кимеридже началась обширная трансгрессия через Польско-Украинский пролив. Появление в слоях с *Schuleridea triebeli* западноевропейского таксона отмечает конец изоляции РП и начало трансгрессивного этапа. К этому же времени приурочено появление представителей рода *Galliaecytheridea*, в изобилии представленного в Западной Европе с начала оксфорда, а на РП достигшего расцвета в волге. Обилие тетических цитерурид на РП с начала волги связано с усилением притока вод из Крымско-Кавказского региона и развитием диоксидных обстановок. Во второй половине фазы *randei* началась регрессия, которая постепенно нарастала и привела в начале фазы *Virgatus* к ра-

Фототабл. 2. Остракоды кимериджских – волжских отложений карьера Валы

Фиг. 1–2. *Oligocythereis kostytschevkaensis* (Lyubimova, 1955): 1 – экз. № РП-О-15/69, лс, самка; 2 – экз. № РП-О-15/70, лс, самец; обр. 4В, слой V17, зона *Autissiodorensis*, подзона *Subborealis*, биогоризонт *zeissi*.

Фиг. 3. *Tethysia* sp. 1, экз. № РП-О-15/71, пс; обр. 1В, слой V1, зона *Bauhini*.

Фиг. 4–5. *Galliaecytheridea volgaensis* (Lyubimova, 1955): 4 – экз. № РП-О-15/72, пс; 5 – экз. № РП-О-15/73, пс *juv.*; обр. 4В, слой V17, зона *Autissiodorensis*, подзона *Subborealis*, биогоризонт *zeissi*.

Фиг. 6. *Galliaecytheridea monstrata* (Lyubimova, 1955), экз. № РП-О-15/74, лс; обр. 3073-2, слой V19, зоны *Sokolovi* и *Pseudoscythica*.

Фиг. 7. *Galliaecytheridea miranda* (Lyubimova, 1955), экз. № РП-О-15/75, пс; обр. 3073-2, слой V19, зоны *Sokolovi* – *Pseudoscythica*.

Фиг. 8. *Galliaecytheridea mandelstami* (Lyubimova,

1955), экз. № РП-О-15/76, пс; обр. 3073-4, слой V20, зоны *Sokolovi* – *Pseudoscythica*.

Фиг. 9. *Galliaecytheridea mandelstami* (Lyubimova, 1955), экз. № РП-О-15/77, лс *изнутри*; обр. 4В, слой V17, зона *Autissiodorensis*, подзона *Subborealis*, биогоризонт *zeissi*.

Фиг. 10. *Galliaecytheridea tatae* Kolpenskaya, 1993, экз. № РП-О-15/78, пс; обр. 3073-5, слой V20, зоны *Sokolovi* – *Pseudoscythica*.

Фиг. 11. *Galliaecytheridea tatae* Kolpenskaya, 1993, экз. № РП-О-15/79, лс; обр. 4В, слой V17, зона *Autissiodorensis*, подзона *Subborealis*, биогоризонт *zeissi*.

Фиг. 12–14. *Schuleridea triebeli* (Steghaus, 1951): 12 – экз. № РП-О-15/80, лс; 13 – экз. № РП-О-15/81, пс; 14 – экз. № РП-О-15/82, лс *изнутри*; обр. 3В, слой V8, зона *Kitchini*, подзона *Bayi*, биогоризонт *bayi*.



зобщиению разных областей палеобассейна РП. В поздней волге (фазы Nikitini, Fulgens, Subditus и Nodiger) морской бассейн, пригодный для жизни остракод и захоронения их раковин, сохранялся только на востоке РП (Тимано-Печорской провинции и Заволжье) [3].

В целом комплексы остракод в изученном разрезе в таксономическом отношении беднее, чем в известных одновозрастных комплексах РП, в том числе и в стратотипическом разрезе Городищи. Интересно, что в изученных сообществах отсутствует род *Cytherelloidea* – индикатор мелких теплых вод, современные представители которого обитают на мелководье в тропиках и субтропиках [14, 20, 21 и др.]. Однако в волжских комплексах из разрезов восточной части РП *Cytherelloidea* встречаются [3, 22]. Вероятно, волжский бассейн на территории Самарской Луки в целом был более холодноводным.

Магнитные свойства пород и анализ их связи с микрофаунистическими характеристиками

Магнитные свойства осадочных пород обусловлены условиями осадконакопления и поэтому широко используются для палеогеографических реконструкций [22–24 и др.]. Выявление закономерностей, определяющих петромагнитный облик пород в зависимости от тех или иных параметров среды осадконакопления, обеспечивает получение полезной и нетривиальной геологической информации при минимальных затратах времени и средств.

Отдельные аспекты отражения палеоэкологических условий в петромагнетизме изучались ранее путем комплексного анализа петромагнитных и микрофаунистических данных по перми Приуралья [25], юре Русской плиты [26–28], мелу Горного Крыма [26], палеогену Прикаспия [29]. Результаты этих работ показали целесообразность продолжения подобных исследований.

Наибольший интерес при обсуждении взаимосвязи петромагнитных и микрофаунистических материалов представляют каппаметрические и термокаппаметрические данные (измерение магнитной восприимчивости пород до и после их нагрева) как наиболее экспрессные и доступные в получении [23].

Магнитная восприимчивость (K) зависит от концентрации ферромагнитных минералов в породе, например магнетита.

Прирост магнитной восприимчивости после нагрева до 500°C в воздушной среде ($dK = K_t - K_0$, где K_t – магнитная восприимчивость после нагрева, а K_0 – исходная магнитная восприимчивость) фиксирует наличие тонкодисперсного пирита, связанного обычно с повышенными концентрациями органического вещества в исходном осадке, образовавшимся в дизоксидной или аноксидной средах. Изначально немагнитный пирит при температурах $430\text{--}480^{\circ}\text{C}$ превращается

в сильномагнитный магнетит, таким образом, вариации dK по разрезу отражают концентрации новообразованного Fe_3O_4 , по которым можно судить о наличии FeS_2 в породах.

В разрезе Валы из волжских отложений мощностью ~ 9 м по системе «образец в образце» отобраны пробы с 21 уровня для микропалеонтологических и петромагнитных (каппаметрических и термокаппаметрических) исследований. Каждая петромагнитная проба состояла из 4 образцов, взятых из одного слоя. Измерения магнитной восприимчивости до и после нагрева проводились по каждому образцу, а затем осреднялись на уровне слоя. При последующем анализе и геологической интерпретации петромагнитных данных использовались только осредненные (средние арифметические) значения K и dK (см. табл. 1).

На каппабридже МФК-1В у каждого образца измерялись удельная (нормированная на массу) магнитная восприимчивость (K_m) и ее прирост после прогрева образца при температуре 500°C (dK_m). Как правило, прогрев образцов при термокаппаметрических исследованиях ведется в течение часа, но в данном случае часовой прогрев привел не к приросту, а спаду значений K_m во всех взятых пробах. Очевидно, этот эффект связан с химическим выветриванием в изученных отложениях, вследствие которого значительная часть пирита превратилась в гидроксиды железа, а оставшиеся частицы FeS_2 полностью окислились при длительном воздействии температуры. Поэтому опытным путем было подобрано время прогрева (10 минут), при котором фиксировались положительные значения dK_m .

Выборочные образцы подверглись магнитному насыщению в поле до 700 мТл с последующими замерами остаточной намагниченности на спин-магнитометре JR-6, а также термомагнитному анализу – исследованию зависимости индуктивной намагниченности от температуры с помощью термомагнитного анализатора фракций (ТАФ-2), использующего принцип «магнитных весов». Результаты магнитного насыщения зафиксировали магнитомягкую фазу, типичную для тонкодисперсного магнетита. Подтвердить наличие Fe_3O_4 по данным термомагнитного анализа невозможно, потому что на кривых терморазмагничивания фиксируется возрастание после 400°C , обусловленное фазовым переходом $\text{FeS}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$, и перегиб в районе температуры 578°C соответствует новообразованному магнетиту, на фоне которого невозможно различить изначально присутствующий в отложениях Fe_3O_4 .

Небольшое количество образцов, скудность спектра петромагнитных параметров, наличие гипергенных изменений образцов искажают первичные магнитные свойства пород. Тем не менее корреляционный анализ (см. табл. 1) выявил значимые зависимости между рядом параметров. Матрица парных коэффициентов линейной корреляции (табл. 3) рассчитана по 16 образцам (с 3073-



1 по 3073-16), взятым из нижне-, средневолжских отложений. Нижние 5 и верхние 5 образцов были исключены из рассмотрения, поскольку нижняя (кимериджская) часть разреза не изучена в петромагнитном отношении, а в верхних образцах остракоды не обнаружены. В статистическом анализе не участвовали представители родов *Tethysia* и *Macrosurgis*, обнаруженные только в низах разреза (в нижнем кимеридже) (см. рис. 2, табл. 1).

Почти все надежно установленные корреляционные зависимости в разрезе связаны с магнитной восприимчивостью (величина которой определяется содержанием тонкодисперсного Fe_3O_4), но не с ее приростом после нагрева (обусловленным наличием FeS_2) (см. табл. 3). Достоверные обратные корреляции (на уровне значимости $p = 0.05$ и менее) зафиксированы между K и общим количеством остракод (без учета обломков), между K и количеством родов, между K и количеством видов, между K и количеством представителей рода *Mandelstamia*, между K и количеством представителей рода *Cytherella*. Надежная положительная корреляция установлена только между dK и количеством представителей рода *Mandelstamia*. Отсутствие других значимых положительных коэффициентов корреляции между dK и микрофаунистическими показателями объяснено гипергенным окислением значительной части пирита и качественным характером термокаппаметрического метода [30]. Дело в том, что пирит окисляется легче, чем магнетит, поэтому в породах, подвергшихся гипергенным изменениям, концентрации Fe_3O_4 не столь сильно расходятся с исходным содержанием минерала в осадке, как в случае FeS_2 . Пропорциональность между K и количеством магнетита (при отсутствии других магнитных фаз в исследуемых отложениях) соблюдается, а между dK и концентрацией пирита (при обусловленности термокаппаметрического эффекта пиритом) нарушается из-за непостоянства отношения между FeS_2 и новообразованным Fe_3O_4 в разных слоях по ряду причин, рассмотренных ранее [30]. Поскольку по объективным причинам корреляционные связи петромагнитных характеристик с пиритом фиксируются хуже, чем с магнетитом, мы при анализе взаимосвязи между микрофаунистическими характеристиками и dK снизили порог достоверности принятия статистических гипотез и приняли во внимание коэффициенты корреляции, значимые при $p = 0.10$ и $p = 0.15$ (см. табл. 3). Не исключено, что значимых связей между анализируемыми параметрами гораздо больше, но они пока не выявлены из-за малого объема выборки (16 проб).

Волжский ярус в разрезе Валу слабо дифференцирован в петромагнитном отношении: магнитная восприимчивость варьирует от 4.4 до $10.5 \cdot 10^{-8}$ м³/кг, а ее прирост – от –2.3 до $0.65 \cdot 10^{-8}$ м³/кг (см. табл. 1). Тем не менее графики K_m и dK_m фиксируют отчетливые тренды к убыванию и увеличению значений (рис. 4).

Таблица 3

Результаты корреляционного анализа петромагнитных и микрофаунистических параметров

	K	dK	Общее количество (без обломков)	Общее количество	Роды	Виды	Parasurgis	Pontocyprella	Pontocyptris	Rhinoserratina	Eucythereta	Procythereta	Parapontocythera	Schulteria	Galliaesocytheridea (без личинок)	Galliaesocytheridea	Oligocytheris	Eripireta	Funhbergella	Mandelstamia	Cytherella	Eocytheropteron	Nechitocythera	Macrodentina	Reticocythera	Fastigiatocythera
K	1																									
dK		1																								
Общее количество (без обломков)			1																							
Общее количество				1																						
Роды					1																					
Виды						1																				
Parasurgis							1																			
Pontocyprella								1																		
Pontocyptris									1																	
Rhinoserratina										1																
Eucythereta											1															
Procythereta												1														
Parapontocythera													1													
Schulteria														1												
Galliaesocytheridea (без личинок)															1											
Galliaesocytheridea																1										
Oligocytheris																	1									
Eripireta																		1								
Funhbergella																			1							
Mandelstamia																				1						
Cytherella																					1					
Eocytheropteron																						1				
Nechitocythera																							1			
Macrodentina																								1		
Reticocythera																									1	
Fastigiatocythera																										1

$p=0.01, r_{кр}=0.62$ $p=0.05, r_{кр}=0.50$ $p=0.10, r_{кр}=0.43$ $p=0.15, r_{кр}=0.38$

Примечание. Коэффициенты парных корреляций, значимые на уровнях $p = 0.05-0.01$, выделены жирным, значимые на уровнях $p = 0.15-0.10$ (только в столбце dK) – курсивом; $r_{кр}$ – критическое значение коэффициента парной корреляции на данном уровне значимости p .



1 по 3073-16), взятых из нижне-, средневолжских отложений. Нижние 5 и верхние 5 образцов были исключены из рассмотрения, поскольку нижняя (киммериджская) часть разреза не изучена в петромагнитном отношении, а в верхних образцах остракоды не обнаружены. В статистическом анализе не участвовали представители родов *Tethysia* и *Mastocypriis*, обнаруженные только в низах разреза (в нижнем киммеридже) (см. рис. 2, табл. 1).

Почти все надежно установленные корреляционные зависимости в разрезе связаны с магнитной восприимчивостью (величина которой определяется содержанием тонкодисперсного Fe_3O_4), но не с ее приростом после нагрева (обусловленным наличием FeS_2) (см. табл. 3). Достоверные обратные корреляции (на уровне значимости $p = 0.05$ и менее) зафиксированы между K и общим количеством остракод (без учета обломков), между K и количеством родов, между K и количеством видов, между K и количеством представителей рода *Mandelstamia*, между K и количеством представителей рода *Cytherella*. Надежная положительная корреляция установлена только между dK и количеством представителей рода *Mandelstamia*. Отсутствие других значимых положительных коэффициентов корреляции между dK и микрофаунистическими показателями объяснимо гипергенным окислением значительной части пирита и качественным характером термощапельмановского метода [30]. Дело в том, что пирит окисляется легче, чем магнетит, поэтому в породах, подвергшихся гипергенным изменениям, концентрации Fe_3O_4 не столь сильно расходятся с исходным содержанием минерала в осадке, как в случае FeS_2 . Пропорциональность между K и количеством магнетита (при отсутствии других магнитных фаз в исследуемых отложениях) соблюдается, а между dK и концентратом пирита (при обусловленности термощапельмановского эффекта пиритом) нарушается из-за непостоянства отношения между FeS_2 и новообразованным Fe_3O_4 в разных слоях по ряду причин, рассмотренных ранее [30]. Поскольку по объективным причинам корреляционные связи петромагнитных характеристик с пиритом фиксируются хуже, чем с магнетитом, мы при анализе взаимосвязи между микрофаунистическими характеристиками и dK снизили порог достоверности принятия статистических гипотез и приняли во внимание коэффициенты корреляции, значимые при $p = 0.10$ и $p = 0.15$ (см. табл. 3). Не исключено, что значимых связей между анализируемыми параметрами гораздо больше, но они пока не выявлены из-за малого объема выборки (16 проб).

Волжский ярус в разрезе Вали слабо дифференцирован в петромагнитном отношении: магнитная восприимчивость варьирует от 4.4 до $10.5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, а ее прирост – от -2.3 до $0.65 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ (см. табл. 1). Тем не менее графики K_m и dK_m фиксируют отчетливые тренды к убыванию и увеличению значений (рис. 4).

Таблица 3

Результаты корреляционного анализа петромагнитных и микрофаунистических параметров

	<i>K</i>	<i>dK</i>	Общее количество (без обломков)	Общее количество	Роды	Виды	<i>Paracypriis</i>	<i>Pontocyprella</i>	<i>Pontocypriis</i>	<i>Vythoceratina</i>	<i>Eucytherura</i>	<i>Procytherura</i>	<i>Paranotacythere</i>	<i>Schuleridea</i>	<i>Galliaecytheridea</i> (без личинок)	<i>Galliaecytheridea</i>	<i>Oligocythereis</i>	<i>Eripleura</i>	<i>Funhbergiella</i>	<i>Mandelstamia</i>	<i>Cytherella</i>	<i>Eocytheropteron</i>	<i>Hechticythere</i>	<i>Macrodentina</i>	<i>Reticythere</i>	<i>Fastigatocythere</i>
<i>K</i>	1	-0.63	-0.50	-0.44	-0.67	-0.63	-0.47	0.38	-0.26	-0.17	-0.33	-0.16	0.12	-0.49	0.18	0.07	-0.03	0.03	-0.15	-0.75	-0.51	-0.38	-0.48	-0.21	-0.21	-0.32
<i>dK</i>		1	0.09	0.06	0.29	0.21	0.19	-0.20	0.22	-0.03	0.16	0.01	-0.13	0.30	-0.48	-0.44	0.04	0.17	-0.03	0.53	0.39	0.00	0.24	-0.02	-0.04	0.36

$$p=0.01, r_{kp}=0.62$$

$$p=0.05, r_{kp}=0.50$$

$$p=0.10, r_{kp}=0.43$$

$$p=0.15, r_{kp}=0.38$$

Примечание. Коэффициенты парных корреляций, значимые на уровнях $p = 0.05–0.01$, выделены жирным, значимые на уровнях $p = 0.15–0.10$ (только в столбце dK) – курсивом; r_{kp} – критическое значение коэффициента парной корреляции на данном уровне значимости p .

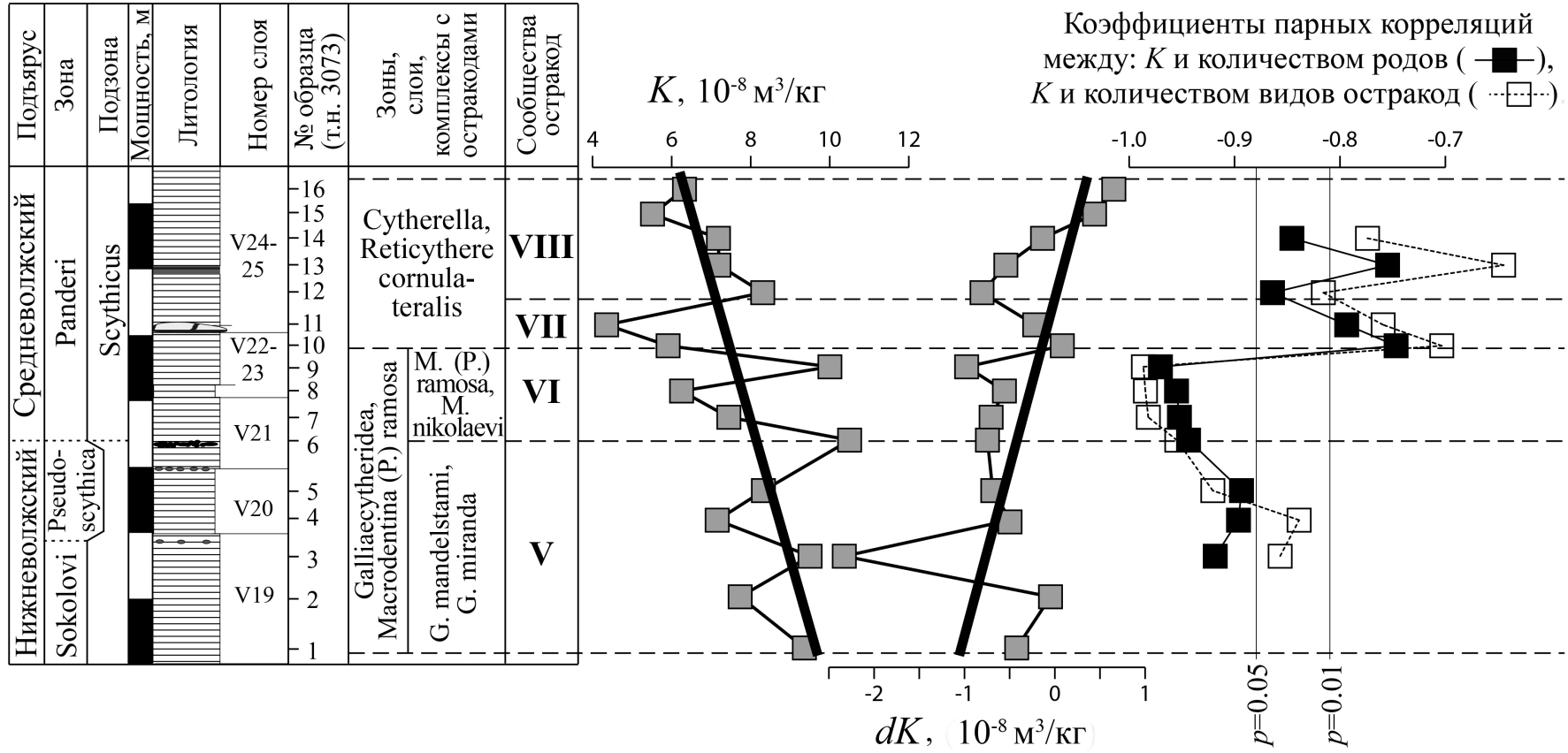


Рис. 4. Петромагнитные характеристики волжских отложений разреза Вали. Жирными линиями показаны линейные тренды K и dK . Коэффициенты корреляции между магнитной восприимчивостью и разнообразием родов и видов остракод рассчитывались в окне размером в 5 образцов, перемещаемых по разрезу с шагом в один образец. Условные обозначения см. рис. 2





Подобные разнонаправленные тренды в изменениях магнитной восприимчивости и ее прироста по разрезу характерны для стратотипа волжского яруса у с. Городищи [31], баженовской свиты [32], других объектов разного возраста и генезиса, например альба Северного Кавказа [33]. Они отражают тесную связь баланса пирита и магнетита с геохимической обстановкой в палеобассейне. Магнетит образуется в слабоокислительной среде, а пирит (и другие сульфиды железа типа пирротина, грейгита) – в восстановительной обстановке при дефиците кислорода (дизоксии). Поэтому при уменьшении кислорода в осадке оксидов железа образуется меньше, а доля сульфидов, напротив, возрастает.

Результаты магнитоминералогического анализа в совокупности со статистически значимой обратной корреляцией между петромагнитными параметрами (см. табл. 3) позволяют нам принять модель, согласно которой величины магнитной восприимчивости и ее прироста в волжских отложениях разреза Валы обусловлены тонкодисперсными аутигенными магнетитом и пиритом. С этой точки зрения выявленные в исследуемом разрезе петромагнитные тренды (см. рис. 4) документируют тенденцию к снижению уровня кислорода в придонных слоях палеобассейна, что в целом согласуется с результатами остракодового анализа. Возникновение дизоксидных обстановок связано с захоронением органического вещества, возрастание количества которого вверх по разрезу фиксируется в литологии по смене светло-серых и серых глин (слои V19-23) на преимущественно темно-серые, черные и бурые (слои V24-25) (см. рис. 4).

Весьма показательны связи количества родов *Mandelstamia* и *Cytherella* с петромагнитными параметрами – положительные с dK и обратные с K (см. табл. 3), из которых на основе принятой модели следует заключить, что представители этих родов наиболее приспособлены к недостатку кислорода. Действительно, представители рода *Cytherella*, как уже указывалось, наиболее приспособлены к дизоксидным обстановкам благодаря способности прогонять воду сквозь раковину вдвое быстрее других остракод. Коэффициент корреляции между dK и *Mandelstamia*, значимый на более высоком уровне, чем коэффициент для пары dK – *Cytherella*, позволяет предположить, что представители рода *Mandelstamia* в волжском веке были приспособлены к дефициту кислорода не хуже, чем *Cytherella*.

Ранее [27] в келловее – оксфорде разреза Дубки (г. Саратов) была обнаружена значимая положительная связь термокаппаметрических показателей с общим количеством остракод и количеством видов (статистический анализ других количественных характеристик ассоциаций остракод и значений магнитной восприимчивости по разрезу Дубки, к сожалению, не проводился). В Валах аналогичная связь зафиксирована только

для двух родов, но зависимостей dK от общего обилия остракод и их видового разнообразия не наблюдается. Тем не менее определенное сходство данных, полученных по разновозрастным отложениям как Саратовского, так и Самарского Поволжья, свидетельствует в пользу того, что отмеченные прямые корреляции не случайны, а в петромагнетизме, как и в особенностях состава остракодовых сообществ, адекватно отражаются некоторые факторы палеоэкологической обстановки (в частности, изменение уровня кислорода в воде). Положительная корреляция между K и количеством представителей рода *Pontocyprilla* в случае ее подтверждения (пока она значима только на уровне $p = 0.15$) (см. табл. 3) была бы веским доказательством этого тезиса, потому что *Pontocyprilla* – это морской род, обитающий в водах, насыщенных кислородом.

В разрезе Валы присутствует большое количество эвтрофных родов (*Galliaecytheridea*, *Mandelstamia*, *Cytherella*, *Eucytherura*), которое увеличивается при нарушении кислородного режима и обогащении осадка органическим веществом. В целом возрастание эвтрофии вверх по разрезу, устанавливаемое по данным остракодового анализа, сопровождается трендами к уменьшению значений магнитной восприимчивости и увеличению ее прироста. Отсутствие значимых корреляций представителей эвтрофных родов, кроме *Mandelstamia* и *Cytherella*, с петромагнитными параметрами (обратных с K и прямых с dK) не противоречит на данном этапе исследований намеченной закономерности, потому что, как отмечалось выше, корреляции могут быть искажены по ряду причин, не связанных с палеоэкологическими условиями. Однако сильная ($p = 0.10$) обратная корреляция, наблюдаемая между dK и числом остракод рода *Galliaecytheridea* (см. табл. 3), предполагает, что данное отклонение от общей закономерности обусловлено не малым объемом анализируемой выборки, а особенностями осадкоотложения.

По данным Е. М. Тесаковой [3], в стратотипе волжского яруса у с. Городищи представители родов *Galliaecytheridea* и *Cytherella* являются «антиподами» в плане совместного нахождения в одном слое (т. е. если количество остракод одного рода увеличивается, то другого уменьшается, и наоборот). Коэффициент парной корреляции между процентными соотношениями этих родов, рассчитанный по данным, приведенным в [3], составляет (-0.65) при объеме выборки $n = 38$, что говорит о наличии обратной зависимости на уровне значимости $p = 0.01$. Подобный эффект можно объяснить тем, что в нормально-соленом бассейне тепловодные *Galliaecytheridea* в отличие от *Cytherella* больше зависят от температуры воды, чем от содержания кислорода в ней. В Валах наблюдается слабая тенденция к «антиподальности»: коэффициент корреляции между количеством остракод *Galliaecytheridea* и



Cytherella равен (-0.23) (см. табл. 3) и, несмотря на отрицательный знак, не позволяет статистически обосновать наличие обратной корреляции между представителями этих родов. Однако отсутствие значимой корреляции в малой выборке не исключает возможности ее обнаружения при анализе более представительного количества образцов.

Определенные закономерности выявляются при анализе изменений по разрезу коэффициентов корреляций, рассчитанных методом скользящего окна, между магнитной восприимчивостью и показателями родового и видового разнообразия остракод. На соответствующем графике (см. рис. 4) видно, что значимая (на уровне $p = 0.05$) обратная корреляция между K и количеством родов устойчиво сохраняется в нижней части разреза (обр. 3073-1 – 3073-9), а выше (обр. 3073-10 – 3073-16) достоверность корреляции снижается. Рубеж в изменении характера корреляции совпадает с нижней границей сообщества остракод VII, знаменующего похолодание. Сходным образом изменяется характер корреляции по разрезу между K и количеством видов, причем по совокупности обоих графиков интервал, отвечающий сообществу VI, дополнительно дифференцируется по самым высоким абсолютным величинам коэффициентов корреляции (см. рис. 4). Возможно, климатический фактор влияет на адекватность зависимости магнитных свойств отложений от условий осадконакопления и при определенной температуре среды обитания остракод создаются наиболее благоприятные предпосылки для отражения палеоэкологической обстановки в петромагнетизме. Пока подобный тезис носит характер допущения, правомерность которого интересно проверить на более представительном материале.

Заключение

В результате проведенного анализа распределения кимериджских-волжских остракод в разрезе Вали с привлечением данных об экологических предпочтениях встреченных родов выявлена последовательность из восьми сообществ, смена которых обусловлена изменением палеоэкологических условий в бассейне. Установлено, что развитие остракод проходило в условиях тепловодного нормально-морского мелководного бассейна (верхняя – средняя сублитераль). Эти условия временами нарушались эпизодами значительного обмеления (в раннем кимеридже) и небольшого опреснения (в позднем кимеридже), показателями которых служат монокомплексы *Schuleridea* и *Galliaecytheridea* соответственно. Начиная с позднего кимериджа шло насыщение бассейна биогенными элементами, которое влекло за собой дефицит кислорода и недостаточную аэрацию придонных вод. На последовательное развитие дизоксигной обстановки, вплоть до наступления аноксии в конце фазы *panderi*, указывают возрастающее вверх по разрезу преобладание в верх-

некимериджских–средневожских отложениях остракод, толерантных к недостатку кислорода, и полное их исчезновение в верхах разреза.

Корреляционный анализ петромагнитных и микрофаунистических характеристик выявил несколько значимых взаимосвязей между ними, наличие которых подтверждает гипотезу об отражении в магнетизме пород важных условий осадконакопления. Устойчивые тренды к уменьшению магнитной восприимчивости и повышению значений термокаппаметрического параметра обусловлены снижением уровня кислорода в придонных слоях палеобассейна и возрастанием эвтрофии вследствие захоронений большого количества органического вещества. Доказательством тому служит обратная корреляция между магнитной восприимчивостью и общим количеством остракод, их родовым и видовым разнообразием, количеством представителей родов *Mandelstamia* и *Cytherella* и прямая корреляция между термокаппаметрическим эффектом и количеством остракод *Mandelstamia* и *Cytherella*. Судя по тому, что самые сильные корреляционные связи петромагнитных параметров установлены с представителями *Mandelstamia*, именно этот род является наиболее чутким показателем содержания кислорода в придонных слоях, но это нетривиальное предположение нуждается в дополнительной проверке.

Число достоверно установленных парных корреляций невелико, но факт их выявления указывает на устойчивость корреляционных связей между петромагнитными и микрофаунистическими показателями.

Говорить об адекватном отражении палеоэкологических условий в магнетизме пород на основе полученных результатов преждевременно, но вывод об актуальности проведения микрофаунистических петромагнитных исследований представляется безусловным.

В перспективе каппаметрические и термокаппаметрические сведения, получаемые в массовом порядке (практически по неограниченному числу проб) при минимальных затратах времени и средств, могут стать полезным (с точки зрения соотношения цена–качество) дополнением к материалам трудоемкого количественного анализа остракод. Разумеется, при реконструкции условий осадконакопления петромагнитный метод не может полностью заменить микрофаунистический. Но результаты проведенных исследований позволяют обоснованно надеяться, что анализ магнитных свойств отложений в сочетании с минимумом микропалеонтологических данных позволит извлекать максимум геологической информации.

Библиографический список

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Серия Средневожская. Лист N-39-XXVI (Новокуйбышевск) : объяснительная записка. Санкт-Петербург. : Издательство ВСЕГЕИ, 2000. 110 с.



2. Шорников Е. И., Зенина М. А. Остракоды как индикаторы состояния и динамики водных экосистем (на примере залива Петра Великого Японского моря). Владивосток : Дальнаука, 2014. 334 с.
3. Тесакова Е. М. Юрские остракоды Русской плиты : стратиграфическое значение, палеоэкология и палеогеография : дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Москва, 2014. 295 с.
4. Тесакова Е. М., Rogov M. A. Палеоэкологический анализ верхнеюрских ассоциаций остракод и аммонитов Поволжья (разрез Городищи) // Проблемы региональной геологии : музейный ракурс. Москва : Акрополь, 2004. С. 182–184.
5. Тесакова Е. М., Глинских Л. А. Келловейские остракоды Центрального Дагестана : биостратиграфия, палеоэкология и стратиграфический анализ // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2020. Т. 28, № 4. С. 96–110.
6. Saveliya J. N. Paleocological Analysis of Berriasian Ostracods of the Central Crimea // Volumina Jurassica. 2014. Vol. XII, № 1. P. 163–174.
7. Morkhoven F. P. C. M. Post-Paleozoic Ostracoda, I, II. Amsterdam ; London ; New York : Elsevier Publishing Company, 1963. 478 p.
8. Карук М. С. Остракоды верхнего баррема – апта Горного Крыма : стратиграфическое значение и палеоэкология : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Москва, 2016. 320 с.
9. Тесакова Е. М., Шурупова Я. А. Основы остракодового анализа на примере келловей и нижнего оксфорда разреза Михайловцемент (Рязанская область) // Труды / XVII Всероссийское микропалеонтологическое совещание «Современная микропалеонтология – проблемы и перспективы» : сб. тез. / сост. В. В. Жаринова ; под ред. А. С. Алексеева, Д. К. Нурғалиева, В. В. Силантьева. Казань : Издательство Казанского университета, 2018. С. 265–270.
10. Corbari L., Mesmer-Dudons N., Carbonel P., Massabuau J.-C. Cytherella as a tool to reconstruct deep-sea paleo-oxygen levels : the respiratory physiology of the platycopid ostracod Cytherella cf. abyssorum // Marine Biology. 2005. Vol. 147. P. 1377–1386.
11. Николаева И. А. Глубоководные группы остракод в палеогене юга СССР и их значение для палеогеографии // Стратиграфия кайнозоя северного Причерноморья и Крыма / ред. М. Ф. Носовский. Днепропетровск : Издательство Днепропетровского государственного университета, 1984. С. 40–48.
12. Шорников Е. И. Остракоды Vuthocytheridae дальневосточных морей. Москва : Наука, 1981. 200 с.
13. Donze P. Tethysia, nouveau genre d'Ostracode bathyal du Jurassique supérieur – Crétacé inférieur mésogéen // Geobios. 1975. Vol. 8, № 3. P. 185–190.
14. Schudack U., Schudack M., Marty D., Comment G. Kimmeridgian (Late Jurassic) ostracods from Highway A16 (NW Switzerland) : taxonomy, stratigraphy, ecology, and biogeography // Swiss Journal of Geosciences. 2013. Vol. 106. P. 371–395.
15. Преображенская В. Н. Условия существования и захоронения фораминифер и остракод в юрское и нижнемеловое время на территории ЦЧО // Труды / Третье совещание по проблемам изучения Воронежской антеклизы. Воронеж : Издательство Воронежского государственного университета, 1966. С. 261–272.
16. Раевская Е. Г., Куликова Н. К., Шурупова О. В. Микроальгологические особенности отложений баженовского горизонта Западной Сибири // Юрская система России : проблемы стратиграфии и палеогеографии : Пятое Всероссийское совещание. Научные материалы / ред. В. А. Захаров. Екатеринбург : ИздатНаукаСервис, 2013. С. 178–180.
17. Лебедева Н. К. Диноцисты и биостратиграфия верхнемеловых отложений севера Сибири : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Новосибирск, 2008. 33 с.
18. Rogov M. A. Аммониты и инфразональная стратиграфия кимериджского и волжского ярусов Панбореальной надобласти : автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Москва, 2019. 46 с.
19. Rogov M. A. Аммониты и инфразональная стратиграфия кимериджского и волжского ярусов юга Московской синеклизы // Труды / ГИН РАН. 2017. Вып. 615. С. 7–160.
20. Sohn I. G. The ostracode genus Cytherelloidea, a possible indicator of paleotemperature // United States Geological Survey. Professional Paper 450-D. 1962. P. 144–147.
21. Колтенская Н. Н. Юра // Практическое руководство по микрофауне. Т. 7. Остракоды мезозоя. Санкт-Петербург : Издательство ВСЕГЕИ, 1999. С. 125–129.
22. Молоствовский Э. А., Храмов А. Н. Магнитостратиграфия и ее значение в геологии. Саратов : Издательство Саратовского университета, 1997. 180 с.
23. Гужиков А. Ю. Геологическая информативность магнетизма керна и шлама осадочных пород, полученных при бурении разведочных скважин // Приборы и системы разведочной геофизики. 2013. № 4. С. 51–61.
24. Evans M. E., Heller F. Environmental magnetism. Principles and applications of enviromagnetics. San Diego : Academic Press, 2003. 311 p.
25. Гришианов А. Н., Гужиков А. Ю., Молостовская И. И., Харитонов Т. В. Использование петромагнитных критериев для детального расчленения разрезов уфимского яруса и обоснования границы между соликамским и шешминским горизонтами в пределах Соликамской впадины Предуральского прогиба // Известия вузов. Геология и разведка. 1997. № 1. С. 19–25.
26. Гужикова А. А., Грищенко В. А., Глинских Л. А. Отражение особенностей минерального заполнения фораминифер в анизотропии магнитной восприимчивости // Материалы Всероссийской молодежной научной конференции / Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука. Новосибирск, 2017. С. 19–22.
27. Пименов М. В., Глинских Л. А., Гужиков А. Ю., Михайлов А. М., Rogov M. A., Тесакова Е. М. О возможном отражении палеоэкологических условий в петромагнетизме келловейских – оксфордских отложений разреза п. Дубки (г. Саратов) // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2009. Т. 9, вып. 1. С. 70–75.
28. Степанов И. А., Казанский А. Ю., Киселев Д. Н., Косарева Л. Р., Rogov M. A., Тесакова Е. М., Щенетова Е. В., Шурупова Я. А. Возможности петромагнитных методов при палеоэкологических реконструкциях на примере юрских отложений (келловей – нижний оксфорд) разреза Михайловцемент (Рязанская область) // Вестник



Московского университета. Серия 4, Геология. 2019. № 2. С. 30–38.

29. Барaboшкин Е. Ю., Гужиков А. Ю., Беньямовский В. Н., Александрова Г. Н., Барaboшкин Е. Е., Суринский А. М. Новые данные о стратиграфии и условиях формирования эоценовых отложений на плато Актологай (Западный Казахстан) // Вестник Московского университета. Серия 4, Геология. 2015. № 2. С. 67–76.

30. Пименов М. В., Маникин А. Г., Ямпольская О. Б., Гужикова А. А., Жуков А. Н. Предварительные результаты исследований по оценке возможности количественной интерпретации термокаппаметрических данных // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2009. Т. 9, вып. 1. С. 39–44.

31. Гужиков А. Ю., Барaboшкин Е. Ю., Гаврилов Ю. О., Щепетова Е. В., Букина Т. Ф., Яночкина З. А. Магнитные

свойства волжских отложений как индикаторы железосодержащих минералов и их значение для реконструкции условий седиментации в позднеюрском палеобассейне Поволжья // Геологические науки-99 : избранные труды межведомственной научной конференции. Саратов : Издательство ГосУНЦ «Колледж», 1999. С. 38–42.

32. Manikin A. G., Grishchenko V. A., Guzhikov A. Yu., Korpakov V. V. Magnetic Stratigraphy of the Bazhenov Suite of Western Siberia and the Surrounding Deposits // Recent Advances in Rock Magnetism, Environmental Magnetism and Paleomagnetism. Springer Geophysics / eds. D. Nurgaliev, V. Shcherbakov, A. Kosterov, S. Spassov. Cham. : Springer, 2019. P. 411–423.

33. Барaboшкин Е. Ю., Гужиков А. Ю., Еремин В. Н. Био- и магнитостратиграфия альба в разрезе Акуша (Дагестан). Ст. 2. Магнитостратиграфия // Бюл. МОИП, отд-ние геол. 1997. Т. 72, вып. 3. С. 41–51.

Поступила в редакцию 30.12.2020, после рецензирования 10.02.2021, принята к публикации 15.03.2021
Received 30.12.2020, revised 10.02.2021, accepted 15.03.2021