

УДК 551.35(262.54) + 550.42(262.54) + 56.074.6(262.54)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛИТОХИМИИ И ПАЛИНОЛОГИИ СОВРЕМЕННЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АЗОВСКОГО МОРЯ

© 2006 г. Г.Г. Матишов^{1, 2}, В.В. Польшин², Г.В. Ильин²,
Е.Ю. Новенко³, А. Карагеоргис⁴

Настоящее исследование посвящено некоторым новым аспектам литологии, геохимии, экокискологии и палинологии донных отложений Азовского моря. Уточнена роль геоморфологии дна, гидродинамических и гидробиологических условий в осадконакоплении. Приведены данные, свидетельствующие о том, что литологический и химический облик морских осадков определяется их гранулометрическим составом. В зависимости от приуроченности к конкретным гранулометрическим типам отложений и особенностей их распределения по площади дна водоема химические элементы подразделяются на геохимические группы.

Донные отложения Азовского моря формируются в условиях семиаридного климата в полузамкнутом водоеме с объемом воды около 0,3 тыс. км³. Существенное влияние на поставку терригенного и химического вещества оказывает речной сток Дона и Кубани (≈ 37 км³). Гидродинамический режим определяется стоком речных вод, адвекцией соленых черноморских вод, характерными штормовыми (нагонными) течениями, которые при сильных восточных (западных) ветрах приводят в движение и взмучивают водную толщу от поверхности до дна. Отчетливая вертикальная перемешанность водных масс типична в безледный период [1–2].

Схема циркуляции вод в море в целом имеет циклонический вектор, обусловленный ветровым полем. Специфическая черта течений моря – резкая изменчивость их направления и скорости в зависимости от ветра. Отсутствие приливно-отливных течений обусловило вертикальное развитие фронтальных разделов. Диффузное сопротивление галоклина определило обмен через него посредством интрузий, порождающих многочисленные разномасштабные линзы в зоне смешения. Например, гидрологическая структура Таганрогского залива

сформирована двумя гидрофронтами в кутовой и устьевой частях залива и своеобразной системой течений, при которой стоковое течение ориентируется широким потоком вдоль тальвега в осевой ложбине залива, а компенсационное черноморское течение распространяется узкой полосой (5–7 км) вдоль южного побережья. Основная масса азовоморской воды оказывается блокированной в замкнутой циркуляции в юго-западном секторе залива за косой Долгой.

Азовский водоем имеет характерный эстуарный тип гидрохимического режима с низкой минерализацией воды. Под влиянием внутривековых колебаний климата уровень солености (хлорности) вод подвержен флуктуациям с периодичностью примерно в 25 лет [3]. Циклы осолонения Азовских вод (до 14–15‰) чередуются с фазами опреснения (до 11–12‰). Очевидно, что термогалинные фронты, геотермические градиенты, степень солености придонных вод оказывают влияние на активность процессов сорбции, диагенеза, а также биохимического круговорота. Однако эти явления требуют специального изучения применительно к Азовскому морю.

В Азовском море наибольшее развитие получили терригенные и органогенные донные отложения, а также, более ограниченно, смешанные и хемогенные осадки [4–6]. Характерной чертой седиментационного баланса Азовского моря является преобладающая роль процесса абразии берегов и дна в поступлении терригенного вещества. Обычно схемы распределения грунтов от берега к максимальным глубинам моря отража-

¹ Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону.

² Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук, Мурманск.

³ Институт географии Российской академии наук, Москва.

⁴ Институт океанографии Греческого центра морских исследований, Афины, Греция.

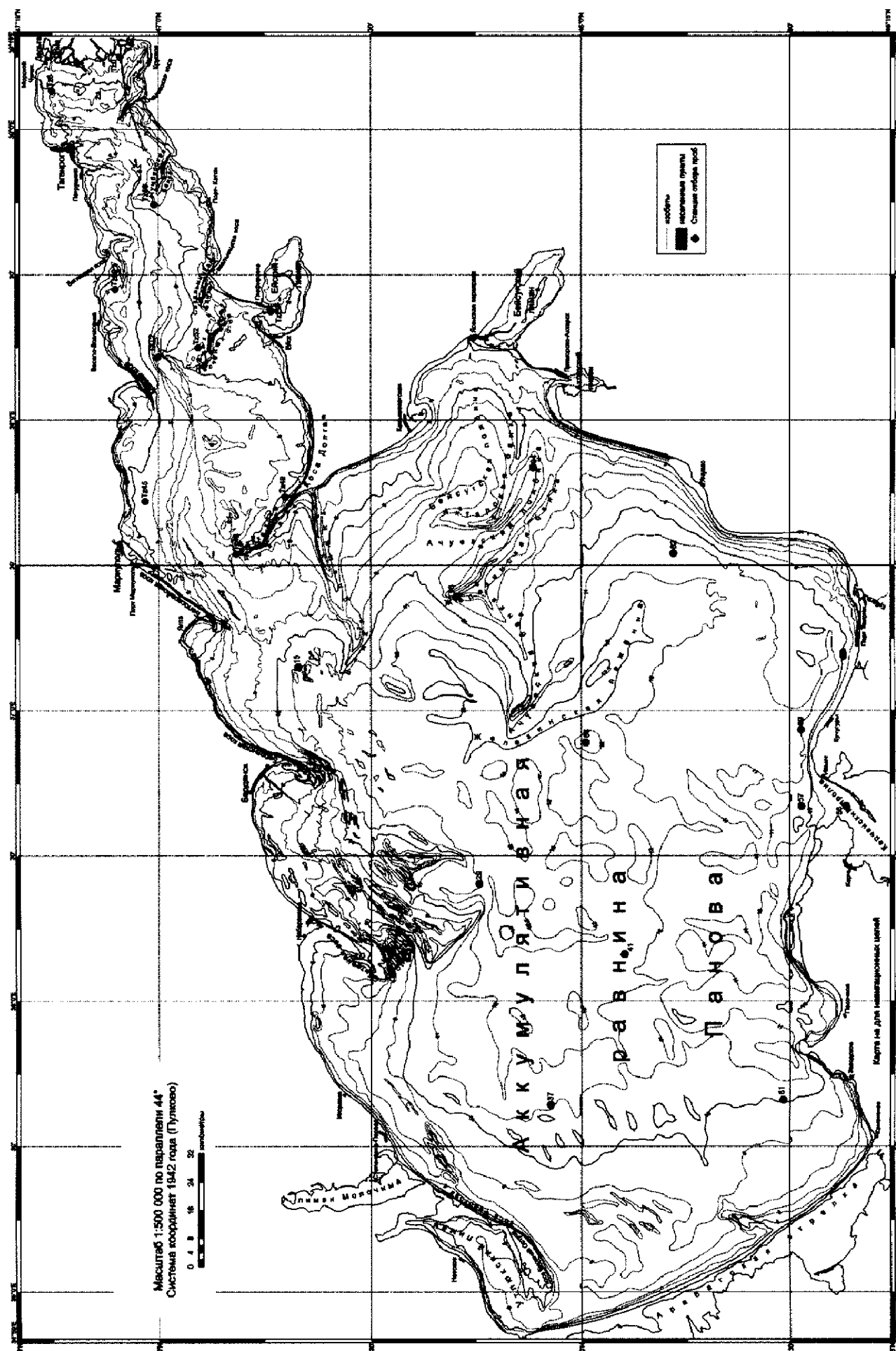


Рис. 1. Батиметрическая карта Азовского моря с отмеченными точками отбора проб донных осадков

Таблица 1. Гранулометрический состав донных осадков Азовского моря

№ станции	Горизонт, см	Глубина, м	Размер выделенных фракций, мм (%)									
			Открытая часть Азовского моря									
			>1мм	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,125	0,125-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	<0,01		
15	0-2	10,9	0,53	0,17	0,10	0,07	0,03	0,13	34,39	64,58		
21	0-2	5,8	73,64	11,83	8,43	4,97	0,06	0,22	0,02	0,83		
29	0-2	11,9	3,19	0,28	0,69	0,65	0,14	0,46	13,07	81,52		
37	0-2	11,5	2,38	0,12	0,12	0,12	0,06	0,12	21,21	75,88		
41	0-2	12,6	0,30	0,07	0,03	0,07	0,03	0,10	26,69	72,71		
51	0-2	9,6	6,60	0,13	0,17	0,51	0,13	0,43	22,28	69,75		
57	0-2	10,5	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,24	20,38	79,09		
58	0-2	6,3	17,53	4,73	5,01	20,79	3,73	14,46	10,96	22,78		
63	0-2	5,7	10,83	0,96	1,02	5,15	0,69	5,00	25,67	50,69		
69	0-2	11,3	0,00	0,00	0,30	0,30	0,10	1,44	25,71	72,16		
82	0-2	11,1	24,72	6,15	2,96	1,43	0,37	0,80	0,63	62,96		
88	0-2	12,3	-	-	-	-	-	следы	11,86	88,13		
94	0-2	7,3	33,93	12,89	7,54	8,47	3,52	2,99	8,24	22,40		
98	0-2	5,9	33,97	22,95	29,73	6,40	0,00	0,22	0,00	6,74		

Таганрогский залив												
№ станции	Горизонт, см	Глубина, м	>10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	<0,005
			>1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,125	0,125-0,063	0,063-0,01	<0,01			
			>1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,125	0,125-0,063	0,063-0,01	<0,01			
Tz-0	0-2	4,2	0,8	следы	2,5	следы	4,2	43,3	27,8	1,24	4,72	25,68
TzE0	0-2	1,8	следы	следы	1,6	0,5	1,6	4	31	13,42	8,52	31,56
Tz-48	0-2	7,5	-	-	-	-	-	0,6	1,5	9,66	23,84	52,08
Tz-56	4,5	4,5	-	-	-	следы	0,8	0,5	4,52	57,12	19	11,74
			>1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,125	0,125-0,063	0,063-0,01	<0,01			
Tz-6	0-2	1,7	6,40	2,20	1,50	6,90	19,40	41,30	22,40			
Tz-32	0-2	2,7	5,60	2,60	12,30	46,70	21,90	9,30	1,60			
Tz-49	0-2	4,3	1,40	-	-	0,70	0,70	27,50	69,70			

Примечание. Прочерк означает, что данная фракция в исследуемой пробе отсутствует.

ют последовательную смену гранулометрических типов отложений от разнотерристых песков и крупных алевритов до глинистых илов. Эта закономерность, исключая аккумулятивные прибрежные и некоторые другие участки, частично нарушается автохтонным ракушечным компонентом осадка [5].

Литологический и химический облик осадков Азовского моря определяется механическим сепарированием взвеси в водной толще, колоссальным участием в седиментогенезе морских организмов как в продуцировании биогенного компонента отложений, так и во фракционировании взвеси различной природы. Влияние планктона и зообентоса заключается в фильтрации или адсорбировании пелагической и придонной взвеси [6]. Из ракушечного материала сложены многие азовские косы, которые на десятки километров протягиваются в море, береговые валы и банки. Среди второстепенных поставщиков осадков выделяются золотой перенос материала из степной зоны и подводный грязевой вулканизм, развитый на юге Азовского моря.

При изучении современных и погребенных морских осадков большое значение имеют палинологические исследования, поскольку на основе спорово-пыльцевого анализа могут быть уточнены некоторые вопросы стратиграфии донных отложений, выяснены физико-географические условия, существовавшие во время образования осадка, и т.д.

За последние сто лет особенностью седиментогенеза стало нарастающее антропогенное влияние. В азовские экосистемы попадает широкий спектр загрязняющих веществ, в том числе споры и пыльца культурных растений, сельскохозяйственные ядохимикаты, нефтяные углеводороды, тяжелые металлы, твердые бытовые и промышленные отходы [7, 8]. По некоторым оценкам, в Азовское море ежегодно поступает около 3 млрд. м³ сточных вод с разной степенью очистки [8–9]. Влияние атмосферных выбросов металлов, даваемых промышленными центрами Приазовья, и особенно заводом “Азовсталь”, расположенным на северном берегу Таганрогского залива, не оценено.

До последнего времени практически не учитывалась та роль в формировании конкретной литологической и геохимической картины, которую играют такие факторы, как гидрография, батиметрия и геоморфология морского дна [10]. Однако подводные элементы рельефа могут нарушать общую схему распределения донных осадков. Так, например, на юго-востоке моря, в районе Железинской банки, где развиты в основ-

ном крупнозернистые отложения, в относительно узких ложбинах накапливаются глинистые и алевритово-глинистые илы. Аналогичная картина наблюдается в северо-западной части акватории Азовского моря. Там между грядами, на которых развит песчано-ракушечный материал, залегают илистые отложения. В прибрежной зоне на многих участках между береговых валов, сложенных крупнозернистым материалом, в нескольких десятках или сотнях метров от уреза воды, в неглубоких ложбинах (0,5–1 м) накапливаются тонкие илистые отложения.

Цель данных исследований – выявление новых аспектов литологии, геохимии, экотоксикологии и палинологии рыхлых отложений Азовского моря, уточнение роли геоморфологии дна, гидродинамических и гидробиологических условий в осадконакоплении. Материалом для анализов послужили данные, полученные в ходе экспедиционных рейсов в Азовском море в 2003–2005 гг. на судах “Профессор Панов”, “Приморец” и др.

Пробоотбор донных отложений осуществляли с помощью дночерпателя и прямоточных грунтовых трубок (рис. 1). После литологического описания отобранные пробы упаковывали в герметичную тару. Гранулометрический, минералогический, спектральный и спорово-пыльцевой анализ проводили по стандартным методикам (табл. 1, 2, 3; рис. 2). Аналитические исследования проводили в Южном научном центре РАН, Мурманском морском биологическом институте Кольского научного центра РАН, ООО “Южгеология” и в Институте океанографии Греческого центра морских исследований (NCMR).

Образцы для спорово-пыльцевого анализа были подготовлены по методике, разработанной в Институте географии РАН, с применением тяжелой жидкости с удельным весом 2,2 г/см³ в модификации с использованием раствора иодистого кадмия. Обработка данных и построение спорово-пыльцевых диаграмм проводились с помощью программы TILIA и TILIA-Graph. За 100% при расчетах была принята сумма пыльцы древесных пород и пыльцы травянистых растений. Процентное содержание пыльцы водных растений и спор было рассчитано по отношению к этой сумме (рис. 2).

Многочисленные сведения о составе пыльцы и спор в донных отложениях Азовского моря содержатся в работах [4, 5, 11], где в основном характеризуется самая верхняя часть новоазовских отложений. Небольшие размеры Азовского моря не влияют на разницу в количестве и составе пыльцы и спор в зависимости от удаленности от

Таблица 2. Содержание химических элементов (мкг/г) в донных осадках Азовского моря

Номер станции	S	Cl	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Br	Rb	Sr	Zr	Mo	Ba	Pb
СТ-15	0,596	1,32	145	121	508	15	52	34	99	19	86	122	244	242	3	435	27
СТ-21	0,103	0,19	3	6	133	5	2	6	9	13	10	7	1590	22	1	155	7
СТ-29	0,896	1,52	164	120	571	16	62	42	119	21	80	139	174	161	2	372	31
СТ-37	0,797	1,84	152	116	533	16	58	38	113	20	78	132	161	182	1	374	30
СТ-41	0,699	1,79	162	121	474	18	61	40	122	19	67	141	112	171	1	369	31
СТ-57	0,518	1,28	143	115	513	17	53	35	108	18	68	124	132	209	3	382	29
СТ-58	0,354	0,58	75	87	431	9	28	17	53	14	29	64	519	221	2	338	17
СТ-63	0,411	1,22	128	131	675	16	41	26	82	20	55	93	255	321	2	461	21
СТ-69	0,561	1,12	134	117	486	16	51	34	100	19	59	116	151	270	2	394	26
СТ-82	1,041	1,55	150	113	643	18	57	37	104	19	74	112	507	140	1	338	25
СТ-88	0,691	1,33	163	123	501	18	62	41	121	17	78	143	113	163	2	376	31
СТ-94	0,283	0,65	93	73	621	10	31	24	57	19	49	61	1202	97	1	310	18
СТ-98	0,124	0,30	54	14	287	5	11	8	23	53	7	1	2074	15	2	88	12
СТ-51	0,396	1,16	143	114	631	16	52	36	110	20	74	129	169	198	3	372	30
Tz-6	0,175	0,02	28	40	226	5	9	7	30	10	—	25	103	284	2	226	8
Tz-0	0,340	0,51	109	106	525	12	41	26	81	16	29	101	288	304	3	403	22
Tz-32	0,301	0,03	63	110	528	10	22	15	70	13	5	62	254	427	3	355	16
Tz-45	0,759	0,78	109	109	621	13	42	28	111	18	38	98	329	290	2	401	25
Tz-48	0,081	0,09	18	36	197	6	6	5	20	9	1	15	125	285	2	173	7
Tz-49	0,489	0,80	132	110	614	16	49	31	95	17	58	115	216	277	3	371	27
Tz-56	0,108	0,17	21	27	167	6	6	5	19	9	2	19	131	210	3	126	6
Tz-E0	0,621	0,19	64	65	429	7	19	13	35	13	5	48	297	219	3	227	11

Таблица 3. Основные химические соединения донных осадков Азовского моря, %

№ станции	Масса, теряемая при прокаливании	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Сумма
Ст-15	12,6	57,24	13,56	0,72	5,55	2,59	1,80	3,70	2,13	0,196	100,2
Ст-21	29,8	31,15	1,66	0,01	0,16	0,30	0,90	35,53	0,22	0,048	99,8
Ст-29	14,4	53,77	15,42	0,71	6,82	2,91	1,98	2,45	2,59	0,188	101,3
Ст-37	13,5	56,01	15,10	0,74	6,66	2,85	2,10	1,91	2,50	0,207	101,7
Ст-41	12,8	56,81	15,95	0,77	6,77	3,01	1,94	0,73	2,62	0,185	101,6
Ст-57	11,3	59,62	14,37	0,76	6,15	2,71	2,14	1,28	2,29	0,194	100,8
Ст-58	12,2	61,83	8,06	0,43	2,92	1,50	1,73	11,30	1,14	0,128	101,3
Ст-63	10,6	61,34	11,82	0,69	5,18	2,13	1,95	5,30	1,82	0,164	101,1
Ст-69	9,9	60,86	13,93	0,78	5,88	2,58	2,09	1,89	2,13	0,192	100,3
Ст-82	15,9	45,57	12,89	0,60	5,84	2,36	2,00	10,84	2,23	0,143	98,4
Ст-88	13,9	55,43	15,99	0,73	6,84	2,95	2,21	0,74	2,69	0,219	101,8
Ст-94	26,8	31,26	7,09	0,32	2,79	1,25	1,30	27,91	1,28	0,147	100,2
Ст-98	42,4	1,14	0,41	0,01	2,89	0,06	0,68	48,76	0,39	0,147	96,9
Ст-51	12	58,32	14,43	0,75	6,30	2,73	2,07	2,16	2,41	0,220	101,5
Tz-6	6,9	76,21	6,50	0,58	2,60	1,62	1,02	5,17	0,81	0,149	101,6
Tz-0	3,1	91,18	2,42	0,28	1,03	0,67	0,38	2,48	0,32	0,101	102,0
Tz-32	2,8	92,86	1,39	0,33	0,66	0,41	0,31	2,74	0,21	0,087	101,8
Tz-45	11,3	60,28	11,09	0,68	4,97	2,24	1,60	6,29	1,80	0,176	100,5
Tz-48	12,5	57,93	13,30	0,73	5,75	2,55	1,84	4,26	2,23	0,186	101,4
Tz-49	9,8	63,57	11,45	0,72	4,58	2,30	1,66	5,74	1,86	0,159	101,9
Tz-56	7,3	72,12	8,04	0,64	3,29	1,66	1,15	4,63	1,19	0,180	100,3
Tz-E0	11,7	60,24	11,9	0,73	4,87	2,30	1,57	6,25	2,07	0,174	101,9

берега. Во всем поверхностном слое осадков отмечают преобладание пыльцы травянистых растений (74–89%), в меньшем количестве встречается пыльца древесной растительности (5–20%), среди которой доминирует сосна типа *Diploxylon*, береза и ольха, реже – дуб, граб, вяз. Среди травянистой растительности преобладает пыльца маревых (*Cycolobae* и др.) и полыни, а также эфедры, сложноцветных и злаковых. Разнотравье представлено семействами *Leguminosae*, *Umbelliferae*, *Ranunculaceae*, *Labitae* и др. Обнаружена пыльца водных растений – *Typha latifolia* L., *Sparganium* sp. Встречены также споры зеленых мхов и папоротников. В устье Кубани обнаружена переотложенная пыльца сосны, пихты, таксодиевых и других видов.

Наши материалы дают возможность проанализировать состав спор и пыльцы почти метровой (85 см) толщи отложений в осевой ложбине Таганрогского залива (рис. 1, 2). Колонка грунта была отобрана на глубине около 8 м севернее банки Песчаных островов. В литологическом отношении вскрытые осадки представлены темно-серыми глинистыми илами. Вниз по колонке (начиная с 10 см) отложения становятся более плотными и содержат раковинный материал.

Спорово-пыльцевые спектры всего изученного разреза обладают очень большой степенью сходства. Для них характерно низкое содержание пыльцы древесных пород (10–15%), и только на глубине 62–66 см ее содержание возрастает до 50%. Постоянные компоненты этой группы – сосна, береза, дуб, вяз, орешник и граб. Периодически встречается пыльца грецкого ореха, липы и бука. Среди кустарников отмечены кизил и ива.

Группа пыльцы травянистых растений отличается большим разнообразием (определены 46 таксонов – видов, родов и семейств). Абсолютные доминанты спорово-пыльцевых спектров – пыльца полыни (*Artemisia*, 30–40%), маревых (*Chenopodiaceae*, 25–42%) – компоненты южных степей и злаков (*Poaceae*, до 20%). В небольшом количестве, но постоянно присутствует пыльца растений, характерных для степных и луговых сообществ. Это представители широко распространенных семейств – гречишные (*Polygonaceae*), бобовые (*Fabaceae*), розоцветные (*Rosaceae*), губоцветные (*Lamiaceae*), крестоцветные (*Brassicaceae*), цикориевые (*Cichoriaceae*) и др. Следует отметить присутствие пыльцы показательных видов сообществ южных степей – *Ephedra*, представители семейства *Plumbaginaceae* и лугово-степных местообитаний – *Polygonum bistorta*, *Plantago lanceolata*, *Linum*, *Convolvulus*, *Centaurea*, *Malva*.

Наши материалы свидетельствуют, что верхний полуметровый слой илистых отложений Таганрогского залива содержит следы влияния сельскохозяйственного земледелия. Постоянным компонентом рассмотренных пыльцевых спектров является пыльца культурных злаков. С глубины 55 см их содержание образует непрерывную кривую (рис. 2). Некоторое увеличение их содержания наблюдается в интервалах 50–40 см и выше 20 см. В качестве индикаторов антропогенного влияния на растительный покров можно отметить пыльцу конопли (*Cannabis*) и гречихи посевной (*Fagopyrum sagittatum*), частота встречаемости пыльцы которых также возрастает в верхних 20 см профиля. Пыльца щавеля (*Rumex*), цикориевых и печеночных мхов (*Hepaticae*) может отражать развитие ассоциаций на нарушенных грунтах, возможно, в результате выпаса.

Несмотря на столь однообразный характер спектров, в разрезе можно выделить три спорово-пыльцевые зоны. Они также отличаются консистенцией грунта, количеством примеси раковинного материала, а также цветом осадка.

Зона 1 (короткий отрезок ниже 66 см) и зона 3 (62–0 см) идентичны по составу и соотношению основных компонентов спектра. В период формирования этих осадков на прилегающей территории были распространены сообщества южных степей. Влияние хозяйственной деятельности человека постепенно возрастало. Наиболее сильно оно проявилось во время формирования верхних 20 см разреза, т.е. в настоящее время.

Для зоны 2 (66–62 см) характерно повышенное содержание пыльцы древесных, в основном за счет дуба, вяза, ольхи и орешника. В то же время количество пыльцы полыни и маревых сокращается. Отмечено некоторое повышение содержания пыльцы луговых трав (*Fabaceae*, *Caryophyllaceae*, *Rosaceae*). Очевидно, в период накопления отложений этих образцов происходило продвижение границы лесостепи к югу, что привело к увеличению доли пыльцы древесных в спектрах. На прилегающей территории были распространены луговые степи. Возможно, этот период отражает климатические изменения, связанные с увеличением увлажнения в начале новоазовского времени. В любом случае можно говорить, что осадки на этом уровне накапливались до интенсивного антропогенного воздействия на экосистему водоема и основной вклад в поступление терригенных наносов в Азовское море вносит абразия берегов в совокупности с гидрохимическими и гидробиологическими факторами, а также геоморфологией дна.

Таблица 4. Диапазон концентрации химических элементов в донных осадках Азовского моря, мкг/г сухого вещества

Ареал, глубины	S	Cl	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Br	Rb	Sr	Zr	Ba	Pb
Прибрежный шельф, до 6–8 м	0,1–0,3	0,02–0,09	3–12	6–14	130–200	5–7	2–11	5–8	0–25	9–15	0–10	1–20	1000–2000	300–400	80–400	6–15
Внешний шельф, 8–14 м	0,9–1,0	1,5–1,8	150–165	120–130	650–675	16–18	55–62	35–42	100–122	20–21(53)	70–80	130–143	100–250	15–20	400–460	25–31

Для характеристики современных донных отложений Азовского моря нами было изучено распределение в них химических элементов (табл. 2). В зависимости от приуроченности к конкретным гранулометрическим типам и особенностям распределения по площади водоема представленные элементы (S, Cl, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Sr, Zr, Mo, Ba, Pb) подразделяются на две геохимические группы. Диапазоны изменения концентраций указанных элементов отражены в табл. 4.

Первая группа элементов (Sr, Zr, Ba) максимально концентрируется в прибрежно-морских песках и крупных алевролитах (рис. 1; табл. 1, 2). С ними обычно связано присутствие в осадках тяжелых акцессорных минералов.

Присутствие циркония в Азовском море обусловлено поступлением терригенного вещества, основная роль в его распределении принадлежит механической дифференциации. В значительной степени это относится и к бария, хотя определенные коррективы в его накопление вносит биогенный фактор. Стронций осаждается в основном биогенно, и большая часть раковинного материала, с которым он генетически связан, отлагается на местах обитания моллюсков [5–6]. В мелкоалевритовых и глинистых илах все указанные элементы имеют второстепенное значение (табл. 2, 4).

С донными отложениями песчаного и смешанного гранулометрического типов ассоциирует ряд химических элементов и соединений. Наиболее характерно для песков присутствие циркония и SiO_2 . В значительно меньших концентрациях отмечены Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , содержание которых увеличивается по мере уменьшения размера частиц осадка (табл. 1, 3). В карбонатных отложениях этого гранулометрического типа отмечено максимальное содержание стронция, который накапливается в них в результате жизнедеятельности морских организмов.

Цирконием обогащены пески и крупноалевритовые осадки банок косы Чумбурской, Долгой, Песчаных островов. Повышенная концентрация стронция в органогенных песках подводных гряд к востоку от Обиточной косы объясняется значительным содержанием раковинного детрита, состоящего из кальцита, включающего изоморфную примесь Sr. Илы без примеси песчано-алевритового материала содержат минимальное количество этого элемента. В результате проведенного анализа удалось выявить следующую закономерность: чем больше в морских отложениях содержится циркония, тем меньше в них стронция. Если уровень накопления циркония велик, а стронция низок, то на площади преобладает терригенное осадкообразование, если же наоборот – то карбонатное. При различных способах поступления осадочного материала в море изменяется и соотношение химических соединений в осадках – при усиленном терригенном стоке увеличивается содержание SiO_2 и Al_2O_3 и снижается CaO. На площадях, где такая закономерность нарушается, видимо, поступление осадочного материала происходит из нескольких источников.

В Таганрогском заливе песчаные осадки обычно имеют светло-серый цвет и, как правило, содержат примесь остатков растений и раковин моллюсков. Присутствие глинистого материала в них может быть значительное, вследствие чего многие отложения данного типа во влажном состоянии приобретают некоторую пластичность и вязкость. Данные об их химическом составе свидетельствуют о преимущественно терригенном способе образования. Преобладают соединения SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O и Na_2O (при подавляющем процентном содержании SiO_2) при низких значениях CaO, из химических элементов – цирконий (Zr) (табл. 2, 3).

В северной части Таганрогского залива (ст. 32) мелкие и среднезернистые пески харак-

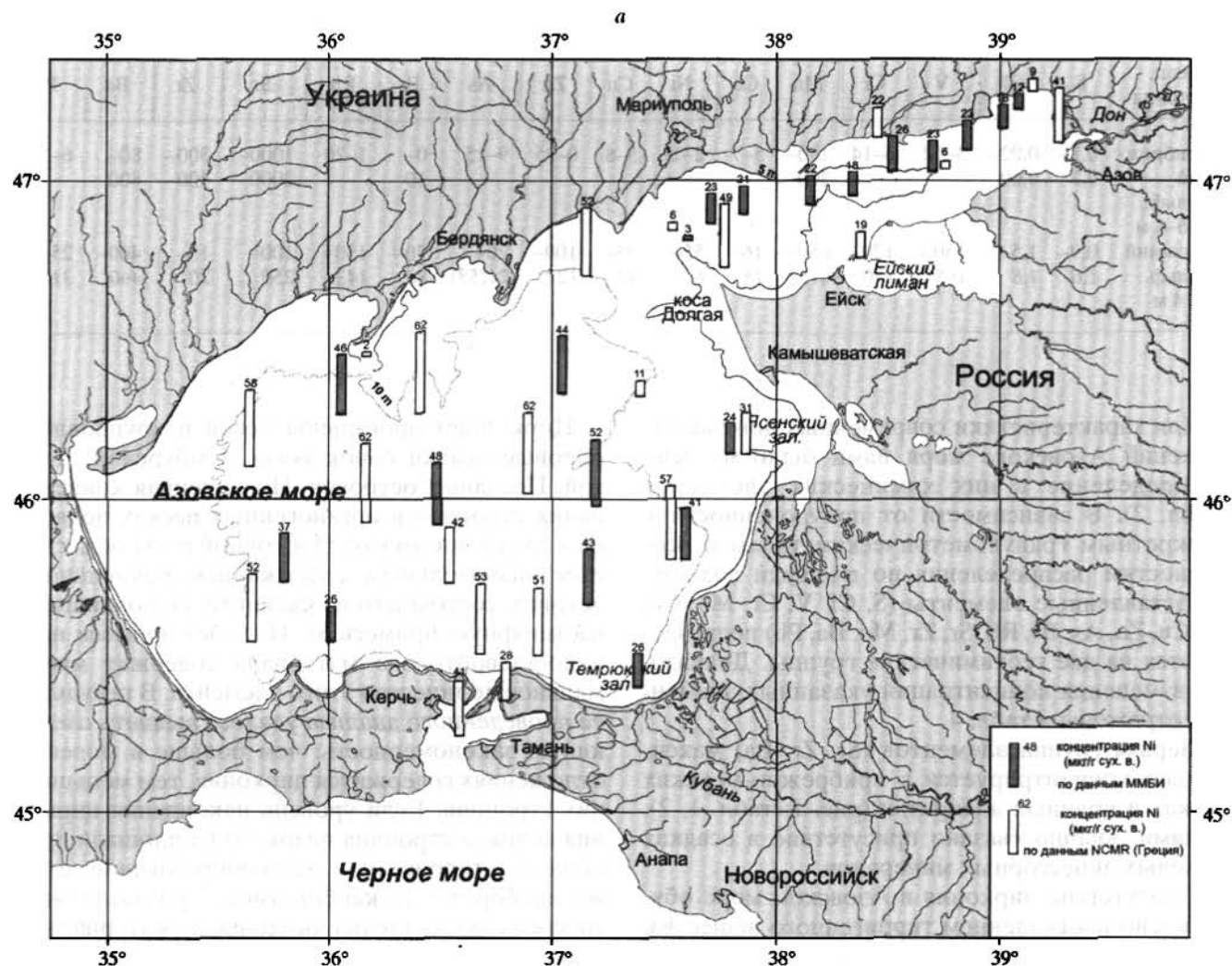


Рис. 3. Концентрации элементов в микрограммах на грамм сухого вещества (мкг/г в сух. в.) в донных осадках Азовского моря: а – Ni; б – Mn; в – Zn; г – Cu

теризуются двухвершинными пиками. Основной пик приурочен к фракции 0,25–0,125 мм – 46,70%, второй соответствует фракции 0,125–0,063 – 21,90%. Содержание SiO_2 самое высокое из обработанных проб – 92,86%. Содержание Al_2O_3 , Na_2O и K_2O , являющихся составными частями полевых шпатов, незначительно: Al_2O_3 – 1,39%, Na_2O – 0,31%, K_2O – 0,41%. Такое распределение химических соединений предопределило преобладание в минералогическом составе осадков кварца и незначительное содержание полевых шпатов. Содержание циркония в осадках в этой области моря максимально из обнаруженных нами (рис. 1; табл. 1, 2, 4). В данном случае очевидно влияние взвешенных наносов, образуемых р. Миус и другими реками с участка северного Приазовья, и абразии берегов.

Содержание циркония в песках с примесью глинисто-алевритового материала в кутовой части Таганрогского залива несколько ниже. Так, например, в районе станции Tz-0, где сильно воздействие речных наносов р. Дон, его концентрации находятся на уровне 304 мкг/г. Такое количество этого химического элемента показывает, что основная его часть поступает в море не с речным стоком, а в результате абразии берегов. К центральным районам моря, к областям распространения более мелких осадков, содержание циркония закономерно уменьшается. На станции Tz-6, в зоне распространения осадков смешанного типа, его концентрация снижается до 284 мкг/г, в районе развития алевритовых осадков (Tz-56) опускается до уровня 210 мкг/г, а в центральных районах моря, где преобладают глинистые осадки, – до 161 мкг/г.

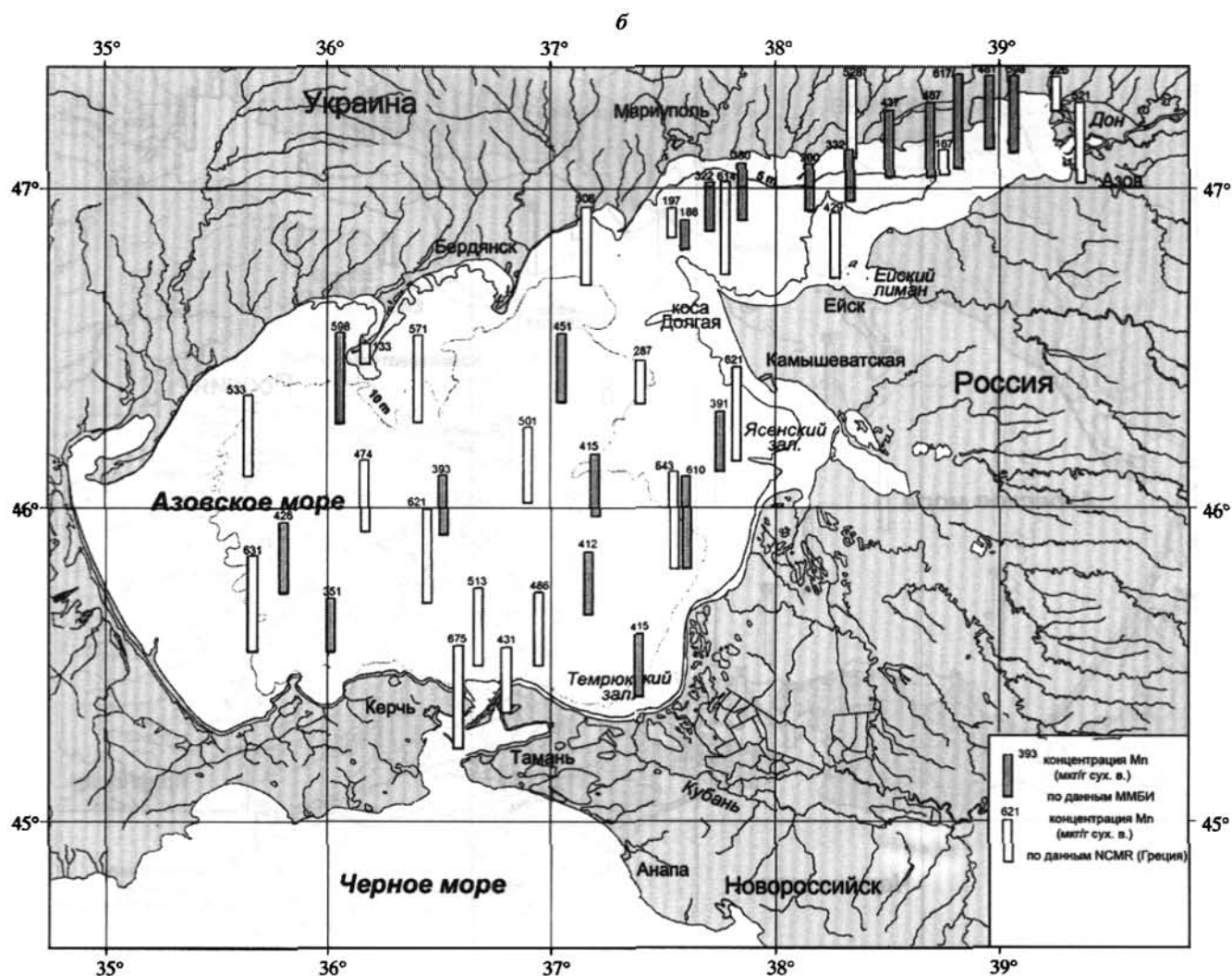


Рис. 36

(Tz-29). Минимальные же концентрации циркония отмечены нами на северо-западе (ст. 21) и юго-востоке моря (ст. 98 и 94), в местах развития карбонатных осадков.

Аномальные концентрации в карбонатных отложениях образует стронций. На юго-востоке моря в районе Железинской банки (ст. 98) его содержание находится на уровне 2074 мкг/г (максимум), на северо-западе понижается до 1590 мкг/г (ст. 21). Падение концентрации данного элемента в аналогичных осадках на южной оконечности Железинской банки (ст. 94) до уровня 1202 мкг/г и повышение в них содержания циркония, SiO_2 и Al_2O_3 свидетельствует о том, что на этой площади возрастает влияние терригенного фактора осадконакопления. Эти данные сопоставляются с гранулометрическим составом осадков. От северной оконечности банки к южной

происходит увеличение частиц пелитовой размерности: от 6,74% до 22,40%.

Значительные концентрации в отложениях смешанного типа образует барий. Он осаждается на шельфе в непосредственной близости от источников поступления терригенного материала – прибрежных районов Таганрогского и Темрюкского заливов, а также в местах развития раковинных илов. В восточной и северной частях Таганрогского залива, в районах впадения в него рек Дон и Миус, концентрация бария в песках достигает 400 мкг/г.

В халастической зоне на аккумулятивной равнине Панова барий распределяется относительно равномерно – 300–400 мкг/г (табл. 2, 4). Минимальное содержание этого химического элемента (до 88 мкг/г) приурочено к карбонатным пескам северной оконечности Железинской

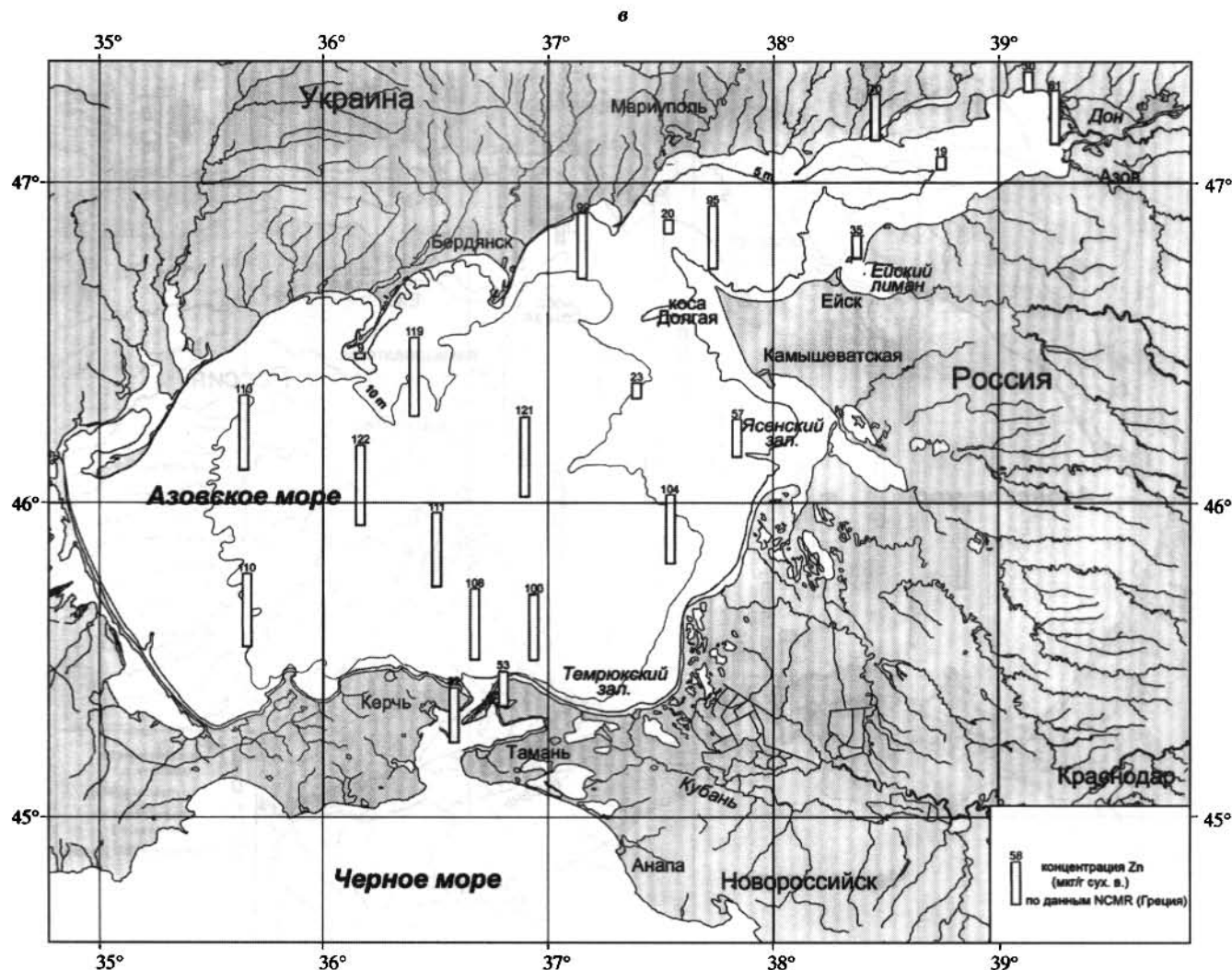


Рис. 3а

банки (ст. 98). Незначительным содержанием бария характеризуются и карбонатные отложения, залегающие на севере Азовского моря, на песчаных грядах в районе Обиточной косы (ст. 21). Его концентрация в этом месте – 155 мкг/г. Такое распределение бария во многом подтверждает преимущественно терригенный характер его поступления на акваторию морского бассейна.

Элементы второй группы (S, Cl, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Mo, Pb) концентрируются в донных отложениях за пределами прибрежной зоны (рис. 3). Максимальное количество этих элементов приурочено к глинистым илам подводной равнины Панова (глубины 10–14 м) и осевой ложбины Таганрогского залива. Резко выраженные максимумы связаны с пелитовой частью осадков, в которых фракция < 0,01 мм превышает 60–90% (табл. 1,

2, 4). Очевидно, указанные элементы интенсивно сорбируются глинистыми частицами. Закономерно тяготение марганца, железа, мышьяка, бора и некоторых других элементов к тонкодисперсным осадкам, обогащенным $S_{орг.}$

Если основная часть песков Таганрогского залива имеет терригенный характер образования, то пески, образующиеся в открытой части акватории Азовского моря, как правило, имеют биогенную природу. Детритовые пески и ракушка развиты локально и слагают аккумулятивные формы рельефа – Железинскую банку, банку кос Долгой, Беглицкой, Обиточной и др. Благодаря тому что эти осадки распространены в зонах повышенной гидродинамической активности, глинистый материал в них встречается в незначительном количестве. В этих отложениях происходит закономерное снижение содержания

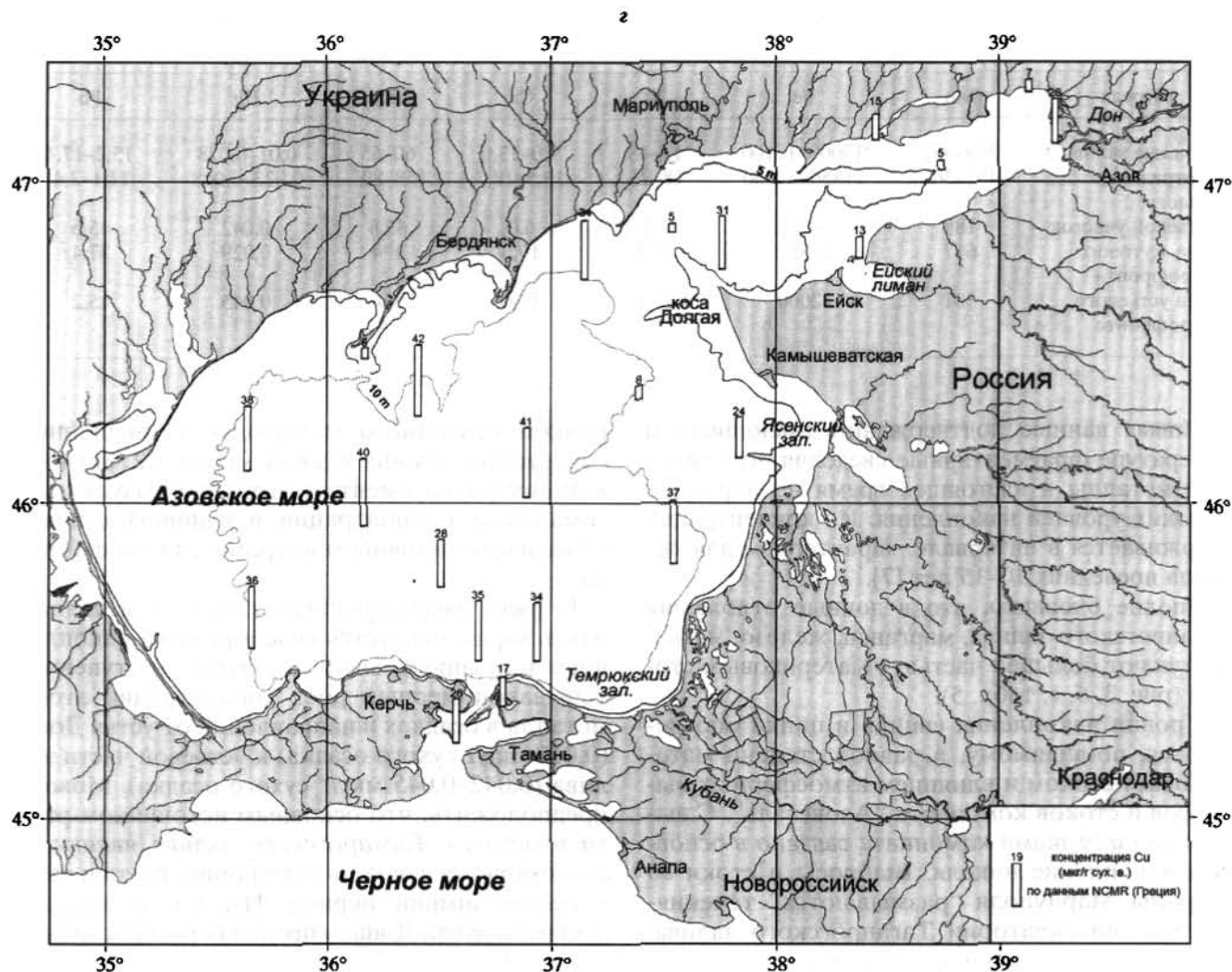


Рис. 3г

кремнезема и алюмосиликатов и увеличение содержания карбонатов. На северо-западе моря (ст. 21) содержание SiO_2 составляет 31,15%, а на юго-востоке (ст. 98, район Железинской банки) этот показатель снижается до уровня всего 1,14%. Концентрация CaO , наоборот, пропорционально увеличивается: на северо-западном участке до 35,53%, а в районе Железинской банки до 48,76%. Такой состав осадков свидетельствует о доминировании органо-генного осадконакопления и сокращения поступления терригенного вещества в морской бассейн.

Интересным фактом является значительная концентрация мышьяка, содержащегося в органо-генных песках, распространенных на вершине банки Железинской. Здесь его количество максимально из обнаруженных нами и находится на уровне 53 мкг/г. Такая концентрация, видимо,

связана с близостью современной вулканической деятельности в Темрюкском и Таманском заливах.

Помимо мышьяка есть еще ряд химических элементов, которые в большей степени тяготеют к тонкодисперсным отложениям, но иногда образуют существенные накопления и в более крупных осадках. Как правило, такое нехарактерное распределение связано с влиянием речного стока и техногенными процессами. Примером такого нехарактерного распределения может являться восточная часть Таганрогского залива, находящаяся под влиянием жидкого и твердого стоков реки Дон. Относительно других районов моря с таким же или близким гранулометрическим составом осадков здесь отмечено повышенное содержание серы, никеля, хлора, меди, цинка, мышьяка и, как отмечалось выше, свинца (рис. 3, а, в, г; табл. 2, 4).

Таблица 5. Диапазон концентраций тяжелых металлов в донных осадках Таганрогского залива (в июне–июле 2005 г.), мкг/г сухого вещества

Ареал	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Hg	Pb
Вершина залива	503–481	13000–16100	12–18	9,0–13,0	60–65	0,01–0,028	15,2–17,4
Центральная область	487–300	21850–22900	18–26	13,5–18,7	58–80	0,023–0,048	11,1–3,4
Устьевой участок	188	4492	3,5	6,0	45,8	0,042	15,6
Зона кутového гидрофронта	617	21850	23,4	19,6	134	0,029	37,4
Зона устьевового гидрофронта	381	22000	23,1	16,0	99	0,045	15,2

Новые данные подтверждают имеющиеся в литературе фрагментарные сведения, что тяжелые металлы в настоящее время не образуют высоких уровней накопления. Их концентрация удерживается в интервале, характерном для периода последних 10–15 лет [7].

Вполне очевидно, что в донные отложения Таганрогского залива, марганец, железо, медь – поступают большей частью с материковым стоком (рис. 3, б, г; табл. 5).

Уровни накопления свинца и цинка определяются, по-видимому, в равной степени материковым стоком и влиянием атмосферных выбросов и стоков комбината “Азовсталь”. С выбросами и стоками комбината связано в основном накопление никеля. Выбросы и стоки со стороны Мариуполя “размываются” течениями по всей акватории Таганрогского залива. Его локальный эффект наиболее заметен в водной среде, а локальные эффекты в донных отложениях требуют дополнительных исследований.

Осадки, отобранные на ст. Tz-0, характеризуют речные наносы, образуемые р. Дон. Здесь на глубине 4,2 м залегают пески мелко-среднезернистые, с включениями раковин моллюсков и детрита. В фациальном составе отложений преобладают средне- и мелкопсаммитовые фракции: 0,25–0,125 мм – 43,3%, фракция 0,125–0,1 мм – 27,8% соответственно. Отмечено повышение содержания до уровня 30% глинистых частиц в осадках. Показатели содержания химических соединений свидетельствуют о преобладании аллотигенного осадконакопления над аутигенным. Содержание SiO₂ находится на уровне 91,18%, что несколько ниже, чем в таких же осадках в других районах моря (ст. Tz-32), а содержание алюмосиликатов почти в два раза выше. Скорее всего, этот факт можно объяснить большой примесью глинистого вещества и малой сорти-

ровкой осадочного материала. Повышенное содержание свинца в этом месте (22 мкг/г) – химического элемента, который образует максимальные концентрации в глинистых илах, объясняется влиянием антропогенного фактора.

В ряду рассмотренных тяжелых металлов ртуть характеризуется своеобразным накоплением и распространением. Отмечен ступенчатый закономерный рост концентрации этого металла в осадках в направлении от устья Дона (0,010 мкг/г сухого осадка) к устьевой части залива (0,042–0,045 мкг/г сухого осадка). Можно предположить, что основным источником ртути в осадках Таганрогского залива являются азовоморские воды, поступающие по тальвегу в осенне-зимний период. Именно в осадках древнего русла Дона, в пределах распространения осеннего гидрофронта типа “солевого клина”, зарегистрированы максимальные концентрации этого металла [2]. В воде устьевой части залива ртуть не обнаружена. Значимые концентрации ртути 0,009–0,016 мкг/л летом были зарегистрированы в азовоморской воде, в районе косы Долгой.

Таким образом, по мере увеличения глубины моря и удаления от источников поступления осадочного материала происходит закономерное уменьшение размерности частиц, слагающих осадки, и изменение их химического состава. Зона развития песков к центру моря сменяется зоной распространения алевритов и смешанных осадков, далее фациально замещается зоной развития илистых отложений, максимальные площади развития которых приурочены к центральным районам моря в целом (аккумулятивная равнина Панова) и к осевой ложбине Таганрогского залива в частности. В осадках происходит увеличение содержания почти всех химических соединений, кроме SiO₂ и CaO. Падение уровня концентрации SiO₂ свя-

зано с тем, что это соединение в основном ассоциируется с формированием песчаных осадков терригенного генезиса, количество которых к центру моря с глубиной постоянно снижается. Уменьшение концентрации СаО объясняется снижением биопродуктивности бентосных моллюсков в поле развития глинистых илов.

В целом для химических элементов первой группы, в которую включены цирконий (Zr), стронций (Sr), барий (Ba), характерна приуроченность к прибрежно-морским отложениям (пескам и крупным алевритам). Ко второй группе относятся элементы, ассоциирующие с алевритово-глинистыми и глинистыми илами. Накопление S, Cl, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Mo, Pb в тонкодисперсных осадках (фракция < 0,01 мм более 60–85%) обусловлено их выносом в направлении подводной равнины Панова и к тальвегу осевой ложбины Таганрогского залива (см. рис. 2–3 а, б, в). Вероятно, миграция указанных элементов происходит в виде коллоидов вместе с глинистыми частицами. При этом значительную роль в этом процессе играет органическое вещество [5, 6]. Типично также, что на всех банках, грядах и других поднятиях в открытой части Азовского моря концентрация тяжелых металлов в 5–10 раз ниже, чем на аккумулятивных равнинах и ложбинах дна.

Результаты палинологического анализа показывают, что донные осадки от поверхности морского дна до глубины 60 см содержат споры и пыльцу сельскохозяйственных культур. Эпоха растениеводства в Приазовье началась примерно 2–3 тыс. лет назад, и именно с этого времени донные отложения Азовского моря стали испытывать антропогенное влияние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаргона Ю.М. Гидрометеорологические условия формирования режима биогенных веществ в Азовском море // Экосистемные исследования Азовского моря и побережья. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. С. 167–192.
2. Матишов Г.Г., Гаргона Ю.М., Бердников С.В., Дженюк С.Л. Закономерности экосистемных процессов в Азовском море. М.: Наука, 2006. 304 с.
3. Матишов Г.Г., Гаргона Ю.М. Внутривековые флуктуации термогалинной структуры и биопродуктивности Азовского моря в условиях глобальных изменений климата и антропогенных воздействий // Вестник Южного научного центра. 2005. Т. 1. № 3. С. 43–50.
4. Панов Д.Г., Вронский В.А., Александров А.Н. Распределение и состав пылицы и спор в поверхностном слое осадков Азовского моря // Доклады Академии наук СССР. 1964. Т. 155. № 4. С. 818–821.
5. Шнюков Е.Ф., Орловский Г.Н., Усенко В.П., Григорьев А.В., Гордиевич В.А. Геология Азовского моря. Киев: Наукова думка, 1974. 247 с.
6. Хрусталева Ю.П. Основные проблемы геохимии седиментогенеза в Азовском море. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1999. 247 с.
7. Матишов Г.Г., Ильин Г.В., Савинова Т.Н., Черняк С.М. Уровни поллютантов в осадках Азовского моря // Закономерности океанографических и биологических процессов в Азовском море. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. С. 348–369.
8. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. С. 30–56.
9. Израэль Ю.А., Цибань А.В., Панов Г.В., Колобова Т.П., Куликов А.С. Современное состояние прибрежных экосистем морей Российской Федерации // Метеорология и гидрология. 1995. № 9. С. 6–21.
10. Матишов Г.Г. Новые данные о геоморфологии дна Азовского моря // Доклады Академии наук. Т. 409. № 2006. С. 375–380.
11. Вронский В.А. "Пыльцевой дождь" над акваторией Азовского моря // Океанология. 1970. Т. 10. № 4. С. 732–733.

REGULARITIES OF THE ASOV SEA MODERN BOTTOM SEDIMENTS' LITHOCHEMISTRY AND PALYNOLOGY

Academician G.G. Matishov, V.V. Polshin, G.V. Ilyin,
E.Y. Novenko, A. Karageorgis

The present study is focused on the new aspects of lithology, geochemistry, ecotoxicology and palynology of the Azov Sea bottom sediments. Importance of bottom's geomorphology, hydrodynamical and hydrobiological conditions in sediment accumulation is being defined more exactly. Data are presented to show that lithologic and chemical characters of marine sediments are determined mainly by their grain-size composition. Chemical elements are divided into geochemical groups depending on their inhesion to certain grain-size types of sediments and peculiarities of their distribution the water body is on the square bottom.

REFERENCES

1. Gargopa Yu.M. 2002. [Hydrometeorological conditions of formation of the regime of biogenic substances in the Sea of Azov]. In: *Ekosistemnye issledovaniya Azovskogo morya i poberezh'ya*. [Ecosystem research of the Azov Sea and the coast]. Apatity, Kola Scientific Center RAS Publishers: 167–192. (In Russian).
2. Matishov G.G., Gargopa Yu.M., Berdnikov S.V., Dzhenyuk S.L. 2006. *Zakonomernosti ekosistemnykh protsessov v Azovskom more*. [Laws of ecosystem processes in the Sea of Azov]. Moscow, Nauka Publ.: 304 p. (In Russian).
3. Matishov G.G., Gargopa Yu.M. 2005. [The Azov Sea thermohaline structure and bio-productivity intra-secular fluctuations under conditions of climate global changes and anthropogenic impacts]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra*. 1(3): 43–50. (In Russian).
4. Panov D.G., Vronskiy V.A., Aleksandrov A.N. 1964. [The distribution and composition of pollen and spores in the surface layer of sediments of the Azov Sea]. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 155(4): 818–821. (In Russian).
5. Shnyukov E.F., Orlovskiy G.N., Usenko V.P., Grigor'ev A.V., Gordievich V.A. 1974. *Geologiya Azovskogo morya*. [Geology of the Sea of Azov]. Kiev, "Naukova dumka" Publ.: 247 p. (In Russian).
6. Khrustalev Yu.P. 1999. *Osnovnye problemy geokhimii sedimentogeneza v Azovskom more*. [The main problems of geochemistry of sedimentation in the Azov Sea]. Apatity, Kola Scientific Center RAS Publishers: 247 p. (In Russian).
7. Matishov G.G., Il'in G.V., Savinova T.N., Chernyak S.M. 2000. [Levels of pollutants in the sediments of the Sea of Azov]. In: *Zakonomernosti okeanograficheskikh i biologicheskikh protsessov v Azovskom more*. [Laws of oceanographic and biological processes in the Sea of Azov]. Apatity, Kola Scientific Center RAS Publishers: 348–369. (In Russian).
8. *Kachestvo morskikh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam*. [The quality of marine waters by hydrochemical indicators]. 2005. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ.: 30–56. (In Russian).
9. Izrael' Yu.A., Tsiban' A.V., Panov G.V., Kolobova T.P., Kulikov A.S. 1995. [The present state of the coastal ecosystem of the seas of the Russian Federation]. *Meteorologiya i gidrologiya*. (Russian meteorology and hydrology). (9): 6–21. (In Russian).
10. Matishov G.G. 2006. [New data on the geomorphology of the bottom of the Sea of Azov]. *Doklady akademii nauk*. 409: 375–380. (In Russian).
11. Vronskiy V.A. 1970. ["Pollen rain" over the Sea of Azov]. *Okeanologiya*. (Oceanology). 10(4): 732–733. (In Russian).