

## **6.2. Химический состав и процессы метаморфизации иловых вод Черного моря**

*Ю.Н. Гурский*

### **Введение**

Иловые воды Черного моря – одно из самых удивительных природных образований, издавна поражавших внимание исследователей разнообразием природной обстановки, сложной историей развития, необычными явлениями в воде и осадках.

Изучением химического состава иловых вод в донных отложениях Черного моря занимались многие исследователи: С.В. Бруевич [1952], О.В. Шишкина [1957, 1959, 1962, 1972], Н.В. Тагеева, М.М. Тихомирова [1962], Е.Д. Зайцева [1959, 1962], А.Ю. Митропольский с соавторами [1980, 1982] и другие [Гавшин и др., 1988; Manheim, Chan, 1974].

Более подробная информация и детальный обзор предыдущих научных исследований в области изучения иловых (поровых) вод, или морской лито гидросферы изложена в основной нашей публикации [Гурский, 2003, 2007].

Районы работ, региональная и временная привязка, местоположение станций показаны на рис. 6.2.1.

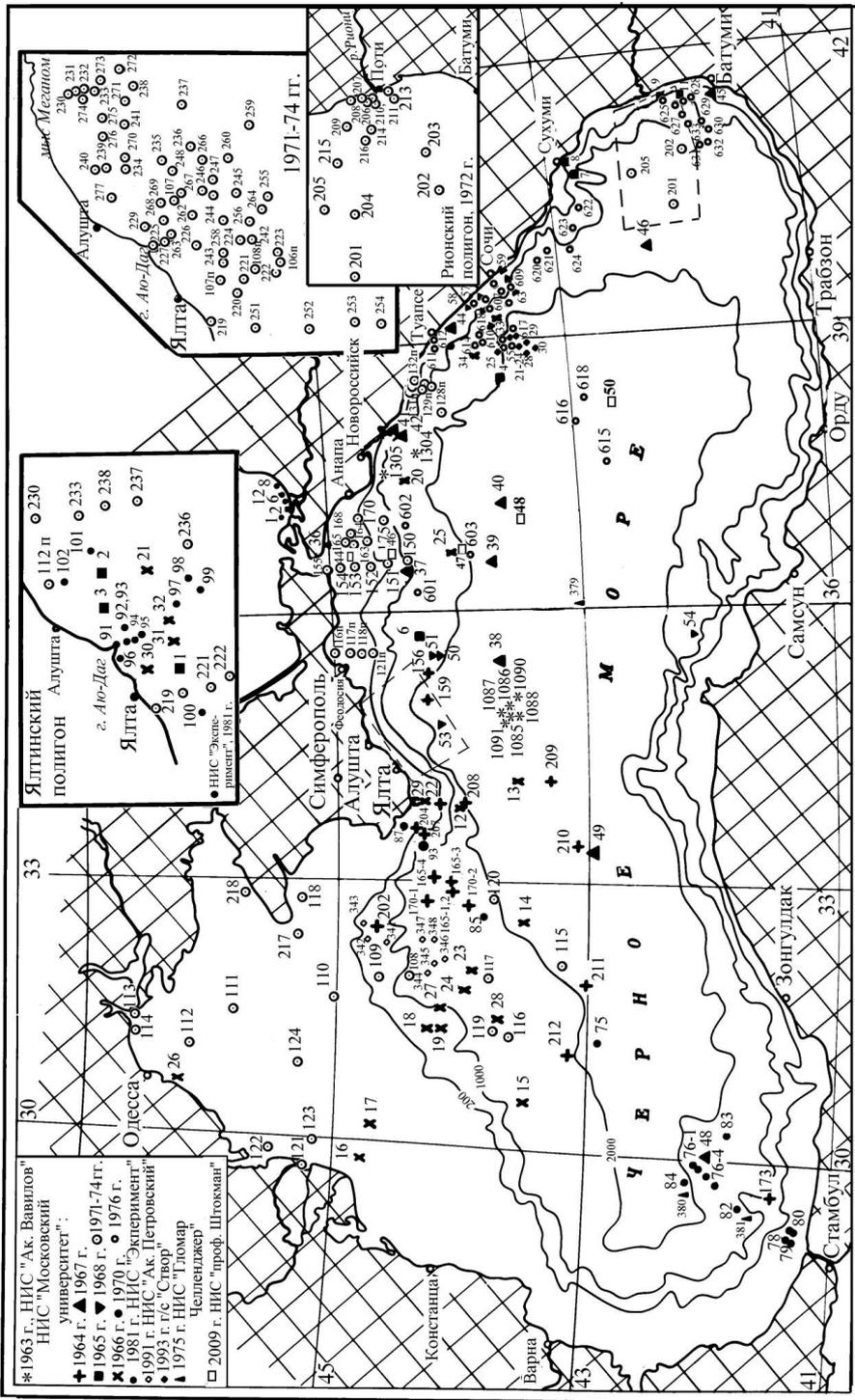


Рис. 6.2.1. Схема расположения станций в Черном море.

## Теоретическое обсуждение

*Цель и задачи исследования.* Изначально цель исследования была направлена на палеогеографические реконструкции процессов, происходивших в бассейне Черного моря в голоцене и плейстоцене, и выяснение фациальных и региональных отличий в химическом составе иловых вод. Затем, когда выяснилась определенная направленность процессов преобразования их химического состава при диагенезе, обусловленная сульфатредукцией, катионным обменом, аутигенным минералобразованием и другими причинами, основное внимание было переключено на изучение процессов метаморфизации химического состава иловых вод. В этом существенно помогло использование физико-химической диаграммы природных вод, ранее успешно применявшейся проф. М.Г. Валяшко [1962] для решения генетических вопросов в солеродных бассейнах.

Выяснилось, что значительная часть проб иловой воды в достаточно длинных колонках может претерпевать как прямую, так и обратную метаморфизацию, что приводит к формированию вод хлоркальциевого либо карбонатного типа. И на развитие этих процессов может влиять множество факторов: и литология осадков, и гранулометрия, и содержание органического вещества (ОВ), и его качественный состав и т.д.

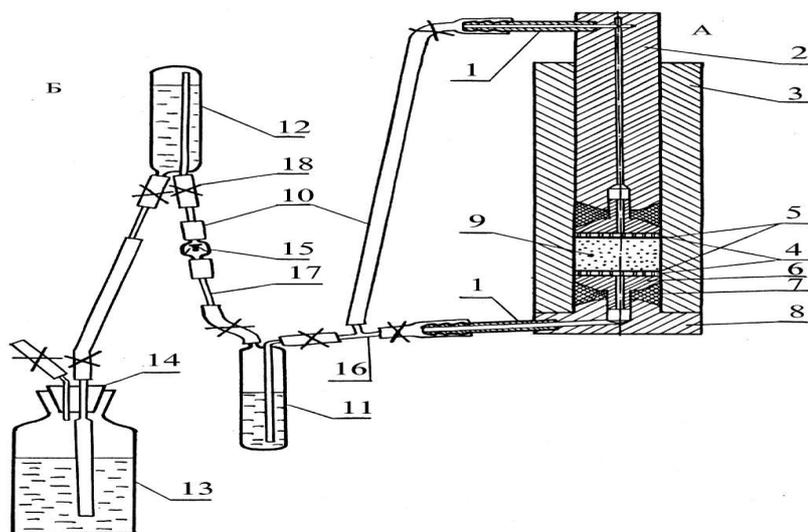
Кроме того, в процесс преобразования и формирования химического состава иловых вод могут вмешиваться явления вторичного, эпигенетического характера, связанные с особенностями рельефа и тектоническими нарушениями. Это могут быть оползневые процессы при седиментации на крутых склонах, грязевой вулканизм, субмаринная разгрузка вод по трещинам в земной коре и разломам и многое другое. Все это препятствует проведению палеогеографических реконструкций эволюционного характера. Следовательно, необходимо проводить предварительную физико-химическую диагностику проб иловой воды, колонок осадков, чтобы оценить их пригодность для дальнейших палеогеографических реконструкций.

## Методы исследования

Методы экспедиционных и лабораторных исследований и способы их проведения подробно описаны ранее [Гурский, 2003].

## Методы выделения иловых вод

Использовалась прессформа с двусторонним отводом иловой воды и увеличенной вдвое площадью фильтрации (рис. 6.2.2).



**Рис. 6.2.2.** Схема устройства для выделения иловой воды и газа под давлением. А – общий вид прессформы; Б – приспособление для сбора иловой воды и газа; 1 – ниппель; 2 – поршень; 3 – цилиндр; 4 – сетка; 5 – фильтр; 6 – воронка; 7 – прокладка из фторопласта; 8 – основание; 9 – осадок; 10 – вакуумный шланг; 11 – приемный сосуд для иловой воды; 12 – газоприемник с запирающим солевым раствором; 13 – сосуд с солевым раствором; 14 – пробка резиновая; 15 – клапан; 16 – тройник; 17 – стеклянная трубка; 18 – вакуумный зажим.

Для выделения иловой воды из проб с высокой влажностью (пробы из дночерпателя) и из проб 100-го рейса НИС профессор «Штокман» применяли метод центрифугирования.

### Определение главных ионов

Для определения хлор-иона использован объемный меркуриметрический метод [Методы..., 1965] и метод Мора-Кнудсена [Шишкина, 1956, 1972].

*Определение сульфат-иона ( $SO_4^{2-}$ ).* Для определения сульфатов применяли весовой метод [Шишкина, 1956, 1972] и объемный метод [Гурский, 2003].

*Определение кальция и магния ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ )* проводилось комплексонометрическим объемным методом, основанным на реакциях взаимодействия кальция и магния с трилоном Б при различных рН [Резников, Муликовская; 1954; Шишкина, 1972].

Наряду с объемным методом использовалось атомно-абсорбционное определение этих элементов. Анализ выполняли на приборах С-302 или «Хитачи» в пламени ацетилен–воздух. Концентрации элементов вычислялись по градуировочному графику. Перед анализом пробу иловой воды приходилось разводить в 100 раз.

Сравнение двух методов на нескольких десятках проб показало удовлетворительную сходимость, однако объемный метод оказался точнее. По результатам статистической обработки относительное среднеквадратичное отклонение для объемного определения составило  $\pm 0,9\%$  для Са и  $\pm 0,35\%$  для суммы Са+Mg, тогда как аналогичные результаты при атомно-абсорбционном определении Са составили  $\pm 2,8\%$  и Mg  $\pm 1,6\%$ . По-видимому, это связано с разведением проб. Следует отметить, что аналитические результаты, представленные в работе, в основном получены объемным методом.

*Определение натрия и калия ( $Na^+$ ,  $K^+$ )* проводили методом пламенной фотометрии на приборе FLAPHO-4. При анализе использовалось воздушно-ацетиленовое пламя. Применительно к иловым водам эти методы были модифицированы и использовались О.В. Шишкиной [1972].

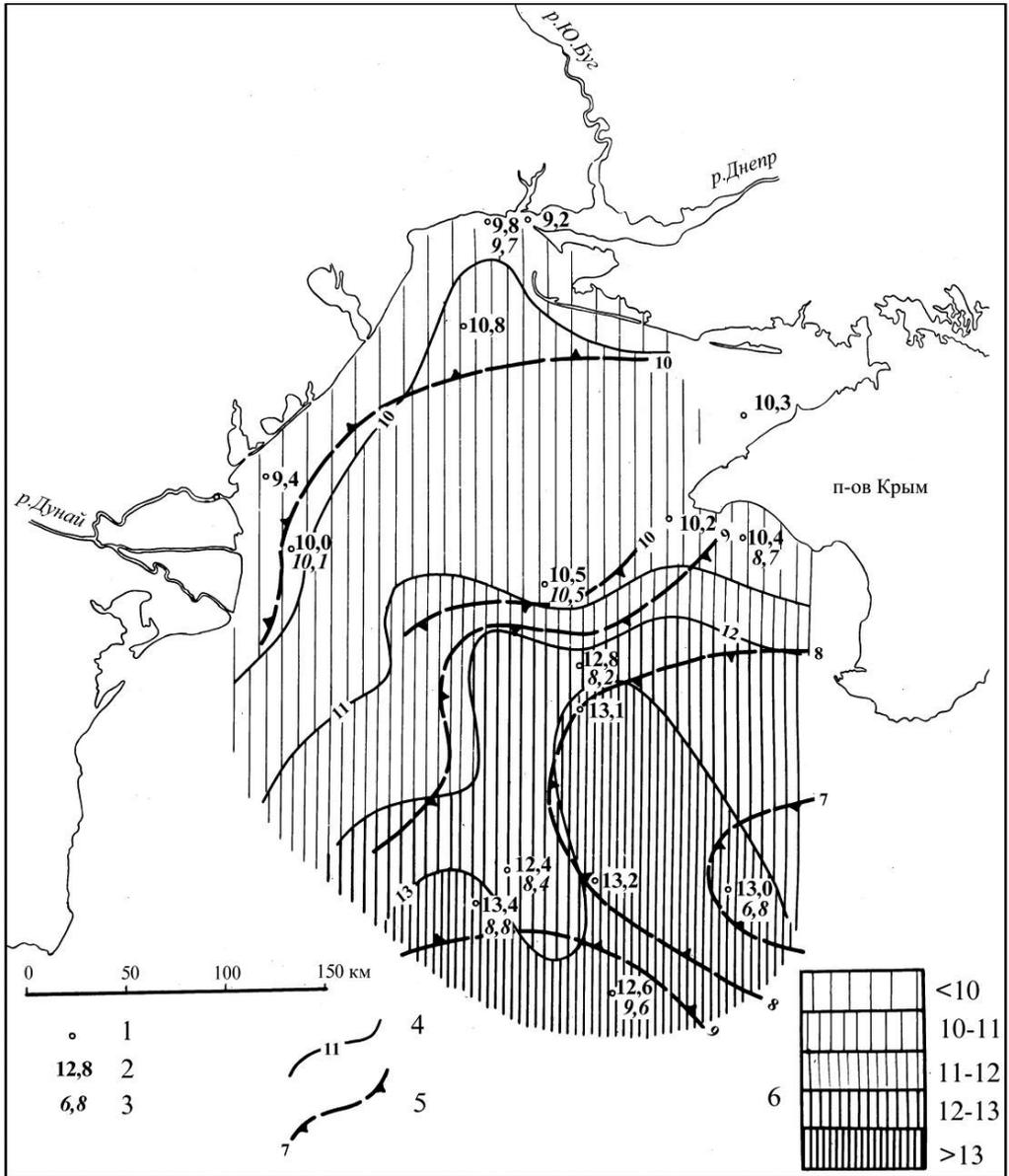
## Результаты исследований. Северо-западный район

*Хлор и суммарная минерализация (Cl,  $\Sigma M$ ).* Распределение Cl в иловых водах СЗ части моря дано на рис. 6.2.3.

Содержание Cl-иона дано в верхнем и нижнем горизонтах иловых вод в колонках осадков, расположенных на глубине 3,5 м. В прибрежных колонках, сложенных современными илами с большой скоростью седиментации, содержание хлора в верхнем и нижнем слоях практически одинаково, тогда как в центре западной халистазы разница (снижение хлорности в новоэвксинских отложениях) достигает 6,2 г/л.

На рис. 6.2.3 показано закономерное изменение хлорности в направлении от СЗ шельфа на ЮВ, включая участок довольно крутого континентального склона и часть глубоководной впадины. Хлорность иловых вод верхнего горизонта закономерно возрастает в указанном направлении, что соответствует обычной гидрохимической зональности поверхностных и придонных вод. Изменения хлорности иловой воды, погребенной на глубине более 3 м, имеют противоположную тенденцию. Это связано с возрастными и литологическими особенностями осадков, вскрытых на глубине 3,5 м. При более высокой скорости седиментации на шельфе чаще всего сохраняются современные осадки, либо вскрываются континентальные плейстоценовые отложения.

В глубоководной зоне по мере увеличения глубины и удаления от берега скорость седиментации убывает (при отсутствии турбидитов) и на одной и той же глубине в колонках обнаруживаются все более глубокие в стратиграфическом отноше-



**Рис. 6.2.3.** Схема распределения хлора в иловых водах северо-западной части Черного моря.

1 – станции наблюдения; 2 – содержание  $\text{Cl}^-$  у поверхности дна; 3 – содержание  $\text{Cl}^-$  на глубине 3,5 м от дна; 4 – изолинии ( $\text{гCl}^-/\text{л}$ ) у поверхности дна; 5 – изолинии на глубине 3,5 м в отложениях; 6 – содержание  $\text{Cl}^-$ -иона в верхнем горизонте иловых вод ( $\text{г/л}$ ).

нии слои. Обычно здесь расположены опресненные горизонты новоэвксинских отложений. Кроме того, на шельфе залегают грубозернистые осадки, что не способствует сохранности первоначальной хлорности захороненных вод.

Суммарная минерализация ( $\Sigma M$ ), или соленость иловых вод в исследованных колонках Черного моря меняется в широких пределах: от 10,1 г/л на глубине более 6 м в новоэвксинских отложениях (ст. 120) до 24,3 г/л в верхнем горизонте современных отложений на ст. 117. Соответствующим образом меняется и хлорность – от 6,2 до 13,4 г/л.

Полный химический состав иловых вод СЗ и западной части Черного моря приведен в табл. 6.2.1. Наряду с макросоставом и ионными отношениями в таблицу включены данные по биогенным компонентам, бору и йоду.

На ст. 121 у г. Вилково в устье Дуная была отобрана колонка с пресной водой. В ней у поверхности и на глубине >1 м были обнаружены иловые воды карбонатного типа с минерализацией до 1,4 г/л, большей, чем в придонной воде, и содержанием  $Cl = 0,2$  г/л.

Наряду с этим во многих колонках, отобранных на континентальном склоне и в глубоководной впадине, были вскрыты отложения, пропитанные водами хлоркальциевого типа, зачастую на совсем небольшой глубине от поверхности дна (на ст. 120 гор. 10-49). В таблице они отмечены звездочками слева в 1-й графе. В отдельных случаях  $Cl-Ca$  иловые воды были найдены и на шельфе (ст. 118, южнее западной оконечности Крыма).

Но в наибольшей степени из всего огромного массива данных, изученных нами за многие годы в Черном море, процесс прямой метаморфизации и формирования вод хлоркальциевого типа проявился на ст. 119 (см. табл. 6.2.1).

Отношение  $Ca/Mg$  там непрерывно растет и достигает наибольшей величины (1,78). При этом содержание  $Ca$  выросло почти в 3,5 раза по сравнению с придонной водой на глубине 4,5 м в колонке.

Содержание хлор-иона в верхнем слое иловой воды, как правило, выше на 0,2-1 г/л по сравнению с придонной водой, за небольшими исключениями (ст. 217, 119). Это связано с гравитационным фактором - явлением, о котором писал в свое время еще С.В. Бруевич [1946], когда он проводил исследования в Каспийском море и пришел к выводу, что донные отложения могут быть своеобразной ловушкой для более плотных и соленых вод. Колебания хлорности и солености иловых вод в верхних горизонтах осадков могут быть связаны с изменением речного стока, а на глубине – с газогидратообразованием, распространенным в Черном море [Гурский, Валяшко, 1975, 1977; Иванов, 1999].

Результаты изучения состава иловых и придонных вод СЗ части Черного моря, представленные в табл. 6.2.1, частично показаны и на рис. 6.2.4.

В серии этих рисунков, наряду с химическим составом иловых вод: анионы, катионы, отношения ионов, биогенные компоненты, приводится литологическая характеристика осадков, данные по их влажности (до и после



Таблица 6.2.1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
200-230	18,7	9,4	30,7	281	-	11,6	57	252	-	-	-	-	-	-	31	20
230-350	18,9	10,7	29,4	284	-	11,5	56	257	-	-	-	-	-	-	36	21
Станция 110, глубина 55 м; координаты 45°03'0 с.ш., 31°35'0 в.д.																
Прид. в.	18,7	4,3	24,4	295	0,47	10,7	59	254	-	3,4	0,3	3,0	-	-	18	18
0-18	19,2	4,7	27,0	300	-	13,1	52	266	-	11	2,1	10	-	-	18	25
34-53	18,5	4,2	29,4	285	-	14,8	54	250	-	14	0,06	18	-	-	14	28
180-210	18,6	7,5	21,2	292	-	17,6	52	251	-	4,5	н/о	14	-	-	35	34
368-415	18,8	7,4	24,2	292	-	16,1	53	255	-	25	0,4	5,0	-	-	31	30
648-695	19,0	8,8	21,7	297	-	16,3	52	259	-	25	0,1	6,0	-	-	41	31
807-867	19,1	7,8	23,0	298	-	17,8	52	259	-	25	н/о	6,0	-	-	34	34
Станция 118, глубина 63 м; координаты: 45°11'5 с.ш., 32°49'5 в.д.																
0-25	18,8	5,7	22,8	295	0,42	12,5	56	247	7,7	3,9	н/о	18	-	1,7	25	22
80-120	17,7	8,8	11,2	284	0,40	13,5	46	238	6,3	5,8	н/о	16	-	1,2	78	29
*175-239	17,0	9,2	5,2	278	0,41	14,7	44	228	5,3	6,8	0,1	8,8	-	2,0	176	33
*248-300	15,5	9,6	1,7	256	0,41	22,7	37	205	3,3	6,0	н/о	6,6	-	2,2	563	62
*383-405	14,7	9,5	1,3	244	0,40	22,7	37	192	3,1	5,0	н/о	5,2	-	-	732	61
Станция 109, глубина 440 м; координаты: 44°38'0 с.ш., 31°48'0 в.д.																
Прид. в.	23,4	14,8	32,8	351	0,55	15,4	74	302	6,6	4,7	0,23	1,6	-	-	45	21
0-48	22,9	6,4	27,2	362	-	16,6	73	302	4,0	7,1	0,40	14,4	-	-	24	23
105-122	20,8	14,5	10,6	329	0,50	11,5	53	285	6,2	22	1,1	13,8	-	1,2	137	22
161-210	19,2	11,9	3,1	315	0,50	7,2	50	267	6,4	27	0,40	25,0	-	3,3	379	15
*276-350	14,4	10,1	3,4	233	0,42	17,1	34	190	5,8	78	н/о	5,5	-	5,3	295	51
*350-385	13,9	12,2	2,0	224	0,43	15,1	35	185	3,6	85	0,34	1,6	-	-	613	43
Станция 108, глубина 1110 м; координаты: 44°26'5 с.ш., 31°48'4 в.д.																
Прид. в.	23,7	5,1	34,4	366	0,54	12,2	64	33	7,0	3,9	0,1	16,0	3,5	-	15	19

Таблица 6.2.1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0-10	23,5	6,3	27,7	370	0,43	15,8	71	310	7,5	8,1	0,28	22,9	2,5	0,3	23	22
*10-31	20,8	5,5	4,9	355	-	16,6	72	269	7,7	8,2	0,28	18,6	-	-	112	23
31-49	22,2	6,6	20,6	357	-	15,0	65	296	7,7	10	0,28	16,0	-	-	32	23
49-69	19,9	7,1	7,1	335	-	15,0	63	281	7,1	22	0,44	18,0	-	-	100	24
90-110	21,4	7,7	21,4	341	0,52	16,6	69	278	6,6	5,0	0,45	22,0	3,5	0,7	36	24
*181-208	19,7	7,3	10,0	324	0,52	18,5	58	259	5,8	12	н/о	1,6	2,5	0,8	73	32
*254-310	17,9	6,5	4,0	300	0,48	21,4	41	243	4,7	9,7	н/о	1,6	2,5	0,9	162	52
Станция 119, глубина 1340 м; координаты: 43°43'0 с.ш., 31°20'0 в.д.																
Прид. в.	23,0	4,4	36,3	352	0,55	13,3	65	307	8,0	-	-	-	-	-	12	21
0-23	21,8	4,2	27,0	345	0,52	14,3	66	288	7,9	-	-	-	-	-	16	22
29-70	20,8	3,9	22,3	333	0,48	14,5	63	275	7,7	-	-	-	-	0,28	17	23
130-167	20,1	6,7	13,3	326	0,48	15,5	57	268	6,6	-	-	-	-	0,55	50	27
*167-187	19,4	2,9	9,9	323	0,46	14,7	52	264	6,5	-	-	-	-	-	29	28
*198-242	18,2	7,7	2,5	306	0,46	16,7	49	246	5,2	-	-	-	-	0,8	296	34
*270-283	15,7	2,6	н/о	272	0,42	29,8	39	203	3,4	-	-	-	-	2,0	>>	77
*283-330	14,0	1,4	н/о	246	0,41	40,6	35	170	1,4	-	-	-	-	2,5	>>	116
*330-400	13,8	1,7	н/о	241	0,42	43,0	31	167	2,0	-	-	-	-	2,2	>>	140
*400-430	14,1	1,1	2,1	245	0,43	45,0	30	171	2,3	-	-	-	-	2,4	50	151
*430-460	14,0	0,9	3,0	241	0,41	45,4	25	172	2,3	-	-	-	-	2,2	32	178
Станция 117, глубина 1480 м; координаты: 43°40'0 с.ш., 31°53'0 в.д.																
Прид. в.	23,8	5,2	37,9	365	0,55	12,6	67	320	8,1	11	0,34	7,1	-	0,2	14	19
0-24	24,3	5,5	40,5	371	0,57	13,5	74	321	8,7	13	0,08	29	-	0,2	14	18
24-65	22,6	5,8	36,5	345	0,51	14,2	70	296	7,4	12	0,04	15	-	1,3	16	20
104-157	21,6	6,9	19,6	344	0,50	12,2	60	293	6,3	10	0,12	9,9	-	1,0	35	20
157-180	20,2	3,9	16,9	329	0,49	13,9	55	275	6,3	11	0,45	4,2	-	0,9	23	25

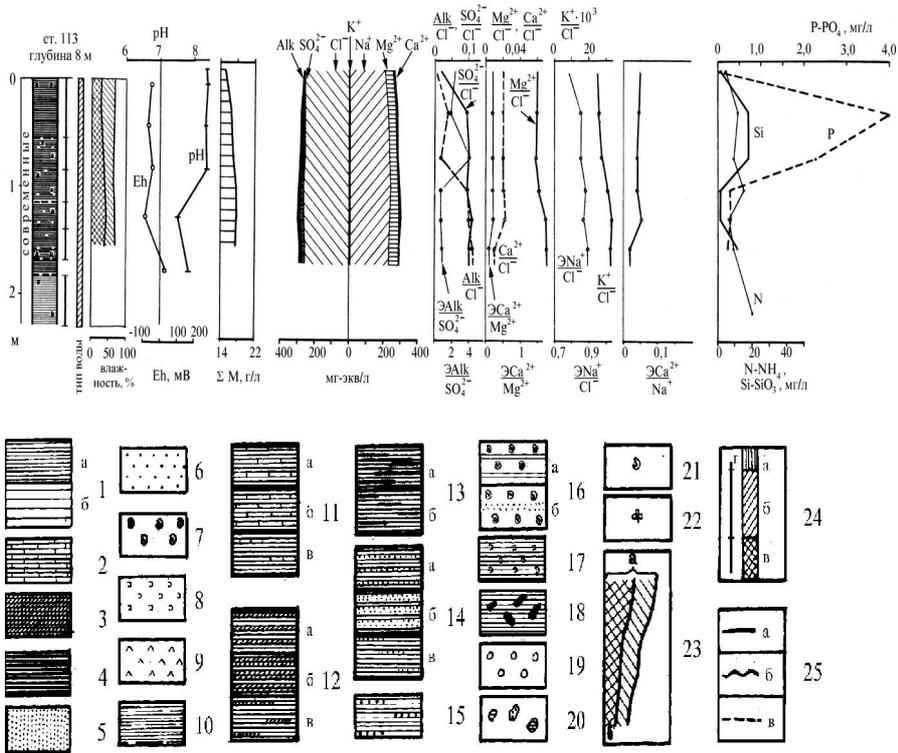
Таблица 6.2.1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
180-208	19,8	4,1	14,6	323	0,48	13,1	47	276	6,0	12	0,62	6,0	-	1,6	28	28
*208-232	18,5	3,7	12,7	302	0,46	19,1	44	249	6,8	11	0,18	13	-	-	29	44
*232-285	18,7	6,5	7,9	308	0,48	15,4	46	257	4,1	-	0,24	10	-	1,5	82	33
Западная часть глубоководной впадины Черного моря																
Станция 116, глубина 1850 м; координаты: 43°34'0 с.ш., 31°08'0 в.д.																
Прид. в.	22,6	4,2	34,7	349	0,56	12,7	70	298	8,1	-	-	-	-	-	12	18
0-30	24,1	3,8	32,9	377	0,54	14,2	68	325	7,3	5,3	0,14	12,9	-	-	12	21
36-48	22,4	5,3	27,9	352	0,53	13,8	66	299	7,6	8,7	0,02	12,4	-	-	19	21
75-114	20,4	6,0	16,2	329	0,50	15,7	53	276	6,7	16	0,08	6,1	-	-	37	30
*114-135	19,5	5,3	15,2	315	0,6	20,9	48	261	5,9	24	-	-	-	-	35	43
*160-198	17,6	6,2	8,3	290	0,45	21,7	49	229	4,9	-	6,8	21,8	-	-	74	44
*263-330	16,5	6,6	1,9	277	0,34	27,6	35	219	3,5	30	н/о	6,1	-	-	350	78
*330-400	14,6	4,9	2,9	246	0,33	31,8	33	187	2,2	30	0,06	8,2	-	-	168	97
*500-600	13,8	5,2	0,8	234	0,36	32,2	30	176	1,7	-	н/о	9,0	-	-	623	106
*640-706	14,3	4,6	2,1	242	0,35	34,5	30	182	1,7	-	н/о	8,6	-	-	220	114
*706-778	14,3	4,5	2,5	242	0,38	33,5	31	183	1,8	-	н/о	9,2	-	-	181	108
Станция 120, глубина 1950 м; координаты: 43°37'0 с.ш., 32°43'0 в.д.																
0-5	21,8	3,3	29,6	344	0,55	15,9	74	279	7,7	-	-	-	-	0,20	11	21
5-10	22,4	5,8	36,1	342	-	19,9	70	286	8,5	-	-	-	-	0,28	16	28
*10-49	19,5	5,9	3,0	332	0,51	14,3	64	255	7,7	-	-	-	-	0,47	197	22
49-100	20,4	6,5	20,6	324	0,52	15,5	57	271	7,7	-	-	-	-	0,76	32	27
*100-153	18,0	6,2	5,6	298	0,47	20,0	45	240	5,9	-	-	-	-	1,44	111	45
*153-190	16,3	1,5	0,9	281	-	12,7	36	228	6,5	-	-	-	-	1,6	176	35
*350-400	10,6	1,8	2,6	181	0,34	23,1	26	134	3,2	-	-	-	-	3,3	71	91
*500-550	10,6	2,2	н/о	183	0,32	20,7	24	138	2,7	-	-	-	-	4,2	>>	87

Таблица 6.2.1 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
*600-650	10,1	1,5	н/о	175	0,33	20,3	22	131	2,7	-	-	-	-	3,5	>>	92
*650-700	10,7	1,7	н/о	184	0,34	20,9	19	143	2,6	-	-	-	-	4,2	>>	108
*700-727	10,2	1,5	н/о	178	-	20,7	24	132	2,6	-	-	-	-	-	>>	87
*727-777	10,9	0,7	4,7	184	0,34	22,9	23	140	3,9	-	-	-	-	3,1	15	102
Станция 115, глубина 2150 м; координаты: 43°09'1 с. ш., 31°57'0 в. д.																
Прид. в.	23,3	4,3	36,6	359	0,55	12,1	67	313	8,1	7,2	0,07	7,7	-	0,08	12	18
0-21	21,6	4,2	14,7	356	0,63	13,0	65	289	8,2	19	0,08	5,7	5	-	28	20
87-104	21,4	6,7	18,5	343	0,54	15,0	55	290	8,0	21	н/о	5,7	-	0,57	36	27
*104-152	20,1	6,5	5,9	336	0,54	14,4	54	273	7,4	16	0,03	6,1	-	-	110	27
*225-245	18,7	6,1	8,0	309	0,45	14,6	43	259	6,2	25	н/о	2,3	2,5	0,9	77	34
*275-305	17,1	7,3	2,1	287	0,43	19,1	39	234	4,4	27	0,04	3,4	-	0,9	346	49
*315-342	15,7	4,6	0,6	267	0,41	24,4	32	213	3,2	20	н/о	3,3	5	1,4	770	77
*342-400	16,0	5,9	1,4	271	0,42	19,6	35	220	3,2	24	н/о	3,6	-	-	424	56

В этой и последующих таблицах данные по содержанию макроионов и микрокомпонентов округлены до целых и десятых долей, поэтому возможны небольшие расхождения в суммах анионов и катионов; при расчете ионных соотношений также использовались более точные исходные данные, выраженные в мг-экв/л. Показатели валентности ионов в ионных соотношениях для упрощения опускаем. Пов. в. – вода с поверхности моря; прид. в. – придонная вода; Na<sub>p</sub> – натрий по разности между суммами анионов и катионов, при отсутствии данных по калию включает сумму Na+K, также Cl при отсутствии данных по Br-иону включает сумму галогенов. ΣM – суммарная минерализация, г/л; \* – горизонты, на которых иловая вода перешла в хлор-кальциевый тип; на ст. 121 – все воды карбонатного типа; >>> – бессульфатные воды, в которых отношение Alk/SO<sub>4</sub> стремится к бесконечности; отношения ионов – исходные данные в мг-экв/л; н/о – не обнаружено; прочерк – отсутствие данных. В табл. включена лишь часть исследованных колонок и горизонтов с иловой водой.



**Рис. 6.2.4а.** Химический состав иловых вод и ионные отношения в колонке донных отложений СЗ части Черного моря на станции 113.

1 – ил глинистый: а – серый, б – коричневый, 2 – ил карбонатный, кокколитовый, 3 – ил сапропелевый, 4 – гидротроилитовый горизонт (глинистый ил, окрашенный гидр. в черный цвет), 5 – алеврит, 6 – песок, 7 – ракуша, 8 – дресва раковинная, 9 – детрит водорослевый, 10 – ил с газовыми пустотами, 11 – ил: а – карбонатно-глинистый, б – глинисто-карбонатный, в – слабокарбонатный или с примесью карбонатного материала, 12 – ил: а – сапропелево-глинистый, б – глинисто-сапропелевый, в – с примесью сапропеля, 13 – глинистый ил: а – с примесью гидротроилита, б – с примазками гидротроилита, 14 – ил: а – алевритово-глинистый, б – глинисто-алееритовый, в – с примесью алеврита, 15 – глинистый ил с примесью песка, 16 – ракуша: а – с глинистым заполнением, б – с алевритовым и песчаным заполнением, 17 – ил глинистый с ракушей и раковинной дресвой, 18 – конкреции сульфидов железа, 19 – галька, 20 – включения обломков пород и осадков, 21 – наличие фауны, 22 – растительные остатки, 23 – абсолютная влажность: а – до отжатия, б – после отжатия иловой воды, 24 – химический тип воды: а – карбонатный, б – сульфатный (Mg подтип), в – хлоридный, г – интервалы опробования, 25 – границы между осадками разного возраста: а – согласное залегание, б – несогласное залегание, в – предполагаемая граница; стратиграфические подразделения: с.о. – современные, д.ч. – древнечерноморские, н.э. – новоэвксинские. В ионных отношениях индекс «Э» указывает на то, что исходные концентрации ионов выражены в мг-экв/л (шкала в нижней части рисунка), для остальных – в г/л (шкала в верхней части рисунка).

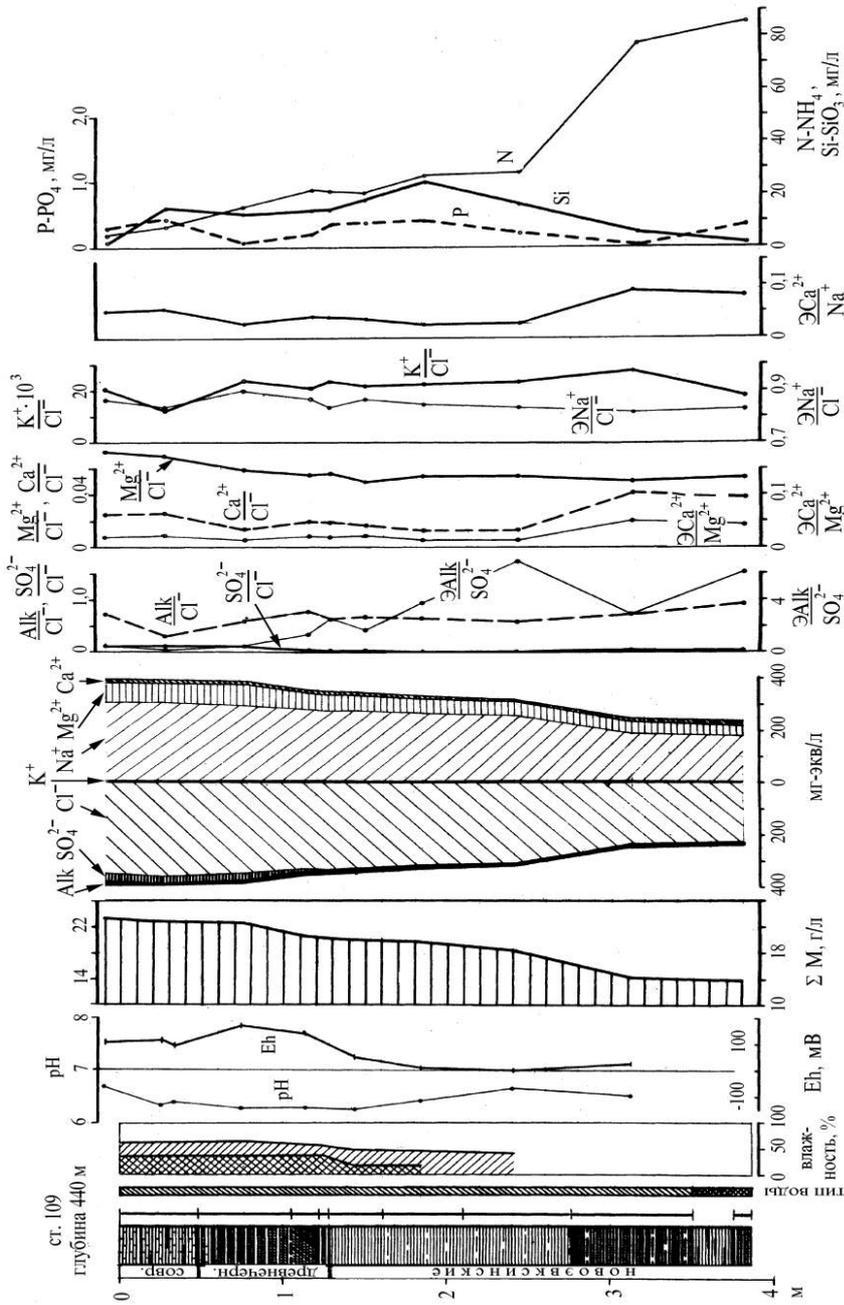


Рис. 6.2.46. Химический состав иловых вод и ионные отношения в колонке донных отложений в колонке донных отложений северо-западной части Черного моря на станции 109.

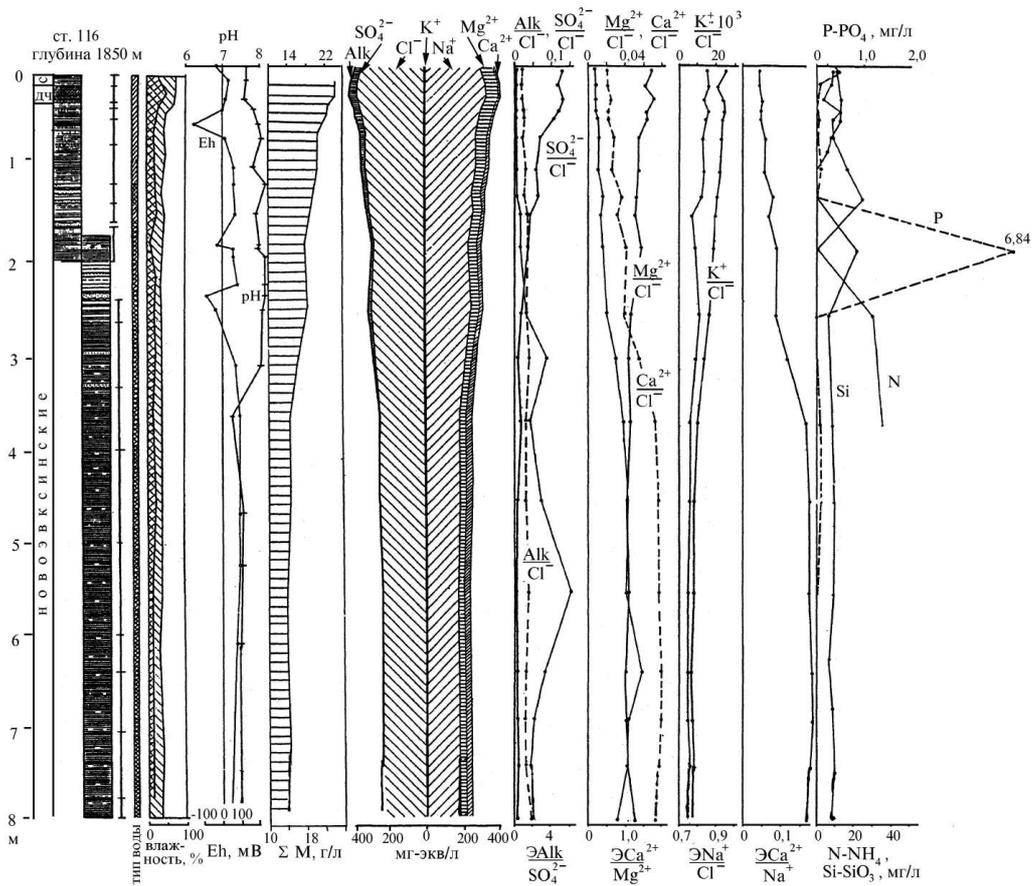
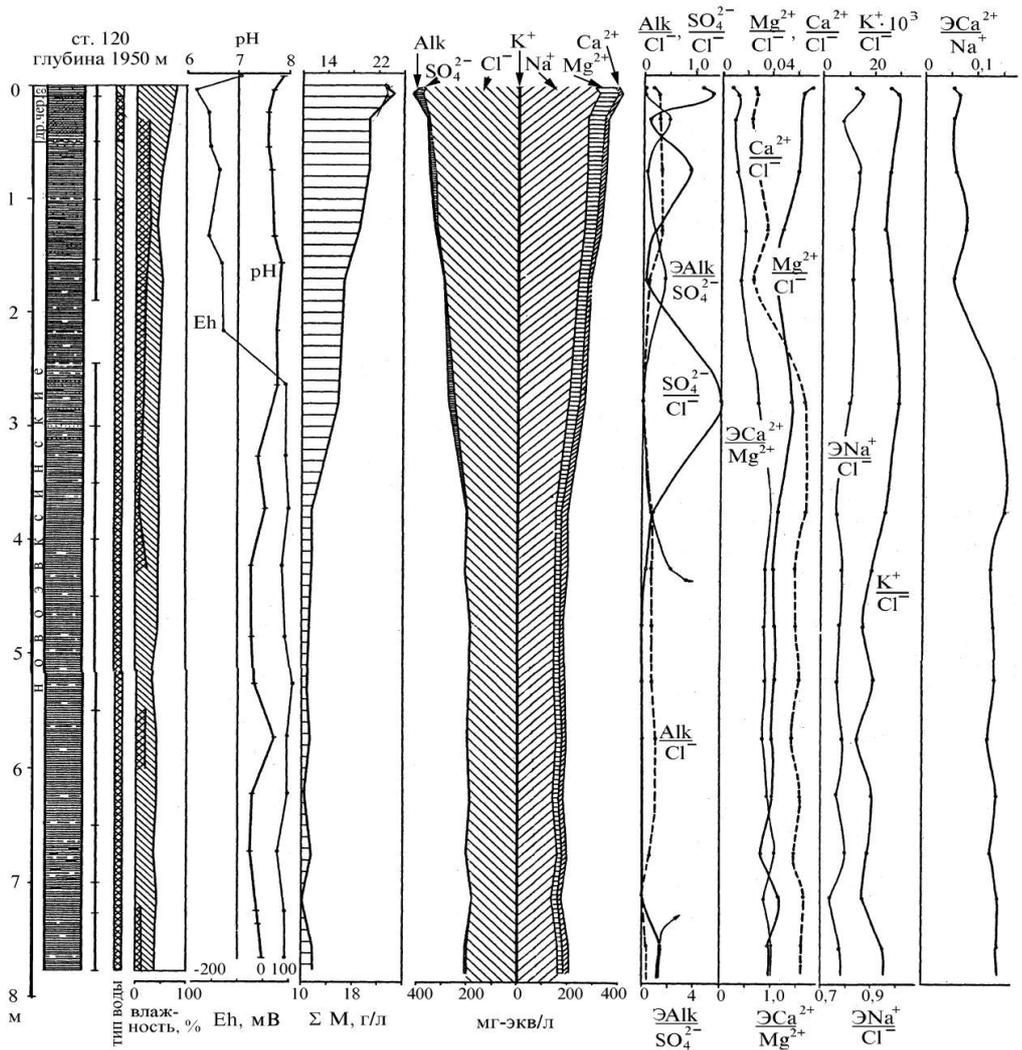


Рис. 6.2.4в. Химический состав иловых вод и ионные отношения в колонке донных отложений западной части Черного моря на станции 116.

отжатия иловых вод), величины pH и Eh. На вертикальной линии справа от колонок отмечены интервалы опробования. На рис. 6.2.4а даны условные обозначения к литологическим колонкам и подобным рисункам.

Распределение хлорности и суммарной минерализации имеет сходный характер.

На открытом шельфе эти величины испытывают сравнительно слабые колебания в вертикальном профиле осадков, как, например, на ст. 110 до глубины около 9 м. Реже наблюдается небольшое увеличение (ст. 113) или уменьшение (ст. 114, 112) ΣM сверху вниз. Картина резко меняется, как только в разрезе появляются новоэвксинские отложения. В этих случаях прослеживается закономерное



**Рис. 6.2.4г.** Химический состав иловых вод и ионные отношения в колонке донных отложений западной части Черного моря на станции 120.

понижение солёности и хлорности иловых вод сверху вниз, что указывает на процесс вторичного осолонения бассейна Черного моря. Это наблюдается как на шельфе, где редко удавалось вскрыть новоэвксинские отложения (ст. 118), так и на континентальном склоне и в глубоководной впадине.

При этом в вертикальном профиле отложений можно выделить две зоны по солёности и хлорности: верхнюю – до глубины 3-3,5 м, в которой солёность быстро и закономерно понижается, и нижнюю – с относительно стабильной пониженной

соленостью, в которой диффузия солей в нижележащие новоэвксинские отложения резко замедляется [Валяшко, Гурский, 1971, 1974; Гурский, Валяшко, 1975, 1977]. Уровень солености и хлорности в нижней зоне неодинаков для различных колонок и может колебаться от 10,1 до 15,7 г/л и от 6,2 до 9,4 г/л соответственно.

Отношение  $SM/Cl$  (исходные концентрации в г/л) в придонной воде и верхних горизонтах иловой воды близки к 1,83. На некоторых станциях в отдельных неглубоких горизонтах оно повышалось до 1,85–1,88. Но с глубиной в колонках  $SM/Cl$  закономерно понижается, достигая в сильно метаморфизованных иловых водах новоэвксинских отложений величин 1,64–1,61.

### Сульфаты и щелочной резерв

Для концентрации сульфат-иона ( $SO_4$ ) и щелочности (Alk), представленной в основном ионом  $HCO_3$ , характерны наибольшие колебания по сравнению со всеми другими ионами основного солевого состава иловых вод. Для СЗ части Черного моря, включая глубоководные районы, пределы колебания сульфатов и щелочности составили соответственно 1,94–0,02 (на отдельных горизонтах ст. 119, 120, 121 практически до нуля) и 1,1–0,1 г/л, т.е. 2 и 1 порядок, причем наибольшие концентрации относятся к современным и древнечерноморским отложениям, а минимальные – к новоэвксинским. Обычной закономерностью в поведении этих ионов является понижение концентрации сульфатов и повышение щелочного резерва при углублении в толщу донных отложений, что связано с сульфатредукцией. Максимальная щелочность обнаруживается зачастую не в самых нижних, а в промежуточных горизонтах, на глубине 2–3 м в осадках и выше. После достижения максимальных величин Alk и затухания процессов сульфатредукции щелочность может снижаться за счет смещения карбонатного равновесия и выпадения карбонатов в осадок [Шишкина, 1957, 1959].

В фациальном отношении максимальная щелочность иловых вод и пониженные концентрации сульфатов обнаружены на шельфе, в прибрежных районах и в верхней части континентального склона (ст. 114, 118, 109). В вертикальном профиле отложений они распределены весьма неравномерно. Наиболее активно этот процесс протекает в верхних горизонтах осадков, о чем свидетельствуют значительные изменения концентрации Alk и  $SO_4$  на границе придонная вода – иловая вода. Даже конвекция и диффузия на границе вода–дно в большинстве случаев не в состоянии сгладить резкие изменения в концентрациях этих ионов.

Характер изменения сульфатов и щелочности в колонках с поправкой на изменения солености хорошо иллюстрируют соответствующие коэффициенты:  $SO_4/Cl$  и  $Alk/Cl$ .

Поскольку увеличение щелочного резерва есть следствие редукции сульфатов, нами введен еще один коэффициент:  $\Delta Alk/SO_4$ , названный «коэффициентом

сульфатредукции» [Гурский, Валяшко, 1975, 1977]. Исходные величины при расчете данного и ряда других отношений макроионов выражены в мг-экв/л. На рисунках они помечены буквой «Э». Как видно из табл. 6.2.1 и рис. 6.2.4а-г, изменения этого коэффициента прекрасно иллюстрируют малейшие колебания в интенсивности сульфатредукции и последствия этого процесса, отразившиеся в химическом составе иловых вод. Следует отметить, что изменение этого коэффициента в большей степени обусловлено поведением сульфатов, т.к. диапазон колебания их концентраций более значителен. Коэффициент сульфатредукции может изменяться в широких пределах: от 0 до бесконечности.

Сульфатредукция проявлена повсеместно в глубоководных отложениях и на шельфовых ст. 118, 218. Также весьма активна она на континентальном склоне на ст. 109, 108, 119. На открытом шельфе (ст. 111, 112) и в приустьевых участках (ст. 123, 113, 114) сильно сказываются разбавляющее влияние речных вод и значительная гидродинамическая активность при высокой проницаемости грубых по механическому составу осадков. Однако глубокое проникновение вод, обогащенных сульфатами, приводит к повышению щелочного резерва за счет сульфатредукции до наибольших концентраций (ст. 109, 110, 114, 123). Этому способствует и отсутствие в разрезе большинства этих колоннок новоэвксинских осадков с опресненными водами, обогащенными кальцием.

### Состав катионов (Ca, Mg, Na, K)

Диапазон концентраций катионов в голоценовых отложениях составляет: для Ca – 0,08–0,33, Mg – 0,32–0,90, Na – 4,87–8,06, K – 0,16–0,34 г/л; в новоэвксинских отложениях: Ca – 0,14–0,53, Mg – 0,23–0,79, Na – 3,00–6,87, K – 0,05–0,32 г/л. Об изменении относительных концентраций катионов можно судить по их отношениям к Cl и коэффициентам ЭCa/Mg и ЭCa/Na (исходные концентрации – в мг-экв/л). Отношения катионов позволяют оценить направление и интенсивность катионного обмена, и степень метаморфизации иловой воды.

Так, например, отношение ЭCa/Na (рис. 6.2.4г) в придонных водах составляет в среднем 0,04, в верхних горизонтах иловых вод – 0,05. Далее оно возрастает во многих колонках в 2–4 раза на глубине 3–4 м как на шельфе, так и на континентальном склоне и у периферии глубоководной впадины (ст. 112, 118, 109, 108, 116, 120). Наиболее значительный рост этого отношения (в 6 раз) обнаружен на ст. 119: от 0,043 в придонной воде и 0,05 в верхнем горизонте до 0,264 на глубине 4–4,6 м.

Отношение ЭCa/Mg (последняя графа в табл. 6.2.1) возросло при этом в 8,5 раз. Процесс сульфатредукции как бы подготавливает второй этап прямой метаморфизации иловой воды, связанный с накоплением кальция в жидкой фазе. В длинных колонках из глубоководной впадины встречены глубоко метаморфизованные воды хлоркальциевого типа (ст. 116, 120).

По характеру распределения катионов все колонки СЗ части Черного моря можно разделить на две группы. В первой наблюдается интенсивный рост абсолютных и относительных концентраций кальция и понижение отношений к Сl всех других катионов: Na, Mg, K. В эту группу могут быть отнесены колонки ст. 123, 110, 109, 108, 117, 115, 116, 120, 119, 118, 112, причем в первых двух этот процесс перестройки катионного состава проявлен слабо, а в трех последних - очень сильно.

Ко второй группе относятся колонки со ст. 113, 114, 111, 217, 218, т.е. мелководные осадки, отобранные вблизи устья Днепровского лимана, из района Одесского желоба, Каркинитского залива и Голицинского поднятия. Здесь наблюдались обратные закономерности в распределении катионов: уменьшение по вертикали отношений  $\text{ЭCa/Na}$ ,  $\text{ЭCa/Mg}$ ,  $\text{Ca/Cl}$  и увеличение отношений  $\text{ЭNa/Cl}$ ,  $\text{Mg/Cl}$ ,  $\text{K/Cl}$ . Различия между названными группами колонок обусловлены особенностями их стратиграфии и литологии.

*Состав иловых вод СЗ района по материалам 1991 г.* Рассмотрим для сравнения результаты изучения химического состава иловых и придонных вод, отобранных на СЗ континентальном склоне 20 лет спустя, в 1991 г., в XXI-ом рейсе НИС «Академик Петровский» (табл. 6.2.2). Колонки донных отложений здесь были получены на ст. 341–348, на двух небольших участках континентального склона: северном (ст. 341–343) и южном (см. рис. 6.2.1). Глубины станций от 1240 до 1630 м.

Здесь на континентальном склоне, хотя и не столь резко, как на Ялтинском полигоне или в Прибосфорском районе, проявлены склоновые процессы. С запада на восток протянута отчетливо выраженная подводная долина с относительной глубиной около 70 м. В тальвеге ее были отобраны колонки на ст. 345 и 347. Напротив, колонка ст. 346 отобрана на гребне относительно возвышенного участка склона, предположительно конуса выноса отложений. Мощность вскрытых осадков около 3 м. Мощность голоцена не превышала на всех станциях 1 м, в том числе мощность современных отложений 30–40 см. Они подстилаются довольно однородными глинистыми новоэвксинскими слабокарбонатными илами.

Современные отложения сложены кокколито-глинистыми и глинисто-кокколитовыми микрослоистыми илами, древнечерноморские – сапропелево-глинистыми голубовато-серыми, а иногда в нижних частях колонок (ст. 343, 344, 346, 347, 348) – окрашенными в коричневый цвет. В новоэвксинских илах часто встречались черные прослой и примазки гидротроилита. На глубине более 1,5–2 м в колонках наблюдались газовые поры и каверны, особенно на ст. 341 и 348. Оползневые явления: следы переотложения, перерывы в осадках, косые границы, овальные и шарообразные включения, линзовидные слои – также чаще встречались в нижних частях колонок (>1,5 м), особенно на ст. 347.

В табл. 6.2.2 приведены для примера результаты анализа макросостава иловых вод в 6 колонках из этого района. Суммарная минерализация придонной

Таблица 6.2.2  
**Химический состав иловых вод Черного моря (северо-западный континентальный склон, XXI рейс НИС «Акад. Петровский», июль 1991 г.)**

Горизонт, см	Возраст отложений	ΣМ	Cl <sup>-</sup>	Alk	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг-экв/кг			Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-d</sup>	Alk SO <sub>4</sub>	Ca/Mg	
						Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Станция 341, глубина 1380 м; координаты: 44°31'8 с.ш., 32°22'0 в.д.													
Прид. в.	-	22,1	12,2	3,2	34,9	344	12,4	66,7	301	101	9	36	19
0-34	с.о.	21,8	12,1	3,9	31,0	341	10,9	65,8	301	91	13	32	17
40-67	д.ч.	20,3	11,7	4,4	21,3	330	9,4	67,4	278	64	21	28	14
67-85	д.ч.	19,9	11,6	4,7	16,0	327	10,9	61,7	274	49	29	33	18
100-130	н.э.	19,8	11,7	4,9	11,0	330	7,9	60,8	278	33	44	24	13
*180-210	н.э.	18,3	11,1	5,8	1,0	313	10,4	51,8	257	3	580	33	20
*230-235	н.э.	17,8	10,8	6,0	0,4	305	16,4	42,7	252	1	1500	54	39
Станция 343, глубина 1240 м; координаты: 44°33'7 с.ш., 32°29'8 в.д.													
Прид. в.	-	22,1	12,2	3,9	35,6	344	10,4	73,2	300	103	11	30	14
0-20	с.о.	21,8	12,1	4,2	31,8	341	9,4	79,8	291	93	13	28	12
48-70	д.ч.	21,5	12,0	6,2	26,4	338	12,9	62,5	296	78	24	38	21
120-140	н.э.	20,5	11,6	6,0	21,4	327	13,9	57,5	283	65	28	43	24
170-200	н.э.	20,0	11,5	6,7	15,4	324	18,9	51,0	274	47	44	58	37
*205-230	н.э.	19,3	11,2	7,0	11,0	316	21,9	47,7	265	35	64	69	46
Станция 344, глубина 1440 м; координаты: 44°04'5 с.ш., 32°00'6 в.д.													
Прид. в.	-	22,1	12,3	4,1	32,6	347	10,9	76,5	296	94	13	31	14
0-25	с.о.	21,1	12,2	3,9	30,3	344	9,9	69,1	270	88	13	29	14
30-55	д.ч.	21,4	12,2	4,6	25,4	344	9,9	66,7	296	74	18	29	15
70-90	н.э.	20,5	11,7	4,6	20,4	330	9,4	58,4	287	62	23	28	16
164-185	н.э.	18,4	11,1	6,3	3,5	313	9,4	55,9	257	11	180	30	17
192-215	н.э.	18,4	10,8	6,2	9,5	305	8,9	50,1	261	31	65	29	18
Станция 346, глубина 1485 м; координаты: 44°04'7 с.ш., 32°06'9 в.д.													
Прид. в.	-	22,1	12,2	4,1	33,5	344	13,9	70,7	300	97	12	40	20
0-27	с.о.	21,8	12,3	4,4	29,3	347	10,9	69,1	300	84	15	31	16
35-65	д.ч.	21,5	12,1	4,7	25,4	341	11,9	61,7	300	74	19	35	19
70-90	н.э.	20,9	11,9	5,5	21,4	336	10,9	61,7	291	64	26	32	18
110-130	н.э.	19,6	11,5	5,8	10,8	324	9,4	55,1	278	33	54	29	17
160-180	н.э.	18,7	11,2	6,0	3,5	316	8,4	52,6	265	11	171	27	16
*210-235	н.э.	17,7	10,6	7,2	0,8	299	14,4	39,4	252	3	900	48	37

Таблица 6.2.2 (окончание)

Станция 347, глубина 1630 м; координаты: 44°08'1 с. ш., 32°14'6 в. д.													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Прид. в.	-	22,1	12,3	3,9	32,4	347	11,4	73,2	300	93	12	33	16
0-30	с.о.	21,8	12,2	3,7	30,6	344	10,4	71,5	296	89	12	30	15
50-80	д.ч.	21,5	12,2	5,2	24,3	344	10,9	63,3	296	71	21	32	17
115-145	н.э.	20,0	11,7	6,8	11,8	330	10,9	58,4	278	36	58	33	19
*195-212	н.э.	18,4	11,1	7,2	2,4	313	11,4	51,8	257	8	300	36	22
*215-235	н.э.	18,1	11,0	3,9	1,8	310	12,9	41,9	261	6	217	42	31
Станция 348, глубина 1550 м; координаты: 44°06'7 с. ш., 32°13'8 в. д.													
Прид. в.	-	22,7	12,7	4,1	30,1	358	8,4	73,2	313	84	14	23	12
0-24	с.о.	22,6	12,7	4,4	28,7	358	8,4	69,1	313	80	15	23	12
45-65	д.ч.	21,4	12,2	5,7	21,4	344	9,9	65,0	296	62	27	29	15
70-100	н.э.	20,7	11,8	7,2	17,0	333	8,4	58,4	291	51	42	25	14
165-200	н.э.	18,6	11,1	7,7	2,9	313	8,4	51,8	261	9	266	27	16
*220-250	н.э.	18,0	10,9	5,7	0,1	307	10,9	43,6	261	0,3	5700	35	25
*254-270	н.э.	16,9	10,2	6,5	2,0	288	15,4	53,4	231	7	325	53	29

с.о. – современные отложения; д.ч. – древнечерноморские отложения; н.э. – новозвксинские отложения; при расчете ионных отношений исходные концентрации выражены в мг-экв/кг; остальные пояснения см. в табл. 6.2.1.

воды находится в пределах 22,1–22,7 г/кг, содержание хлор-иона – 12,2–12,7 г/кг. Диапазоны соответствующих концентраций в иловой воде:  $\Sigma M = 22,6–16,9$ ;  $Cl = 12,7–10,2$  г/кг. Минимальная концентрация солей – в наиболее глубоких горизонтах новоэвксинских отложений на ст. 348. Градиент между придонной и иловой водой в основном отрицательный. По  $\Sigma M$  на большинстве станций он составляет 0,2–0,4 г/кг.

Сульфатредукция на всех станциях хорошо проявлена. Концентрации сульфатов с глубиной резко убывают, щелочность растет до 6–7,7 мг-экв/кг. Это отражается в изменении соответствующих коэффициентов: понижении  $SO_4/Cl$  (иногда на порядок) и росте отношения  $Alk/SO_4$  в десятки и сотни раз.

В поведении кальция прослеживаются две тенденции. Первая отражает начальный этап метаморфизации - понижение содержания Ca с глубиной при активной сульфатредукции за счет осаждения аутигенных карбонатов. В наибольшей степени это проявлено на ст. 344 и 346. Вторая, как обычно, связана с накоплением кальция за счет катионного обмена Ca осадка на Mg и Na иловой воды. При некотором ослаблении сульфатредукции, как, например, на ст. 343, процесс этот выходит на первый план, что приводит к достижению максимальных концентраций кальция – 22 мг-экв/кг в нижних горизонтах новоэвксинских отложений. Эта тенденция прослеживается в нижних горизонтах всех других колонок.

Изменение ионных отношений  $Ca/Cl$ ,  $Ca/Mg$  в вертикальном профиле осадков отражает влияние этих двух противоположно направленных процессов и интенсивность развития указанных тенденций. В отложениях с глубиной развивается процесс прямой метаморфизации иловых вод, что приводит к появлению в нижних горизонтах колонок на ст. 341, 343, 346, 347 и 348 воды хлоркальциевого типа (см. табл. 6.2.2).

Таким образом, материалы 1991 г. по содержанию главных ионов и по характеру наблюдаемых здесь процессов подтверждают результаты начала 70-х годов, полученные в рейсах НИС «Московский университет».

### Юго-западные и западные районы Черного моря

Это районы, прилегающие к проливу Босфор и охватывающие западную часть глубоководной впадины Черного моря. Исследования химического состава иловых вод у южного побережья Черного моря проводились в основном в районе, примыкающем к проливу Босфор. Интересным результатом работ было обнаружение в одной из колонок, отобранной у подножья крутого континентального склона, проявления обратной метаморфизации иловой воды, приведшей к появлению вод карбонатного типа на глубине около 3 м в осадках ст. 48 [Валяшко, Гурский, 1974; Гурский, Валяшко, 1977; Гурский, Левшенко, 1981].

**Особенности осадкообразования на полигоне у Босфора. Величины рН и Eh**

Для получения дополнительной информации в 1970 г. был организован еще один рейс в этот район на НИС «Московский университет». Были проведены работы на 10 станциях (с 75 по 85). В Прибосфорском районе расположены ст. 76–84, а ст. 75 и 85 – в глубоководной впадине Черного моря. На большинстве станций отбирали по 2–4 колонки с глубин от 100 до 2070 м. Это было обусловлено, с одной стороны, необходимостью получения значительного количества осадков для изучения иловых вод, газов и ОВ на одних и тех же горизонтах, а с другой – существенной фациальной изменчивостью отложений на сравнительно небольшом расстоянии, даже при дрейфе судна на одной станции, особенно при пересечении большого каньона, протянувшегося от пролива Босфор на СВ, вплоть до глубин в 2 км. Так, на профиле через каньон от ст. 84 до ст. 83, протяженностью около 60 км, с СЗ на ЮВ мощность современных отложений возросла от 1 м до 3–4 м с повышением содержания алевритового материала в карбонатно-глинистых илах [Черткова, Гурский, 1974] (см. рис. 6.2.1).

Накопление осадков здесь часто происходит под влиянием склоновых процессов, что приводит к большим колебаниям рН и окислительно-восстановительной обстановки в илах.

Рассмотрим литологические и физико-химические особенности отобранных осадков. На ст. 76-1–76-4 (глуб. 2040 м) недалеко от ст. 48 осадки представлены карбонатно-глинистыми слоистыми илами с резким преобладанием терригенного глинистого материала темно-серого цвета. В верхних горизонтах осадки полужидкие или очень мягкие, что свидетельствует о высокой скорости седиментации, ниже 2-3 м они становятся более плотными. Верхние 20–30 см окрашены гидротроилитом в черный цвет. Величины рН у поверхности осадков составляют 7,8–8,0, Eh – от –70 до –130. В средних частях колонок (0,5-1,5 м) величины рН понижаются до 7,7-7,4, а Eh – до –100...–150 мВ. С глубиной на этой станции, как и в большинстве других колонок, величины рН и Eh постепенно повышаются, достигая в нижних слоях ст. 76 на глубине около 3 м величин 7,9–8,1 и +100...+130 мВ соответственно.

На глубоководных станциях 83 и 84 современные отложения представлены мягкими светло-серыми глинистыми и карбонатно-глинистыми илами с ритмичной слоистостью (турбидиты?), иногда в виде комков и линз в глинистом иле. На ст. 83 повышена примесь алевритового материала (в нижнем горизонте ст. 48 она составляла 33,5%). На ст. 84 были вскрыты древнечерноморские отложения, представленные сапропелево-глинистыми илами. Закономерности распределения рН и Eh имеют сходный характер. На ст. 83 минимальное значение Eh=–190 мВ зафиксировано на гор. 27–55 см, а ниже до глубины 3,5 м следует постепенное повышение Eh до +20...+40 мВ, а рН до 8–8,1.

В нижней части континентального склона на ст. 82 (глуб. 1700 м) в составе современных отложений наряду с карбонатно-глинистыми микрослоистыми ила-

ми встречены прослой раковинного песка белого цвета. Здесь вскрыты также древнечерноморские и новозвксинские отложения. Общие закономерности в распределении рН и Eh соответствуют вышеописанным, однако величина рН в верхних горизонтах составляет 7,4, Eh = -150 мВ.

На шельфе (ст. 79, глуб. 100 м) осадки представлены мидиевыми и фазеолиновыми илами с обильной фауной и раковинным детритом. В верхнем слое Eh= +160 мВ, рН= 7,9; на глубине >1 м Eh= -50 мВ, рН=7,4.

Другой важной особенностью донных отложений этого района, содержавших турбидиты и большую примесь песчано-алевритового материала, является их газоносность [Черткова, Гурский, 1974]. При подъеме на борт судна такие осадки изобилуют многочисленными порами и пустотами, что дало повод некоторым исследователям называть их «рокфоровыми илами» [Гавшин и др., 1988]. Содержание  $C_{\text{орг}}$  в алевритово-глинистых илах на большинстве горизонтов колонок колеблется в интервале 0,4-1,5% и лишь изредка превышает 2%. Повышенные концентрации  $C_{\text{орг}} = 2,6-3,3\%$  отмечены на ст. 82, гор. 76-112 см и ст. 84-2 (1,8-2,8%).

### Особенности макросостава иловых вод. $\Sigma\text{M}$ и состав анионов

Основные результаты изучения химического состава иловых вод в западной и ЮЗ частях Черного моря представлены в табл. 6.2.3.

Диапазон изменения концентраций хлор-иона на Босфорском полигоне сравнительно невелик: от 10,9 до 13,7 г/л в иловой воде и от 10,9 до 12,9 г/л в придонной воде. Градиент концентраций Cl на границе придонная вода – иловая вода на большинстве станций не превышал +0,7 г/л, и лишь на самой мелководной ст. 79 достиг 1,5 г/л. Суммарная минерализация придонной воды изменяется от 19,8 до 23,6, иловой – от 19,8 до 25,5 г/л, т.е. несколько повышена по сравнению с другими районами из-за влияния вод, поступающих из Босфора. В колонках наблюдались колебания солености и хлорности с общей тенденцией к понижению в нижележащих горизонтах, особенно там, где были вскрыты новозвксинские отложения (ст. 82). Однако наиболее резкие колебания этих величин отмечены в современных переотложенных осадках, связанных со склоновыми процессами в каньоне и, по-видимому, с неравномерным поступлением осадочного материала, пропитанного водами разной минерализации. Поэтому в большей степени это было проявлено в колонках, отобранных на конусах выноса осадков в основании континентального склона и на периферии глубоководной котловины Черного моря (ст. 76-2, 76-4 и др.). В связи с высокой газонасыщенностью донных отложений этого района весьма возможны и колебания солености, связанные с образованием, разрушением и неравномерным распределением в осадках газовых гидратов [Гурский и др., 1997].

Отмечен рост щелочности придонных вод с глубиной: от 2,5 мг-экв/л на глубине 100 м до 4,3 мг-экв/л на станциях с глубинами свыше 2 км.

Иловые воды из современных отложений глубоководных станций отличаются очень высокой щелочностью – до 42–45 мг-экв/л с общей тенденцией к повышению на глубине 1–3 м в колонках. Наибольшая интенсивность процесса редукции сульфатов по величинам коэффициента  $\Delta\text{Alk}/\text{SO}_4$  наблюдалась в глубоководных колоноках ст. 83-2 и 76-1, отобранных на конусе выноса современных отложений из каньона.

По данным Б.А. Скопинцева [1975], содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  для черноморской воды с глубины 2 км составляет 1,6817 г/кг, т.е. 35 мг-экв/кг. По результатам наших определений (см. табл. 6.2.3), содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  в придонной воде глубоководных станций и станций континентального склона составило 34–36 мг-экв/л, а на самой мелководной ст. 79–30 мг-экв/л. Концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  в иловых водах изменяются в широком диапазоне: от 1,5 до 73 мг-экв/л. И если пониженные по сравнению с придонной водой концентрации сульфатов отражают редукционный процесс, то концентрации, превышающие эту величину, требуют специального объяснения. Лишь отчасти их можно связать с локальным повышением  $\Sigma\text{M}$  иловых вод. Но, кроме того, повышенное содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  может указывать на развитие процессов окисления  $\text{H}_2\text{S}$  и его производных, процессов растворения сульфатов твердой фазы, либо на сочетание названных причин.

Тем не менее, постоянная приуроченность повышенных концентраций сульфатов к самым верхним или подповерхностным горизонтам на глубине около 0,5 м не только в этом, но и в ряде других районов Черного моря удивительно напоминает вторичные диагенетические максимумы сульфатов, наблюдавшиеся и описанные не раз в бассейнах с нормальной аэрацией водной толщи [Karlan et al., 1963; Леин и др., 1981; Леин, Иванов, 1981; Волков, 1984]. Вторичные максимумы сульфатов связывают с окислением  $\text{H}_2\text{S}$  или сульфидов при обмене с придонной водой, при подтоке  $\text{H}_2\text{S}$  из нижележащих слоев, при возникновении микроаэрофильных условий в толще восстановленных отложений и, наконец, с процессами растворения сульфатов твердой фазы.

Заметим, что при распространении нижнего течения от Босфора с соленостью 34–35‰ [Скопинцев, 1975] не исключено наличие поддонных течений (ниже уровня дна) более плотных и соленых вод, поступающих в Черное море.

### Состав катионов и отношения ионов

Содержание кальция в придонной воде меняется от 11,3 до 14,6 и в среднем составляет 12,2 мг-экв/л. Это несколько ниже концентрации Са, по данным Б.А. Скопинцева [1975], для глубинных вод Черного моря: 14,35 мг-экв/кг, что указывает на осаждение  $\text{CaCO}_3$ . Этот процесс усиливается в толще отложений при сульфатредукции, так что в отдельных пробах иловой воды концентрация Са снижается до 2,1–3,3 мг-экв/л (ст. 83-2, 76-1, 2). Противоположная тенденция – растворение карбонатов – активизируется в зоне крутого континентального склона, в подзоне размыва отложений (ст. 78, в которой содержание Са достигает 44,3 мг-экв/л).

Оно повышено и в нижней части склона на ст. 82 в карбонатно-глинистых прослоях раковинного песка, подстилаемого сапропелево-глинистым илом.

Среднее содержание магния в придонной воде – 70 мг-экв/л. Для воды Черного моря с глубины 2 км, по Б.А. Скопинцеву [1975], оно составляет 69 мг-экв/кг. В иловых водах диапазон концентраций Mg 58–91 мг-экв/л. Все экстремальные концентрации Mg наблюдаются в нижних горизонтах колонок. Наименьшее его содержание отмечается в плотных глинистых илах из подзоны размыва отложений на бортах каньона вблизи Босфора, где были вскрыты Cl-Ca иловые воды на ст. 80, 82. Повышенные концентрации Mg связаны с переотложенными молодыми осадками в тальвеге каньона и более солеными водами, поступающими из Босфора (ст. 83-2, 76-2). Все это отражает процесс катионного обмена и различные стадии развития процесса метаморфизации, на что указывает изменение отношений Ca/Mg.

Относительные концентрации кальция – Ca/Cl, Ca/Mg – повышены в придонной воде прибрежных станций: 0,04 и 0,2–0,3 соответственно. На глубоководных станциях они понижаются примерно вдвое, что указывает на влияние сульфатредукции, развивающейся в верхних слоях осадков и придонной воде. Бикарбонаты, накапливающиеся при этом, видимо, частично осаждаются и из придонной воды. Относительные концентрации Ca достигают минимальных величин в глубоководных колонках 83-2, 76-1, 2 на горизонтах с наиболее резко выраженной редукцией сульфатов и высокой щелочностью. Резкое повышение отношений Ca/Cl и Ca/Mg наблюдалось на ст. 78 в верхней части континентального склона в разубоженных и переотложенных илах из подзоны размыва отложений, на верхней границе размытых новоэвксинских осадков. Они повышены и на шельфе в подповерхностном и верхнем горизонтах на окислительно-восстановительном барьере [Емельянов, 1998] при переходе от голубовато-серых глинистых илов с  $Eh = -40$  мВ к окисленным мидиевым илам с  $Eh = +160$  мВ. Общая закономерность изменения этих отношений в колонках – понижение при сульфатредукции и повышение при активизации катионного обмена и формировании вод Cl-Ca типа.

Среднее содержание натрия в придонной воде – 302 мг-экв/л. По данным Б.А. Скопинцева [1975], концентрация  $Na^+$  в глубинной воде составляет 294 мг-экв/кг. Диапазон концентраций  $Na^+$  в иловых водах – 241–338 мг-экв/л. Минимальные количества Na отмечены в нижних горизонтах хлоридных (Cl-Ca) иловых вод новоэвксина (ст. 78, 82), максимальные – в современных глубоководных отложениях ст. 76-4. Среднее содержание калия в придонных водах – 8,3 мг-экв/л, тогда как в глубинных водах Черного моря, по Б.А. Скопинцеву [1975], оно равно 6,3 мг-экв/кг. Это указывает на то, что в пограничном слое возможен подток калия из иловой воды в придонную воду, поскольку наблюдается значительный градиент концентраций  $K^+$  на этой границе – от 3,3 до 5,6 мг-экв/л. Содержание  $K^+$  в иловых водах составляет 10–16 мг-экв/л, причем повышенные концентрации характерны для глинистых осадков, содержавших примесь алевритового материала, и на станциях из подзоны размыва отложений. Таким образом, активный гидродинамический режим способствует извлечению  $K^+$  и  $Ca^{2+}$  из осадка.

Таблица 6.2.3

## Химический состав иловых вод юго-западной и западной частей Черного моря

Горизонт, см	ΣM г/л	Alk	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	B	Γ	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P	Si	Alk SO <sub>4</sub>	Ca Cl	Ca Mg
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Юго-западный район, Босфорский полигон																
Станция 79, глубина 100 м. 0-100 см – с.о.																
Прид. в.	19,8	2,5	30	307	12,4	61	259	7,4	2,6	0,5	-	-	-	8	40	20
0-17	24,3	4,7	59	349	23,0	78	299	13	4,0	1,3	6	1,0	10	8	66	29
17-42	23,3	3,8	47	349	22,4	77	286	13	3,4	4,4	8	1,1	16	8	65	29
53-74	22,2	3,8	31	347	17,0	68	285	12	2,9	2,4	24	1,2	24	12	49	25
87-100	22,4	7,6	14	366	15,2	72	287	13	3,0	2,7	20	1,0	16	54	41	21
Станция 78, глубина 330 м. 0-43 см – с.о. + д.ч.; 43-180 – н.э.																
Прид. в.	23,4	3,0	35	365	14,6	67	313	8,6	3,2	0,3	-	-	-	9	40	22
0-43	24,9	2,8	67	354	36,4	76	299	12	4,0	1,4	14	0,3	30	4	103	48
43-68	25,2	2,4	73	349	44,3	76	291	13	3,2	2,4	40	0,6	32	3	127	58
68-90	24,7	2,8	69	347	44,2	75	288	12	3,5	2,0	-	-	-	4	127	59
90-147	20,9	7,6	21	332	26,0	74	249	12	3,5	5,7	70	0,3	10	36	78	35
*147-180	20,0	6,1	12	331	18,9	76	241	13	3,4	6,5	72	0,5	14	51	56	24
Станция 80, глубина 800 м. 0-40 см – с.о. + д.ч.; 40-107 – н.э.																
Прид. в.	23,3	3,5	34	353	13,6	67	325	8,4	-	-	-	-	-	10	38	31
0-20	23,8	5,2	36	366	10,8	70	314	12	-	-	36	-	16	14	30	16
20-40	23,8	5,7	37	364	10,0	69	315	13	-	-	34	-	20	15	28	14
*75-107	21,6	2,8	10	361	15,6	58	284	16	-	-	80	-	25	28	43	20
Станция 82, глубина 1700 м. 0-89 см – с.о.; 89-146 – д.ч.; 146-217 – н.э.																
Прид. в.	22,4	4,0	35	350	13,0	76	292	8,2	3,0	0,6	-	-	-	11	37	17
0-15	22,6	4,7	31	353	21,6	68	287	12	4,2	2,6	2	с/л,	30	15	61	28
15-34	23,1	3,8	52	338	19,6	71	291	12	4,1	1,4	2	с/л,	20	7	58	28
34-53	23,3	2,4	51	343	20,4	72	290	14	3,6	1,1	4	0,2	22	5	59	28
53-76	22,9	4,2	42	346	16,0	67	297	12	3,9	1,2	20	0,4	24	10	46	24

Таблица 6.2.3 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
76-89	22,6	5,7	33	343	13,6	64	293	12	3,6	2,6	26	0,4	28	17	40	21
146-175	21,2	6,1	23	334	12,7	63	278	10	2,1	1,5	32	0,2	30	26	38	20
175-195	-	3,3	-	331	18,4	64	-	11	2,2	4,7	32	0,4	36	-	55	29
*195-217	19,8	4,7	12	327	17,5	61	252	13	2,0	8,6	40	-	20	34	54	29
Станция 83-2, глубина 1950 м. 0-309 см – с.о.																
Прид. в.	22,8	4,2	36	354	11,3	73	302	8,4	3,0	0,7	-	-	-	12	32	16
0-27	24,4	8,0	54	353	19,7	79	303	14	3,6	1,8	6	0,2	24	15	56	15
27-53	22,3	9,0	24	349	8,9	65	297	11	4,5	2,1	5	0,2	40	37	25	14
85-90	23,1	32,1	2,9	355	10,7	67	302	11	4,4	5,0	36	5,0	50	1107	30	16
135-145	21,2	30,2	2,7	343	4,0	69	292	11	3,7	6,3	40	3,0	44	1118	12	6
222-272	22,7	42,0	2,9	334	2,1	74	292	11	3,7	14	80	3,0	40	1448	6	3
272-295	-	10,9	-	334	7,8	85	-	14	3,5	14	60	0,2	20	-	23	9
295-309	-	5,7	-	333	8,0	91	-	15	3,8	19	62	-	30	-	24	9
Станция 76-1, глубина 2040 м. 0-260 см – с.о.																
Прид. в.	23,6	4,3	36	365	12,2	67	318	8,2	-	0,4	-	-	-	12	27	15
0-10	23,4	12,3	24	364	11,0	72	305	12	3,8	0,7	13	2,4	30	51	30	15
10-34	23,0	11,8	19	364	10,9	68	305	11	3,8	1,9	10	3,0	40	62	30	16
34-58	25,0	15,1	49	357	11,8	77	320	12	4,0	2,6	10	1,5	20	31	33	15
58-90	-	21,7	-	357	5,0	63	-	10	3,9	3,9	15	2,0	40	-	14	8
90-117	24,4	22,7	34	355	9,7	78	312	12	4,5	3,2	14	3,0	44	67	27	12
117-140	24,6	22,7	36	356	12,0	76	315	12	4,4	3,4	30	1,6	44	63	34	16
140-169	22,3	26,9	1,5	351	5,2	63	301	10	3,7	8,0	30	3,0	40	1793	15	8
169-195	22,3	33,5	2,9	340	4,5	66	295	11	3,8	8,2	35	3,0	30	1155	13	7
195-219	21,6	28,3	2,9	334	4,6	67	283	11	3,5	9,1	35	3,4	36	976	14	7
249-260	21,7	32,1	4,2	331	3,3	69	283	12	3,6	11	40	2,0	40	764	10	5
Станция 76-2, глубина 2040 м. 0-318 см – с.о.																
Прид. в.	23,3	4,3	34	361	12,4	71	307	8,7	3,4	0,8	-	-	-	13	34	17
15-31	23,7	8,0	32	368	10,0	74	311	12	3,7	1,2	20	1,6	20	25	27	14

Таблица 6.2.3 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
34-55	24,4	6,1	52	356	11,8	82	308	12	3,8	1,0	30	0,4	20	12	41	18
60-90	22,4	20,8	10	349	6,8	68	294	11	4,1	3,0	34	0,5	50	208	19	10
90-122	22,5	16,0	23	345	7,3	69	296	11	4,4	3,5	36	0,6	56	70	21	10
122-145	-	19,8	-	351	6,9	80	-	13	4,4	4,2	30	0,4	32	-	19	9
175-200	20,8	21,7	24	307	5,0	74	262	12	4,9	6,3	36	0,4	32	90	16	7
233-260	-	11,8	-	339	6,1	75	-	12	4,0	9,6	56	сл.	24	-	18	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
233-260	-	11,8	-	339	6,1	75	-	12	4,0	9,6	56	сл.	24	-	18	8
282-300	22,3	33,0	18	317	6,9	86	285	13	4,0	7,4	64	0,6	38	183	22	8
300-318	-	17,0	-	327	14,2	90	-	14	2,7	7,4	60	2,0	30	-	44	16
Станция 76-4, глубина 2060 м. 0-274 см – с.о.																
Прид. в.	23,2	4,3	35	357	12,1	69	313	8,4	-	0,8	-	-	-	12	16	8
33-57	25,5	6,6	50	377	11,2	71	338	13	4,9	2,4	2	0,8	18	13	30	16
57-125	24,9	16,5	23	385	11,5	74	325	14	5,4	3,9	3	0,8	20	72	31	16
125-185	-	14,2	-	364	15,4	84	-	13	5,8	5,5	8	0,6	20	-	42	18
185-239	22,4	22,7	5,6	356	11,2	79	281	13	6,0	9,3	24	1,0	30	405	31	14
239-274	-	11,8	-	371	10,8	81	-	14	5,6	9,6	36	1,4	20	-	29	13
Западная часть глубоководной впадины Черного моря																
Станция 84, глубина 2070 м. 0-99 см – с.о.; 99-220 см – д.ч.																
Прид. в.	22,2	4,3	35	344	12,2	74	289	8,2	3,0	0,5	-	-	-	12	36	17
0-18	22,8	5,7	38	347	13,4	72	295	11	3,9	1,0	5	сл.	24	15	38	19
18-37	23,5	5,7	51	346	16,7	78	296	12	3,8	1,6	8	0,2	44	11	48	21
37-52	22,4	18,9	13	350	5,7	63	303	11	3,7	1,8	17	0,5	30	145	16	9
52-75	23,7	44,9	5	346	5,3	65	314	10	3,1	3,1	30	1,5	40	898	15	8
75-99	-	13,7	-	346	9,6	69	-	10	3,7	2,0	24	0,4	50	-	28	14
*148-195	-	5,7	-	343	18,5	73	-	11	3,4	4,8	40	0,2	52	-	54	21
*195-220	20,2	9,4	8	343	23,4	82	242	13	4,1	5,4	56	0,4	42	117	68	28

Таблица 6.2.3 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ст. 75, глубина 2090 м. 0-10 см – с.о.; 10-55 см – д.ч.; 55-215 см – н.э.																
Прид. в.	22,7	4,3	34	354	13,2	70	300	8,7	2,7	0,1	-	-	-	13	37	19
0-10	22,4	6,1	29	350	13,0	63	295	9,2	3,8	0,7	4	2,4	15	21	37	19
10-19	22,3	4,7	40	337	21,0	68	284	9,7	4,0	0,9	10	2,6	16	12	62	31
19-40	21,9	6,1	29	341	13,8	66	287	9,2	2,8	2,0	6	1,5	20	21	40	21
40-55	21,3	3,8	23	340	13,6	64	281	8,7	2,2	-	15	-	-	16	39	21
55-71	21,2	8,5	10	346	18,0	60	278	9,7	2,4	2,0	10	1,0	20	85	52	30
*75-103	20,9	7,1	5,1	351	22,0	58	274	9,5	2,2	3,0	10	1,2	20	139	63	38
*103-162	18,4	3,3	4,3	314	29,4	48	235	9,0	1,9	4,4	15	1,5	16	77	94	61
*162-205	18,3	2,8	3,0	307	45,8	51	209	7,4	1,9	6,2	20	0,6	12	93	149	90
*205-215	19,9	3,3	5,7	304	56,0	55	194	8,2	1,4	8,4	24	-	-	58	185	102
Ст. 85, глубина 1750 м. 0-13 см – с.о.; 13-42 см – д.ч. 42-272 см – н.э.																
Прид. в.	22,7	4,0	35	351	15,2	70	296	8,7	-	0,4	-	-	-	11	43	22
0-5	21,5	5,2	32	332	13,1	65	283	7,7	3,5	1,9	5	0,3	25	16	39	20
13-37	24,3	4,7	54	356	23,3	73	309	9,7	3,4	2,5	5	0,2	16	9	65	32
37-42	23,1	4,8	42	347	19,0	69	294	12	3,2	1,7	6	сл.	20	11	55	27
85-111	21,4	5,7	24	340	16,4	70	275	9,0	2,8	2,1	8	сл.	30	24	48	23
134-147	21,6	3,3	26	341	16,3	63	278	13	2,7	5,5	16	0,2	25	13	48	26
*160-203	20,2	2,8	8	340	21,2	52	265	13	1,9	2,1	16	0,4	14	35	62	41
*210-256	20,0	1,9	7	338	25,2	50	258	14	1,8	2,1	18	0,6	14	27	75	50

Отношения Alk/SO<sub>4</sub> и Ca/Mg – п·10<sup>2</sup>, Ca/Cl – п·10<sup>3</sup>, исходные концентрации – мг-экв/л; сл. – следовые количества фосфора; остальные обозначения см. в табл. 6.2.1 и 6.2.2.

## Западная часть глубоководной впадины Черного моря

Центральную глубоководную впадину Черного моря обычно рассматривают в рамках 2-километровой изобаты, хотя по геоморфологическим особенностям, гидрологическим данным и по характеру седиментогенеза ее следовало бы расширить, особенно в СЗ части, где она перекрыта конусом выноса Дуная и поэтому выходит за пределы 2-километровой изобаты. Тем не менее, даже в названных рамках впадина занимает 42% площади Черного моря [Митропольский и др., 1982]. По характеру течений и распределению многих элементов в верхнем слое донных отложений отчетливо выделяются западная и восточная части впадины [Скопинцев, 1975; Шимкус, Емельянов, 1974; The Black Sea, 1974].

Данные по составу главных ионов иловой воды и микроэлементов в колонках донных отложений из глубоководной зоны Черного моря по материалам 60–70-х годов приведены в работах [Гурский, 1970, 1971; Валяшко, Гурский, 1971, 1974].

В предыдущем разделе рассмотрено несколько колонок, отобранных с глубины около 2000 м: ст. 76-1, 76-2, 76-4, 83-2, данные по которым приведены в табл. 6.2.3. Они характеризуют особенности химического состава иловых вод, формирующихся на конусе выноса из каньона при лавинной седиментации донных отложений. В этой же таблице приведены данные по 2–2,5-метровым колонкам ст. 84, 75, 85, отобранным вдоль профиля, пересекающего западную часть впадины с ЮЗ на СВ. В табл. 6.2.1 приведены данные по более длинным колонкам (4–8 м), отобранным на ст. 116, 120, 115 из СЗ части впадины.

Основные особенности поведения макроионов, ионных отношений и биогенных компонентов на ст. 115 из центра западной халистазы показаны на рис. 6.2.5. Для полноты информации здесь сведены данные по трем колонкам, отобранным с глубины 2150 м. Приводятся также вспомогательные данные по величинам pH, Eh, абсолютной и относительной влажности осадков, химическому типу иловой воды. Аналогичные данные по ст. 116 и 120 приведены на рис. 6.2.4в, г.

В колонках представлены осадки, включающие современные, древнечерноморские и новоэвксинские отложения. Расположение станций показано на рис. 6.2.1. В придонной воде периферийных станций  $\Sigma M$  меняется от 22,2 до 22,7 г/л, а на самой глубоководной ст. 115 в центре западной халистазы составляет 23,3 г/л. Соответствующие концентрации  $Cl = 12,2–12,55$  и  $12,73$  г/л. В иловой воде верхних или близких к поверхности горизонтов величина  $\Sigma M$  наибольшая, причем ее повышение в основном проявлено на периферийных станциях, приближенных к бортам впадины и подножию континентального склона, и составляет  $23,5–24,3$  г/л; содержание хлор-иона –  $12,4–13,4$  г/л. В центре западной халистазы на ст. 75 и 115 значение  $\Sigma M$  несколько ниже –  $22,4–21,6$  г/л,  $Cl = 12,4–12,6$  г/л. Относительное понижение общей минерализации в центре западной халистазы и повышение ее на периферии отражает, вероятно, влияние циклонического круговорота воды в



бассейне [Добровольский, Залогин, 1982], что может влиять и на гидродинамику иловой воды. Наряду с этим в подповерхностных горизонтах периферийных станций проявился вторичный максимум сульфатов, который повлиял на рост общей минерализации иловых вод. Градиент  $\Sigma M$  между придонной и иловой водой верхнего слоя изменяется от +1,5 на ст. 116 до -1,7 г/л на ст. 115. По содержанию  $Cl$  градиент не превышает +1 и -0,1 г/л.

Минимальные величины  $\Sigma M$  и  $Cl$  фиксируются, как правило, в новоэвксинских отложениях наиболее длинных колонок. На ст. 120 минимум был достигнут на глубине 6-6,5 м, где  $\Sigma M = 10,1$  г/л, а  $Cl = 6,2$  г/л. На ст. 116 минимальные величины составляют 13,8 и 8,3 г/л, на ст. 115-15,7 и 9,5 г/л, на ст. 75 - 18,3 и 10,8 г/л (на 2-метровой глубине).

Сульфатредукция хорошо выражена во всех колонках: содержание  $SO_4^{2-}$  сверху вниз понижается на порядок и более, на некоторых глубоких горизонтах сульфаты не были обнаружены (ст. 120). Общая щелочность сохраняется очень высокой (до 45 мг-экв/л) только в сапропелево-глинистых, вероятно, переотложенных илах, например, на ст. 84 (конус выноса отложений из каньона), где содержание  $C_{орг}$  составляет 2-3%. В остальных случаях  $Alk$  не превышала 8,5 мг-экв/л, что связано, по всей видимости, с быстрым осаждением аутигенных карбонатов кальция. Наибольшие величины коэффициента сульфатредукции  $Alk/SO_4$  наблюдались в древнечерноморских отложениях на ст. 84 и в новоэвксинских илах на ст. 115, 116 на глубинах около 3 м и более в колонках.

Вторичный максимум сульфатов (рост в 1,2-1,5 раза по отношению к придонной воде и самым верхним горизонтам иловой воды) проявился в подповерхностных слоях на ст. 84, 75, 85 и 120. В большинстве случаев он приурочен к сапропелевым горизонтам. Так, на ст. 85 он проявился на горизонте 13-37 см, где содержание  $C_{орг}$  достигло 10,1%, хотя легкорастворимые компоненты  $OB$  составили лишь 19%. Известно, что именно сапропелевые илы содержат резко повышенные концентрации  $SO_4$  в твердой фазе [Волков, 1984].

В катионном составе происходят уже описанные ранее закономерные изменения: при сульфатредукции содержание кальция понижается, при затухании сульфатредукции начинает повышаться. Первый этап метаморфизации лучше всего проявился на ст. 84, второй этап, связанный с накоплением  $Ca$ , - на ст. 75. Здесь в нижнем горизонте была отмечена самая высокая для всех глубоководных колонок концентрация  $Ca = 56$  мг-экв/л. На этой станции в 2-метровой колонке сверху вниз содержание  $Ca$  возросло в 4,3 раза, концентрация всех других катионов понизилась:  $K$  - в 1,2,  $Mg$  - в 1,3,  $Na$  - в 1,5 раза. В самой глубоководной колонке ст. 115 содержание  $Ca$  по сравнению с верхним горизонтом возросло в два раза, тогда как концентрации  $Mg$ ,  $Na$  и  $K$  уменьшились соответственно в 2, 1,4 и 2,5 раза. Это отразилось и на изменении ионных отношений (см. рис. 6.2.5). Приведенные данные свидетельствуют о том, что в иловой воде глубоководных колонок хорошо развит процесс катионного обмена, приводящий к формированию  $Cl-Ca$  вод.

### Восточная часть впадины

В качестве примера приводятся данные по колонкам из восточной части глубоководной впадины (табл. 6.2.4). Это сравнительно небольшие колонки, до 2–3 м, полученные на ст. 603 (северная часть впадины), 615, 616 (из центральной части восточной халистазы) и 610, 617 (западнее г. Сочи). Колонки – с глубин от 2060 до 2210 м. Кроме того, приводятся результаты анализов проб с глубин от 2030 до 2170 м на станциях Сочинского полигона № 21–30 (табл. 6.2.5). Расположение станций можно найти на рис. 6.2.1.

Работы на Сочинском полигоне проводились на конусе выноса р. Шахе с повышенной мощностью голоценовых отложений, представленных турбидитами или переслаиванием глинистого и кокколитового ила, где терригенный материал резко преобладает. Иногда в осадках встречались прослой алеврита с гидротроилитом толщиной 2–3 см. Мощность голоценовых отложений (современные + древнечерноморские илы) зачастую превышает 2–2,5 м. На ст. 21–23, 26, 29, 30 кровля новоэвксинских отложений не была вскрыта. На других станциях она находилась на глубине 1,3–1,5 м. Наибольшая мощность современных отложений на ст. 21 составила 1,5 м.

Основные тенденции в изменении  $\Sigma M$  и поведении главных ионов отражают описанные ранее закономерности.  $\Sigma M$  в придонной воде составляет 22–22,6 г/кг, в иловой воде верхних горизонтов – до 22,3–22,8 г/кг. Пересчет из г/л в г/кг приводит к понижению наибольших концентраций Cl в Черном море примерно на 0,2, а  $\Sigma M$  на 0,3–0,4 единицы.

Наибольшая  $\Sigma M$  в придонной воде и верхнем горизонте иловой воды была обнаружена в центральной части восточной халистазы на ст. 616 (глуб. 2185 м). Минимальная  $\Sigma M$  на глубине около 2 м в колонке ст. 28 на Сочинском полигоне составила 18 г/кг, Cl – 10 г/кг. Концентрации хлора в придонной воде и иловой воде верхнего слоя здесь также несколько ниже, чем в западной части впадины: 12,0–12,6 г/кг. Пониженная хлорность наблюдалась и на глубине около 3 м в колонке ст. 617 (10,5 г/кг). Отношение  $\Sigma M/Cl$  понижается с глубиной, что указывает на переход части солевого состава в твердую фазу при метаморфизации иловой воды.

Сульфатредукция лучше проявлена на станциях Сочинского полигона, в том числе и на ст. 617. Концентрация сульфатов здесь на всех станциях, кроме ст. 30, резко понижается с глубиной по колонкам. Общая щелочность в центре восточной халистазы и на Сочинском полигоне достигает 20–24 мг-экв/кг, что в три-четыре раза выше, чем в центре западной халистазы, где на ст. 115 она не превышала 8 мг-экв/кг.

В связи со значительной мощностью голоценовых отложений, наличием гравитов и возможным влиянием речного стока на Сочинском полигоне развиты процессы обратной метаморфизации, в наибольшей степени проявленные на ст. 21–23, 30. По величине  $Alk/SO_4$ , достигающей 40, особенно выделяется ст. 21. Следует обратить внимание на низкие величины окислительно-восстановительного потен-

Таблица 6.2.4  
Химический состав иловых вод северо-восточных и восточных районов  
Черного моря

Горизонт, см	Возраст	ΣM	Cl <sup>-</sup>	Alk	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Alk/Cl	Alk/SO <sub>4</sub>	Ca/Mg	ΣM/Cl
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Восточная часть глубоководной впадины Черного моря														
Ст. 603, глуб. 2060 м; коорд. 43°59'1 с.ш., 36°34'0 в.д.; зона морской пелагиали														
Прид. в.		22,5	12,4	3,9	35,9	349	12,9	71,1	305	н/о	11	11	18	1,82
0-28	с.о.	22,3	12,3	4,4	33,2	347	12,9	67,7	304	1,9	13	13	19	1,81
45-75	с.+д.	21,9	12,2	6,9	27,0	344	14,2	64,3	300	5,6	20	26	22	1,78
75-90	д.ч.	21,7	12,2	7,0	24,9	344	14,2	64,3	298	7,5	20	28	22	1,78
100-130	д.ч.	21,4	12,1	8,8	20,4	341	15,5	62,2	292	8,9	26	43	25	1,77
137-167	н.э.	20,8	11,9	8,9	16,0	335	17,0	58,5	285	10,6	27	55	29	1,75
Ст. 615, глуб. 2210 м; коорд. 42°37' с.ш., 37°17' в.д.; зона морской пелагиали														
Прид. в.		22,8	12,6	4,5	35,6	354	14,8	70,2	310	-	13	13	21	1,82
13-35	с.о.	22,6	12,5	6,7	31,1	352	12,6	68,9	309	0,8	19	22	18	1,81
47-59	д.ч.	22,4	12,4	8,5	27,8	351	12,5	69,8	305	-	24	31	18	1,80
85-102	д.ч.	22,8	12,5	9,2	31,9	353	13,0	71,4	309	1,2	26	29	18	1,82
Ст. 616, глуб. 2185 м; коорд. 42°48'4 с.ш., 38°13' в.д.; зона морской пелагиали														
Прид. в.		22,9	12,5	5,5	37,3	352	15,3	70,1	309	-	16	15	22	1,83
0-24	с.о.	23,2	12,3	9,3	41,5	347	16,9	71,0	310	-	27	22	24	1,88
24-54	с.о.	22,2	12,2	10,1	27,9	345	12,7	64,9	305	-	29	36	19	1,82
90-99	д.ч.	21,8	11,9	17,6	19,8	336	9,1	62,6	302	-	52	89	15	1,83
100-125	д.ч.	21,0	11,8	12,5	16,9	333	8,5	61,0	293	-	37	74	14	1,78
135-165	н.э.	20,6	11,5	20,2	8,3	325	7,4	57,1	289	-	62	244	13	1,79
Ст. 617, глуб. 2100 м; коорд. 43°18'8 с.ш., 39°01'4 в.д.; материковое подножие														
Прид. в.		22,3	12,2	5,3	35,9	345	15,0	70,8	300	-	16	15	21	1,83
0-22	с.о.	23,0	12,5	6,6	38,1	352	15,4	70,6	310	-	19	17	22	1,85

Таблица 6.2.4 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
90-120	с.о.	21,2	12,0	11,6	17,1	338	10,8	61,6	294	-	34	68	18	1,77
160-180	д.ч.	19,9	11,5	13,4	6,4	325	9,6	55,7	279	1,5	41	210	17	1,73
210-230	н.э.	19,3	11,2	13,5	4,2	317	9,6	53,4	272	2,5	43	320	18	1,72
242-265	н.э.	18,8	10,9	11,6	6,2	308	10,6	51,8	263	12,7	38	186	20	1,72
287-300	н.э.	18,3	10,7	11,0	4,0	302	11,2	48,1	258	13,9	36	271	23	1,71
ЮВ побережье Черного моря, от устья р. Риони до каньона р. Чорох														
Ст. 625, глуб. 290 м; коорд. 41°56'0 с.ш., 41°36'0 в.д.; п/з аккумуляции														
Прид. в.		22,4	12,1	5,2	41,0	340	16,8	67,7	302	-	15	13	25	1,86
0-20	с.о.	22,1	12,1	6,1	35,0	340	13,7	66,7	301	-	18	17	21	1,83
60-90	с.+д.	21,2	11,9	8,0	24,0	335	11,7	61,0	294	-	24	33	19	1,79
150-180	с.+д.	19,6	11,3	11,2	8,4	319	9,2	53,2	276	-	35	134	17	1,73
201-225	н.э.	18,7	10,8	12,8	5,0	304	8,6	50,1	264	16,0	42	258	17	1,73
Ст. 626, глуб. 690 м; коорд. 41°56'2 с.ш., 41°33'4 в.д.; п/з аккумуляции														
Прид. в.		22,4	12,3	4,4	36,1	347	15,1	69,6	303	-	13	12	22	1,82
0-30	с.о.	22,6	12,4	14,8	23,2	349	12,5	65,8	309	-	42	64	19	1,82
85-110	с.о.	23,0	12,6	32,9	2,7	355	10,4	65,3	315	11,2	93	1218	16	1,82
200-230	с.о.	23,3	12,5	38,9	3,4	352	9,2	67,4	318	22	111	1150	14	1,87
280-300	с.о.	23,7	12,6	38,9	7,5	354	8,6	69,3	323	22	110	520	12	1,89
Ст. 627, глуб. 170 м; коорд. 41°54'1 с.ш., 41°37'2 в.д.; п/з аккумуляции														
Прид. в.		21,1	11,6	4,0	33,6	328	14,1	65,7	286	-	12	12	21	1,82
0-35	с.о.	21,4	11,7	5,9	33,6	330	13,4	64,6	291	3,2	18	18	21	1,83
68-90	д.ч.	21,2	11,6	6,3	31,5	328	14,7	61,9	290	1,5	19	20	24	1,82
100-120	н.э.	20,9	11,5	6,0	28,9	326	15,3	59,8	286	-	18	21	26	1,81
160-180	н.э.	20,3	11,2	5,3	28,1	317	16,8	58,1	275	-	17	19	29	1,81
205-225	н.э.	19,9	11,1	6,7	24,6	313	18,3	56,2	270	9,5	22	27	33	1,80
Ст. 629, глуб. 590 м; коорд. 41°43'0 с.ш., 41°22'5 в.д.; п/з аккумуляции														
Прид. в.		22,8	12,2	6,2	41,4	345	16,9	69,0	307	-	18	15	25	1,87
0-25	с.о.	23,6	12,3	6,2	51,7	346	20,8	74,3	309	1,5	18	12	28	1,92

Таблица 6.2.4 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
60-82	с.о.	22,7	12,1	5,3	42,6	342	18,2	68,3	304	-	15	12	27	1,87
82-120	с.+д.	22,2	12,1	5,5	36,9	340	15,8	66,7	300	3,9	16	15	24	1,84
120-145	д.ч.	21,7	11,8	6,1	34,8	333	18,9	64,8	290	4,6	18	17	29	1,84
175-197	д.ч.	20,7	11,6	5,5	26,1	327	15,6	62,1	281	9,1	17	21	25	1,79
220-243	н.э.	19,2	11,2	6,7	10,3	317	14,1	54,4	266	3,5	21	65	26	1,71
Побережье Северного Кавказа; район Туапсе—Сухуми														
Ст. 605, глуб. 900 м; коорд. 43°32'7 с.ш., 39°30'7 в.д.; п/з аккумуляции														
Прид. в.		22,5	12,4	3,7	35,8	350	13,2	71,4	304	н/о	10	10	18	1,81
0-28	с.о.	22,4	12,3	4,5	36,2	346	13,8	68,0	305	1,6	13	12	20	1,83
28-60	д.ч.	22,1	12,2	4,8	33,8	344	14,6	66,0	302	3,2	14	14	22	1,82
70-90	н.э.	21,9	12,1	4,2	33,1	341	15,0	64,0	300	4,9	12	13	24	1,81
110-130	н.э.	21,4	11,9	3,6	30,3	336	17,7	61,0	291	5,5	11	12	29	1,79
Ст. 607, глуб. 1850 м; коорд. 43°24'9 с.ш., 39°26'1 в.д.; п/з аккумуляции														
Прид. в.		22,7	12,5	4,0	36,7	351	13,5	71,4	307	н/о	11	11	19	1,82
0-30	с.о.	22,6	12,5	5,3	33,3	352	12,5	69,5	309	6,0	15	16	18	1,81
47-81	с.о.	21,8	12,2	9,4	23,5	343	11,4	65,8	299	13,1	27	40	17	1,79
108-130	д.ч.	21,1	11,9	13,4	14,7	336	11,4	61,5	291	16,0	40	91	19	1,77
170-185	д.ч.	20,3	11,6	15,6	7,2	328	11,5	58,6	280	20,1	48	216	20	1,75
205-230	д.ч.	19,7	11,4	16,8	2,4	320	11,6	55,1	273	21,4	52	710	21	1,73
230-246	н.э.	19,2	11,0	16,4	2,7	312	11,9	53,7	265	22,3	53	620	22	1,73
Ст. 612, глуб. 100 м; коорд. 43°49'1 с.ш., 39°19'1 в.д.; п/з размыва														
Прид. в.		19,9	11,0	3,4	32,0	309	12,6	60,8	271	н/о	11	11	21	1,82
0-30	н.э.	20,0	10,9	6,1	30,4	308	12,3	60,0	272	4,6	20	20	21	1,83
30-90	н.э.	19,1	10,7	8,7	21,2	301	9,9	56,5	264	-	29	41	18	1,80
130-160	н.э.	18,9	10,7	13,3	12,0	301	8,5	54,1	263	19,9	44	111	16	1,78
190-215	н.э.	18,7	10,6	16,9	5,1	300	7,3	52,5	262	15,8	56	330	14	1,76
165-190	н.э.	-	11,5	5,7	-	325	17,7	59,7	-	9,1	18	-	30	-
210-227	н.э.	-	11,2	5,2	-	317	19,4	57,1	-	9,9	16	-	34	-

Таблица 6.2.4 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ст. 619, глуб. 1740 м; коорд. 43°36'3 с.ш., 39°15'8 в.д.; п/з аккумуляции														
Прид. в.		22,8	12,5	5,5	36,1	352	15,0	69,8	309	-	16	15	22	1,83
0-20	с.о.	24,6	12,5	9,6	58,2	352	23,9	78,9	317	-	27	17	30	1,97
20-50	с.+д.	22,6	12,4	10,1	27,3	351	14,7	64,1	310	-	29	37	23	1,82
50-75	с.+д.	23,2	12,2	5,9	49,1	344	26,0	69,2	304	2,8	17	12	38	1,91
95-120	с.+д.	23,0	12,1	3,4	49,4	342	31,7	64,7	299	-	10	7	49	1,90
137-158	с.+д.	22,9	12,0	5,0	50,1	338	36,5	63,8	293	24,1	15	10	57	1,91
Ст. 620, глуб. 1120 м; коорд. 43°06'3 с.ш., 40°12'0 в.д.; п/з размыва														
Прид. в.		22,9	12,4	4,8	41,1	350	17,8	69,6	308	-	14	12	26	1,85
30-50	н.э.	22,2	12,3	9,5	25,3	347	10,9	61,3	309	1,5	27	38	18	1,80
100-130	н.э.	20,2	11,3	8,5	21,2	318	12,3	54,2	282	8,0	27	40	23	1,79
190-208	н.э.	17,5	9,8	7,2	17,3	277	14,9	43,9	243	33,5	26	42	34	1,78
Ст. 623, глуб. 660 м; коорд. 42°50'7 с.ш., 40°32'3 в.д.; п/з размыва														
Прид. в.		22,7	12,3	5,4	38,7	346	15,3	65,7	309	-	16	14	23	1,85
0-30	с.о.	22,4	12,3	5,7	34,4	347	15,0	66,4	306	1,5	16	17	23	1,82
40-60	н.э.	21,9	12,1	6,2	31,1	341	15,5	63,2	300	-	18	20	25	1,81
106-126	н.э.	20,9	11,6	8,6	25,4	327	18,6	57,9	284	-	26	34	32	1,81
160-180	н.э.	19,5	11,0	7,0	19,3	310	21,5	52,5	263	-	22	36	41	1,77
180-201	н.э.	19,0	10,8	6,5	18,1	304	22,9	50,0	255	-	22	36	46	1,76

По материалам рейса НИС «Московский университет» 1976 г.: с.о. – современные отложения; д.ч. – древнечерноморские отложения; с.+д. – современные и древнечерноморские отложения (голоцен); н.э. – новозэвксинские отложения; н.-к.? – предположительно переход от новозэвксинских к карангатским отложениям. ΣМ/СI исходные данные – г/л. Остальные обозначения см. в табл. 6.2.1.

Таблица 6.2.5

**Химический состав иловых вод глубоководной впадины Черного моря  
(Сочинский полигон, г/с «Створ», июнь 1993 г.)**

Горизонт, см	Eh, мВ	pH	ΣM	Alk	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sub>p</sub> <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub>	Alk	Ca	Ca
			г/кг	мг-экв/кг							Cl	SO <sub>4</sub>	Cl
Станция 21, глубина 2050 м; координаты: 43°22'2 с.ш., 39°03'1 в.д.													
Прид. в.	-113	8,0	22,1	4,0	34,9	341	13,0	64,4	304	102	1	38	202
10	-10	7,85	21,6	4,0	23,0	347	11,0	65,0	300	66	2	32	169
33	-170	7,47	20,9	6,0	19,3	336	9,5	60,9	291	57	3	28	156
70	-180	7,45	20,7	18,2	6,6	333	8,5	58,4	287	20	28	26	146
135	-188	7,79	20,5	21,1	1,2	330	6,5	56,8	287	4	176	20	114
190	-165	7,72	20,0	23,9	0,6	319	8,0	53,5	278	2	398	25	150
230	-115	7,50	20,1	24,0	2,7	316	9,0	48,5	287	9	89	28	186
Станция 24, глубина 2090 м; координаты: 43°32'0 с.ш., 38°55'0 в.д.													
Прид. в.	-150	8,20	22,2	3,2	33,3	347	13,0	64,4	309	96	1	37	202
15	-150	7,45	21,5	3,2	31,2	338	11,0	58,4	300	92	1	33	188
53	-165	7,50	20,9	6,5	22,9	333	13,0	61,7	287	69	3	39	211
115	-150	7,72	20,3	8,1	14,6	327	12,3	56,8	287	45	6	37	211
160	-170	7,50	19,8	6,8	12,5	324	11,2	54,3	278	39	5	34	202
*190	-140	7,72	19,6	7,8	2,5	327	11,3	51,0	278	8	31	35	216
*235	-145	7,70	18,2	7,0	1,9	305	11,4	47,7	261	15	15	37	239
Станция 25, глубина 2120 м; координаты: 43°32'6 с.ш., 38°53'7 в.д.													
Прид. в.	-130	7,90	22,2	3,2	33,3	347	13,0	61,7	309	96	1	37	211
15	-160	7,50	22,3	4,4	33,3	347	13,0	59,2	313	96	1	37	220
40	-170	7,60	21,8	5,7	29,1	344	13,0	56,8	304	85	2	38	229
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
85	-180	7,68	21,1	8,2	18,7	338	13,5	51,0	296	55	4	40	265
150	-185	7,68	20,1	11,0	10,4	327	10,0	51,0	282	32	11	31	196
176	-145	7,74	20,0	11,9	6,5	327	8,0	48,5	287	20	18	24	165
*230	-150	7,74	18,7	2,6	3,0	313	7,0	47,7	270	33	25	22	147
Станция 28, глубина 2170 м; координаты: 43°26'9 с.ш., 38°46'2 в.д.													
Прид. в.	-170	8,07	22,2	3,8	33,3	347	13,5	65,0	304	96	1	39	208
15	-160	7,60	22,1	3,8	33,3	344	12,0	61,7	309	97	1	35	194
40	-170	7,74	21,8	4,9	31,2	338	11,0	58,4	304	92	2	33	188
67	-180	7,82	20,7	9,2	20,6	324	10,0	53,5	291	64	4	31	187
155	-180	7,74	19,8	11,7	17,1	310	8,5	50,2	278	55	7	27	169
169	-135	7,90	19,1	7,5	11,5	296	9,0	46,9	270	39	7	30	192
185	-105	7,82	18,0	8,2	3,8	282	10,0	46,1	262	46	6	36	217
Станция 29, глубина 2160 м; координаты: 43°23'0 с.ш., 38°51'7 в.д.													
Прид. в.	-165	7,82	22,2	2,6	31,2	350	13,5	63,4	309	89	1	39	213
15	-180	7,74	21,8	4,1	22,9	350	11,5	58,4	309	65	2	33	197
43	-190	7,68	21,6	5,2	18,5	347	13,0	56,8	309	53	3	37	229
65	-170	7,82	21,1	7,1	16,8	341	13,0	54,3	296	49	4	38	239

Таблица 6.2.5 (окончание)

Горизонт, см	Eh, мВ	pH	ΣM г/кг	Alk	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sub>p</sub> <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub>	Alk	Ca	Ca
										Cl	SO <sub>4</sub>	Cl	Mg
142	-200	7,68	20,2	9,4	9,0	330	13,5	48,5	287	27	10	41	278
195	-195	7,74	20,4	4,9	14,6	327	13,5	48,5	296	45	3	41	278
*215	-85	7,82	19,3	10,0	4,6	319	14,7	47,0	270	14	22	44	294
Станция 30, глубина 2170 м; координаты: 43°18'0 с.ш., 38°44'6 в.д.													
Прид. в.	-160	7,80	22,3	4,1	33,3	347	13,0	61,7	309	96	1	37	211
15	-185	7,68	22,1	7,0	27,1	347	13,5	59,2	309	78	3	39	228
70	-200	7,68	21,9	10,0	20,6	344	11,0	56,8	309	60	5	32	194
105	-205	7,68	21,1	11,2	14,6	336	10,0	53,5	300	43	8	30	187
140	-210	7,68	20,8	15,2	10,6	330	9,0	50,2	296	32	14	27	179
185	-195	7,74	20,4	13,6	18,7	313	9,0	46,9	270	60	7	29	192

При расчете ионных отношений исходные данные в мг-экв/кг; SO<sub>4</sub>/Cl, Ca/Cl, Ca/Mg – n·10<sup>3</sup>; Alk/SO<sub>4</sub> – n·10<sup>1</sup>; в первой графе приведена средняя глубина горизонта от поверхности дна, при мощности всех горизонтов 20 см, например, 70 см соответствует горизонту 60–80 см. Остальные обозначения см. в табл. 6.2.1.

циала в отложениях Сочинского полигона. Вероятно, сюда поступает значительное количество лабильного ОВ при лавинной седиментации осадков. Содержание N-NH<sub>4</sub> на глубине 1,5–3 м в колонках восточной части впадины достигает 10–14 мг/л.

Катионный обмен здесь выражен слабее, чем в западной части впадины. Содержание Са сначала убывает при сульфатредукции в верхних 1,5–2 м колонок, а затем в бессульфатных иловых водах начинает постепенно возрастать. Накопление кальция в иловой воде в результате обмена на магний и натрий, переходящих в поглощенный комплекс осадка, проявлено в нижних горизонтах колонок на ст. 603, 617, 24, 29. Процесс прямой метаморфизации в наибольшей степени проявился на ст. 24. Здесь и на ст. 25, 29 были обнаружены иловые воды хлоркальциевого типа.

Катионный обмен здесь выражен слабее, чем в западной части впадины. Содержание Са сначала убывает при сульфатредукции в верхних 1,5–2 м колонок, а затем в бессульфатных иловых водах начинает постепенно возрастать. Накопление кальция в иловой воде в результате обмена на магний и натрий, переходящих в поглощенный комплекс осадка, проявлено в нижних горизонтах колонок на ст. 603, 617, 24, 29. Процесс прямой метаморфизации в наибольшей степени проявился на ст. 24. Здесь и на ст. 25, 29 были обнаружены иловые воды хлоркальциевого типа.

**Юго-восточное и восточное побережье. Батумский и Рионский полигоны**

Были проведены исследования иловых вод на шельфе и континентальном склоне ЮВ и восточного побережья Черного моря близ устья реки Риони (см. рис. 6.2.1). Помимо приустьевой зоны Риони были отобраны колонки донных отложений в приустьевых зонах более мелких рек: Шахе, Бзыби, Сочи, Супсы, Чороха и других. Район исследований был расширен и включал шельф и континентальный склон всего ЮВ побережья, от Туапсе до Батуми с выходом в глубоководную зону. При проведении исследований основное внимание было уделено изучению закономерностей формирования химического состава иловых вод в сложных условиях седиментогенеза в районе подводных каньонов. Были изучены иловые воды на различных участках Головинского, Чорохского, Кобулетского и других каньонов.

В дальнейшем мы неоднократно возвращались к изучению иловых вод у ЮВ побережья Черного моря [Гурский, Валяшко, 1975, 1977; Гурский, Крупнов, 1985].

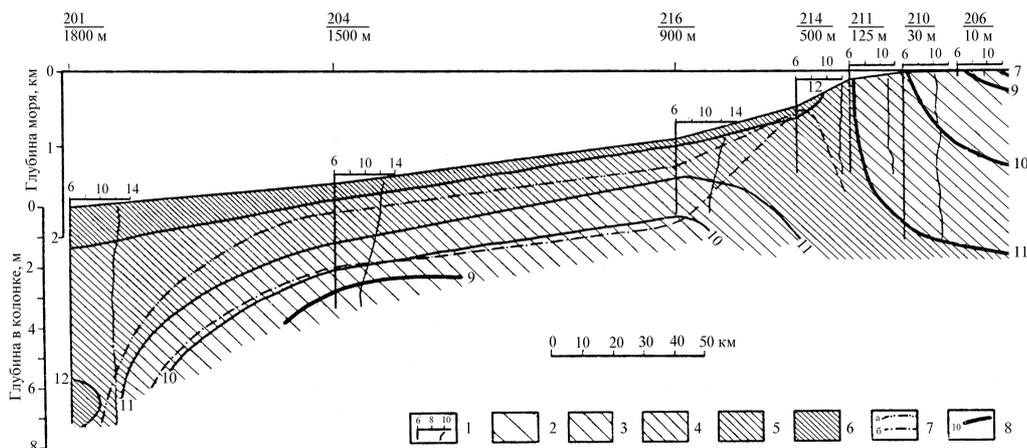
Однако выводы о характере процессов, протекающих в донных отложениях этого района, не претерпели существенных изменений.

*Хлор и суммарная минерализация.* Изменение общей минерализации (солености) вод и концентраций хлор-иона связано в первую очередь с расстоянием от берега и устья реки Риони. Пресные воды встречены лишь в непосредственной близости от устья реки. Далее господствует морская вода, хотя на всем узком шельфе до глубины 125 м прослеживается опреснение (рис. 6.2.6).

Соленость иловых вод в приустьевой зоне (ст. 206, 207, 208) колеблется в пределах 16,6–18,1 г/л, хлорность – 9,5–9,8 г/л (табл. 6.2.6). На ст. 210 и 211, расположенных на внешней части шельфа, колонками была вскрыта рыхлая толща современных отложений, представленных слабокарбонатными глинистыми илами с газовыми пустотами.

Соленость иловых вод здесь изменялась в пределах 18–20,2 г/л. Ст. 214 расположена на крутом участке континентального склона, где наблюдались процессы размыва отложений. Здесь близко к поверхности дна были вскрыты новоэвксинские осадки, перекрытые небольшим слоем голоценовых отложений. В колонке наблюдалось небольшое понижение общей минерализации (от 22,7 до 20,9 г/л), что явно выше обычных концентраций иловых вод новоэвксина. Это свидетельствует о том, что при высокой гидродинамической активности морская вода может проникать в толщу даже весьма плотных глинистых илов на глубину до двух и более метров за счет диффузионных процессов. В дальнейшем это подтвердилось при изучении материалов по подводным каньонам ЮВ побережья – на бортах и в тальвегах каньонов в обнажениях чрезвычайно плотных, по виду более древних глин встречены воды хлоркальциевого типа.

На относительно пологих участках континентального склона Рионского полигона: ст. 216, 203, 204, 205 – на глубинах от 900 до 1550 м наблюдалось обычное падение –  $\Sigma\text{M}$  и  $\text{Cl}$  сверху вниз за счет влияния опресненных вод новоэвксина: до 15,9–15,2 г/л и 9,4–8,7 г/л в отложениях соответственно на глубине 4–5 м.



**Рис. 6.2.6.** Распределение хлора в иловой воде на фациальном профиле от устья р. Риони в море. 1 – вертикальное распределение Cl в колонках, 2–6 – содержание Cl, г/л: 2 – <9, 3 – 9–10, 4 – 10–11, 5 – 11–12, 6 – >12, 7 – границы между современными и древнечерноморскими (а); древнечерноморскими и новозэвксинскими (б) отложениями; 8 – линии изоконцентраций Cl-иона.

По материалам 1976 г. минимальные хлорность и соленость обнаружены в подзонах размыва отложений у нижней бровки шельфа у борта Головинского каньона, в подводной долине р. Бзыбь и в основании крутого склона Гудаутской банки (ст. 612, 620, 623): Cl= 9,8–10,8 и  $\Sigma M= 17,5–18,9$  г/л соответственно на глубинах около 2 м в осадках (см. табл. 6.2.4).

У периферии Рионского полигона на ст. 201 была отобрана весьма необычная для глубины 1800 м колонка. Под 1,5-метровым слоем современных голоценовых илов, представленных микрослоистым кокколитовым илом и серым однородным глинистым илом, в интервале 156–720 см встречена мощная пачка темно-серого крупнозернистого песка с раковинным детритом (абсолютная влажность 24–18%). Возраст этих отложений точно определить не удалось. Условно их отнесли к новозэвксину, поскольку они перекрыты голоценовыми илами, но весьма вероятно принадлежность этой пачки песков к конусу выноса относительно мелководных осадков за счет совокупности явлений оползневого характера [Поляков, 1997]. Хлорность иловых вод в этой колонке постепенно снижается от 12,5 г/л в придонной воде и верхнем горизонте до 11,6 г/л на глубине около 3 м, а затем снова повышается до 12,2 г/л на глубине 7 м (см. табл. 6.2.6), что связано с гравитационным опусканием вод высокой минерализации в нижние слои. Этот процесс, экспериментально изучен и описан в свое время М.Г. Валяшко, А.И. Поливановой и др. [1963].

Таблица 6.2.6

## Химический состав иловых вод Черного моря (Рионский полигон)

Горизонт, см	ΣM г/л	Alk	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	мг-экв/л						мг/л				Alk SO <sub>4</sub>	Ca Mg	n · 10 <sup>2</sup>	
						Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sub>p</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P	Si	B	I					
Станция 210, глубина 30 м; координаты: 42°11'5 с.ш., 41°35'6 в.д.																			
Пов. в.	18,3	3,2	29,2	282	-	11,4	53	243	6,3	-	-	-	-	-	-	-	-	11	22
Прид. в.	18,6	4,4	29,3	285	0,50	11,2	54	248	6,6	-	-	-	-	-	-	-	-	15	21
0-2	18,0	0,9	23,8	285	0,60	11,0	57	236	6,5	12	0,02	7,2	-	-	-	-	-	4	19
15-25	17,4	0,7	17,4	284	0,51	9,4	52	235	6,1	13	0,26	11,6	-	-	-	-	-	4	18
25-70	18,1	12,4	7,7	290	-	7,0	53	242	8,2	10	0,29	13,8	-	-	-	-	-	161	13
75-125	17,9	15,1	4,6	287	-	7,2	51	242	6,8	20	0,11	16,0	-	-	-	-	-	328	14
275-325	18,4	7,9	7,9	300	0,51	5,0	48	255	7,8	34	н/о	11,6	-	-	-	-	-	100	10
490-558	18,8	8,6	6,3	309	0,51	4,6	52	259	8,0	33	0,25	15,1	-	-	-	-	-	137	9
Станция 211, глубина 125 м; координаты: 42°10'4 с.ш., 41°34'8 в.д.																			
Прид. в.	19,9	4,4	31,4	305	0,59	12,0	58	265	6,8	-	-	-	-	-	-	-	-	14	21
0-18	19,8	1,8	27,5	310	0,68	13,3	56	262	8,8	3,6	н/о	6,3	-	-	-	-	-	7	24
18-85	18,9	7,5	7,1	310	0,63	13,3	44	262	6,4	18	0,03	11,3	-	-	-	-	-	106	31
85-136	19,0	12,7	3,2	311	0,51	5,8	51	263	6,3	26	0,07	6,3	3	4,0	3,93	11	-	393	11
175-215	19,1	11,8	4,4	310	0,48	5,4	48	266	7,3	45	0,03	15,4	6	4,6	2,68	11	-	268	11
260-320	20,2	9,6	9,1	327	0,55	7,9	48	282	8,2	57	0,03	11,5	5	5,8	1,06	16	-	106	16
Станция 214, глубина 500 м; координаты: 42°10'7 с.ш., 41°31'9 в.д.																			
Прид. в.	22,7	4,4	35,0	350	0,55	12,8	67	302	7,7	-	-	-	-	-	-	-	-	13	19
0-15	22,4	3,4	37,9	343	0,55	14,2	72	290	9,1	0,6	0,02	10,9	5	0,56	9	20	-	9	20
15-50	22,4	4,7	34,3	344	0,50	13,1	67	293	9,7	5,0	12	12,1	6	0,45	14	19	-	14	19
50-100	21,4	4,4	30,9	332	0,41	14,6	66	278	9,3	8,8	0,8	10,6	4	0,32	14	22	-	14	22

Таблица 6.2.6 (продолжение)

Горизонт, см	$\Sigma M$ г/л	Alk	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sub>p</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P	Si	B	I	Alk	
															SO <sub>4</sub>	Mg
						мг-экв/л						мг/л				n · 10 <sup>2</sup>
152-185	20,9	5,4	25,9	327	0,54	17,7	60	272	8,5	12	0,09	14,8	4	0,59	21	29
185-220	21,2	3,9	23,2	337	0,50	17,5	50	288	8,1	18	н/о	7,5	4	0,92	17	35
Станция 216, глубина 900 м; координаты 42°12'6 с.ш., 41°21'9 в.д.																
0-20	23,1	5,9	38,3	351	0,59	15,4	73	298	9,9	5,8	н/о	16,1	4	-	16	21
20-58	21,7	9,4	23,0	340	0,53	11,2	66	287	8,7	11	0,26	20,3	4	0,74	41	17
58-90	20,8	12,6	16,2	329	0,52	8,9	65	275	8,8	14	0,57	16,6	6	0,83	78	14
90-140	20,0	16,1	8,1	319	0,50	7,1	59	268	8,4	15	0,93	18,0	-	1,4	199	12
140-200	19,2	18,0	3,0	307	0,46	5,8	55	259	8,1	21	0,63	19,1	-	2,1	601	11
200-250	18,1	16,8	1,5	292	0,43	7,1	53	243	7,5	19	0,40	14,9	3	2,0	1152	13
Станция 203, глубина 1000 м; координаты: 41°54'8 с.ш., 41°14'8 в.д.																
Прид. в.	22,8	4,4	34,9	350	-	13,7	55	312	8,2	1,3	0,24	7,7	-	-	13	25
0-34	23,9	4,2	48,4	355	-	15,7	73	309	10	6,6	0,15	15,9	-	-	9	21
*196-270	18,5	9,7	9,7	299	0,51	20,4	47	246	4,6	16	0,06	8,9	-	2,6	100	43
*370-438	15,2	8,4	5,7	247	0,36	34,1	30	193	4,8	18	н/о	6,4	-	3,7	147	114
Станция 202, глубина 1475 м; координаты: 41°51'0 с.ш., 40°58'0 в.д.																
Пов. в.	17,9	3,3	28,6	276	-	11,4	54	236	6,3	0,6	0,03	1,4	-	-	11	21
0-45	21,4	5,8	11,5	352	0,55	12,4	62	285	10	2,1	0,16	18,2	-	0,6	51	20
45-122	21,4	8,4	19,2	339	0,55	12,1	57	288	9,3	7,0	0,05	20,4	-	0,9	44	21
122-190	19,9	9,7	7,7	324	0,54	11,0	50	273	7,9	11	0,44	25,2	-	1,8	126	22
*190-264	18,7	6,9	5,0	309	0,53	15,6	42	257	6,7	13	0,14	9,4	-	1,9	137	37
*264-310	17,7	8,6	4,0	291	0,49	18,8	39	240	6,1	16	н/о	10,7	-	2,1	213	48
*310-400	15,8	9,0	1,0	261	0,47	26,0	31	210	4,0	19	0,12	4,4	-	2,2	695	83

Таблица 6.2.6 (окончание)

Горизонт, см	ΣM г/л	Alk	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sub>p</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P	Si	B	I	Alk SO <sub>4</sub>	Ca Mg	
																	мг-экв/л
*400-450	15,7	7,3	13,3	248	0,40	32,5	29	204	3,3	20	0,08	8,1	-	3,21	55	112	
Станция 205, глубина 1550 м; координаты 42°25'0 с.ш., 40°52'4 в.д.																	
Прид. в.	22,7	4,4	36,3	348	0,60	13,3	68	299	8,1	н/о	0,30	11,7	4,5	-	12	20	
0-45	22,7	6,4	27,9	356	0,61	14,4	72	295	9,8	9,0	0,15	18,0	-	0,4	23	20	
45-93	22,2	5,8	32,3	342	0,56	16,0	69	286	9,7	15,0	0,02	11,5	-	0,5	18	23	
147-200	20,1	7,3	14,1	324	0,58	11,8	56	270	7,8	14	н/о	14,0	-	1,0	52	21	
*269-345	17,8	7,6	1,4	299	0,50	18,5	46	238	5,9	17	н/о	14,2	-	1,8	543	40	
*397-460	16,0	7,1	1,8	267	0,46	25,6	37	210	4,2	20	0,06	13,6	-	1,9	394	68	
*460-508	15,9	5,1	3,0	265	0,46	25,2	21	223	4,4	21	0,06	7,0	-	2,0	170	123	
Станция 201, глубина 1800 м; координаты: 42°16'5 с.ш., 40°26'0 в.д.																	
Пов. в.	18,2	3,2	28,9	281	-	11,8	55	240	6,6	0,3	н/о	0,7	-	-	11	22	
Прид. в.	23,6	4,7	43,0	352	0,56	20,4	49	322	8,5	0,5	0,28	4,5	4,5	-	11	42	
0-50	22,6	10,3	24,4	351	-	9,5	59	307	10	7,4	1,4	15,9	-	-	42	16	
90-156	22,2	16,2	13,5	348	-	7,5	56	305	9,8	13	0,9	9,2	-	-	120	13	
156-240	20,9	17,2	4,9	335	0,48	8,3	52	288	8,4	21	0,12	9,2	3,0	-	355	16	
300-400	20,4	11,7	7,5	331	0,56	7,9	52	282	8,3	20	0,03	12	5	1,0	157	15	
500-600	20,6	12,2	4,7	337	0,56	9,7	53	283	8,4	21	0,26	3,3	4	1,6	262	18	
670-720	22,0	7,5	25,0	346	0,68	14,8	61	293	9,3	23	н/о	1,9	-	-	30	24	

Пояснения см. в табл. 6.2.1.

*Сульфаты, щелочной резерв и величины Eh.* Осадки, изученные на большинстве станций Рионского полигона, содержат сравнительно небольшое количество органического вещества: 0,5–1,7%  $C_{\text{орг}}$ . Поэтому процесс редукции сульфатов здесь имеет подчиненное значение. На шельфе (ст. 210, 211) он проявлен на глубине 0,5–2 м в отложениях, так же как и на пологих участках континентального склона. Наиболее ярко сульфатредукция проявилась на ст. 216 у подножия крутого склона, где были вскрыты древнечерноморские отложения довольно большой мощности. Что касается других участков ЮВ побережья, то здесь рост щелочности и активизация биогенных процессов наблюдались в основном в подзонах аккумуляции осадочного материала в каньонах: ст. 607, 626, 625, 628. Наибольшая щелочность – 39 мг-экв/л, и наиболее активная сульфатредукция отмечены на ст. 626 в тальвеге каньона р. Супсы (гл. 690 м). Сульфатредукция наблюдалась и в подзоне размыва отложений у нижней бровки шельфа и борта Головинского каньона на ст. 612, недалеко от г. Туапсе. В ряде случаев в каньонах и на их бортовых частях встречались повышенные концентрации сульфатов (ст. 619, 604, 629, 633), связанные, вероятно, со вторичным окислением  $H_2S$  и сульфидов в переотложенных осадках.

По результатам многочисленных измерений величины Eh в колонках у восточного побережья в районе подводных каньонов, общий фон их был повышен по сравнению с другими районами Черного моря. На большинстве горизонтов в колонках значения Eh находятся в интервале  $\pm 100$  мВ с тенденцией к понижению с глубиной. Положительные величины чаще встречались на шельфе в подзонах размыва отложений (ст. 611, 612) и реже на станциях континентального склона (605, 609, 612, 618, 619). Пониженные величины Eh были в нижних горизонтах колонок на ст. 625 (–140 мВ), 607 (–95 мВ), 627 (–50 мВ). Резкое понижение Eh наблюдалось в конкреционных сгустках сульфидов. Например, на ст. 604 в таком сгустке  $Eh = -236$  мВ, а во вмещающем сером иле лишь –60 мВ.

*Состав катионов.* По изменению катионного состава можно выделить две группы колонок на Рионском полигоне. 1) Колонки, в которых прослеживаются процессы катионного обмена, приводящие к обогащению нижних горизонтов кальцием, что выражается в росте соответствующих коэффициентов: Ca/Cl, Ca/Na, Ca/Mg. Одновременно идет извлечение из иловой воды в осадок иона  $K^+$ . На Рионском полигоне сюда относятся (в порядке усиления в них указанных процессов) ст. 201, 214, 204, 202, 203, 205. Отношение ЭCa/Na возрастает в 1,5 раза на глубине около 2 м, в 3–4 раза на глубине 4 м и более. 2) Колонки с противоположной тенденцией – понижение относительных концентраций Ca и слабо выраженный катионный обмен: ст. 210, 216, 211, т.е. все станции, на которых не были вскрыты новоэвксинские отложения. Это и послужило основной причиной указанных различий в поведении катионов.

На других станциях восточных районов также можно различить названные группы колонок:

1. Ст. 605, 606, 608, 609, 619, 623, 630, 633, которые в основном приурочены к крутым участкам склона и подзонам размыва отложений, хотя есть станции и из подзон аккумуляции осадков, например, ст. 619, где обнаружены наибольшие концентрации  $Ca=36,5$  мг-экв/л и повышенные концентрации сульфатов. На этой станции в днище Головинского каньона колонка содержит явно переотложенную смесь современных и древнечерноморских мелководных отложений, представленных буроватыми алевритово-глинистыми и глинисто-алевритовыми слоистыми илами, похожими на турбидиты. В них содержится значительная примесь тонкопертертого раковинного детрита и гравийно-галечный материал размером до 25 мм.

2. Ко второй группе колонок могут быть отнесены ст. 612, 625, 626, в которых  $Ca$  убывает.

Несколько слов о метаморфизации иловых вод. Процесс прямой метаморфизации проявлен на многих станциях Рионского полигона, в особенности на ст. 202-205, где на глубинах от 2 до 4 м в отложениях появляются воды хлоридного типа. В колонках восточного побережья, отобранных в районах подводных каньонов, несмотря на активное развитие процессов, связанных с сульфатредукцией, анионным обменом, окислительно-восстановительными процессами, хлоридные воды не обнаружены.

### **Таманский полигон и Керченский пролив**

Расположение станций показано на рис. 6.2.1.

*Геоморфологические и литологические особенности района.* Таманский полигон расположен при выходе из Керченского пролива в Черное море на широкой прибрежной отмели и довольно пологом материковом склоне. В соответствии с этим донные отложения подразделяются на осадки прибрежной отмели и материкового склона. Первые представлены грубыми, плохо сортированными осадками: глинистым илом с большим количеством алевритового и песчаного материала с обильной примесью цельной и битой ракуши. Вниз по колонкам, при переходе к бургазско-витязевским слоям (низы древнечерноморских отложений) осадки становятся грубозернистыми, содержат песок, ракушу и раковинную дресву. На ст. 168 с глубиной 30 м в восточной части прибрежной отмели под 80-сантиметровым слоем песчанистого ила залегают новоэвксинские осадки, отложившиеся в лагунных условиях [Невесский, 1967]. В центральной части полигона на глубинах 70–100 м наблюдается нормальная последовательность современных, древнечерноморских и новоэвксинских отложений. Иногда она прослеживается и в верхних частях континентального склона. Отдельные участки шельфа и континентального склона здесь прорезают каньоны, с которыми связаны размыв и переотложение осадков. При интенсивном размыве верхнего слоя на поверхность выходят новоэвксинские отложения. Типичный разрез осадков

материкового склона содержит плотные новоэвксинские глинистые илы с прослоями гидротроилита. Они перекрыты сапропелево-глинистыми древнечерноморскими илами, которые часто размыты и переотложены.

*Основные особенности химического состава иловых вод.* На Таманском полигоне было исследовано 45 проб, в Керченском проливе – 30 проб иловой и придонной воды. Часть данных по их химическому составу содержится в табл. 6.2.7 и на рис. 6.2.7а–г. Здесь, наряду с литологией осадков, приведены отношения:  $\Sigma \text{Alk}/\text{SO}_4$ ,  $\Sigma \text{Ca}/\text{Na}$  и распределение  $\text{N-NH}_4$  на профиле.

Диапазон изменений рН и Eh на полигоне – от 7,15 и –173 мВ в нижних горизонтах колонки на ст. 150 (глуб. 900 м) до 8,35 и 283 мВ в мелководных прибрежных колонках. В придонной воде колебания рН= 7,6–8,3, Eh от 29 до 484 мВ. Общая закономерность изменения рН в илах – повышение с глубиной в интервалах тех колонок, где активнее развивался биогенный процесс и наблюдалось накопление Alk и биогенных компонентов. В остальных случаях величины рН понижались.

Аммонийный азот закономерно накапливался в иловой воде с глубиной как на шельфе, так и на континентальном склоне. Наибольшие концентрации биогенных компонентов на гор. 31–47 см ст. 154 (глуб. 37 м) составили:  $\text{N-NH}_4$  – 34, Si – 25, P – 2 мг/л. Сульфатредукция проявлена слабо, лишь на ст. 152 (глуб. 73 м) отмечено ее воздействие на состав анионов. Катионный обмен также слабо выражен. Рост относительных концентраций Ca в наибольшей степени проявился в самой южной колонке ст. 150, где были вскрыты новоэвксинские отложения достаточно большой мощности. В нижних горизонтах колонок 163 и 150 на глуб. 1-1,6 м обнаружены воды хлоридного (Cl-Ca) типа.

В колонке ст. 37 (глуб. 930 м) и на ст. 603 (глуб. 2060 м) (см. рис. 6.2.1) хлоридные воды не были вскрыты. На станциях 602, 601 с глуб. 1410 и 1580 м на склоне в нижних слоях колонок обнаружены иловые воды хлоридного типа.

Седиментация в мелководном Керченском проливе находится под влиянием двух противоположно направленных течений – из Азовского и Черного морей [Алекин, 1966]. Фациальный профиль пересек Керченский пролив в его центральной части. На ст. 181 отобрана колонка длиной 180 см, остальные не превышали 20–50 см. Были вскрыты современные и древнечерноморские осадки, представленные грубообломочным материалом: песком, алевритом с ракушей и небольшим количеством глинистого ила.

Иловые воды имеют слабощелочную реакцию, в центральной части профиля в верхних слоях рН понижено. С ростом Alk величины рН также растут.

На профиле в Керченском проливе выявлены очень высокие концентрации биогенных компонентов в иловой воде с закономерным повышением их сверху вниз. В нижнем горизонте ст. 181 содержание  $\text{N-NH}_4$ , P, Si составило соответственно: 61,8, 3,8, 19,8 мг/л. Также увеличивается и щелочной резерв, тогда как концентрации кальция в абсолютном и относительном выражениях закономерно понижаются с глубиной.

Таблица 6.2.7  
Химический состав иловых вод Черного моря (Таманский полигон и Керченский пролив)

№ станции, глубина, м	Горизонт, см	мг-экв/л										n·10 <sup>2</sup>		
		ΣM г/л	Alk	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> <sub>p</sub>	I Cl	B Cl	Alk SO <sub>4</sub>	Ca Na	Ca Mg
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
155	Прид. в.	18,6	3,2	30,2	288	0,44	11,9	58	251	0,5	34	11	5	20
23	0-33	18,3	5,0	26,2	284	0,44	10,0	56	250	3,8	23	19	4	18
	33-50	18,3	5,4	20,8	290	0,44	8,4	54	254	5,4	20	26	3	16
168	Прид. в.	18,0	3,2	29,1	279	0,44	12,5	59	241	1,8	-	11	5	21
30	31-70	17,0	10,7	16,6	264	0,43	12,1	52	228	5,3	-	64	5	23
	70-100	16,2	15,1	8,3	253	0,49	12,7	43	221	11	-	182	6	30
165	Пов. в.	17,8	3,3	28,1	277	0,55	12,1	56	240	0,5	-	12	5	21
46	Прид. в.	18,1	3,3	29,3	279	0,41	11,9	57	243	0,5	-	11	5	21
	0-24	18,6	3,5	28,3	288	0,41	12,8	56	252	1,9	-	13	5	23
	24-58	18,2	3,1	29,1	282	0,40	20,1	58	237	4,7	-	11	9	34
153	Пов. в.	17,8	3,2	28,1	277	0,40	12,3	58	238	0,5	39	12	5	21
57	Прид. в.	18,6	3,2	30,4	288	0,40	12,1	60	249	0,9	37	11	5	20
	0-41	19,1	3,9	27,9	297	0,46	12,3	57	260	3,6	31	14	5	22
	41-75	17,9	4,2	25,0	281	0,44	13,3	54	243	4,0	31	17	6	25
152	Прид. в.	19,3	3,2	30,0	300	0,39	11,7	61	261	0,9	36	11	5	19
73	0-37	17,6	6,5	19,1	278	0,44	12,1	51	240	9,1	29	34	5	24
	62-106	16,0	9,5	7,9	259	0,40	14,9	43	218	17	27	120	7	34
164	0-48	18,8	4,1	30,4	290	0,44	12,9	57	255	4,6	34	14	5	23
73	48-70	19,2	4,2	35,4	290	0,44	14,5	58	257	5,9	34	12	6	25
	70-105	19,1	5,2	32,9	290	0,44	16,5	57	255	6,3	39	16	7	29
	105-120	18,3	4,9	25,8	284	0,44	16,1	51	248	6,7	25	19	7	32

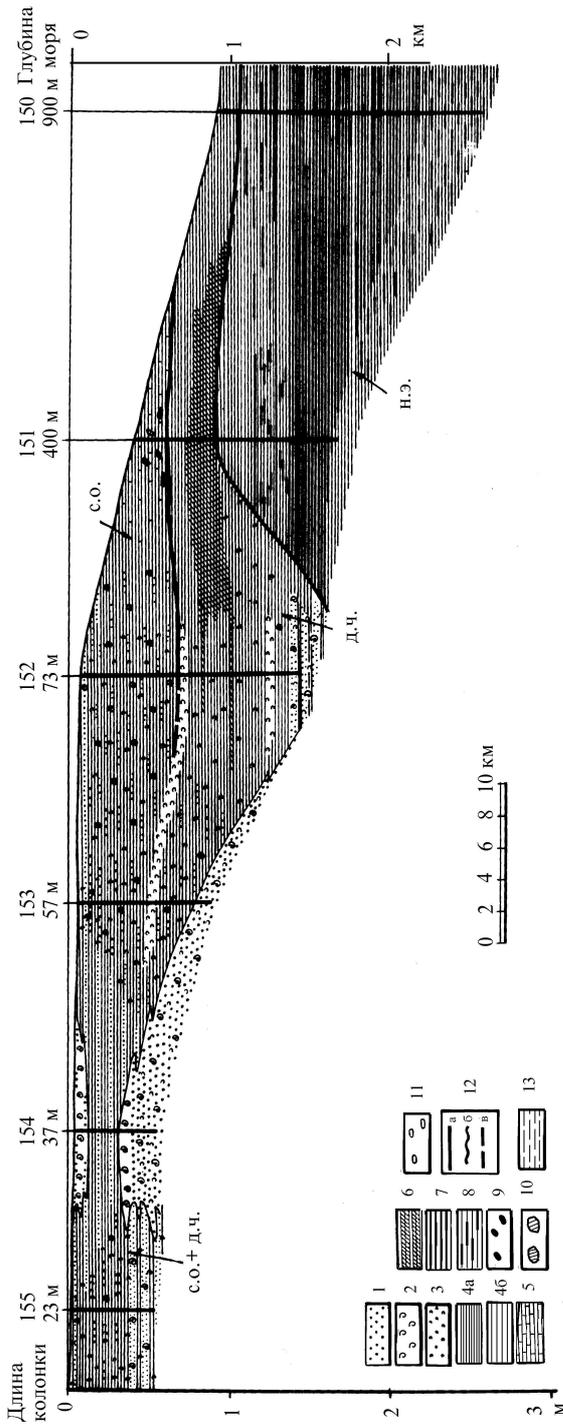
Таблица 6.2.7 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<u>163</u> 98	Прид. в.	21,5	3,4	33,3	333	0,49	13,7	57	299	0,5	-	10	5	24
	0-21	21,2	4,7	23,3	339	0,49	14,3	58	295	8,2	17	20	5	25
	21-50	20,1	5,5	12,5	331	0,46	14,3	51	283	9,8	17	44	5	28
	* 58-77	19,5	6,8	6,5	324	0,49	16,5	48	274	13	-	106	6	34
	* 85-120	18,8	4,7	6,7	315	0,48	24,5	44	259	18	13	71	10	56
<u>170</u> 270	0-30	20,3	16,1	10,8	321	0,48	8,0	59	281	33	-	149	3	14
	121-150	20,2	12,0	16,2	318	0,49	6,0	58	283	37	-	74	2	10
	Прид. в.	22,3	3,6	37,6	343	0,45	13,7	70	301	0,4	33	10	5	20
	10-25	20,0	5,8	26,2	314	0,56	12,1	63	271	7,4	45	22	5	19
460	65-81	19,9	9,5	11,2	322	0,48	8,8	54	280	17	22	84	3	16
	97-126	18,0	3,2	12,0	295	0,51	10,5	36	265	29	-	26	4	29
	Прид. в.	21,9	3,7	33,3	337	0,34	14,5	71	291	0,6	-	11	5	20
880	21-42	22,3	5,0	28,3	344	0,45	14,5	63	304	6,8	28	18	5	23
	80-111	20,4	2,1	19,6	324	0,49	13,9	52	285	11	13	11	5	27
	111-131	20,0	2,5	15,4	321	0,48	15,7	49	279	14	9	17	6	32
	Прид. в.	22,4	3,8	33,3	350	0,48	14,1	70	303	0,8	32	11	5	20
900	13-28	20,5	3,3	18,7	332	0,53	9,9	54	291	10	13	18	3	18
	40-90	20,2	3,7	14,1	331	0,51	10,5	49	290	-	-	26	4	22
	*141-165	18,0	3,4	7,3	303	0,40	18,7	46	250	27	9,2	46	8	41
	Прид. в.	22,5	4,0	35,6	349	-	13,1	71	305	-	-	11	4	18
1410	0-10	22,3	4,2	34,7	346	-	13,7	68	304	-	-	12	5	20
	25-54	21,0	8,5	18,1	337	-	14,1	60	289	-	-	47	5	24
	*90-130	19,1	12,2	2,0	317	-	16,6	50	265	-	-	610	6	34
	*132-150	18,1	9,5	3,2	302	-	21,6	46	247	-	-	292	9	47

Таблица 6.2.7 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
601	Прид. в. 0-14	-	3,9	-	350	-	13,8	70	-	-	-	-	-	20
1580	14-31	-	4,7	-	347	-	13,1	67	-	-	-	-	-	19
	31-62	-	5,3	-	341	-	14,2	65	-	-	-	-	-	22
	*123-156	-	6,1	-	338	-	14,7	62	-	-	-	-	-	24
	*190-217	-	7,5	-	326	-	17,5	56	-	-	-	-	-	31
		-	5,9	-	296	-	27,8	47	-	-	-	-	-	60
Керченский пролив, профиль к СЗ от косы Чушка														
177	Прид. в. 0-26	12,3	2,7	20,4	190	0,35	8,6	41	163	-	-	13	5	21
5	34-52	14,9	4,7	22,1	230	0,35	10,3	46	200	11	27	22	5	22
1	2	17,3	7,5	26,2	262	0,33	7,6	51	237	17	32	28	3	15
181	Прид. в. 11-45	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
7	45-150	12,4	2,9	19,2	193	-	9,0	41	165	1,6	-	15	5	16
	165-180	15,3	28,7	3,0	228	0,38	8,0	52	200	51	61	957	4	9
183	Прид. в. 0-25	16,0	33,2	2,6	233	0,42	4,8	54	210	53	-	1297	2	21
6	25-56	16,6	37,1	2,6	237	-	2,2	55	220	-	-	1451	1	19
		12,3	2,6	20,4	190	0,34	8,5	41	163	-	-	13	5	21
184	Прид. в. 0-15	15,2	11,6	15,4	233	-	8,8	47	205	12	36	75	4	19
6	15-48	16,1	9,6	19,1	248	0,26	6,5	48	221	18	25	50	3	13
		12,4	2,6	20,8	191	-	8,6	41	165	-	-	13	5	21
		15,7	3,5	26,6	240	0,27	10,1	49	211	8,1	29	13	5	21
		16,2	3,7	24,5	252	-	8,8	51	220	9,7	28	15	4	17
188	Прид. в. 0-15	12,4	2,7	21,2	190	-	9,3	40	165	-	-	13	6	23
6	15-32	13,5	4,2	23,7	204	0,35	9,7	41	181	3,7	30	18	5	23
		15,7	3,5	25,4	243	-	9,9	48	213	6,7	24	14	5	20

\*иловые воды хлор-кальциевого типа, на ст. 601 – предположительно. Остальные пояснения см. в табл. 6.2.1.



**Рис. 6.2.7а.** Таманский полигон. Литологический разрез на профиле от ст. 155 до ст. 150.

1 – песок; 2 – ракушечный детрит; 3 – раковинный детрит; 4 – глинистый ил; 4а – серый, 4б – коричневатый; 5 – карбонатный (кокколито-  
 вый) ил; 6 – сапропелевый ил; 7 – гидротроилитовый горизонт; 8 – глинистый ил с гидротроилитом; 9 – включения сульфидов  
 железа, 10 – включения комков сапропелевого ила и других переотложенных осадков; 11 – включения гальки; 12 – границы  
 между отложениями разного возраста: а) ненарушенные; б) нарушенные и размытые; в) предполагаемые; с.о. – современные  
 отложения; д.ч. – древнечерноморские отложения н.э. – новозевкинские отложения; 13 – газированные илы.

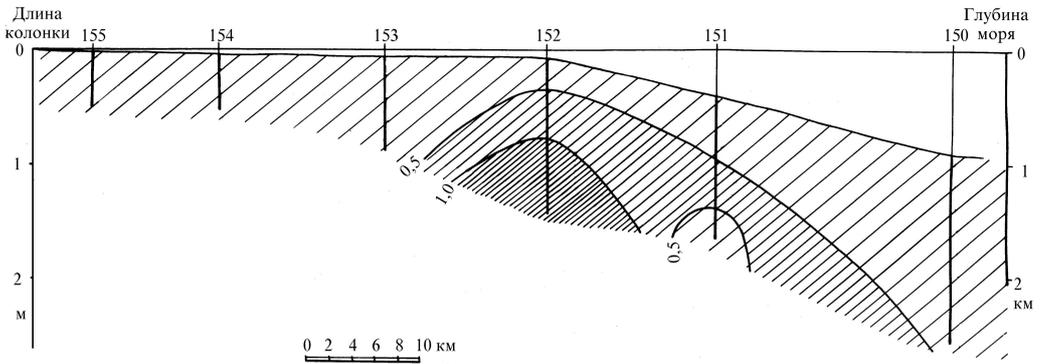


Рис. 6.2.7б. Изменение отношения  $\text{ЭAlk}/\text{SO}_4$  в иловой воде на профиле ст. 155-150.

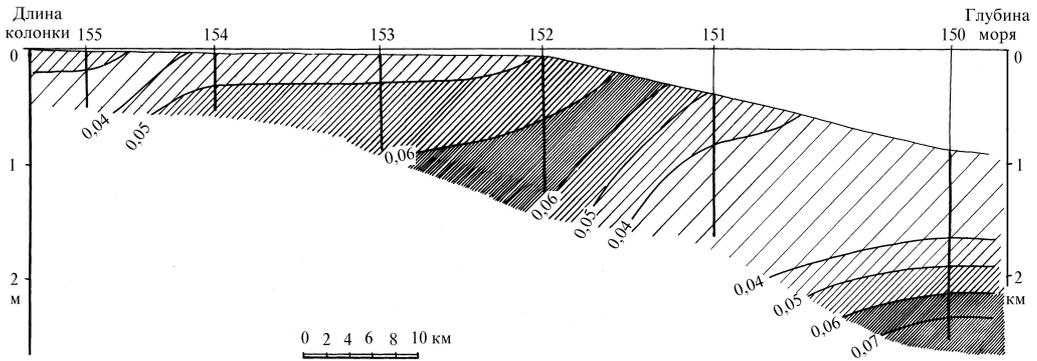


Рис. 6.2.7в. Изменение отношения  $\text{ЭCa}/\text{Na}$  в иловой воде на профиле ст. 155-150.

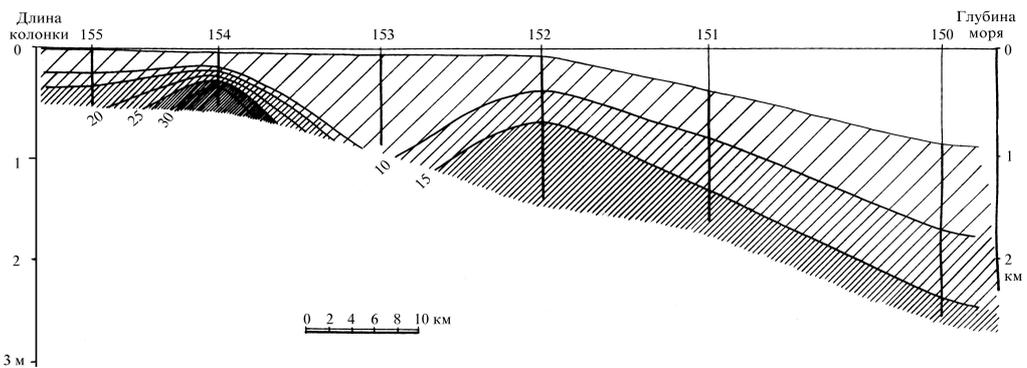


Рис. 6.2.7г. Распределение аммонийного азота  $\text{N-NH}_4$  (мг/л) в иловой воде на профиле ст. 155-150.

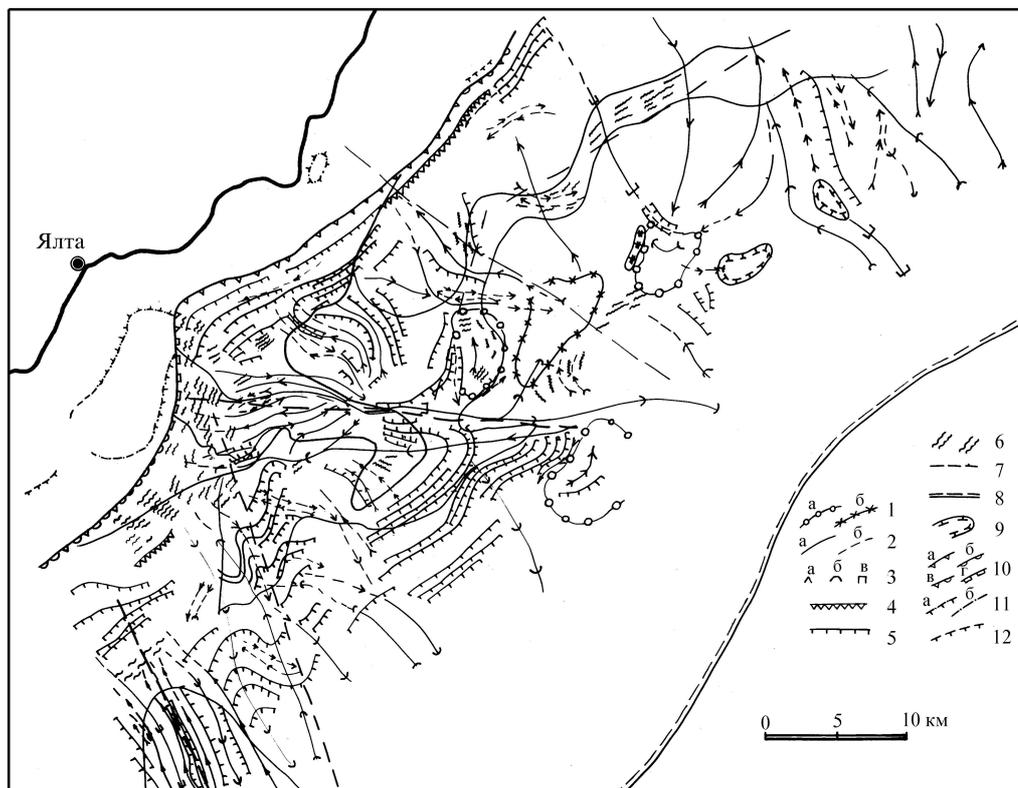
Градиент роста содержаний биогенных компонентов на границе между придонной и иловой водой в проливе очень велик (увеличение на порядок и более). С глубиной также наблюдался быстрый их рост. Это относится и к микроэлементам, связанным с биогенным накоплением, таким как йод, бор, бром, концентрации которых достигали соответственно: 4,4, 5, 34 мг/л.

### **Южное побережье Крымского п-ова (Ялтинский полигон)**

*Геоморфологические и литологические особенности района.* Исследования у южного побережья Крымского п-ова в районе, условно названном Ялтинским полигоном, позволили получить детальную информацию о процессах формирования химического состава иловых вод в горно-складчатых областях на участках морского дна со сложно расчлененным рельефом. Район исследований, ограниченный координатами 44°12'–44°48' с.ш. и 34°07'–34°56' в.д., со станциями на глубинах от 50 до 2000 м в структурном отношении охватывает южную часть Крымского мегантиклинория, ограниченного с юга глубинным разломом. На территории Ялтинского полигона прослеживается еще ряд крупных разломов: субмеридионального простирания восточнее г. Алушты и у подножия уступа материкового склона между Гурзуфом и Судаком. Эти и многочисленные более мелкие разломы в той или иной мере отражаются в рельефе дна и характере седиментогенеза.

Рельеф дна представляет собой сочетание подводных долин и хребтов различной ориентировки, направленных преимущественно от верхнего уступа к подножию. На фоне других отчетливо выделяется «главный» хребет широтного простирания протяженностью 28 км с относительной высотой 240–260 м, к которому на глубине 1500 м причленяется подводная возвышенность. Сильная расчлененность рельефа и повышенная сейсмическая активность района привели к тому, что на материковом склоне и у его подножья отсутствует нормальный стратиграфический разрез. Часто встречаются оползневые явления и перерывы в осадконакоплении. На большей части континентального склона современные осадки отсутствуют, и обнажается размытая поверхность новоэвксинских отложений, обычно представленных плотными вязкими серыми глинистыми илами. Иногда они перекрыты слоем переотложенных разжиженных осадков мощностью от 30 до 115 см. Депрессии донного рельефа служат своеобразными ловушками осадочного материала, и здесь мощности переотложенных осадков, как и у подножия склона, резко возрастают. Слоистость донных отложений часто нарушена. В толще глинистых осадков встречаются обрывки и шарообразные сгустки сапропелевого материала. Новоэвксинские голубовато-серые илы иногда лежат на более молодых древнечерноморских слоях, убедительно фиксируя сползание осадков (рис. 6.2.8).

На отдельных участках дна в зонах тектонического дробления и трещиноватости над разломами был обнаружен ряд газовых аномалий миграционного характера.



**Рис. 6.2.8.** Геоморфологическая карта-схема Ялтинского полигона.

1–9 – эндогенные формы рельефа: 1 – границы локальных возвышенностей (а) и понижений (б); 2 – оси подводных хребтов и долин: более 100 м (а), менее 100 м (б); 3 – формы поперечного сечения возвышенностей и понижений: а – угольные, б – округлые, в – корччатые; 4 – тектонические уступы; 5 – края ступеней; 6 – мелкие волнистые нарушения поверхности дна; 7 – предполагаемые разломы; 8 – нижняя граница материкового склона; 9 – границы локальных депрессий; 10–12 – экзогенные формы рельефа: 10 – край прибрежной отмели, переходящий в материковый склон: а – уступообразно, б – плавно, в – средне, г – сложно; 11 – края подводных останцов: а – уступообразные, б – сглаженные; 12 – бровки подводных террас.

Они хорошо увязывались с гидрогеохимическими и геоморфологическими аномалиями и аномалиями в составе иловых вод [Гурский и др., 1972; Черткова, Гурский, 1974].

Дальнейшие исследования А.И. Конюхова, М.К. Иванова и др., с применением более совершенных средств наблюдений, позволили обнаружить в центральной части впадины Черного моря и на континентальном склоне Крыма углеводородные

потоки и проявления грязевого вулканизма [Соколов, Конюхов, 1985; Гинсбург, Соловьев, 1994; Иванов, Басов, 1996; Ivanov et al., 1998]. Ряд взаимосвязанных акустических, геохимических и биохимических аномалий был обнаружен в прогибе Сорокина на глубинах более 2 км.

У основания континентального склона в районе, близко примыкающем к ЮВ периферии Ялтинского полигона, были обнаружены грязевые вулканы: Одесса (44°23' с.ш., 35°09' в.д., глубина моря 1816 м), НИОЗ (44°19' с.ш., 35°04' в.д., глубина 2018 м), Казаков (44°18' с.ш., 35°11' в.д., глубина 1918 м) [Geological..., 2002]. В кратере вулкана Казаков обнаружены аномалии по бору (резкое повышение) и иловые воды карбонатного типа.

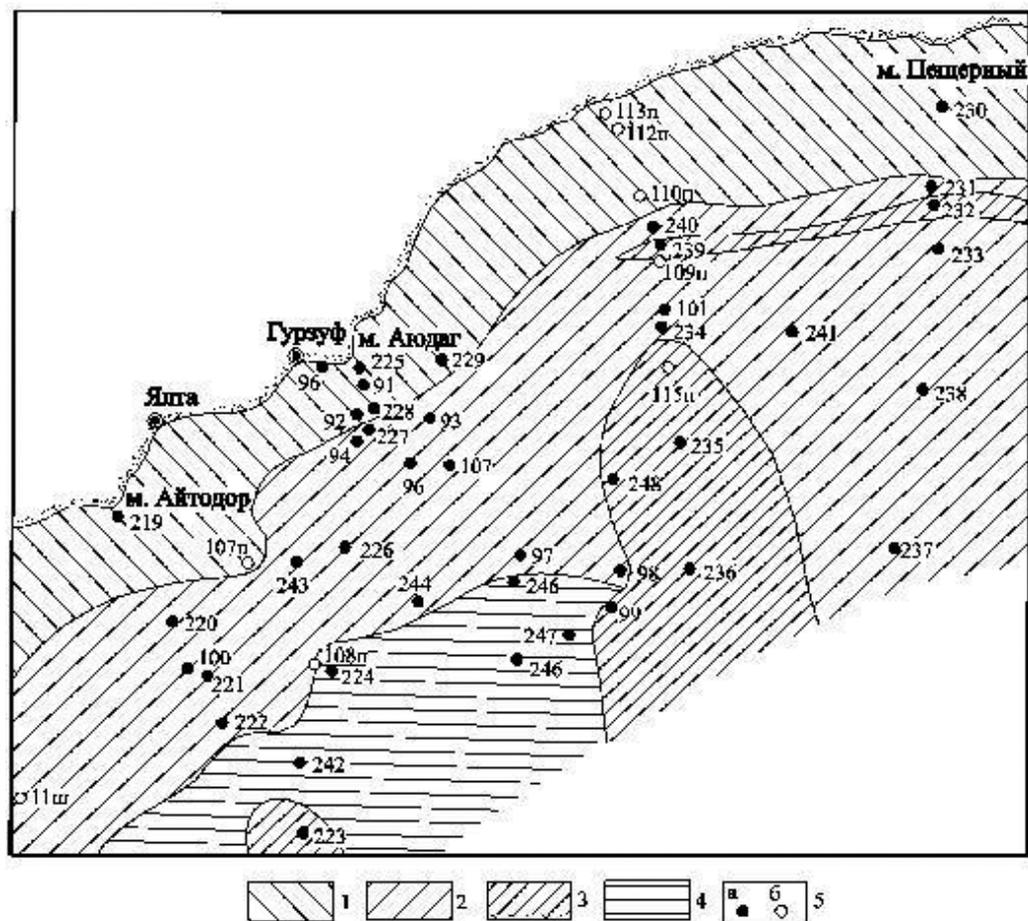
Грязевые вулканы обнаружены к югу и ЮЗ от Крыма. В прогибе Сорокина в 2001 г. обнаружен вулкан Двуреченский [Иванов и др., 1989; Шнюков, Клещенко, 2001; Егоров и др., 2011], в отложениях которого найдены газовые гидраты, иловые воды с  $\Sigma\text{M}$  до 30 г/л. Определено двукратное повышение температуры придонных вод до 16,5°C и содержание  $\text{Cl}$  от 300 до 900 мг-экв/кг [Гурский и др., 1997].

При стратиграфическом расчленении колонок, в которых возможно присутствие грязевулканической брекчии и других продуктов грязевого вулканизма, возникают определенные сложности. Поэтому следует принять во внимание то, что в ряде случаев отнесение голубовато-серых глин и глинистых илов к новоэвксину носит условный характер.

Общее представление о расположении станций в рейсах 1970-80-х годов и о характере осадконакопления дает схема седиментогенеза. Она была построена в двух вариантах. Первый построен на основании геоморфологической схемы и литолого-геохимических материалов и дает представление о распределении осадков, связанном с рельефом [Гурский, 2003]. Второй – на основе статистического анализа данных по составу иловых вод [Гурский, Крупнов, 1985; Гурский, 2007]. Эта схема по второму варианту приведена на рис. 6.2.9.

Еще одна особенность осадков Ялтинского полигона – широкое развитие в них сульфидов железа. Помимо гидротроилита, который встречается как в современных осадках на шельфе, так и, в особенности, в новоэвксинских отложениях, где он часто образует стустки и конкреционные прослои, в отложениях часто присутствуют грейгит и пирит. Особо следует отметить появление крупных твердых конкреционных корок пирита, размером до 4–5 см и толщиной 2–4 мм. Иногда они образуют гнезда размером до 10 см и более, а в ряде случаев встречаются вертикальные трещины в колонках длиной 20–30 см, которые сплошь заполнены конкреционными корками сульфидов (ст. 234, 238, 241). Это может указывать на вертикальную миграцию флюидов, обогащенных  $\text{Fe}^{2+}$  по зонам трещиноватости. Содержание  $\text{Fe}$  во вмещающих осадках здесь на ст. 234 было 5,5%,  $\text{Mn}$  – 0,11%,  $\text{C}_{\text{орг}}$  – 0,4–0,5%. Станции, на которых наиболее ярко выражены отмеченные особенности, приурочены к изобате 1500 м.

*Особенности химического состава иловых вод на Ялтинском полигоне. По результатам анализов 260 проб иловой воды на 10 компонентов химического сос-*



**Рис. 6.2.9.** Схема расположения станций и фациально-генетическая зональность на Ялтинском полигоне Черного моря (схема седиментогенеза).

1–4 – зоны и подзоны: 1 – шельфа, 2 – крутого континентального склона, подзона размыва, 3 – крутого континентального склона, подзона аккумуляции, 4 – пологого континентального склона; 5 – станции, данные по которым были использованы при статистическом анализе (а) и построении схемы (б).

тава (макросостав, биогенные компоненты), первоначально полученных примерно на 40 станциях Ялтинского полигона, была составлена серия площадных схем распределения отдельных компонентов химического состава иловых вод [Гурский, Крупнов, 1985, Гурский, 2007]. Краткая информация об особенностях химического состава иловых вод на Ялтинском полигоне приведена в табл. 6.2.8. При составлении схем распределения компонентов по площади на полигоне за

основу была взята схема седиментогенеза (см. рис. 6.2.9). Затем к ним добавили серию профилей субмеридионального и субширотного простирания. При составлении площадных схем были выбраны два наиболее важных горизонта: верхний слой иловой воды и слой с глубины около 1 м от кровли новоэвксина. Приводим часть площадных схем (рис. 6.2.10а–е) и пример распределения ряда компонентов по одному из профилей (рис. 6.2.11а, б, в, г).

На рис. 6.2.10 показано распределение по площади полигона содержаний в иловой воде Cl (а, б), Alk (в), SO<sub>4</sub>(г), Ca (д), N-NH<sub>4</sub> (е) для верхнего слоя и для новоэвксина (1 м ниже кровли).

В распределении Cl-иона у поверхности осадков видна основная гидрохимическая закономерность – понижение концентраций с уменьшением глубины моря и приближения к берегу. Неравномерное распределение в верхнем и нижнем горизонтах на континентальном склоне связано как с различиями в характере берегового стока, так и с проникновением опресненных вод новоэвксина по зонам дробления и трещиноватости, перекрытым осадками с повышенной влажностью. Интервалы концентраций суммарной минерализации и хлорности составляют соответственно 15,8–23,9 и 9,6–13,1 г/л. Отношение суммарной минерализации к хлору в придонной и верхних слоях иловой воды = 1,80–1,84. С глубиной отношение  $\Sigma M/Cl$  понижается. Общий диапазон колебаний  $\Sigma M/Cl = 1,88–1,64$ .

*Закономерности изменения состава иловых вод на фациальных профилях.* На широтном профиле, идущем от мыса Айтодор на восток, от ст. 219 до ст. 237 (см. рис. 6.2.11), на крутых склонах голоценовые осадки были смыты и на поверхности дна обнажились новоэвксинские отложения, иногда прикрытые небольшой пленкой переотложенных илов (см. рис. 6.2.11а), что соответствует подзоне размыва отложений по нашей классификации [Гурский, 2007; Гурский, Крупнов, 1985]. С нею резко контрастирует подзона аккумуляции переотложенных осадков, представленных преимущественно голоценовыми, в первую очередь древнечерноморскими илами. Это наблюдалось на ст. 236, самой глубокой на профиле. Здесь в средней части колонки, в интервале 70–126 см было повышено количество сапропелевого материала, что привело к резкой активизации биогенного процесса сульфатредукции (см. рис. 6.2.11б). Повышенное накопление ОВ в древнечерноморских илах характерно и для края шельфа на ст. 107п, что также повлияло на активизацию биогенного процесса.

Метаморфизованные иловые воды с 1,5–2-кратным ростом абсолютных и относительных концентраций Ca на глубине 1–1,5 м в колонках обнаружены в новоэвксинских отложениях на крутых участках континентального склона. Там проявилась отрицательная седиментация, связанная с размывом отложений – ст. 226, 244, 246 данного профиля (рис. 6.2.11а), и ст. 232, 233, 234, 221, 227, 107 на других участках Ялтинского полигона.

Большинство станций, на которых найдены опресненные хлоркальциевые воды, и станции с повышенным содержанием кальция в иловой воде, близкие к

Таблица 6.2.8

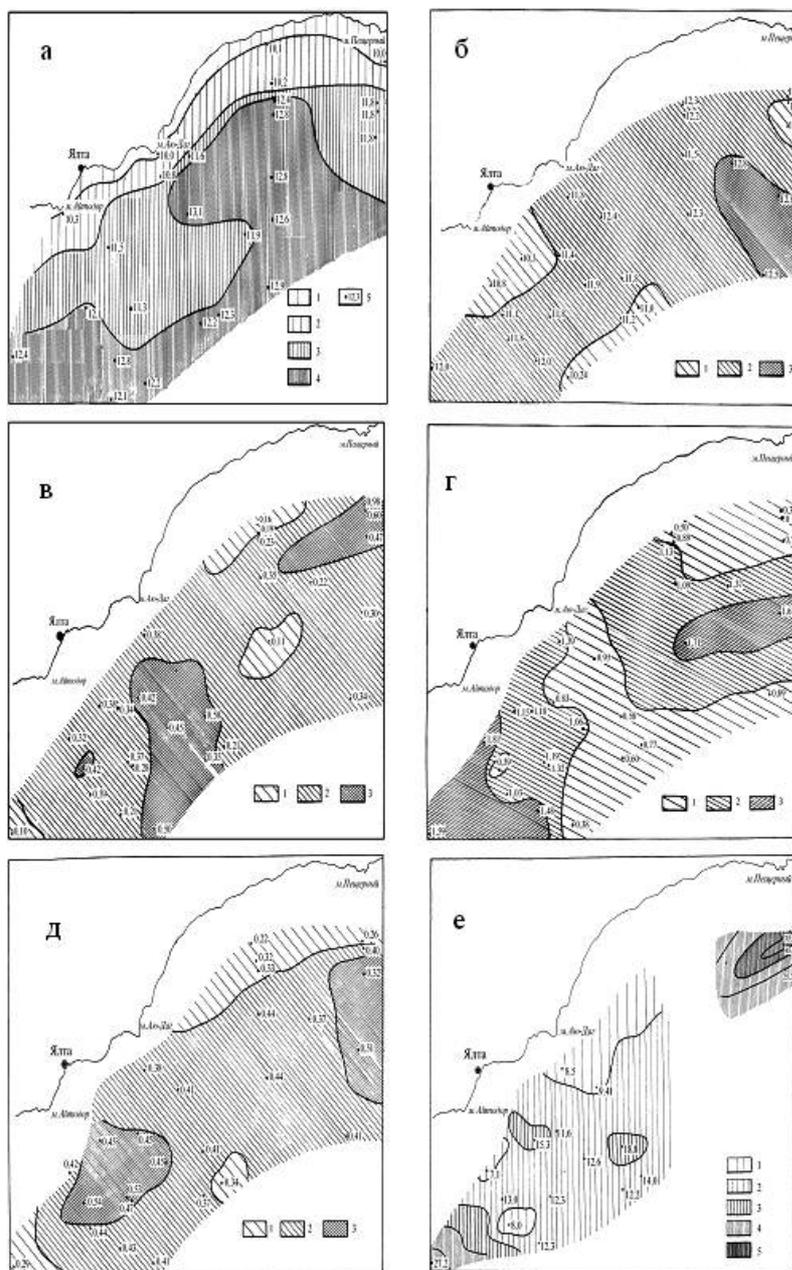
## Химический состав иловых вод Черного моря (Ялтинский полигон)

№ станции, глубина, м	Горизонт, см	ΣM г/л	мг-экв/л										n·10 <sup>2</sup>	
			Alk	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl	Br	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sub>p</sub> <sup>+</sup>	I Cl	B Cl	Alk SO <sub>4</sub>	Ca Na	Ca Mg
<u>225</u> 50	0-60	18,8	11,2	28,7	282	0,48	14,4	60	248	1,0	60	39	6	24
	60-120	18,0	16,1	279	0,49	32,5	84	197	4,0	50	91	16	16	39
	*120-180	17,4	22,0	277	0,53	36,9	88	181	4,1	71	352	20	20	42
<u>228</u> 150	0-60	19,4	3,7	27,3	0,56	13,6	61	262	0,2	28	14	5	5	23
	60-112	17,8	4,6	288	0,48	14,4	53	242	0,9	34	27	6	6	27
	*112-173	15,8	5,9	н/о	0,43	19,7	48	209	4,2	26	>>	9	9	41
<u>229</u> 150	0-50	21,7	7,1	38,3	0,55	12,4	63	296	1,6	-	19	4	4	20
	50-86	20,5	5,8	28,3	0,48	12,4	63	279	2,5	-	21	4	4	20
	*65-135	21,9	5,6	30,2	0,53	19,2	32	321	2,3	29	19	6	6	61
<u>227</u> 470	*65-135	21,2	6,2	28,9	0,48	45,7	63	258	2,4	30	21	18	18	72
	0-50	21,5	5,4	27,9	0,48	15,4	67	290	-	46	19	5	5	23
	50-110	20,0	6,9	17,9	0,49	22,4	55	269	3,5	22	39	8	8	41
<u>242</u> 1370	*110-160	19,1	6,9	17,2	-	26,3	56	249	3,4	18	40	11	11	47
	Прид. в.	22,5	3,8	34,9	-	14,1	70	304	0,8	-	11	5	5	20
	0-9	23,6	3,3	39,5	0,55	13,0	71	321	2,6	32	8	4	4	18
<u>2000</u>	9-28	22,6	4,0	35,4	0,54	13,2	69	305	2,2	20	11	4	4	19
	28-60	22,4	3,7	32,7	0,54	15,7	68	302	2,3	24	11	5	5	23
	60-93	22,3	2,9	32,5	0,53	16,5	67	301	2,3	20	9	6	6	25
<u>230</u> 50	115-165	21,6	3,4	30,8	0,54	20,9	64	286	2,3	17	11	8	8	33
	0-50	22,0	11,1	28,1	0,54	22,8	78	280	1,7	50	40	8	8	29
	50-88	22,0	19,6	22,9	0,51	14,8	75	288	3,4	42	86	5	5	20
<u>230</u> 50	88-160	21,0	22,9	16,2	0,65	21,4	78	261	2,6	40	141	8	8	28
	0-50	18,3	11,0	21,4	0,44	9,4	55	250	5,0	50	51	4	4	17
	50-100	18,0	23,4	2,1	0,60	2,4	54	251	12	65	1127	1	1	4
<u>230</u> 50	100-146	18,3	22,3	3,7	0,61	0,8	51	259	9,9	50	595	0,3	0,3	2

Таблица 6.2.8 (окончание)

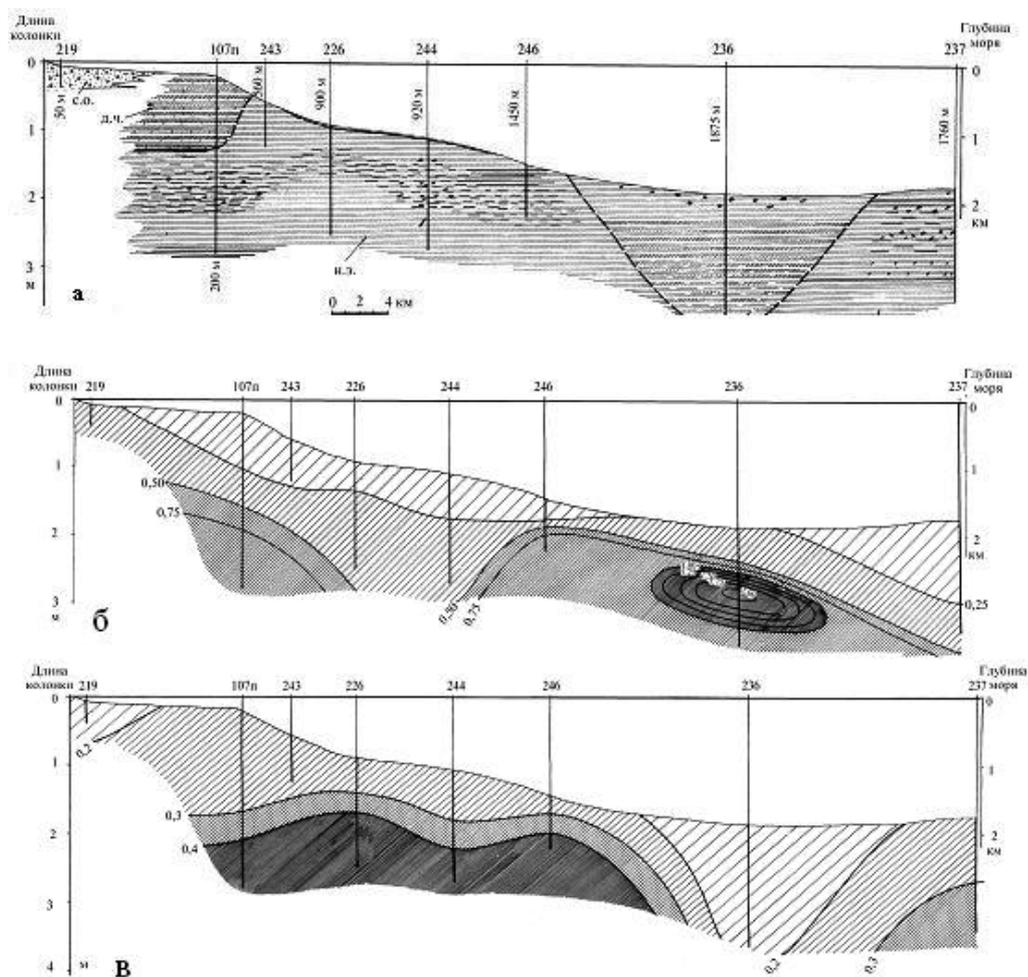
№ станции, глубина, м	Горизонт, см	ΣМ г/л	мг-экв/л							п·10 <sup>5</sup>				п·10 <sup>2</sup>			
			Alk	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> Na <sub>p</sub> <sup>+</sup>	I Cl	B Cl	Alk SO <sub>4</sub>	Ca Na	Ca Mg			
<u>231</u> 200	0-40	21,1	19,0	9,8	333	0,55	8,8	64	290	5,9	42	195	3	14			
	40-113	21,5	31,5	330	0,55	6,4	57	301	8,5	51	1375	2	11				
	113-170	20,3	17,6	328	0,54	8,0	76	269	17	43	264	3	10				
	170-237	19,8	16,0	н/о	0,54	12,8	63	269	26	26	>>	5	20				
<u>232</u> 500	0-40	21,3	13,7	334	0,53	11,6	66	290	2,5	34	72	4	18				
	*40-95	19,3	14,1	317	0,61	30,0	49	255	3,6	27	971	12	62				
	*95-135	17,8	9,9	300	0,69	20,0	53	238	9,4	19	>>	8	38				
<u>237</u> 1760	0-47	22,8	5,1	355	0,54	17,3	67	309	-	36	16	6	26				
	47-95	22,4	3,4	352	0,52	17,1	64	306	0,1	20	11	6	27				
	95-165	20,8	5,7	337	0,50	20,3	58	283	-	17	31	7	35				
<u>236</u> 1875	0-70	22,4	8,3	347	0,58	13,5	72	302	3,6	49	26	5	19				
	70-126	21,2	19,2	337	0,48	9,5	67	290	8,1	46	206	3	14				
	126-177	21,9	17,7	338	0,49	11,7	69	295	12	46	90	4	17				
	0-30	18,9	5,9	287	-	14,8	61	248	-	-	19	6	24				
<u>150</u>	50-80	18,4	8,7	281	-	12,2	60	244	-	-	33	5	20				
	165-175	17,8	9,7	274	-	11,2	57	237	-	-	47	5	20				
	225-250	17,9	13,7	279	-	9,7	53	243	-	-	108	4	18				
	Прид. в.	22,5	4,1	352	-	15,0	71	304	1,6	-	12	5	21				
<u>247</u> 1405	0-9	22,4	3,8	348	0,53	14,9	70	301	2,7	-	11	5	21				
	9-24	22,1	5,1	343	0,53	14,5	67	297	3,2	-	16	5	22				
	24-84	20,9	7,7	330	0,50	14,1	61	283	5,5	-	38	5	23				
	84-110	20,6	8,9	327	0,51	14,9	59	280	8,0	-	52	6	25				
	110-128	18,8	9,4	306	0,50	15,5	52	257	12,8	-	119	6	30				
128-170	19,0	3,5	308	0,49	17,2	51	260	18,8	-	22	7	33					

При расчете ионных отношений исходные концентрации макроионов – в мг-экв/л, микроэлементов (йода и бора) – в мг/л; остальные пояснения см. в табл. 6.2.1.



**Рис. 6.2.10.** Схема распределения на площади Ялтинского полигона.

а –  $\text{SiO}_2$  (верх), г/л: 1 –  $<10$ , 2 –  $10-11$ , 3 –  $11-12$ , 4 –  $>12$ , 5 – содержание  $\text{SiO}_2$  на станциях; б –  $\text{SiO}_2$  (низ), г/л: 1 –  $<11$ , 2 –  $11-12,5$ , 3 –  $>12,5$ ; в –  $\text{Alk}$  (низ), г/л: 1 –  $<0,2$ , 2 –  $0,2-0,4$ , 3 –  $>0,4$ ; г –  $\text{SO}_4$  (низ), г/л: 1 –  $<1,0$ , 2 –  $1-1,5$ , 3 –  $>1,5$ ; д –  $\text{Ca}$  (низ), г/л: 1 –  $<0,35$ , 2 –  $0,35-0,45$ , 3 –  $>0,45$ ; е –  $\text{N-NH}_4$  (низ), мг/л: 1 –  $<10$ , 2 –  $10-15$ , 3 –  $15-20$ , 4 –  $20-30$ , 5 –  $>30$ .



**Рис. 6.2.11.** Ялтинский полигон. Фациальный профиль от станции 219 до станции 237. а – литологический разрез, см. рис. 6.2.7а; б – коэффициент сульфатредукции  $\Delta Alk/SO_4$ ; в – коэффициент  $\Delta Ca/Mg$ .

переходу в С1-Са тип, явно тяготеют к зонам глубинных разломов. В табл. 6.2.8 приведены данные по химическому составу иловых вод на профиле ст. 225–223, а для сравнения - фоновый состав иловых вод по другим колонкам из зоны шельфа с аналогичным характером осадков (ст. 229, 110п).

## Процессы метаморфизации

### Роль восстановительных и окислительных процессов в формировании анионного состава иловых вод

При взаимодействии иловых вод новоэвксина с более солеными водами современного черноморского бассейна происходит не только повышение исходных концентраций новоэвксинских иловых вод, но и их глубокая метаморфизация. По мнению О.В. Шишкиной [1959, 1972], процесс метаморфизации иловых вод определяется в основном количеством и качественным составом органического вещества в осадках, влияющего на сульфатредукцию, и диффузионный обмен между захороненными иловыми водами и придонной водой.

Следует заметить, что интенсивность этих процессов не всегда определяется количеством ОВ в отложениях. Зачастую при низких содержаниях  $C_{\text{орг}}$  в осадках сульфатредукция протекала активнее, чем при высоких его содержаниях. Различия обусловлены скоростью минерализации ОВ, его качественным составом и условиями изоляции донных отложений от придонных вод. Количественная оценка интенсивности процесса сульфатредукции в различных фациальных условиях дана в работах И.И. Волкова [1961б, 1984], А.Ю. Леин и других исследователей [Леин, Иванов, 1981; Леин и др., 1981].

Если судить по величине коэффициента сульфатредукции  $\Delta \text{Alk}/\text{SO}_4$ , исключив пробы, в которых сульфаты не были обнаружены, то при сравнении с придонной водой происходит рост этого соотношения в большинстве проб иловой воды в несколько раз и часто в десятки раз. По высокой величине коэффициента сульфатредукции выделяются ст. 118 (СЗ шельф – рост в 30 раз), 116 (СЗ глубоководной впадины – в 50 раз), 115, 84 (западная часть впадины – в 70–75 раз), 181, 626 (Керченский пролив и подзона аккумуляции на ЮВ континентальном склоне – в 100 раз), 83-2, 76-1 (ЮЗ глубоководные районы, конус выноса отложений – в 120–150 раз) и, наконец, газонасыщенные колонки ст. 341, 348 (на крутом СЗ континентальном склоне – в 170–400 раз).

Наряду с редукцией сульфатов, в ряде колонок Прибосфорского, СЗ и ЮВ районов наблюдается рост сульфатов в иловой воде относительно «нормального» содержания их в придонной воде. Обращает внимание сходство указанных аномалий со «вторичным максимумом» сульфатов, который отмечали в иловой воде бассейнов с нормальной аэрацией вод многие исследователи и которому найдено убедительное объяснение, прежде всего в связи с процессом окисления сероводорода на окислительно-восстановительном барьере [Волков и др., 1981; Волков, 1984; Леин и др., 1981; Емельянов, 1998].

## Процессы прямой и обратной метаморфизации иловых и поровых вод

Процессы метаморфизации характеризуют общее направление и степень изменчивости химического состава иловых вод в результате их взаимодействия с твердой фазой осадка, продуктами преобразования органического вещества или за счет смешения с водами иного состава и концентрации. Наиболее наглядно закономерности развития этих процессов можно проследить с помощью физико-химической диаграммы природных вод, построенной на основе классификации их химических типов по методу М.Г. Валяшко [1962]. Далее излагается обобщенное представление о развитии этих процессов, не только в Черном море, но и в целом.

По определению Н.С. Курнакова [1896] и М.Г. Валяшко [1962], под метаморфизацией химического состава природных вод понимается процесс их взаимодействия с веществом окружающей (вмещающей) среды или живым веществом, ведущий к трудно обратимому или необратимому изменению их состава. Все разнообразие этих процессов может быть сведено к двум основным направлениям: прямой и обратной метаморфизации. Прямая метаморфизация приводит к накоплению в растворе все более и более устойчивых в растворенном состоянии компонентов, обратная, наоборот – к уменьшению содержания этих компонентов и накоплению в растворе менее устойчивых в растворенном состоянии компонентов. В результате этих процессов может измениться химический тип природной воды, как это показано на схеме (рис. 6.2.12).

Сплошными линиями дано направление прямой метаморфизации, штриховыми – обратной. Морская (океанская) вода относится к магниевому подтипу сульфатного типа. Фигуративная точка ее состава (Ок) располагается на объединенной химической диаграмме в квадрате сульфатного типа вод в точке с координатами  $e=18,15$ ,  $d=6,49$ . При прямой метаморфизации фигуративная точка иловой воды смещается в сторону хлоридного типа, при обратной – в сторону карбонатного.

Прежде чем обратиться к изучению диаграмм обобщающего характера и для того, чтобы показать основные приемы, связанные с построением и анализом подобных диаграмм, рассмотрим диаграмму, составленную по материалам экспедиции 1981 г. на Ялтинском полигоне. Диаграмма (точнее – увеличенная ее часть, примыкающая к углу  $2NaCl$ ) изображена на рис. 6.2.12; в левом верхнем углу рисунка показан ее общий вид.

На диаграмме состав придонной воды сравнительно мало отличается от состава нормальной воды океана. Большая часть проб содержит относительно повышенное количество  $NaCl$ , а одна проба –  $MgCl_2$ . В составе иловой воды прослеживается развитие процесса прямой метаморфизации. На первой стадии он в основном связан с сульфатредукцией и потерей  $SO_4$ . Основная масса фигуративных точек перемещается вниз и влево по направлению линии, соединяющей точки  $MgSO_4$  и Ок. Слабое проявление обратной метаморфизации (смещение точек в сторону угла



2NaCl) связано с влиянием берегового стока и отчасти с поступлением по разлому вод пониженной минерализации у г. Аю-Даг. Оно отразилось на составе проб иловой воды, полученных в зоне шельфа на самых мелководных станциях 96 и 91, отобранных с глубин 35 и 84 м. Там же активно развивалась редукция сульфатов.

В составе 10 проб иловой воды проявилась вторая стадия прямой метаморфизации, что привело к ее переходу в хлоркальциевый тип. Наиболее метаморфизованными оказались пробы из нижних частей колонок на ст. 100 и 101, отобранных с глубин 500 и 1500 м. Чуть меньшие преобразования претерпели пробы из колонок со ст. 97, 95 и 94 (гл. 1380, 982 и 390 м). В основном это пробы, отобранные из подзоны размыва отложений на крутых участках континентального склона. Здесь больше проявился Ca-Na обмен, тогда как Ca-Mg обмен имел подчиненное значение. Кроме того, с преобразованием химического состава иловой воды здесь тесно связан процесс аутигенного минералообразования. Важным условием для развития процессов метаморфизации является наличие контакта разнотипных литолого-стратиграфических толщ с иловыми водами разного генезиса, различающимися по составу и концентрации, т.е. неравновесное состояние исходной системы.

### **Преобразование состава катионов и закономерности метаморфизации иловых вод в колонках донных отложений**

Несмотря на существенную перестройку анионного состава при сульфатредукции, одного этого процесса недостаточно для изменения химического типа иловой воды в закрытой системе [Гричук, 1981]. Обмен с придонной водой играет двойную роль при метаморфизации иловой воды. С одной стороны, он благоприятствует сульфатредукции, пополняя убывающие сульфаты и свежее ОВ в верхнем активном слое, где она развивается с наибольшей интенсивностью, и усиливает ионный обмен в неравновесной системе осадок – иловая вода. Это способствует метаморфизации иловых вод. С другой стороны, обмен приводит к разбавлению метаморфизованной иловой воды и тормозит этот процесс. Поэтому для формирования нового химического типа вод необходим затрудненный водообмен с придонной водой и достаточная изоляция системы, что создает условия для устойчивого развития процессов метаморфизации.

Другим условием для глубокой прямой метаморфизации является стабилизация или затухание редукционного процесса, поскольку при сульфатредукции и накоплении ионов  $\text{HCO}_3^-$  ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) кальций выводится с карбонатами из иловой воды в осадок. Формирование воды Cl-Ca типа отражает противоположно направленный процесс – накопление Ca в иловой воде за счет извлечения его из осадка. При этом в хлоркальциевых водах концентрация Ca может в 2–4 раза превысить его содержание в придонной воде. Но лучше всего о степени прямой метаморфизации

иловой воды можно судить по росту соответствующих отношений кальция к Cl, Na, Mg. Наиболее метаморфизованные воды были встречены на ст. 119 (СЗ континентальный склон, на глубине 4,5 м в отложениях) и на ст. 75 (центр западной халистазы, на глубине 2,1 м в отложениях). Здесь концентрации Ca достигли 45–56 мг-экв/л (в придонной воде – 13,2 мг-экв/л). При этом отношение Ca/Cl выросло в 5 раз, Ca/Na – в 6–7 раз, Ca/Mg – в 5,5–8,5 раз.

Представление об основных особенностях иловых вод всего Черного моря и о развитии процессов метаморфизации дает положение фигуративных точек, соответствующих составу отдельных проб иловой воды, на диаграмме природных вод (рис. 6.2.13). Вблизи точки Ок (состав нормальной воды океана) расположена масса слабо измененных придонных и иловых вод, в которых сохранились соот-

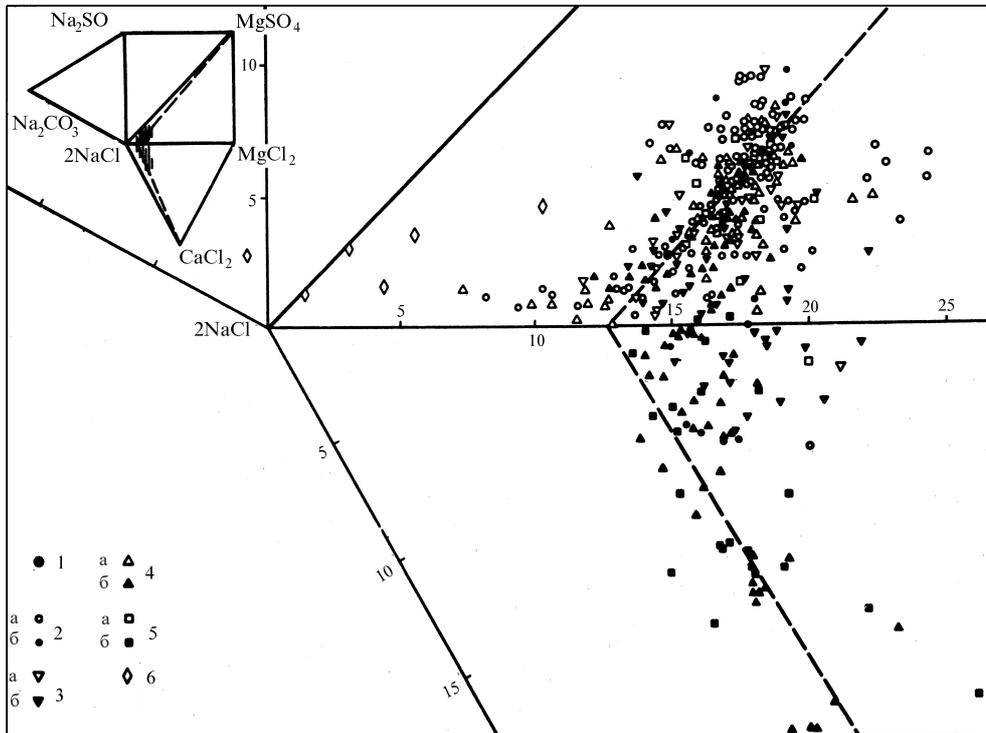


Рис. 6.2.13. Диаграмма химического состава иловых вод Черного моря.

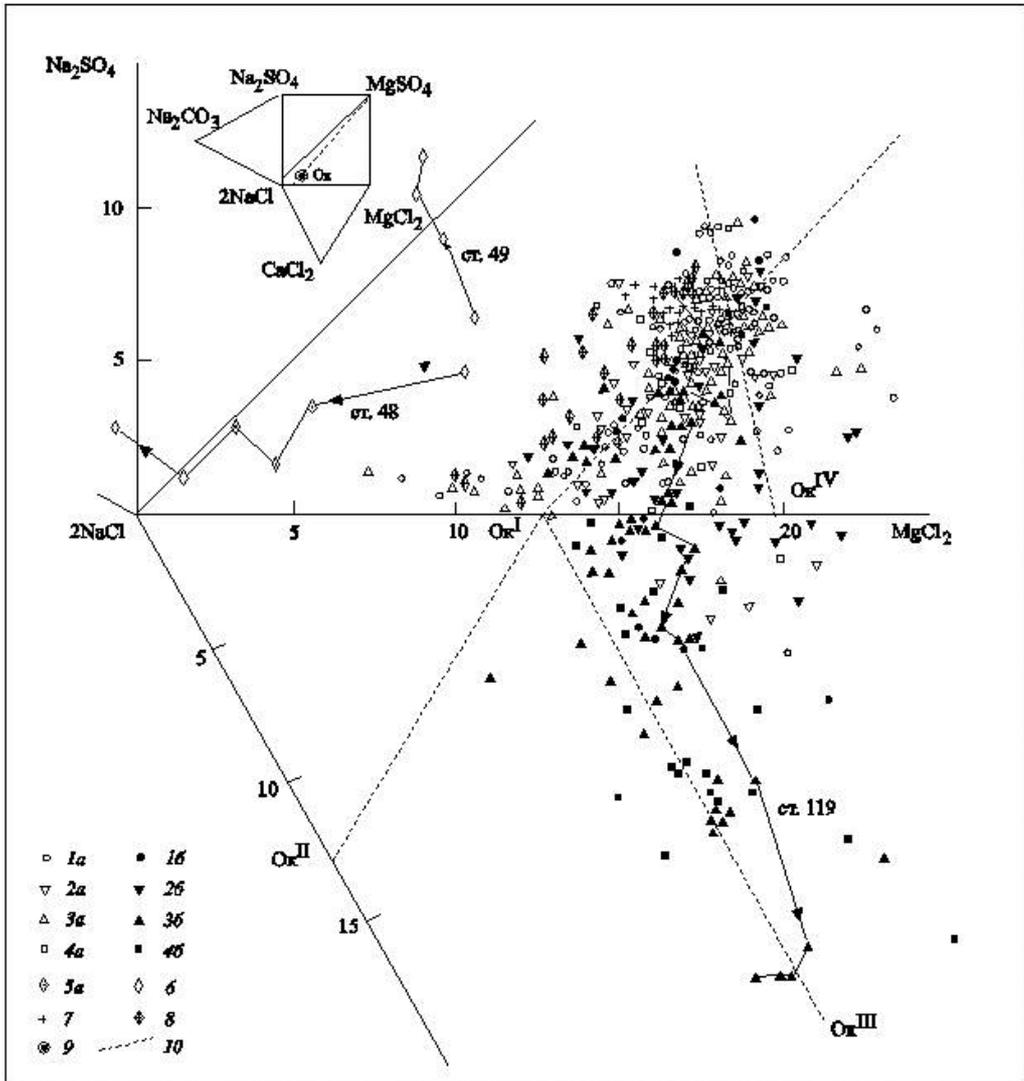
1 – фигуративная точка воды океана (Ок); 2–6 – фигуративные точки состава иловых вод: 2 – зона шельфа; 3 – зона континентального склона; 4 – подножие склона и периферия впадины; 5 – глубоководная впадина; 6 – ст. 48 из Прибосфорского района: а – современные и древнечерноморские отложения, б – новоэвксинские отложения. Вверху слева – общий вид диаграммы с указанием местоположения точек.

ношения макроионов, присущие нормальной воде Черного моря. На рис. 6.2.13 выделены фигуративные точки проб иловой воды из зон шельфа, континентального склона, его подножья и глубоководной впадины. Отдельно показаны точки, в которых проявился процесс обратной метаморфизации.

Переход фигуративных точек сверху вниз и по часовой стрелке от точки Ок отражает направление прямой метаморфизации. Пересечение горизонтальной линии указывает на изменение химического типа вод от сульфатно-магниевого подтипа сульфатного типа в хлоридный (хлоркальциевый) тип. Перемещение точек влево, вверх и против часовой стрелки свидетельствует о развитии процесса обратной метаморфизации.

Можно видеть, что большая часть фигуративных точек размещается вдоль пунктирной линии, которая проведена через точку Ок от  $MgSO_4$  к  $CaCl_2$ . На первом этапе метаморфизации, связанном с редукцией и потерей сульфатов, основная масса точек перемещается вниз к горизонтальной линии  $2NaCl-MgCl_2$ . Ниже этой линии располагаются точки иловых вод хлоридного типа, которые в основном приурочены к новоэвксинским отложениям из колонок, отображенных в нижней части континентального склона и в глубоководной впадине. Как уже отмечалось, наиболее сильно метаморфизованные воды были встречены на ст. 119, в колонке с крутого участка континентального склона, и на ст. 75 из западной части глубоководной впадины. Часть точек, соответствующих все более глубоким пробам в колонках, перемещалась влево (например ст. 48), что указывает на направление обратной метаморфизации [Гурский, Валяшко, 1977]. В целом интенсивность метаморфизации иловых вод сильнее проявлена в западной части Черного моря, чем в восточной. В западной части впадины и на склоне, а иногда и на шельфе чаще встречаются хлоридные иловые воды на меньшей глубине в колонках и с большей степенью преобразования, чем в восточных районах. Вероятно, это связано с более сильным влиянием на западе основных источников водного стока – Босфора и Дуная, приносящих более соленую и пресную воды.

На рис. 6.2.14 представлена диаграмма химического состава иловых вод верхнего 10-метрового слоя донных отложений, составленная в основном по нашим материалам и данным О.В. Шишкиной [1972] для Черного, Средиземного (без рассолоносных впадин), Охотского, Берингова морей, ряда глубоководных желобов и пелагических частей Тихого, Атлантического, Индийского океанов (без рифтовых зон). Точки также нанесены на укрупненную часть диаграммы, а в левой верхней части рисунка дан общий ее вид. Несмотря на огромный охват различных районов Мирового океана, можно видеть, что в них наблюдаются те же основные направления процессов метаморфизации, которые уже отмечались при рассмотрении диаграммы по Ялтинскому полигону, другим полигонам и внутренним морям. Расширился лишь диапазон произошедших изменений и степень (глубина) прямой метаморфизации иловых вод. Следует отметить, что



**Рис. 6.2.14.** Диаграмма химического состава иловых вод Черного моря, океанов, внутренних и окраинных морей (верхний 10-метровый слой донных отложений).

1–6 – фигуративные точки химического состава иловых вод Черного моря (а – из современных и древнечерноморских отложений, б – из новозэксинских отложений): 1–4 – фациальные зоны: 1 – шельф, 2 – континентальный склон, 3 – подножие континентального склона и периферийная часть глубоководной впадины, 4 – глубоководная впадина; 5–6 – станции: 5 – 48; 6 – 49; 7–8 – фигуративные точки состава иловых вод океанов и окраинных морей (по данным О.В. Шишкиной [1972] и нашим): 7 – пелагических областей Тихого, Атлантического, Индийского океанов, 8 – Охотского, Берингова, Средиземного морей, Курило-Камчатского и Японского желобов; 9 – точка нормальной воды океана; 10 –  $\text{Ox}^{\text{I}}$ – $\text{Ox}^{\text{IV}}$  – основные теоретические направления метаморфизации вод.

практически все фигуративные точки из пелагиали океанов не испытывают существенной метаморфизации и тяготеют к местоположению точки Ок (состав нормальной воды океана). Наиболее глубокая метаморфизация иловых вод наблюдалась в колонках донных отложений из Черного моря, что еще раз подчеркивает его уникальность, отмеченную во введении. Для иллюстрации на рис. 6.2.14 линией со стрелками показана траектория движения фигуративных точек в колонке ст. 119 из западной части Черного моря при послыном отборе проб иловой воды по горизонтам сверху вниз. Эта траектория указывает направление прямой метаморфизации.

Обратной метаморфизации соответствуют траектории движения фигуративных точек в колонках ст. 48 и 49, отобранных нами в районе Босфора с глубины около 2 км у подножия крутого континентального склона и в устье подводного каньона [Гурский, Валяшко, 1977].

## Заключение

Проведено крупное региональное обобщение материалов по химическому составу литогидросферы Черного моря за период исследований начиная с 60–70-х годов прошлого века до настоящего времени. Исследования охватывают западную и восточную части моря и включают прибрежные и приустьевые районы, шельф, континентальный склон и всю глубоководную впадину. Изучены сотни проб и колонок донных осадков, представляющих современные, древнечерноморские и новозвксинские отложения.

В статье основное внимание было обращено на представление данных по макросоставу иловых вод, выявление закономерностей их формирования, основных путей преобразования и метаморфизации основного химического состава. Частично здесь был представлен и материал по биогенным элементам и микроэлементам (В, J, Br).

Изучены закономерности формирования химического состава иловых вод на фациальных профилях и полигонах в северо-западном, юго-западном (Прибосфорском) районах, в западной и восточной частях глубоководной впадины Черного моря. Проведены работы в юго-восточном (Батумском, Рионском полигонах), Керченско-Таманском, Крымском (Ялтинском) районах. Исследован макросостав придонных и иловых вод ( $\text{Alk}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ) в колонках донных отложений длиной до 8–9 м. Используются результаты анализов примерно по 1000 пробам, отобранным на 200 станциях.

Анализ макросостава иловых вод сочетался с детальным изучением литологического состава осадков и органического вещества, потенциметрическими измерениями pH и Eh, определением биогенных компонентов и характерных индикаторных микроэлементов.

На основании проведенных исследований может быть сделан ряд выводов:

1. Установлено, что градиент хлорности на границе придонная вода – иловая вода в большинстве случаев положителен и связан с влиянием гравитационного фактора. Величина градиента – 0,2–0,5 г/кг, в редких случаях 1–1,7 г/кг. Отрицательный градиент чаще связан с лавинной седиментацией, склоновыми процессами, диффузией опресненных вод новоэвксинских отложений и не превышает 0,1–0,3 г/кг.

2. Изменения суммарной минерализации и хлорности иловых вод в колонках связаны с первичной соленостью бассейнов седиментации, в которых формировались отложения, представленные современными, древнечерноморскими и новоэвксинскими слоями и последующими процессами гравитационного и диффузионного выравнивания концентраций. Наибольшая соленость отмечается в верхних горизонтах отложений и достигает 24 г/кг ( $Cl = 13,2$  г/кг) для большей части акватории, а для Прибосфорского района – до 25,5 г/кг. Пониженная соленость иловых вод приурочена к новоэвксинским отложениям. Минимальное содержание хлора на ст. 120 в западной части глубоководной впадины составило 6,1 г/кг ( $\Sigma M = 10,0$  г/кг) на глубине 6–6,5 м. Отношение  $\Sigma M/Cl$  для верхних горизонтов иловой воды в большинстве случаев близко к нормальному соотношению  $S/Cl = 1,807$  для глубинных вод Черного моря. В колонках это соотношение изменяется в диапазоне 1,97–1,62 и в основном понижается сверху вниз.

3. В колонках донных отложений по  $Cl$  и  $\Sigma M$  выделены 2 зоны: верхняя – с явным понижением этих величин с глубиной по колонкам, и нижняя – относительно стабильной солености, в которой процесс осолонения вод новоэвксинского бассейна сильно замедляется. Формирование верхней зоны связано с гравитационно-струйным, конвективным выравниванием концентраций, а нижней – преимущественно с процессами диффузионного обмена. Уровень минимальной солености и хлорности в нижней зоне не одинаков для различных колонок и колеблется от 10 до 15,4 г/кг по  $\Sigma M$  и от 6,1 до 9,3 г/кг по  $Cl$ . Различия связаны с разной проницаемостью осадков, обусловленной скоростью седиментации, гранулометрией и литологическими особенностями донных отложений.

4. Сульфатредукция, широко развитая в донных осадках Черного моря и приуроченная в основном к отложениям голоцена, приводит к существенной перестройке анионного состава иловой воды: удалению  $SO_4$  и повышению  $Alk$  ( $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ), затем осаждению  $Ca^{2+}$  в виде  $CaCO_3$ . Это отражает первую стадию метаморфизации химического состава иловой воды. О характере этого процесса можно судить по величине отношения  $Alk/SO_4$ , названного нами «коэффициентом сульфатредукции». Развитие сульфатредукции определяется фациальной обстановкой седиментогенеза, скоростью минерализации ОВ, его качественным составом и условиями изоляции системы донных отложений от придонных вод. Наряду с сульфатредукцией в ряде колонок проявлено небольшое повышение концентрации сульфатов, связанное с вторичным ростом  $SO_4$  при окислении  $H_2S$  и сульфидов на окислительно-восстановительном барьере.

5. Вторая стадия прямой метаморфизации иловой воды связана с эпигенетическим осолонением захороненных вод новоэвксинского бассейна, накоплением кальция в бессульфатных иловых водах за счет катионного обмена Mg и Na жидкой фазы на Ca, извлекаемый из твердой фазы осадка. В основном этот процесс приурочен к новоэвксинским отложениям, хотя иногда захватывает и древнечерноморские илы. Это приводит к формированию метаморфизованных иловых вод хлоркальциевого типа, в которых содержание Ca может в 3–4 раза, а по отношению к Na и Mg в 6–8 раз превышать его исходные концентрации в придонной воде.

Гораздо реже проявлен процесс обратной метаморфизации иловых вод. Он выявлен в отдельных колонках на конусах выноса по периферии глубоководной впадины в районе Босфора и у побережья Кавказа. Это связано с процессами переотложения илов, лавинной седиментацией и грязевым вулканизмом. Обычно он отражает эпигенетическое опреснение иловых вод, с которым связан и процесс вторичного окисления сероводорода и сульфидов. В результате в отложениях могут появиться воды сульфатно-натриевого подтипа и карбонатного типа. Последние были встречены на одной глубоководной станции в Прибосфорском районе и в кратере грязевого вулкана к ЮВ от Крыма. Процессы метаморфизации сильнее проявлены в западных районах моря.

6. На фациальных профилях, пересекающих шельф, континентальный склон и глубоководную впадину, наблюдается закономерное увеличение минерализации иловых вод в разновозрастных слоях, связанное с проявлением циркумконтинентальной гидрохимической зональности. Локальные проявления субмаринной разгрузки вод в основном пониженной минерализации отмечены вдоль разломов и в зонах дробления и трещиноватости на Ялтинском полигоне и на отдельных участках ЮВ побережья Кавказа. Наиболее значимые проявления эпигенетического характера связаны с развитием грязевого вулканизма, проявленного у подножия склона и в глубоководной впадине к югу от Крыма.