

© Е.Г. Тихоненкова, А.А. Пасынков, Н.М. Иванютин, 2010

Крымское отделение Украинского государственного геологоразведочного института, г. Симферополь

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДАХ СОПРЕДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ОЗЕРА ДОНУЗЛАВ И ЧЕРНОГО МОРЯ

Исследование сопредельных участков озера Донузлав и Черного моря свидетельствует о том, что гидрохимические характеристики воды находятся в пределах нормативных показателей, за исключением единичных станций в озере, где концентрация ртути и фенолов превышают ПДК. Содержание тяжелых металлов в озере более высокое, чем в море и возрастает в придонном слое воды в судоходном канале, через который они попадают в Черное море.

Введение. Морская экосистема озера Донузлав с начала 60-х годов прошлого века претерпела значительные изменения в связи с проходкой канала в центральной части пересыпи, разделяющей озеро и Черное море.

До соединения с Черным морем озеро Донузлав представляло собой типичное минеральное озеро Тарханкутской группы с соленостью вод до 96 ‰ и относилось к озерам 1 класса с малой степенью метаморфизации воды. Отношение $MgSO_4/MgCl_2$ составляло 0,65.

В настоящее время на большей части озера соленость не отличается от морской (17,5 – 18,2 ‰). Лишь в местах выходов подземных вод в северо-восточной его оконечности, а также в результате весеннего таяния снега и паводков образуются участки пресной воды.

Современные флора и фауна сформировались в течение последних десятилетий и характеризуются широким видовым разнообразием, включая морские, солоноватоводные и пресноводные организмы.

Гидродинамический режим характеризуемого водоёма определяется его морфометрическими особенностями и ветровыми условиями. Господствуют в холодное время года северо-восточные ветры с наибольшими среднемесячными скоростями. С ноября по март они составляют до 6 м/сек., повторяемость их – от 40 до 52%. Смена направлений ветров вызывает нагонные и сгонные явления, обеспечивающие интенсивный обмен вод озера с морем [1].

Озеро по своей форме и геоморфологии дна отличается от других подобных водоемов Крымского полуострова. Оно вытянуто в северо-восточном направлении почти на 30 км при ширине от 300 до 800 м, лишь на крайнем юго-западе резко расширяясь до 10 км у пересыпи. На большей части озера преобладают глубины 4–5 м. Вдоль центральной части по всей длине проходит глубоководная котловина глубиной 12–20, а в отдельных местах – до 28 м. Юго-западный край её упирается в проран, прорытый через пересыпь и разделяющий последнюю на так называемые северную и южную косы. Канал продолжается в Черное море, составляя Донузлавс-

кий подходной судоходный канал. Эти морские транспортные сооружения естественно внесли некоторые изменения в гидродинамику озера и ближайшего взморья.

Отсутствие впадающих в озеро рек и ориентирование его вытянутости вдоль направления господствующих ветров позволяют предположить, что динамику течений в озере в основном определяют ветровые условия, формирующие сгонно-нагонные процессы. При нагоне (сгоне) генеральное направление течений в озере должно составлять $40\text{--}60^\circ$ ($220\text{--}240^\circ$) с учетом ориентировки озера. При нагоне по мере удаления от входного канала направление течения может изменяться в зависимости от направления судоходного канала (как основного водовода), рельефа дна и др. Однако такая общая схема течений может наблюдаться только в самом начале интенсивного нагона, так как поступление водных масс в верхнюю часть озера неизбежно вызовет возникновение компенсационных течений обратной направленности, что в конечном итоге приведет к состоянию динамического равновесия притока-оттока водных масс [4].

Натурные измерения, проведенные Ковригиной Н.П. и Немировским М.С. [4], показали, что при установившемся динамическом постоянстве в озере существуют два разнонаправленных потока. При нагонных ветрах компенсационные течения “из озера” охватывают верхний слой вод, а течения “в озеро” – нижний. Толщина верхнего слоя составляет 4–6 м, нижнего – 2–11 м. Средние скорости в слоях изменяются от 5 до 14 см/с, но в отдельных случаях они превышают 50 см/с. Скорости течений в нижнем слое обычно выше, чем в верхнем. Это позволяет сделать вывод о том, что воды озера, загрязненные различными видами поллютантов (тяжелыми металлами, нефтепродуктами, СПАВ и др.) беспрепятственно через канал попадают в открытое море и дальше вовлекаются в общую систему циркуляции.

Методы опробования. Результаты. Опробование морских вод проводилось в первых числах ноября 2006 г. в сопредельных частях озера и Черного моря в режиме затухающего шторма.

Пробы отбирались из поверхностного и придонного слоев, в которых определялись на борту корабля температура, соленость, плотность, концентрация кислорода (аналитик С.И. Кондратьев). Воды придонного слоя анализировались, кроме того, на наличие тяжелых металлов (ТМ), нефтепродуктов (НП), фенолов (Ф), поверхностно-активных веществ (ПАВ) в лаборатории КО УкрГГРИ атомно-абсорбционным методом на приборе Хитахи Z-7000 (зав. отделом Сузов Г.В.).

Закономерности распределения основных гидрологических показателей и кислорода показаны на рис. 1–4.

Температура воды в ноябре изменялась от 9 до 11°C и увеличивалась от взморья вглубь озера, что вероятно связано с более сильным прогревом воды на мелководье (рис. 1).

Соленость вод в ноябре 2006 года увеличивалась с юго-востока от $17,6\text{--}17,7\text{‰}$ на поверхности и $17,8\text{‰}$ у дна, на северо-запад до $17,9\text{‰}$ на поверхности и $18,0\text{‰}$ у дна, что связано с постоянным подтоком соленых черноморских вод и увеличением глубины на взморье (рис. 2).

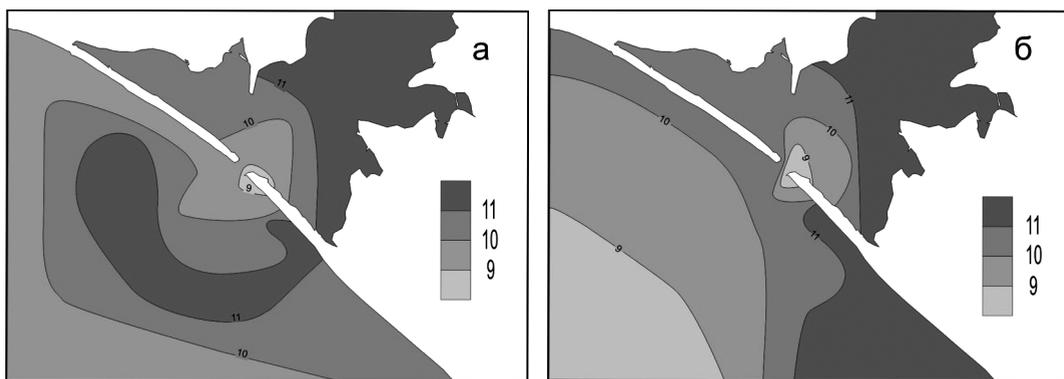


Рис. 1. Распределение температуры воды в озере Донузлав и на его взморье в ноябре 2006 г.: на поверхности (а) и у дна (б), °С

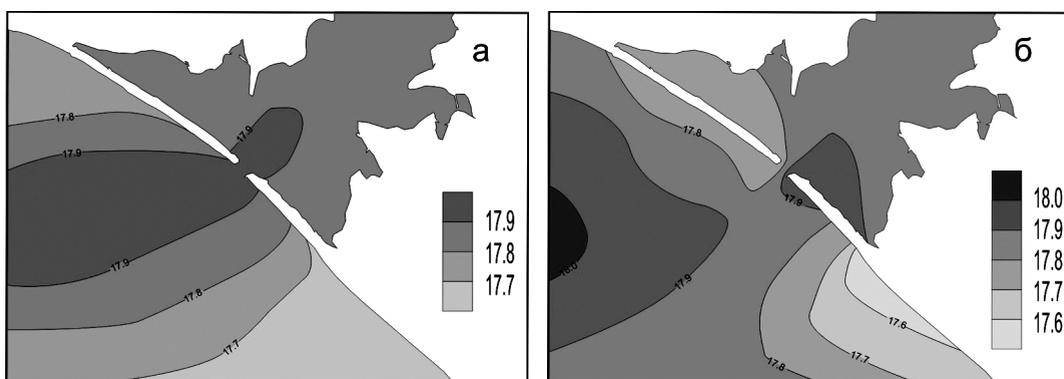


Рис. 2. Распределение солёности воды в озере Донузлав и на его взморье в ноябре 2006 г.: на поверхности (а) у дна (б), ‰

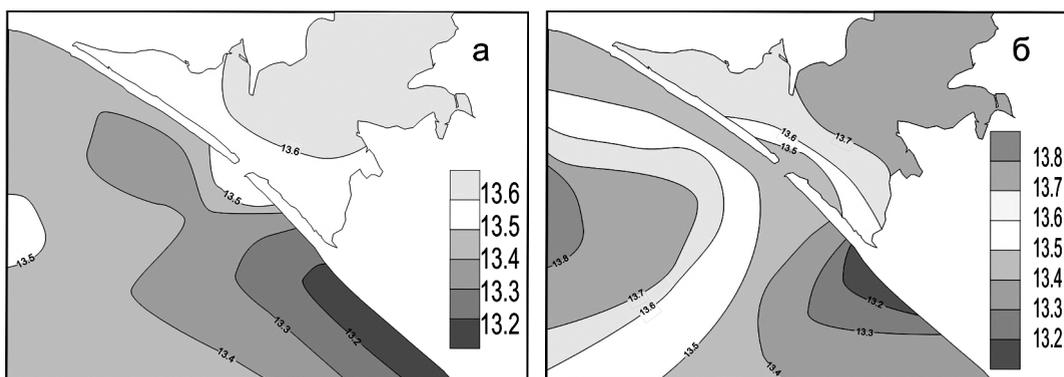


Рис. 3. Распределение условной удельной плотности воды в озере Донузлав и на его взморье в ноябре 2006 г.: на поверхности (а) у дна (б)

Плотность вод изменяется по такой же закономерности, что и солёность и увеличивается с юго-востока от 13,2 на поверхности и 13,4 у дна, на северо-запад до 13,5 на поверхности и 13,8 у дна (рис. 3).

Содержание кислорода в морской воде увеличивается от взморья 6,6 мл/л на поверхности и 6,4 мл/л у дна вглубь озера до 6,8 мл/л на повер-

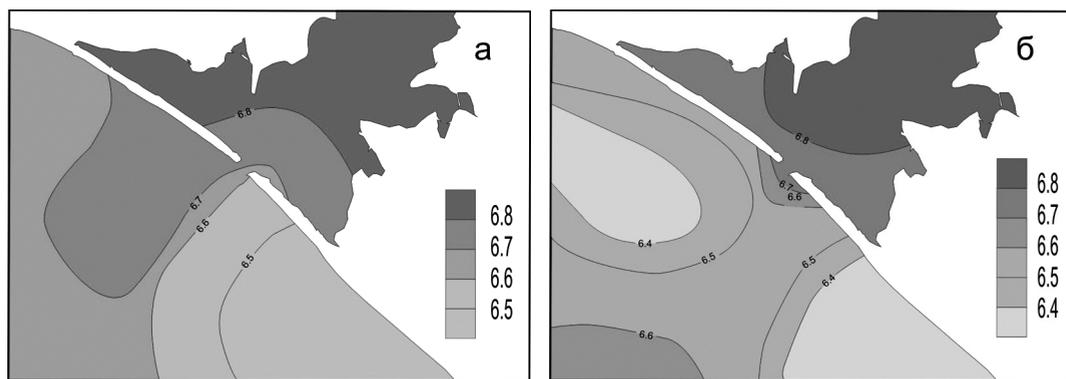


Рис. 4. Распределение кислорода в водах озера Донузлав и на его взморье в ноябре 2006 г.: на поверхности (а) у дна (б), мг/л

хности и у дна, что соответствует достаточному уровню насыщения вод кислородом в данный период (рис. 4).

В придонных водах определялась наиболее опасная группа ТМ 1 и 2 классов опасности (Hg, Cd, As, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr) и железо.

Кадмий в водах озера выявлен в трех пробах из четырех отобранных в количестве $<0,001-0,13$ мкг/дм³, среднее содержание составляет 0,055 мкг/дм³. В водах Черного моря кадмий обнаружен в четырех пробах из четырнадцати при максимальном содержании 0,108 мкг/дм³.

Содержание кадмия в водах характеризуемого региона ниже допустимого – до 0,026 ПДК. Повышенные концентрации этого элемента как в озере, так и в море приурочены к судоходному каналу и распространяются на

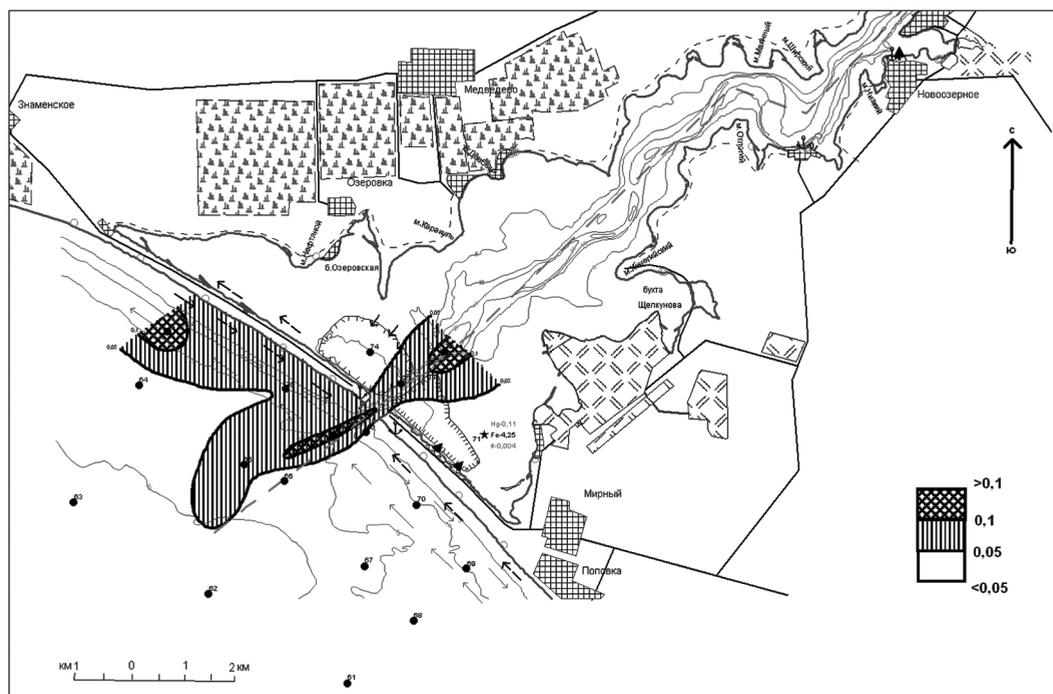
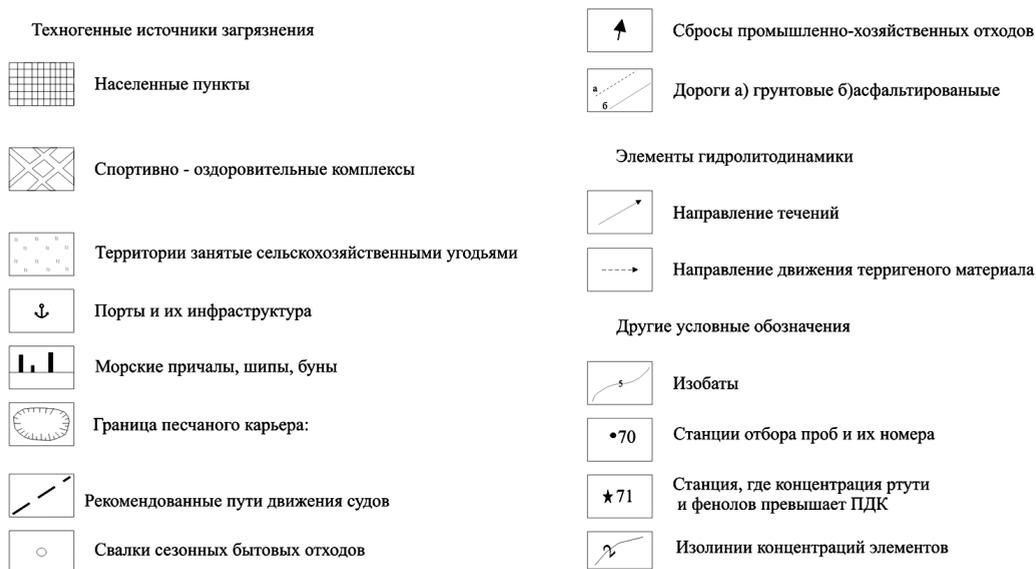


Рис. 5. Схема распределения содержания Cd в придонном слое морской воды в районе озера Донузлав в ноябре 2006 г., мкг/дм³ (условные обозначения см. на с. 79)

Условные обозначения к рис. 5–8



взморье к северо-западу вдоль Северной косы до границы исследуемого участка (рис. 5).

Концентрация свинца (рис. 6) достигает в водах озера 0,68, моря– 0,78 мкг/дм³. В форватере концентрация свинца наиболее высокая (0,42–0,68 мкг/дм³) и максимальных значений достигает вблизи прорана. В море не-

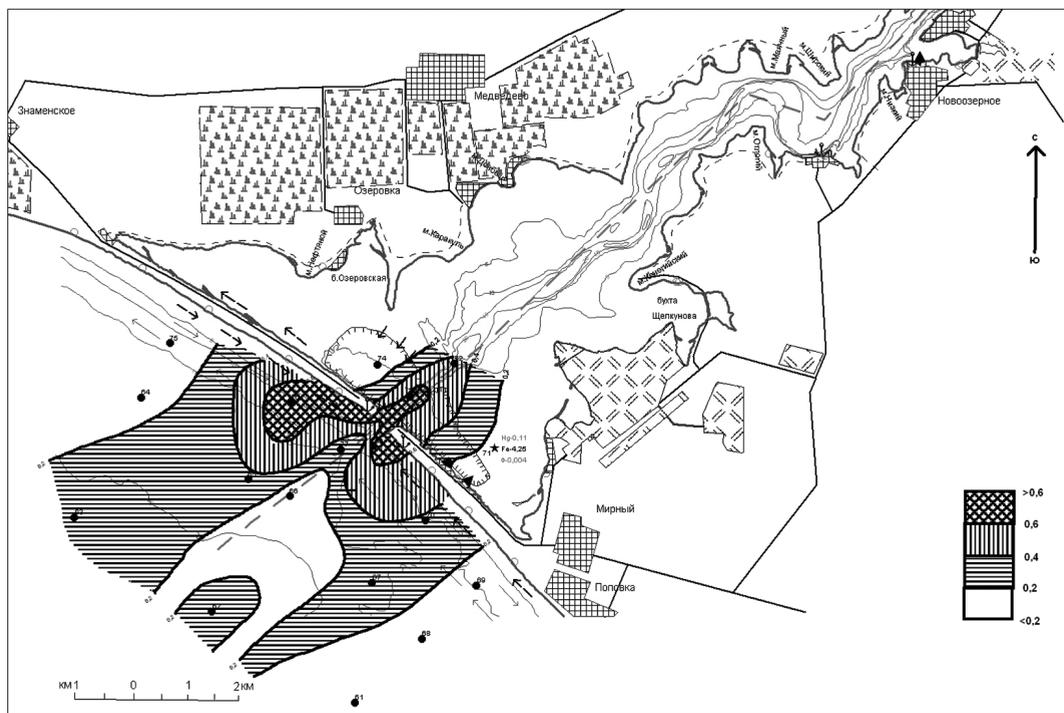


Рис. 6. Схема распределения содержания Рb в придонном слое морской воды в районе озера Донузлав в ноябре 2006 г., мкг/дм³ (условные обозначения см. выше)

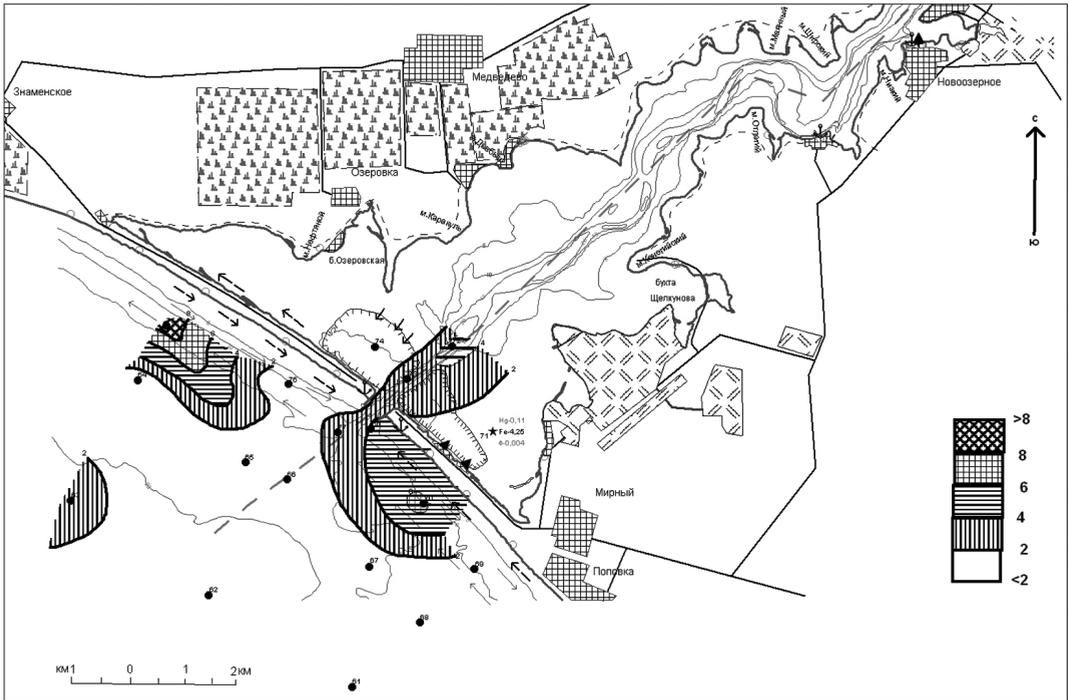


Рис. 7. Схема распределения содержания Zn в придонном слое морской воды в районе озера Донузлав в ноябре 2006 г., мкг/дм^3 (условные обозначения см. на с. 79)

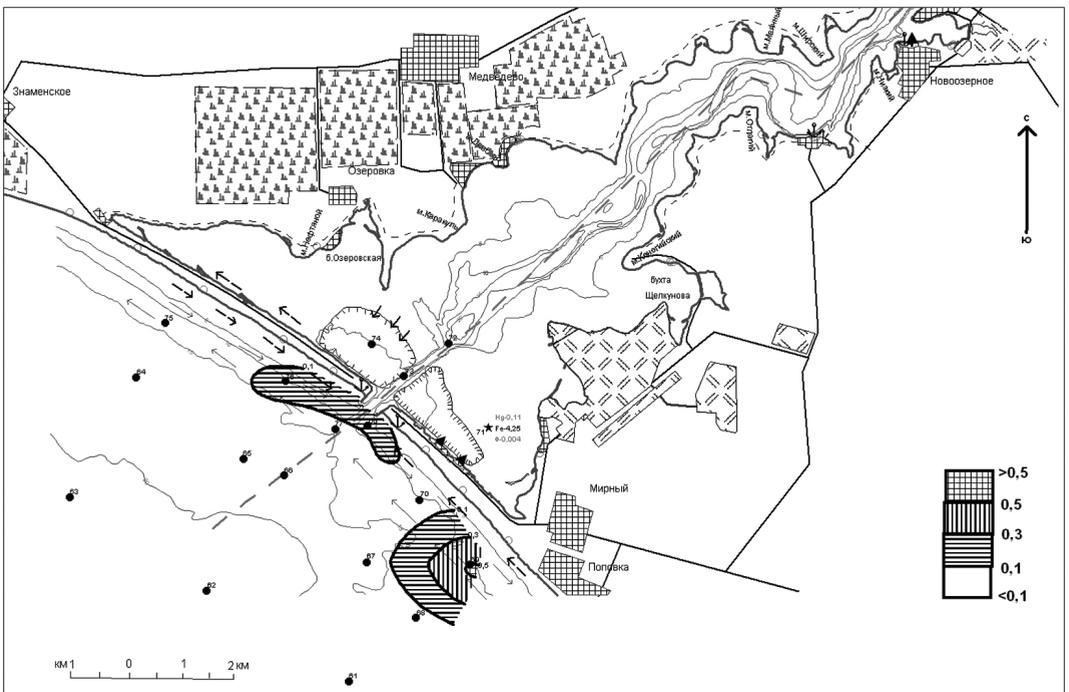


Рис. 8. Схема распределения содержания Sr в придонном слое морской воды в районе озера Донузлав в ноябре 2006 г., мкг/дм^3 (условные обозначения см. на с. 79)

значительное обогащение свинцом также наблюдается вблизи прорана и к юго-востоку и северо-западу от него. Точка с максимальным содержанием свинца расположена в 1500 м к северо-западу от подходного канала и в 1000 м от берега Северной косы. На остальной части опробованного участка воды содержат меньше количество этого элемента. Среднее содержание его в водах Черного моря составляет 0,27 мкг/дм³. Загрязнение свинцом неопасное – до 0,078 ПДК.

Цинк обнаружен далеко не во всех пробах: в озере – в двух из четырех в количестве до 4,1 мкг/дм³, в море – в 40 % проб от 1,0 до 8,8 мкг/дм³. Эти данные не превышают допустимые нормы – до 0,176 ПДК. В озере (рис. 7) значимые концентрации приурочены к судоходному каналу, прорану и не прерываясь образуют участок размером 2,5х3,5 км у Южной косы. Кроме того, к северо-западу от судоходного канала у точки № 75 наблюдается максимально высокое содержание цинка.

Хром выявлен лишь в водах моря в трех пробах (0,13 – 0,55 мкг/дм³) вблизи прорана и у восточной границы характеризуемой территории (рис. 8).

Содержание железа в исследуемых водах ниже аналитического нуля (0,2 мкг/дм³) за исключением одной пробы № 71, в юго-восточной части озера, где этот элемент выявлен в количестве 4,25 мкг/дм³ (0,085 ПДК).

Уровень концентрации фенолов не превышает аналитический нуль, за исключением одной пробы № 71 в юго-восточной части озера, где их содержание составляет 0,004 мг/дм³ (4ПДК). Концентрации As, Ni, Co, Cu, а также НП и ПАВ оказались ниже чувствительности аналитического метода и поэтому закономерности распространения их выявить не представилось возможным. Для остальных упомянутых компонентов характерно неравномерное распределение (см. таблицу).

В закономерностях распределения выявленных в придонных водах ТМ и органических компонентов наблюдаются некоторые особенности. Так ртуть, фенолы, железо определены в значимых количествах, причем концентрация первых двух компонентов – выше ПДК лишь в юго-восточном заливе озера, берега которого отличаются наиболее густой заселенностью. Накопление указанных компонентов может быть связано с коммунально-бытовыми отходами и другими видами хозяйственной деятельности.

Повышенные концентрации кадмия, свинца, цинка тяготеют к подходному каналу и глубоководному фарватеру озера. В Черном море к северо-западу и юго-востоку от прорана вблизи косы наблюдаются Pb, Zn, а шлейф кадмия распространяется лишь на северо-запад и вдоль судоходного пути. Накопление этих элементов в морской среде, видимо, связано с судоходством (см. рис. 5–8).

Значимые содержания хрома выявлены лишь в водах моря в ближайших к косе точках вблизи прорана и у юго-восточной границы характеризуемой площади также имеют техногенное происхождение.

В общем, распределение точек, где чувствительность анализов позволила выявить микроэлементы, весьма неравномерное, часто в виде единичных точек или сгруппированных по 2–3 точки. Прослеживаются не всегда четко выраженные закономерности распределения загрязняющих веществ в водах придонного слоя озера Донузлав и прилегающей территории Черно-

Распределение тяжелых металлов и органических веществ в водах озера Донузлав и Черного моря (мкг/дм³)

Компонент	ПДК	Озеро Донузлав, придонные воды (n=4)						Взморье озера Донузлав, придонные воды (n=14)						Черное море						Океаническая вода [2]
		С max		С ср		С min		С max		С ср		С min		Южно-Борговая площадь (n=6)		Максимальное зафиксированное содержание** [6]	Содержание в поверхностном слое [5]			
		С min	С max	С ср	С min	С max	С ср	С min	С max	С ср	С min	С max	С ср	Район Фидорфортного поля [6]						
Ртуть	0,1	<0,005	0,11*		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,026	0,024	<0,1	<0,1	<0,1	0,008-0,01	0,2		0,001			
Кадмий	5	<0,001	0,13	0,055	<0,001	0,108	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,05-0,14	0,56		0,08				
Мышьяк	10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1					0,5	3,5	0,3-2,5	0,17				
Свинец	10	<0,02	0,68	0,31	<0,02	0,78	<0,2	<2	<2	<2	<2	<2	1-1,8	17,2	1,0-3,9	0,002				
Цинк	50	<0,05	4,1		<0,05	8,8							3,1-16,3	823	3,8-46,2	0,4				
Медь	5	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<2	<2	<2	<2	1,5-4,9	148	1,6-50,4	0,3				
Никель		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05								0,4-23	0,5				
Хром	1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,55	<3	<3	<3	<3	<3	<3	0	2,8		0,2				
Кобальт		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02								0,6-3,1	0,002			
Железо	50	<0,2	4,25*		<0,2											3,9	0,06			
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,33	1,0	0,56					1,2					
СПАВ, мг/дм ³	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,23	0,109										
Фенолы, мг/дм ³	0,001	<0,001	0,004*		<0,001	<0,001	<0,001	0,019	0,038	0,0256										

Примечание:

* элемент обнаружен в единичных пробах

** Данные по экстремальным точкам северо-западной части Черного моря (дампинг, порты)

n – число проб

0,004 – концентрация превышает ПДК

го моря. Более всего точек с выявленными содержаниями микрокомпонентов находятся в пределах озера, здесь же более высокие их концентрации. Это касается Hg, Cd, Pb, Fe, фенолов. Превышают ПДК лишь содержания ртути и фенолов в одной пробе в юго-восточной приустьевой части озера.

С целью региональной оценки геохимического и экологического состояния морских вод района озера Донузлав мы провели сравнительную оценку морской среды различных участков и в различные временные периоды Черного моря (см. таблицу).

Ближайшей к изученному нами участку является площадь Южнобортная, расположенная в Каламитском заливе в 10 км южнее села Окуневка, где проводились морские работы в марте 1998 года (Пасынков, Степаняк, Деренюк и др., 1998). Содержание ртути в придонных водах здесь колеблется в небольших пределах от 0,02 до 0,026 мкг/дм³ при среднем 0,024 мкг/дм³, что в 3–5 раз ниже санитарно нормируемых показателей. Максимальное содержание ртути на этом участке наблюдается в поверхностных водах – 0,1 мкг/дм³ (1 ПДК). Содержание Cd, Pb, Cu в несколько раз ниже ПДК. Эта площадь отличается высокими концентрациями нефтепродуктов – от 6,6 до 20 ПДК, фенолов – от 19 до 34 ПДК, ПАВ – до 2,3 ПДК. Данные мониторинга на этой территории свидетельствуют о временном максимуме в колебаниях концентрации фенолов. Аналогичные максимумы за короткий период сменялись понижениями концентраций этого компонента. В период проведения работ количество фенолов при приближении к берегу возрастало в два раза, содержание ПАВ в придонном слое было ниже, чем в поверхностном; распределение нефтепродуктов в слое воды не подчиняется определенным закономерностям.

На другом исследованном полигоне, в северо-западной части Черного моря «филлофорное поле» – концентрации загрязняющих компонентов более высокие, но не превышают санитарно допустимых норм [6]. Лишь концентрация ртути здесь ниже, чем в отдельной точке озера Донузлав. Приведенные в этой же работе максимальные концентрации наиболее опасных ТМ в морской воде северо-западной части Черного моря превышают таковые на изучаемом нами участке во много раз – от 2 до 90.

Заключение. Из приведенных данных по отдельным полигонам можно сделать вывод о зависимости загрязнения ТМ от видов хозяйственной деятельности. Кадмий, в основном, накапливается в местах дампинга. Здесь же в повышенных количествах присутствуют Hg, Zn, As, Cr. Свинец и в меньшей мере Cd, Zn, Cu могут попадать в море со сбросом сточных вод портов и городских агломераций. As и Cr в наибольших количествах обнаружены на взморье реки Дунай, что свидетельствует о поступлении их в морские воды с речным стоком.

Уровень загрязнения ТМ водной среды характеризуемого региона не превышает среднего содержания по Черному морю [5] и по ряду элементов (As, Zn, Cu, Ni, Co, Fe) ниже среднего состава вод океанов.

Из сравнения уровня содержания микроэлементов в различных морских системах вытекает вывод о более высокой степени загрязнении вод Черного моря по сравнению с водами океанов Pb, Hg, Cd, что, видимо, связано с поступлением микроэлементов из антропогенных источников, а, возмож-

но, и природных, и положением Черного моря как внутриконтинентального бассейна. Последнее обуславливает незначительную смесимость его вод с водами Средиземного моря и океанов и, следовательно, накоплением в бассейне Черного моря практически всех загрязняющих веществ, поступающих из природных антропогенных источников.

Таким образом, водная среда характеризуемого нами участка озера Донузлав и прилегающей части Черного моря имеет такой же или более низкий уровень загрязнения, как и водная среда ближайших участков и Черного моря в целом, и не превышает санитарно допустимых показателей, за исключением одной станции в озере Донузлав. Для безопасного использования озера Донузлав в хозяйственной и рекреационной целях необходим контроль за коммунально-бытовыми и промышленными сбросами, а также мониторинг уровней концентрации поллютантов в его водах.

1. Еремеев В.Н., Иванов В.А. Природные условия южного и западного побережья Крыма: экологические экспертизы рекреационных возможностей и реабилитация здоровья населения. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2005. – 108 с.
2. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Т. 1, 1990 г.
3. Курнаков Н.С., Кузнецов В.Г., Дзенс-Литовский А.И и др. Соляные озера Крыма. М.-Л., Из-во АН СССР, 1936. – 278 с.
4. Ковригина Н.П., Немировский М.С. Гидрохимическая характеристика вод озера Донузлав по данным 1990-1997 гг. // Экология моря. – 1999. – Вып. 48. – С. 10–14.
5. Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсяный Е.И. Геохимия Черного моря. Киев: Наук. думка, 1982. – С. 114.
6. Стан довкілля Чорного моря. Національна доповідь України. 1996-2000 роки. Видавництво «Астропринт», Одеса, 2002. – С. 80.

Дослідження суміжних ділянок озера Донузлав і Чорного моря свідчить про те, що гідрологічні і гідрохімічні характеристики води не перевищують нормативних показників, за винятком одиничних станцій в озері, де концентрація ртуті та фенолів більші від ГДК. Концентрації важких металів в озері вищі, ніж у морі і зростають в придонному шарі води в судноплавному каналі, через який вони потрапляють в Чорне море.

Hydrochemical characteristics fall inside the standarts apart from rare instances in the lake, where percentage of Hg and phenol exceeds MPC. Content of heavy metals in the lake is higher than in the sea, it increases in groundside water in the cannel; in this way they get into the Black sea.

Получено 07.07.2010 г.