

Экспериментальные и экспедиционные исследования

УДК 551.46.09

Е.И. Овсяный, Е.А. Котельянец, Н.А. Орехова

Мышьяк и тяжелые металлы в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море)

Представлены результаты исследований содержания металлов (As, Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, V, Sr, Mn, Ti, Fe) в донных отложениях Балаклавской бухты (Черное море), проведенных в июле 2005 г. Показано, что загрязнение донных отложений металлами носит полиэлементный характер. Определены особенности изменения содержания исследованных элементов и локализация их поступлений в экосистему. По результатам оценки интенсивности техногенного воздействия на морскую среду определена группа токсичных элементов (As, Cr, Cu, Pb, Zn), которые накапливаются в донных отложениях бухты в количествах, значительно превышающих фоновые значения, характерные для осадков черноморского шельфа. Дана сравнительная оценка степени загрязнения металлами исследуемой бухты и некоторых других прибрежных акваторий.

Накопление токсичных металлов в донных отложениях (ДО) осуществляется за счет седиментации взвешенных веществ (гравитационного осаждения), сорбционных процессов на границе раздела вода – осадок и биогенной седиментации. Таким образом, ДО служат своеобразным отражением процессов, протекающих в водной толще акватории. Донные отложения являются также средой обитания бентосных организмов, состояние развития которых характеризует экосистему акватории.

При выполнении анализа содержания металлов в ДО различных участков акватории можно оценить уровень загрязнения, определить районы, которые различаются по антропогенной нагрузке, и установить характерные особенности распределения металлов-токсикантов в зависимости от природных геохимических процессов и антропогенного влияния.

Среди полузамкнутых акваторий Севастопольского региона Балаклавская бухта занимает особое место по своему географическому положению, морфометрии, ландшафтно-геохимическим характеристикам и характеру природопользования. Бухта расположена в южной части Крымского п-ова между м. Фиолент и м. Айя и представляет собой узкую (до 240 м) эстуарного типа акваторию с крутыми высокими и извилистыми берегами, протяженностью 1,4 км и глубинами от 4 до 34 м, ориентированную в меридиональном направлении. Площадь водной поверхности 236 тыс. м², объем водной массы 2840 тыс. м³, средняя глубина 12,5 м. Акватория бухты, исходя из морфометрии дна и конфигурации берегов, разделяется на мелководную часть в вершине бухты, центральную часть, южное глубоководное расширение и коленообразную узость, соединяющую две последние части [1, 2]. В вершину бухты впадает сезонный водоток – речка Балаклавка с расходом воды в сухое время года 196,9 тыс. м³/год (по данным Ю.В. Терехина, 1991 г., цитируется по работе [3]).

© Е.И. Овсяный, Е.А. Котельянец, Н.А. Орехова, 2009

Длительное время бухта подвергалась сильному техногенному воздействию, так как использовалась исключительно в качестве военно-морской базы – как гавань для военно-морских судов с производством полного комплекса специализированных судоремонтных работ. В числе других источников загрязнения следует отметить сточные воды, которые сбрасываются практически без очистки непосредственно в бухту или сопредельную мелководную часть моря: хозяйственно-бытовые стоки, сток шламовых вод Балаклавского рудокombината, сток ливневых поверхностно-склоновых вод. По данным Государственного управления по экологической безопасности г. Севастополя, ежегодный сброс в бухту неочищенных сточных вод составляет около 4,4 млн. м³.

Такое использование бухты при ограниченности водообмена с прибрежной частью моря и отсутствии должных природоохранных мероприятий привело к повсеместному загрязнению морской среды широким спектром загрязняющих веществ – нефтепродуктами, синтетическими поверхностно-активными веществами, органическими веществами-ксенобиотиками, металлами, биогенными веществами. Эта акватория за время использования в качестве военно-морской базы потеряла свое рыбохозяйственное и, в большой мере, рекреационное значение. Даже спустя десятилетие после демилитаризации морская среда бухты определяется как грязная [4]. Как известно, высокий уровень загрязнения морской среды тяжелыми металлами может приводить к снижению видового разнообразия гидробионтов. Авторы работ [5, 6] указывают на бедность видового состава донных сообществ Балаклавской бухты. Отмечаются низкие показатели биомассы, численности, видового разнообразия макрозообентоса [5]. В биотопе рыхлых грунтов встречается лишь 24 % от общего видового разнообразия моллюсков, обитающих у берегов Крыма [6].

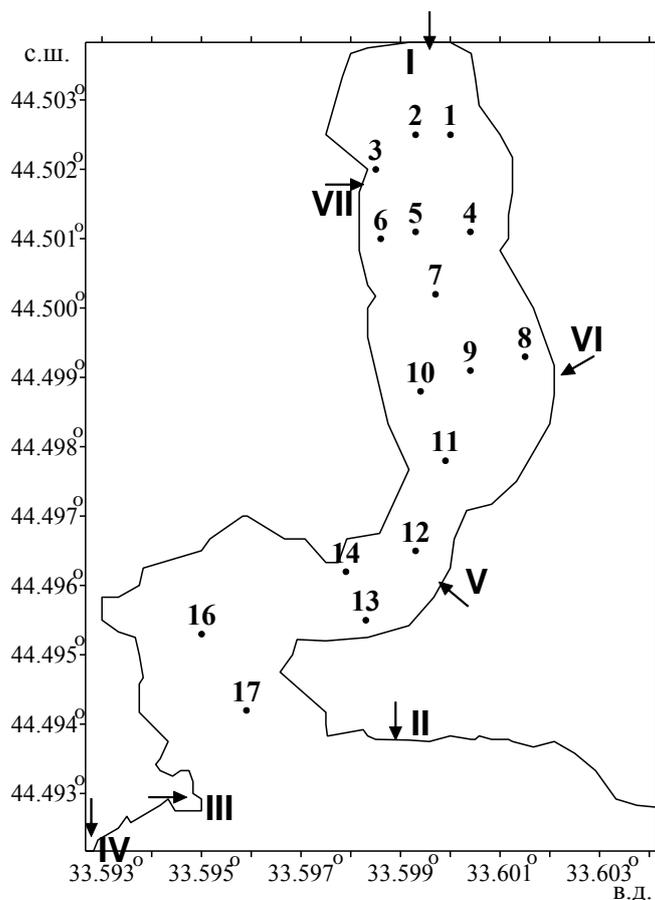
Междисциплинарное исследование состояния морской среды Балаклавской бухты было начато после закрытия военной базы в 1991 г. [1 – 7]. Однако работы по экологическому мониторингу бухты до настоящего времени не получили должного развития, хотя масштабы использования акватории для рекреационных целей расширяются.

Нам не известны публикации, в которых приводится характеристика загрязнения донных отложений Балаклавской бухты токсичными металлами. Поэтому целью представленной работы являются рекогносцировочное исследование содержания в ДО бухты мышьяка и некоторых тяжелых металлов для определения техногенных аномалий, оценка и выявление закономерностей их распределения в донных отложениях.

Материал и методы исследования. Пробы ДО были взяты при проведении съемки в июле 2005 г. Отбор проб на станциях, схема которых представлена на рис. 1, выполнялся в соответствии с рекомендациями нормативных документов ДСТУ ISO 5667-1-2003, ДСТУ ISO 5667-12-2005, ГОСТ 17.1.5.01-80, РД 52.10.556-95, МУ 43-1979 [8 – 12].

Пробы (слой 0 – 5 см) отбирались при выполнении легководолазных работ ручным трубчатым пробоотборником. Для определения содержания металлов брали только центральную часть пробы, которая не контактировала со стенками пробоотборника. Отобранную пробу тщательно перемешивали фарфоровой ложкой, освобождали от макровключений (камней, ракушек, водорослей и пр.) и помещали в подготовленные полипропиленовые пробирки с

завинчивающейся крышкой вместимостью 50 см³. После доставки в лабораторию пробы незамедлительно помещали в морозильную камеру и до анализа хранили при температуре –18° С. Срок хранения осадков не более 2 мес.



Р и с. 1. Схема станций отбора проб донных отложений и местоположение источников загрязнения в Балаклавской бухте (июль 2005 г.): I – сток р. Балаклавка; II, III – хозяйственно-бытовые стоки; IV – сброс шламовых вод от промывки руды; V – сброс ливневого стока; VI – яхтовая стоянка; VII – штольня бывшего подземного завода

Определение валового содержания металлов As, Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, V, Sr, Ti, Mn, Fe в пробах ДО выполнялось методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) с применением спектрометра «Спектроскан Макс-G» фирмы «Спектрон» (Россия). Подготовка спектрометра к работе и выполнение измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в пробах ДО осуществлялись в соответствии с «Руководством по эксплуатации» и аттестованной методикой выполнения измерений М049-П/02 [13], которые поставляются фирмой-производителем прибора совместно с программным обеспечением.

Подготовка проб к определению металлов и измерению их содержания в пробах состояла из последовательных операций по высушиванию части пробы (5 – 10 г) до постоянного веса, измельчению и просеиванию через нейлоновое сито с ячейкой 0,071 мм. Построение градуировочных характеристик выполнялось с использованием аттестованных градуировочных образцов, а для проверки правильности построения градуировочных характеристик использовались контрольные образцы.

Расчет концентраций металлов в пробах проводился с применением программного обеспечения для спектрометра «Спектроскан Макс-С». Если при измерении результат анализа по одному или нескольким элементам превышал верхнюю границу диапазона измерений (табл. 1), то в соответствии с методикой М049-П/02 проводили разбавление анализируемой пробы. Для этого использовалась смесь, состоящая из 80 % SiO₂, 15 % Al₂O₃, 5 % CaCO₃. При разбавлении проб расчет концентраций выполняли с учетом коэффициента разбавления.

Т а б л и ц а 1

Воспроизводимость метода РФА по результатам анализа стандартного образца (при $n = 8$)

Элемент	Пределы измерения [13], % мас.	СО ДСЗУ 163.1-98			
		Паспортные данные, % мас.	Измерение, среднее значение, % мас.	СКО σ_n (при $P = 95$ %)	Воспроизводимость, %
Fe ₂ O ₃ , %	1,0 - 8,0	3,91	3,28	0,098	84
TiO ₂ , %	0,24 - 1,6	0,58	0,575	0,019	99
MnO, %	0,01 - 0,095	0,095	0,093	0,0026	98
Cr, 10 ⁻⁴ %	80 - 180	300	204,36	7,625	68
Cu, 10 ⁻⁴ %	20 - 72 73 - 310	260	198,15	5,467	76
Ni, 10 ⁻⁴ %	10 - 40 41 - 380	54	54,79	2,327	99
Zn, 10 ⁻⁴ %	10 - 80 81 - 610	150	121,91	4,328	81
Pb, 10 ⁻⁴ %	25 - 280	40	20,42	3,663	51
Sr, 10 ⁻⁴ %	50 - 310	150	152,83	5,828	98
As, 10 ⁻⁴ %	20 - 30 31 - 60	5,2	9,06	0,974	57
V, 10 ⁻⁴ %	10 - 180	30,8	69,07	5,911	45

П р и м е ч а н и е: % мас. – массовая доля вещества, %.

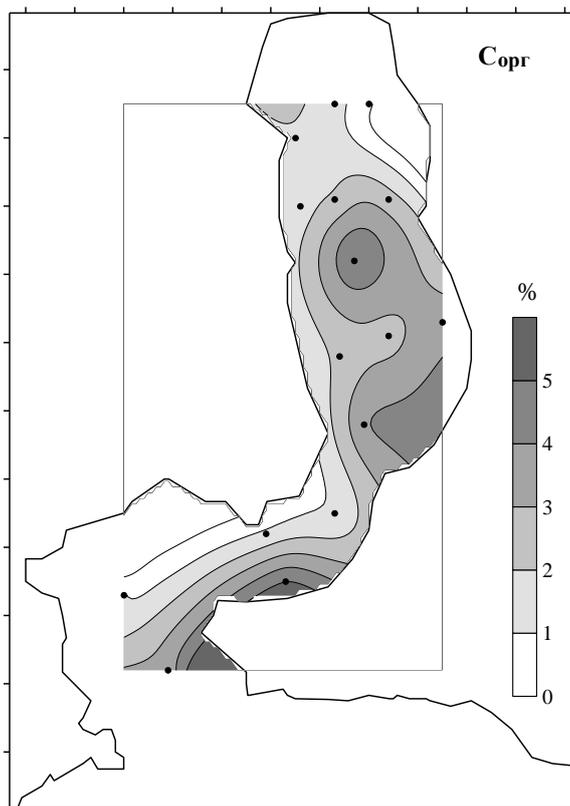
Контроль стабильности градуировочной характеристики проводили по результатам анализа двух градуировочных образцов. В качестве контрольных были использованы Государственные стандартные образцы ДСЗУ 163.1-98 и ДСЗУ 163.2-98.

Для оценки правильности измерений выполнен анализ сертифицированного донного осадка ДСЗУ 163.1-98 в восьми параллельных образцах ($n = 8$). Результат анализа (табл. 1) указывает на достаточно хорошую при геохимических исследованиях воспроизводимость метода РФА.

В пробах осадков определяли также гранулометрический состав, влажность, карбонатность и содержание органического углерода в соответствии с рекомендациями нормативных документов [14 – 17].

Результаты исследования и обсуждение. Донные отложения Балаклавской бухты представлены различными типами грунтов – от светлых песков

до черных илов. Черные илы обнаруживаются преимущественно в вершине бухты и центральной части. В южной части бухты ДО представлены светло- и темно-серыми песками с примесью ила, гальки и ракушки. Большинство проб представляют собой типично техногенные илы, содержащие примеси не природного характера (частицы угля, оплавленные частицы металла, бытовой мусор и пр.). Для них характерен тонкодисперсный состав с повышенной пластичностью и специфический запах (нефтяной, сероводородный, фекальный). Они часто обогащены органическим веществом, причем максимальное содержание органического углерода характерно для осадков, отобранных в центральной части бухты, а также в районе выхода из бухты (рис. 2).



Р и с. 2. Распределение органического углерода в донных осадках Балаклавской бухты

Самый верхний слой осадка (1 – 2 см) – наилок, представляет собой коллоидную массу (суспензию или гидрозоль) белого, бледно-желтого или бурого цвета (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

**Литолого-морфологическая характеристика
донных отложений Балаклавской бухты**

Номер станции	Донный осадок	Натуральная влажность, %	C _{орг} , % мас.
1	Ил светлый, глинистый, тонкий	93,33	0,66
2	Ил темно-серый с запахом нефти	49,87	1,58
3	Ил темно-серый с запахом нефти	47,28	1,86
4	Ил черный с запахом нефти	60,38	2,46
5	Ил черный с запахом нефти	51,14	2,25
6	Ил светло-серый, глинистый, с примесью ракушки	65,83	1,45
7	Ил темно-серый с запахом нефти	54,74	4,74
8	Ракушняк с небольшой примесью ила и песка	31,78	3,25
9	Ил темно-серый с запахом нефти	59,89	2,72
10	Ил темно-серый с запахом нефти	57,45	2,30
11	Ил светло-серый	56,15	3,87
12	Ил серый с примесью гальки и ракушки	11,43	1,29
13	Ил черный с запахом нефти	58,46	4,83
14	Ракушняк с галькой и примесью ила	32,15	1,20
16	Ил светло-серый с примесью ракушки и песка	34,05	1,24

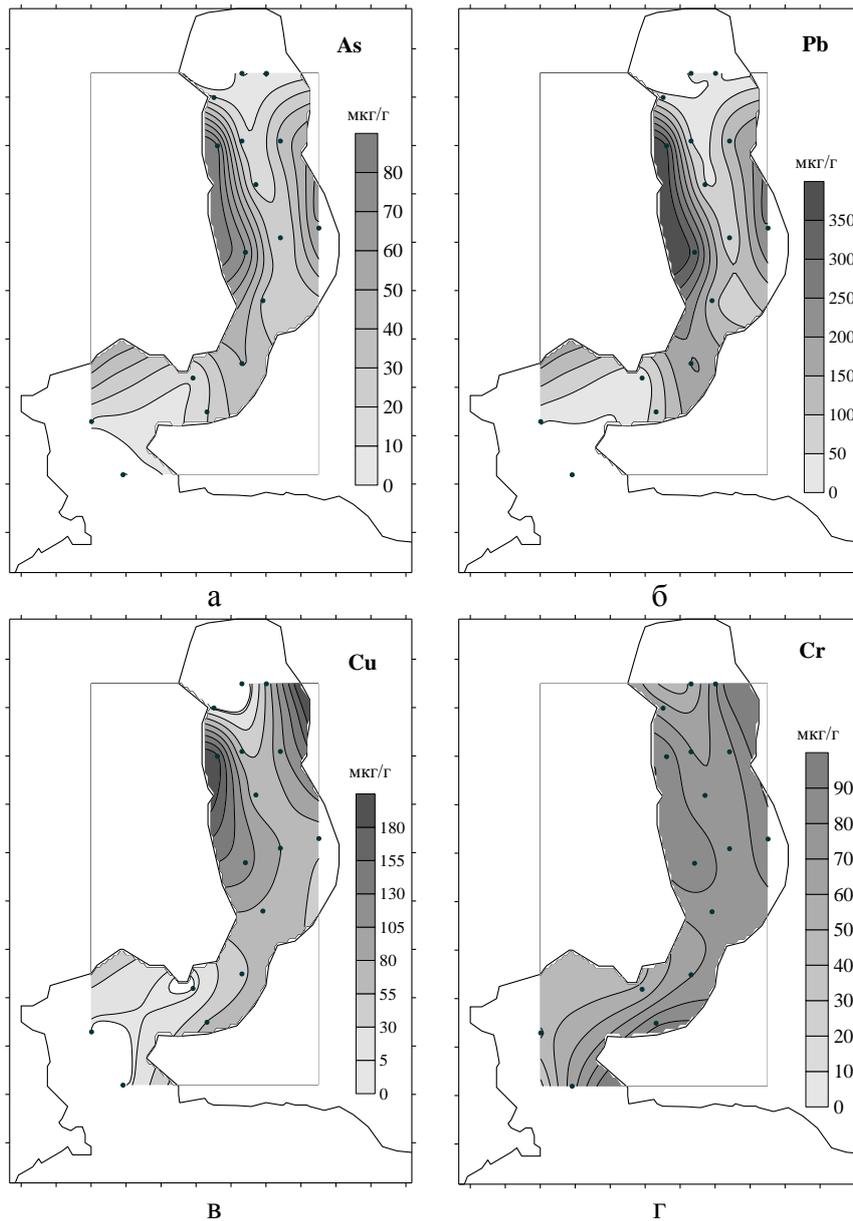
Результаты определения валового содержания металлов в поверхностном слое ДО бухты представлены в табл. 3. Анализ полученных данных показывает, что загрязнение ДО тяжелыми металлами носит полиэлементный характер. Оно формируется прежде всего такими металлами как свинец, хром, цинк, медь, мышьяк, стронций. В порядке убывания величин концентрации микроэлементы в бухте располагаются в следующей последовательности: Sr → Pb → Zn → Cr → V → Cu → Ni → As → Co, тогда как кларки химических элементов в земной коре в порядке убывания величин представлены таким образом: Sr → V → Zn → Cr → Ni → Cu → Pb → Co → As [18]. Нарушение закономерности количественного соотношения микроэлементов в земной коре является одним из признаков существования техногенной аномалии.

С целью выявления участков дна, наиболее загрязненных металлами, были составлены карты-схемы распределения валового содержания химических элементов в поверхностном слое (0 – 5 см) донных осадков. Примеры распределения некоторых из них представлены на рис. 3.

Для большинства исследуемых элементов характерно весьма неравномерное распределение концентраций по площади дна акватории. Такая особенность распределения обусловлена рядом факторов – локализацией и характером источников загрязнения, динамикой вод, гранулометрической дифференциацией вещества, геохимическими свойствами элементов и др.

Валовое содержание металлов (массовая доля, %) в ДО Балаклавской бухты (июль 2005 г.)

Номер станции	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	Cr	Co	Cu	Ni	Zn	Pb	Sr	As	V
	% мас.			$n \cdot 10^{-4} \%$								
1	3,988	0,5631	0,0429	77,20	19,39	61,96	40,10	145,3	36,99	154,8	13,67	87
2	2,911	0,4524	0,0342	57,54	14,48	0,145	34,93	101,7	36,17	158,6	13,05	70,71
3	2,569	0,4053	0,0400	64,14	12,21	< 20	36,98	94,39	28,41	164	11,09	59,74
4	4,533	0,5964	0,0505	77,70	17,42	96,37	40,59	282,3	136,5	154,2	33,64	76,52
5	3,604	0,5389	0,0534	70,25	7,975	57,71	38,30	128,6	49,57	169,2	15,50	78,78
6	4,107	0,4224	0,0301	86,43	20,37	185,8	36,39	359,1	504,0	347,4	98,4	46,42
7	4,428	0,6024	0,0551	71,57	17,45	68,21	37,11	143,9	55,94	168	16,97	86,12
8	2,487	0,3259	0,0265	82,43	7,07	69,07	29,62	221,3	225,7	593,8	52,41	29,13
9	4,269	0,5511	0,0593	75,81	12,98	79,75	42,60	152,8	75,65	152	20,64	78,71
10	4,572	0,5722	0,0481	87,25	19,09	113,7	42,18	270,5	325,7	117,6	69,20	86,35
11	4,315	0,5617	0,0597	74,36	11,72	73,38	41,99	174,4	115,7	152,4	27,96	73,92
12	2,277	0,3200	0,0312	70,08	2,51	52,36	31,15	155,7	200,5	158,7	39,91	26,36
13	3,814	0,5154	0,0367	86,26	10,1	54,49	43,34	328,5	72,21	177	19,83	81,34
14	0,470	0,2272	0,0064	41,76	<10	< 20	15,46	29,25	15,79	1214	9,08	0,78
14(2)	1,128	0,2633	0,0185	63,77	0,392	11,1	17,88	64,85	42,51	800,2	14,04	18,21
16	1,306	0,3156	0,0230	53,55	5,552	< 20	25,70	84,1	17,24	203,9	9,595	28,72
17	2,998	0,4339	0,0491	65,96	4,463	< 20	35,89	111,8	<25	239,2	2,475	60,25



Р и с. 3. Распределение мышьяка (а), свинца (б), меди (в), хрома (г) в донных отложениях Балаклавской бухты

Наибольшие концентрации свинца, хрома, цинка, меди и мышьяка обнаружены в центральной части бухты. Их локализация на этом участке наблюдается у восточного и западного берегов, тогда как на стрежне акватории концентрации значительно меньше. Загрязнение у восточного берега носит локальный характер и отмечается вблизи якорных стоянок плавсредств и у бывшей якорной стоянки плавучего дока механического завода (рис.1, VI). Более обширная площадь загрязнения ДО, которая начинается от входа в штольню бывшего подземного судоремонтного завода (рис. 1, VII), с макси-

мальными концентрациями этих элементов, наблюдается вдоль западного берега центральной части бухты. Повышенные концентрации свинца, хрома, меди, цинка наблюдаются также вдоль восточного берега коленообразной узости (рис. 1, V; рис. 3), где расположен сброс ливневых вод с селитебной части Балаклавы. Максимальные концентрации стронция сосредоточены вдоль западного берега узости (рис. 1, V) и южной части бухты. Концентрация никеля не превышает фоновых значений (40 мг/кг), характерных для черноморского шельфа [19, 20], а его распределение по акватории бухты относительно равномерное.

Источниками загрязнения бухты являются промышленные стоки механического завода, а также ливневые стоки с полей агрофирмы «Золотая балка», поступающие в реку Балаклавку, а затем в вершину бухты. Сброс неочищенных коммунальных вод осуществляется и у входа в бухту. Хотя эти воды сбрасываются за пределы бухты, при определенных гидрометеорологических ситуациях они попадают в акваторию и также служат источником загрязнения среды [2, 4, 7].

В табл. 4 представлены данные о загрязнении ДО мышьяком и тяжелыми металлами в некоторых прибрежных акваториях Черного моря и в сопредельных акваториях в Эгейском море. Представленный диапазон изменения содержания загрязняющих веществ отражает как степень антропогенной нагрузки, так и особенности регионального распределения.

Из таблицы видно, что уровень содержания металлов в ДО шельфовых зон Черного и Эгейского морей не указывает на существование значительных региональных различий. Это позволяет предположить, что они в настоящее время не подвергались серьезному антропогенному воздействию. Однако шельфовые зоны Черного моря более загрязнены хромом и медью, а шельф Эгейского моря – свинцом. Сравнение данных, полученных для прибрежных полузакрытых акваторий и портовых зон, показывает более высокий уровень загрязнения некоторыми металлами (Cr, Cu, Ni, Zn) в Эгейском море.

В то же время межрегиональные колебания концентраций металлов в Черном море довольно значительны. Так, концентрации Cr, Cu, Pb и As в разных районах варьируют в достаточно широких пределах, что, по-видимому, связано, прежде всего, с характером источников загрязнения. Например, максимальные концентрации хрома в ДО Одесского залива превышают в 8 раз таковые в осадках севастопольских бухт, в то же время свинца и мышьяка больше в поверхностном слое осадков бухт Севастополя в 2,5 и 5,3 раза соответственно. Кроме того, из-за ограниченности водообмена севастопольским бухтам отводится роль отстойника (ловушки) для различных загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов. Максимально процесс накопления проявляется летом при низкой динамической активности морских вод и слабом притоке речных вод. В осенне-зимний период загрязненные воды более активно выносятся за пределы бухт.

**Содержание металлов (массовая доля, %) в ДО прибрежных загрязненных акваторий
Черного и Эгейского морей ($n \cdot 10^{-4} \%$)**

Район	Cr	Co	Cu	Ni	Zn	Pb	As	Sr	Источ- ник
Черное море									
Шельф Кавказско- го побережья	– 60 - 400	1,2 - 2,3 10 - 20	38 - 90,3 30 - 40	– –	51 - 84 40 - 80	– 10 - 30	– –	– 300 - 1000	[21] [22]
Прикавказская шельфовая зона	–	–	15 - 40	30 - 70	40 - 200	15 - 40	–	–	[23]
Геленджикская бухта	57 - 340	–	15 - 40	–	41 - 80	–	–	–	[24]
Одесский залив	13,9 - 945	1,5 - 34	5,9 - 81	5,5 - 57	6,0 - 477,5	3,7 - 199,7	0,0 - 20	6 - 1401	[25]
Севастопольская бухта	47,3 - 121,6	4,7 - 39,3	8,5 - 257,3	20,9 - 63,2	46,9 - 578,8	1,4 - 500,6	0,02 - 105,7	113 - 617	[26]
Казачья бухта	44,7 - 105,3	9,2 - 24,3	2,3 - 59,5	4,6 - 47,5	16,3 - 171,4	19,8 - 20,0	0,0 - 7,6	598 - 2152	[27]
Феодосийский за- лив	87,5 - 123,7	12,9 - 37,6	<10 - 112,9	33,8 - 54,2	50,6 - 411,9	<10 - 365	0,0 - 86,1	150,3 - 387	[28]
Балаклавская бухта	41,7 - 87,2	2,5 - 20,4	0,15 - 185,8	15,4 - 43,3	29,2 - 359,1	15,8 - 504	2,5 - 98,4	117 - 1214	эта работа
Эгейское море									
Шельф восточной части моря	35 - 104	–	8 - 28	–	25 - 72	22 - 55	–	–	[29]
Измирский залив	–	–	33 - 866	–	53 - 8660	40 - 280	–	–	[30]
Залив Термаикос	140 - 390	19 - 37	28 - 200	15 - 290	74 - 2600	28 - 330	–	–	[31]
Эвбейский залив	250 - 12000	30 - 212	–	300 - 3550	46 - 230	–	–	–	[31]

Сравнительный анализ полученных в настоящей работе данных и результатов для других полузакрытых акваторий Севастопольского региона (табл. 4) показывает, что Балаклавская бухта, не выделяясь резко уровнем загрязнения, характеризуется особенностями пространственного распределения металлов в поверхностном слое ДО (рис. 3), которые обусловлены спецификой источников загрязнения, существующим гидрометеорологическим режимом и динамикой вод [2]. Как видно из рисунков, максимальные концентрации металлов наблюдаются вблизи локальных источников загрязнения, а особенности их пространственного распределения, очевидно, в значительной мере определяются динамикой вод.

В настоящее время отсутствуют научно обоснованные экологические нормативы, принятые на законодательной основе, которые регламентируют уровни допустимого содержания металлов в ДО. Это не позволяет оценивать степень загрязнения относительно предельно допустимых концентраций, как это принято для почв или природных вод, в том числе и морских. Поэтому оценка интенсивности техногенного воздействия на среду проводилась путем расчета коэффициента концентрации K_C как показателя уровня аномального содержания элемента [32]. Коэффициент K_C рассчитывался как отношение содержания элемента C в исследуемом объекте к среднему фоновому его содержанию C_{ϕ} :

$$K_C = C / C_{\phi}. \quad (1)$$

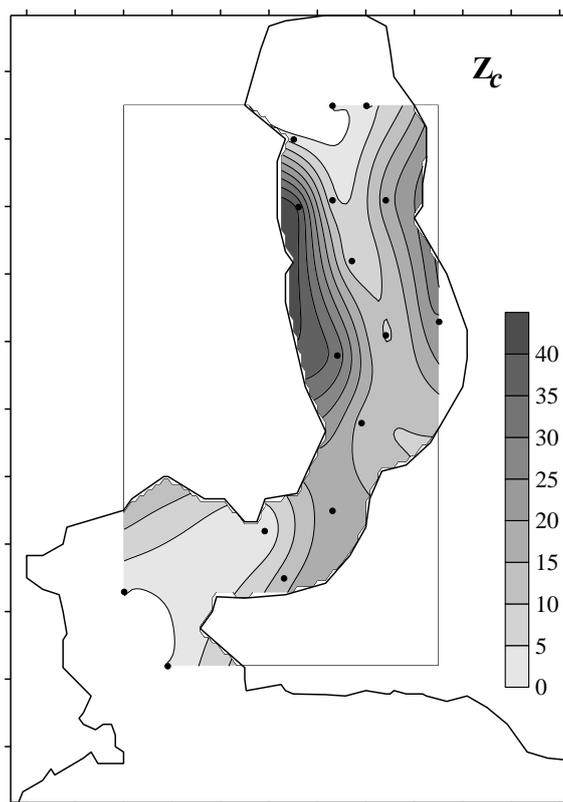
В качестве фонового содержания обычно используются данные, полученные для природных объектов в сходных ландшафтно-геохимических условиях. В нашем случае были использованы данные, полученные в работах [19, 20] для черноморского шельфа. Поскольку техногенные аномалии являются полиэлементными, то для них рассчитываются суммарные показатели загрязнения Z_C по следующей формуле [32]:

$$Z_C = \sum_{i=1}^n K_C - (n - 1), \quad (2)$$

где n – число учитываемых аномальных элементов.

Расчет коэффициентов K_C позволил выделить две группы химических элементов. Первая группа – элементы (Pb, Cr, Cu, Zn, As, Sr), которые накапливаются в ДО бухты. Их средние коэффициенты концентраций K_C для бухты изменяются от 1,9 до 6,1, а в единичных пробах достигают 29 (для свинца). Вторую группу составляют элементы (Co, Ni, V), среднее содержание которых сохраняется на уровне фоновых концентраций.

Для каждой станции был рассчитан суммарный показатель загрязнения Z_C для группы элементов, формирующих техногенные аномалии. Результаты распределения аномальных металлов в поверхностном слое осадков по данным о суммарных показателях загрязнения представлены на рис. 4.



Р и с. 4. Распределение суммарного показателя загрязнения Z_c в донных осадках Балаклавской бухты

Как видно из рисунка, антропогенная аномалия характеризуется полиэлементным составом с четко выраженным градиентом характеристик – от источников загрязнения к периферии. Интенсивность геохимической техногенной аномалии определяется суммой антропогенных и природных факторов. Степень влияния каждого из них необходимо установить при последующих исследованиях.

Выводы. По результатам исследования содержания мышьяка и тяжелых металлов в донных отложениях Балаклавской бухты определены районы техногенного загрязнения. Показано, что максимальные концентрации металлов наблюдаются вблизи локальных источников загрязнения. Сравнительный анализ данных, полученных для Балаклавской бухты и сопредельных акваторий Севастопольского региона, показал, что исследованная акватория не выделяется резко по уровню загрязнения, а особенности пространственного распределения определяются совокупным действием природных и антропогенных факторов.

Авторы благодарят сотрудников отдела бентоса Института биологии южных морей НАН Украины за предоставленные материалы для исследования (пробы донных отложений).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Попов М.А.* Геоморфологический очерк залива Мегало-Яло и Балаклавской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. – Вып. 14. – С. 209 – 214.
2. *Фомин В.В., Репетин Л.Н.* Численное моделирование ветровых течений и распространение примеси в Балаклавской бухте // Морской гидрофизический журнал. – 2005. – № 4. – С. 43 – 58.
3. *Зима В.В., Шаповалов Ю.И., Щетинин Ю.Т.* Результаты опытной эксплуатации автономного гидрозонта МГИ-4117 // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2000. – С. 334 – 338.
4. *Мезенцева И.В., Чайкина А.В., Клименко Н.П.* Современный уровень загрязнения вод акватории Балаклавской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2003. – Вып. 8. – С. 115 – 118.
5. *Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алемов С.В.* Комплексные экологические исследования Балаклавской бухты // Экология моря. – Севастополь: ИнБЮМ НАН Украины, 1999. – Вып.49. – С.16 – 20.
6. *Ревков Н.К.* Таксоцены моллюсков биотопа рыхлых грунтов Балаклавской бухты (Крым, Черное море) // Там же. – 2006. – Вып.72. – С.38 – 46.
7. *Куфтаркова Е.А., Ковригина Н.П., Родионова Н.Ю.* Гидрохимическая характеристика вод Балаклавской бухты и прилегающей к ней прибрежной части Черного моря // Гидробиологический журнал. – 1999. – 35, № 3. – С.88 – 99.
8. *ДСТУ ISO 5667-1-2003.* Качество воды. Отбор проб. Часть 1. Руководство по проекту программ проведения отбора проб (ISO 5667-1:1980, IDT). – Киев: Держстандарт України, 2004. – 17 с.
9. *ДСТУ ISO 5667-12-2005.* Качество воды. Отбор проб. Часть 12. Руководство по отбору проб морских отложений (ISO 5667-12:1995, IDT). – Киев: Держстандарт України, 2002. – 31 с.
10. *ГОСТ 17.1.5.01-80.* Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 5 с.
11. *МУ 43-1979.* Методические указания по определению загрязняющих веществ в морских донных отложениях. – М.: Гидрометеиздат, 1979. – № 43. – 40 с.
12. *РД 52.10.556-95.* Методические указания. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. – М., 1996. – 49 с.
13. *М 049-П/02.* Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах грунтов методом рентгенофлуоресцентного анализа. – СПб.: НПО «Спектрон», 2002. – 16 с.
14. *ДСТУ ISO 11277:2005.* Якість ґрунту. Визначення гранулометричного складу мінерального матеріалу ґрунту. Метод просіювання та седиментації (ISO 11277:1998, IDT). – Київ: Держстандарт України, 2006. – 29 с.
15. *ДСТУ ISO 11465-2001.* Якість ґрунту. Визначення сухої речовини та вологості за масою. Гравіметричний метод (ISO 11465:1993, IDT). – Київ: Держстандарт України, 2002. – 5 с.
16. *ДСТУ ISO 10693:2001.* Якість ґрунту. Визначення вмісту карбонатів. Об'ємний метод. (ISO 10693:1995, IDT). – Київ: Держстандарт України, 2003. – 7 с.
17. *ДСТУ ISO 14235:2005.* Якість ґрунту. Визначення органічного вуглецю сульфохромним окислюванням (ISO 14235:1998, IDT). – Київ: Держстандарт України, 2007. – 4 с.
18. *Войткевич Г.В., Мирошников А.Е., Поваренных А.С. и др.* Краткий справочник по геохимии. Изд. 2-е. – М.: Недра, 1977. – 184 с.
19. *Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсяный Е.И.* Геохимия Черного моря. – Киев: Наук. думка, 1982. – 144 с.
20. *Митропольський О.Ю., Наседкін Є.І., Осокіна Н.П.* Екогеохімія Чорного моря. – Київ: Академперіодика, 2006. – 277 с.
21. *Гордеев В.В., Демина Л.Л.* Тяжелые металлы в шельфовой зоне морей России // Геоэкология шельфа и берегов морей России / Под ред. Н.А Айбулатова. – М.: Ноосфера, 2001. – С. 328 – 359.
22. *Елецкий Б.Д., Хосроев В.В.* Антропогенное загрязнение прибрежной зоны Черного моря летом 1989 г. // Экология прибрежной зоны Черного моря. – М.: Изд-во ВНИРО, 1992. – С.234 – 249.

23. Шимкус К.М., Комаров А.В., Тихомиров А.А. Загрязнение прикавказской прибрежной зоны Черного моря тяжелыми токсичными металлами и пестицидами // Комплексные исследования техногенного загрязнения в прибрежной зоне кавказского шельфа Черного моря. – М.: Роскомнедра, 1994. – С. 127 – 160.
24. Комаров А.В., Шимкус К.М. Дegrаdация экосистемы российского Причерноморья и экологический прогноз // Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения Прикавказской зоны Черного моря. – М.: Недра, 1996. – С.459 – 484.
25. Беркович О.О., Какаранза С.Д., Никулин В.В. Эколого-геологическая характеристика донных осадков Одесского залива // Экология моря. – Севастополь: ИнБЮМ НАН Украины, 2003. – Вып. 64. – С. 90 – 94.
26. Романов А.С., Орехова Н.А., Игнатъева О.Г. и др. Влияние физико-химических характеристик донных осадков на распределение микроэлементов на примере бухт Севастопольского региона // Экология моря. – Севастополь: ИнБЮМ НАН Украины, 2007. – Вып. 73. – С. 85 – 90.
27. Игнатъева О.Г., Орехова Н.А., Романов А.С. и др. Физико-химические характеристики донных отложений бухты Казачьей (Черное море) как показатели ее экологического состояния // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия биол., химия. – 2005. – 18(58), №2. – С. 43 – 48.
28. Котельянец Е.А. Распределение тяжелых металлов в донных отложениях Феодосийского залива // Материалы науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых ЧФ МГУ «Ломоносовские чтения-2007». – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2007. – С. 14 – 15.
29. Balci A., Kütüksezgin F. Trace metal concentrations in surface sediments from Eastern Aegean continental shelf // Chim. Acta turc. – 1994. – 22, № 1. – P.97 – 101.
30. Yaramatz et al., 1992 (цит. по [21]).
31. Voutsinou-Taliadouri F., Balapoulos T. Geochemical and water flow features in a semi enclosed embayment of the western Aegean Sea (Pagassiticos Gulf, Greece) and physical oceanographic and geochemical conditions in Thermaikos Bay (northwestern Aegean, Greece) // Water Sci. and Technol. – 1989. – 21, № 12. – P.1881 – 1886.
32. Саен Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь
Филиал Московского государственного
университета им. М.В. Ломоносова в г. Севастополе

Материал поступил
в редакцию 07.12.07
После доработки 15.05.08

ABSTRACT Results of studies of metal (As, Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, V, Sr, Ti, Mn, Fe) content in the bottom sediments of the Balaklava Bay (the Black Sea) carried out in July, 2005 are presented. It is shown that metal pollution of the sediments is of polyelemental character. Features of the content variation of the elements under study and localization of their entry to the ecosystem are defined. Based on the results of estimating intensity of man-caused influence on the marine environment, determined is the group of toxic elements (As, Cr, Cu, Pb, Zn) accumulated in the bottom sediments in the amount considerably exceeding the background values characteristic of the Black Sea shelf bottom sediments. The degree of metal pollution in the Balaklava Bay sediments is compared to that of the other coastal areas.