



УДК 551.46 (262.5)

В. И. Губанов, канд. геогр. наук, с.н.с., **Ю. П. Копытов**, н.с., **Н. И. Бобко**, м.н.с.

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского Национальной академии наук Украины, Севастополь, Украина

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОСАДКОВ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ КРЫМА (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Представлены данные о концентрации тяжёлых металлов (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Hg, Cr) в поверхностном слое донных осадков в прибрежных районах Крыма и проведено их сравнение с открытой акваторией Чёрного моря, их природными кларками в литосфере и допустимыми уровнями концентраций загрязняющих веществ по «голландским листам». Рассчитаны значения факторов и индексов степени загрязнения тяжёлыми металлами донных осадков.

Ключевые слова: Чёрное море, прибрежные районы Крыма, донные осадки, тяжёлые металлы, индекс степени загрязнения, допустимый уровень концентрации

Химический состав донных осадков (ДО) формируется в результате процессов адсорбции и последующей седиментации взвешенного вещества, в состав которого входят многочисленные аллохтонные и автохтонные органические соединения, токсичные тяжёлые металлы (ТМ) как природного, так и антропогенного происхождения. На границе раздела водный слой – донные осадки протекают сложные, до конца неизученные физико-химические и биохимические процессы. При этом основной вектор противоположно направленных процессов обмена металлами между жидкой и твердой фазами среды направлен в сторону последней. Иными словами, в ДО происходит аккумуляция загрязняющих веществ, что создаёт угрозу вторичного загрязнения водного слоя. Наиболее интенсивно этот процесс протекает в динамически активных районах моря, каковым в Чёрном море является, в частности, узкая прибрежная полоса Крымского п-ова [2 – 4].

Согласно "Конвенции о предотвращении загрязнения моря отходами с суши" (1972), среди токсичных загрязняющих веществ особое внимание уделяется тяжёлым металлам. Порядок токсичности металлов и мышьяка для морских организмов выглядит следующим об-

разом: ртуть > серебро > медь > цинк > никель > свинец > кадмий > мышьяк > хром > олово > железо > марганец > алюминий > бериллий > литий [2, 4].

Содержание и поведение ТМ в ДО в прибрежной зоне Крыма изучены недостаточно. В литературе представлены результаты наблюдений, выполненных в локальных районах крымского побережья [1, 2, 5, 6 – 10, 12]. В настоящей работе район исследований значительно расширен; его границы распространяются от северо-западного до восточного побережья Крыма.

Материал и методы. По данным экспедиционных исследований, выполненных в Чёрном море в 2005 – 2007 гг., проведен анализ состояния загрязнения поверхностного слоя донных осадков ТМ в одной из Севастопольской бухт (Александровской), Балаклавской, Мраморной бухтах, Феодосийском заливе, Керченском проливе и акваторий, прилегающих к Бакальской косе и м. Плака (рис. 1, табл. 1). Исследования проводились на 47 станциях, на которых выполнялись наблюдения за содержанием свинца, кадмия, меди, цинка, никеля, ртути и хрома.



Рис. 1 Схема районов исследования
Fig. 1 Scheme of researched regions

Табл. 1 Координаты, глубина станций и краткое описание донных осадков
Table 1 Coordinates, depth of stations and brief description of bottom sediments

| Район исследования | №№ станций | Дата | Координаты | | Глубина, м | Описание ДО | |
|-----------------------|--------------------|----------|------------|------------|------------|--|---|
| | | | Широта, N | Долгота, E | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| Бакальская коса | 6 | 13.09.07 | 45° 47.28' | 33° 10.13' | 4.0 | крупнозернистый песок | |
| | 7a | 13.09.07 | 45 45.17 | 33 13.07 | 3.0 | заиленный песок | |
| | 7b | 13.09.07 | 45 45.17 | 33 13.07 | 3.0 | ил черный | |
| | 7c | 13.09.07 | 45 45.17 | 33 13.07 | 3.0 | ил черный | |
| Александровская бухта | 8 | 15.09.07 | 45 50.26 | 33 09.32 | 4.5 | крупнозернистый песок | |
| | 1 | 11.05.05 | 44 36.97 | 33 30.68 | 3.0 | скально-валунные формы, рыхлый грунт отсутствует | |
| | 2 | 11.05.05 | 44 36.97 | 33 30.69 | 4.5 | то же | |
| Мраморная бухта | 3 | 11.05.05 | 44 36.97 | 33 30.70 | 7.0 | то же | |
| | 1 | 04.09.07 | 44 29.56 | 33 29.44 | 16.0 | мелкая галька | |
| | 2 | 04.09.07 | 44 29.56 | 33 31.19 | 15.0 | крупнозернистый песок | |
| Балаклавская бухта | 3 | 04.09.07 | 44 30.11 | 33 35.34 | 4.0 | ил черный | |
| | 9 | 20.09.07 | 44 30.05 | 33 35.86 | 7.5 | ил черный | |
| | 10 | 20.09.07 | 44 29.89 | 33 35.98 | 11.5 | ил черный | |
| | 11 | 20.09.07 | 44 29.97 | 33 35.89 | 9.0 | ил черный | |
| м. Плака | 1 | 25.05.06 | 44 35.51 | 34 22.50 | 10.0 | заиленный песок | |
| | 2 | 25.05.06 | 44 35.50 | 34 22.49 | 11.0 | заиленный песок | |
| | 3 | 25.05.06 | 44 35.49 | 34 22.48 | 14.0 | заиленный песок | |
| | 4 | 25.05.06 | 44 35.51 | 34 22.51 | 10.0 | заиленный песок | |
| | 5 | 25.05.06 | 44 35.50 | 34 22.52 | 12.0 | заиленный песок | |
| | 6 | 25.05.06 | 44 35.49 | 34 22.53 | 14.0 | заиленный песок | |
| | 8 | 25.05.06 | 44 35.54 | 34 22.55 | 3.0 | заиленный песок | |
| | 9 | 25.05.06 | 44 35.54 | 34 22.56 | 9.0 | заиленный песок | |
| | 10 | 25.05.06 | 44 35.44 | 34 22.57 | 18.0 | заиленный песок | |
| | Феодосийский залив | 1 | 19.12.06 | 44 57.60 | 35 40.50 | | гравий, песок |
| | | 3 | 19.12.06 | 45 00.00 | 35 40.50 | 17.0 | ил серый с раковинами венусов |
| | | 7 | 19.12.06 | 45 03.60 | 35 45.00 | 7.0 | гравий, песок |
| | | 8 | 19.12.06 | 45 02.40 | 35 45.00 | 8.0 | алеврито-пелитовые илы с заиленным ракушняком |
| | | 9 | 19.12.06 | 45 00.00 | 35 45.00 | 10.0 | то же |
| 11 | | 19.12.06 | 45 57.60 | 35 45.00 | 12.0 | то же | |
| 12 | | 19.12.06 | 45 57.60 | 35 49.00 | 13.0 | то же | |
| 12 n | | 22.12.06 | 45 00.00 | 35 48.00 | 5.0 | мелкозернистый песок | |
| 13 | | 22.12.06 | 45 02.40 | 35 46.20 | 4.0 | гравий, песок | |
| 14 | | 19.12.06 | 45 00.00 | 35 49.00 | 11.0 | алеврито-пелитовые илы с заиленным ракушняком | |
| 27 | | 19.12.06 | 45 57.60 | 35 53.00 | 17.0 | то же | |
| 4 a | | 08.09.07 | 45 03.36 | 35 46.38 | 5.1 | мелкозернистый песок | |
| 5 a | | 09.09.07 | 45 02.09 | 35 23.61 | 18.0 | ил серый с раковинами венусов | |

Продолж. табл. 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|-------|----------|----------|----------|------|--|
| Керченский пролив | 1 | 16.12.07 | 45 21.56 | 36 37.87 | 7.0 | ил черный с ракушкой ил черный с небольшой примесью песка крупнозернистый песок с раковинами то же то же ил черный с небольшой примесью песка илистый песок с раковинами ил черный с небольшой примесью песка то же то же поверхностный слой (0 – 32 см) – зелено-серые кокколитолевые илы с включением 50 – 70% карбоната кальция, а также органического вещества |
| | 2 | 16.12.07 | 45 20.25 | 36 34.00 | 5.0 | |
| | 3 | 16.12.07 | 45 19.49 | 36 30.44 | 5.0 | |
| | 4 | 16.12.07 | 45 17.58 | 36 30.22 | 5.0 | |
| | 5 | 16.12.07 | 45 17.30 | 36 29.20 | 7.5 | |
| | 6 | 16.12.07 | 45 14.77 | 36 26.73 | 11.5 | |
| | 7 | 16.12.07 | 45 11.42 | 36 29.08 | 8.5 | |
| | 8 | 16.12.07 | 45 15.73 | 36 26.95 | 6.0 | |
| | 9 | 16.12.07 | 45 17.38 | 36 28.19 | 7.0 | |
| | 10 | 16.12.07 | 45 18.05 | 36 28.87 | 6.0 | |
| Черное море, район центра западной халистатической зоны | BS-15 | 17.09.98 | 43 30.11 | 30 40.34 | 1319 | |

Пробы ДО отбирались из поверхностного слоя с помощью дночерпателя Петерсена с площадью захвата 0.025 м² и перед анализом предварительно высушивались до постоянного веса. Определение массовой доли ТМ (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni) проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией на спектрометре SpectraA-220G производства фирмы "Varian" (Австралия). Пробоподготовка и анализ проводились в соответствии с РД 52.30.556-95 [11]. Hg определялась методом "холодного пара" на приставке РП-01 к прибору ААС С-115 М1 [16]. Химический анализ выполнялся в лаборатории Черноморского филиала Московского государственного университета (г. Севастополь, Украина).

В качестве сравнения также были проанализированы пробы ДО, отобранные на НИС "Профессор Водяницкий" в центре западного циклонического круговорота Чёрного моря в 1998 г. Пробы отбирались с помощью мультискора MARK II-400, оснащённом 4 колонками диаметром 10 см и длиной 60 см. Анализ проб проводился аналогичным методом на SpectrAA-20 plus system производства фирмы "Varian" (Австралия) в Национальном центре по морским исследованиям Института океанографии (г. Афины, Греция).

40

Результаты и обсуждения. Вещественный состав донных осадков района исследований относится к терригенно-органогенному (биогенному) генетическому типу. Терригенные осадки формируются из обломочного или пелитового материала, поступающего с суши, благодаря различным экзогенным процессам. В узкой прибрежной зоне преобладают грубообломочные отложения – галька, гравий (ракушка), песок. С удалением от берега их сменяют мелкозернистые пески и алевриты [13].

На большинстве станций отбора проб ДО были представлены песчаными алевритопелитовыми илами с примесью биогенного кремнезема (диатомовых, радиолярий). Однако в Мраморной бухте и на некоторых мелководных станциях, расположенных у Бакальской косы, м. Плака, в Феодосийском заливе и в Керченском проливе, ДО были представлены преимущественно песками различных фракций.

Результаты наблюдений показали, что ТМ присутствовали во всех пробах. За исключением ртути, пространственное распределение ТМ характеризовалось крайней неоднородностью. Об этом убедительно свидетельствуют значения средних и экстремальных концентраций (табл. 2).

Табл. 2 Концентрация тяжелых металлов в донных осадках в прибрежных районах Крыма
Table 2 Concentrations of heavy metals in bottom sediments in Crimea coastal regions

| Металл | Характеристика концентрации | Район исследований* | | | | | | |
|--------|-----------------------------|---------------------|---------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Pb | Средняя, мкг/г | 9.00 | 269.30 | 7.92 | 14.11 | 13.28 | 4.44 | 6.45 |
| | Пределы колебаний, мкг/г | 4.97-14.90 | 159.70-414.60 | 5.29-10.55 | 4.03-26.38 | 11.00-16.54 | 0.63-11.94 | 0.40-11.44 |
| | 95% доверительный интервал | 3.46 | 148.42 | 5.15 | 10.42 | 2.09 | 2.05 | 2.49 |
| Cd | Средняя, мкг/г | 6.53 | 2.80 | 0.36 | 7.67 | 0.18 | 0.22 | 0.06 |
| | Пределы колебаний, мкг/г | 3.55-6.53 | 1.90-3.31 | 0.20-0.52 | 5.94-9.59 | 0.14-0.22 | 0.04-0.51 | 0.00-0.12 |
| | 95% доверительный интервал | 0.97 | 0.90 | 0.31 | 1.64 | 0.03 | 0.08 | 0.02 |
| Cu | Средняя, мкг/г | 4.84 | 186.70 | 3.52 | 121.64 | 11.20 | 5.59 | 3.59 |
| | Пределы колебаний, мкг/г | 1.51-6.15 | 43.50-467.40 | 1.11-5.92 | 78.51-192.51 | 7.51-15.32 | 2.71-11.13 | 0.36-6.00 |
| | 95% доверительный интервал | 1.71 | 275.13 | 4.71 | 50.22 | 2.18 | 1.51 | 1.25 |
| Zn | Средняя, мкг/г | 14.87 | 331.20 | 38.13 | 28.62 | 113.62 | 14.04 | 4.63 |
| | Пределы колебаний, мкг/г | 1.19-31.81 | 253.40-379.30 | 26.66-49.60 | 12.46-42.55 | 67.51-210.90 | 2.55-34.62 | 1.00-8.00 |
| | 95% доверительный интервал | 10.71 | 76.95 | 22.48 | 14.45 | 40.93 | 6.23 | 1.46 |
| Ni | Средняя, мкг/г | 5.99 | - | 4.02 | 21.91 | - | - | - |
| | Пределы колебаний, мкг/г | 3.57-11.00 | - | 0.51-7.52 | 19.00-24.22 | - | - | - |
| | 95% доверительный интервал | 2.89 | - | 6.87 | 2.48 | - | - | - |
| Hg | Средняя, мкг/г | - | 0.078 | - | - | 0.040 | 0.021 | 0.007 |
| | Пределы колебаний, мкг/г | - | 0.069-0.087 | - | - | 0.020-0.070 | 0.002-0.075 | 0.002-0.010 |
| | 95% доверительный интервал | - | 0.010 | - | - | 0.020 | 0.010 | 0.001 |
| Cr | Средняя, мкг/г | - | - | - | - | - | 1.18 | - |
| | Пределы колебаний, мкг/г | - | - | - | - | - | 0.13-2.94 | - |
| | 95% доверительный интервал | - | - | - | - | - | 0.44 | - |

* Районы исследований: 1 – Бакальская коса; 2 – Александровская бухта; 3 – Мраморная бухта; 4 – Балаклавская бухта; 5 – м. Плака; 6 – Феодосийский залив; 7 – Керченский пролив.

Максимальное содержание металлов наблюдалось в бухтах закрытого типа: Александровской (Pb – 415 мкг/г, Cu – 467, Zn – 379, Hg – 0.09) и Балаклавской (Cd – 10 мкг/г, Ni – 24). Донные осадки этих бухт представлены, в основном, чёрными илами. Это обстоятельство, а также ограниченный водообмен с открытым морем и многочисленные источники загрязнения способствуют аккумуляции ТМ в ДО. Особую тревогу вызывают очень высокие концентрации Pb и Zn в Александровской бухте, Cu – в Александровской и Балаклавской бухтах, Zn – в акватории у м. Плака. Здесь содержание этих металлов на 1 – 2 порядка выше, чем в других районах.

В Керченском проливе и районах интен-

сивного водообмена с открытым морем концентрации металлов значительно ниже. Так, абсолютно минимальные концентрации Pb, Cd, Cu, Zn и Hg зарегистрированы в Керченском проливе, несколько выше содержание металлов в Феодосийском заливе и Мраморной бухте.

В целом, по району исследований металлы в порядке убывания их концентраций располагаются следующим образом: Zn > Pb > Cu > Ni > Cd > Cr > Hg. Однако в отдельных акваториях порядок убывания содержания ТМ нарушается, что связано с различиями в вещественно-генетических типах ДО, гидродинамическими и гидробиологическими процессами, а также влиянием источников загрязнения (табл. 3).

Табл. 3 Уменьшение концентраций тяжёлых металлов в прибрежных районах Крыма
Table 3 Decrease of heavy metals concentrations in Crimea coastal regions

| Район исследований | Порядок убывания концентраций тяжёлых металлов |
|-----------------------|--|
| Бакальская коса | Zn > Pb > Cd > Ni > Cu |
| Александровская бухта | Zn > Pb > Cu > Cd > Hg |
| Мраморная бухта | Zn > Pb > Ni > Cu > Cd |
| Балаклавская бухта | Cu > Zn > Ni > Pb > Cd |
| м. Плака | Zn > Pb > Cu > Cd > Hg |
| Феодосийский залив | Zn > Cu > Pb > Cd > Cr > Hg |
| Керченский пролив | Pb > Zn > Cu > Cd > Hg |

До настоящего времени для донных отложений морских акваторий нет нормативно закреплённых предельно-допустимых концентраций ТМ. Поэтому нами для оценки загрязнения ДО ТМ предлагаются сравнения с:

- другими районами;
- природным кларком металлов в литосфере;
- допустимыми уровнями концентраций по так называемым "голландским листам". Последнее сравнение общепринято в геохимической и гидрохимической практике и проводит-

ся в соответствии с рекомендациями СП11-102-97 на основе соответствия уровней содержания загрязняющих веществ критериям экологической оценки загрязнённости грунтов по "Neue Niederlandische Liste. Altlasten Spektrum 3/95" ("голландские листы") [14, 15, 17].

Данные о содержании ТМ на станции, расположенной в центре западного циклонического круговорота Чёрного моря на глубине 1319 м, представлены в табл. 4. Колонка отобранного грунта (47 см) делилась на отдельные слои.

Табл. 4 Концентрация тяжелых металлов в донных осадках в центре западного циклонического круговорота Черного моря
Table 4 Concentration of heavy metals in bottom sediments in the centre of the western cyclonic circulation of the Black Sea

| Глубина слоя, см | Концентрация, мкг/г | | | | |
|--------------------|---------------------|-------|-------|--------|-------|
| | Cr | Ni | Cu | Zn | Pb |
| 1 | 13.23 | 27.15 | 43.28 | 83.88 | 31.68 |
| 2 | 24.30 | 37.56 | 60.28 | 114.00 | 38.35 |
| 2.1-2.5 | 43.05 | 51.81 | 93.08 | 170.40 | 50.23 |
| 2.6-3.0 | 35.18 | 41.47 | 58.25 | 114.90 | 40.58 |
| 3.1-3.5 | 43.43 | 42.53 | 59.40 | 107.50 | 44.83 |
| 3.6-4.0 | 39.20 | 39.70 | 47.08 | 83.60 | 35.93 |
| 4.1-4.5 | 32.38 | 33.59 | 41.58 | 63.58 | 27.70 |
| 4.6-5.0 | 43.38 | 38.16 | 49.68 | 70.43 | 28.55 |
| 5.1-5.5 | 36.68 | 40.27 | 46.05 | 68.68 | 27.23 |
| 5.6-6.0 | 40.23 | 41.72 | 48.03 | 65.85 | 28.63 |
| 6.1-6.5 | 39.30 | 39.00 | 47.30 | 61.40 | 21.70 |
| 6.6-7.0 | 47.40 | 45.31 | 54.40 | 67.28 | 30.55 |
| 7.1-7.5 | 47.83 | 45.53 | 57.10 | 69.80 | 24.35 |
| 7.6-8.0 | 44.30 | 41.60 | 53.00 | 62.90 | 22.40 |
| 8.1-8.5 | 40.80 | 38.90 | 54.20 | 58.80 | 22.80 |
| 11 | 39.58 | 48.58 | 60.58 | 58.68 | 22.30 |
| 14 | 17.01 | 26.17 | 35.65 | 33.55 | 19.68 |
| 24-26 | 28.60 | 42.18 | 45.98 | 44.38 | 8.50 |
| 45-47 | 71.83 | 80.73 | 78.03 | 77.83 | 18.10 |
| Средняя по колонке | 38.30 | 42.21 | 54.37 | 77.76 | 28.64 |

В этом районе моря поверхностный 32-сантиметровый слой ДО представлен кокколи-товыми илами различной окраски с включением 50 – 70 % карбоната кальция, а также органического вещества. По геохронологической шкале этот слой относится к верхнему голоцену. Далее до глубины 47 см (средний голоцен) ДО представлены в основном черными, зелено-коричневыми слоистыми сапропелевыми илами с включениями органики и незначительными содержанием карбонатов.

Представленные в табл. 2 и 4 данные свидетельствуют, что, за исключением отмеченных ранее аномально высоких концентраций Pb, Zn и Cu в закрытых бухтах, а также у м. Плака, содержание ТМ в донных осадках прибрежной зоны Крыма меньше, чем в открытых районах моря.

Значения природных кларков в литосфере и допустимые уровни концентраций ТМ в донных отложениях водоемов, согласно "голландским листам", приведены в табл. 5.

Табл. 5 Природные кларки в литосфере и допустимые уровни концентраций тяжелых металлов

Table 5 Natural clarkes in lithosphere and permissible levels of heavy metals concentration

| Характеристика | Металл | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|------|----|-----|----|------|-----|
| | Pb | Cd | Cu | Zn | Ni | Hg | Cr |
| Кларк в литосфере (К), мкг/г | 16 | 0.13 | 47 | 70 | 83 | 0.07 | 83 |
| Допустимая концентрация (ДК), мкг/г | 85 | 0.80 | 35 | 140 | 35 | 0.30 | 100 |

Эта информация позволяет сделать заключение о соответствии реального содержания

ТМ их природным кларкам и допустимым уровням концентраций (табл. 6).

Табл. 6 Отношение средних концентраций тяжелых металлов к их природному кларку в литосфере и допустимым уровням концентрации в донных осадках

Table 6 The ratio of heavy metals average concentrations to their natural clarkes in lithosphere and permissible levels of concentration in bottom sediments

| Район исследований | Показатель концентрации | Металл | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|------|
| | | Pb | Cd | Cu | Zn | Ni | Hg | Cr |
| Бакальская коса | Средняя (С), мкг/г | 9.00 | 6.53 | 4.84 | 14.87 | 5.99 | - | - |
| | С/К | 0.56 | 50.23 | 0.10 | 0.21 | 0.07 | - | - |
| | С/ДК | 0.11 | 8.16 | 0.14 | 0.11 | 0.17 | - | - |
| Александровская бухта | Средняя (С), мкг/г | 269.30 | 2.80 | 186.70 | 331.20 | - | 0.078 | - |
| | С/К | 16.83 | 21.54 | 3.97 | 4.73 | - | 1.114 | - |
| | С/ДК | 3.17 | 3.50 | 5.33 | 2.37 | - | 0.260 | - |
| Мраморная бухта | Средняя (С), мкг/г | 7.92 | 0.36 | 3.52 | 38.13 | 4.02 | - | - |
| | С/К | 0.50 | 2.77 | 0.07 | 0.54 | 0.05 | - | - |
| | С/ДК | 0.09 | 0.45 | 0.10 | 0.27 | 0.11 | - | - |
| Балаклавская бухта | Средняя (С), мкг/г | 14.11 | 7.67 | 121.64 | 28.62 | 21.91 | - | - |
| | С/К | 0.88 | 59.00 | 2.59 | 0.41 | 0.26 | - | - |
| | С/ДК | 0.17 | 9.59 | 3.48 | 0.20 | 0.63 | - | - |
| м. Плака | Средняя (С), мкг/г | 13.28 | 0.18 | 11.20 | 113.62 | - | 0.040 | - |
| | С/К | 0.83 | 1.38 | 0.24 | 1.62 | - | 0.571 | - |
| | С/ДК | 0.16 | 0.23 | 0.32 | 0.81 | - | 0.133 | - |
| Феодосийский залив | Средняя (С), мкг/г | 4.44 | 0.22 | 5.59 | 14.04 | - | 0.021 | 1.18 |
| | С/К | 0.28 | 1.69 | 0.12 | 0.20 | - | 0.300 | 0.01 |
| | С/ДК | 0.05 | 0.28 | 0.16 | 0.10 | - | 0.070 | 0.01 |
| Керченский пролив | Средняя (С), мкг/г | 6.45 | 0.06 | 3.59 | 4.63 | - | 0.007 | - |
| | С/К | 0.40 | 0.46 | 0.08 | 0.07 | - | 0.100 | - |
| | С/ДК | 0.08 | 0.08 | 0.10 | 0.03 | - | 0.023 | - |

Расчёты показали, что средние концентрации ТМ превышают их кларки в следующих районах: по Pb – в Александровской бухте, по Cd – во всех районах исследования, за исключением Керченского пролива, по Cu – в Александровской и Балаклавской бухтах, по Zn – в Александровской бухте и у м. Плака, по Hg – в Александровской бухте. Превышение средних концентраций металлов над их допустимыми уровнями наблюдалось в Александровской (по Pb, Cd, Cu, Zn) и Балаклавской (по Cd, Cu) бухтах, а также в акватории моря, прилегающей к Бакальской косе (по Cd).

Уровень загрязнения донных осадков ТМ позволяет также оценить индекс степени загрязнения (ИСЗ) [18]. Этот показатель рассчитывается по формуле:

$$ИСЗ = \sqrt[n]{\Phi Z_1 \times \Phi Z_2 \dots \times \Phi Z_i},$$

где n – количество металлов; ΦZ – фактор загрязнения.

В свою очередь, фактор (показатель интенсивности) загрязнения определяется следующим образом:

$$\Phi Z = C / C_f,$$

где C – концентрация металла; C_f – его концентрация на фоновой станции. В качестве фона для каждого района исследований выбиралась станция, где концентрация ТМ была наименьшей.

В табл. 7 и на рис. 2 представлены значения факторов и индексов степени загрязнения ТМ донных осадков района исследований. Как следует из расчётов, средняя величина ИСЗ изменялась от 1.5 до 9.9. Максимальные значения индекса наблюдались в Керченском проливе и Феодосийском заливе, минимальные – в акватории, прилегающей к м. Плака, а также в Александровской и Балаклавской бухтах.

Табл. 7 Величина фактора и индекса степени загрязнения в донных осадках в прибрежных районах Крыма
Table 7 The factor and index of pollution degree in bottom sediments in Crimea coastal regions

| Металл | Величина фактора и индекса степени загрязнения | Район исследований* | | | | | | |
|----------------------------|--|---------------------|------|------|-----|-----|------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Pb | Средняя | 1.8 | 1.7 | 1.5 | 3.5 | 1.2 | 7.0 | 16.1 |
| | Максимальная | 3.0 | 2.6 | 2.0 | 6.5 | 1.5 | 19.0 | 29.0 |
| | 95% доверительный интервал | 0.7 | 0.9 | 1.0 | 2.6 | 0.2 | 3.3 | 6.2 |
| Cd | Средняя | 1.5 | 1.5 | 1.8 | 1.3 | 1.3 | 5.1 | 58.2 |
| | Максимальная | 1.8 | 1.7 | 2.6 | 1.6 | 1.6 | 12.2 | 120.0 |
| | 95% доверительный интервал | 0.3 | 0.5 | 1.6 | 0.3 | 0.2 | 2.0 | 20.0 |
| Cu | Средняя | 3.2 | 4.3 | 3.2 | 1.5 | 1.5 | 2.1 | 10.0 |
| | Максимальная | 4.1 | 10.7 | 5.3 | 2.5 | 2.0 | 4.1 | 17.0 |
| | 95% доверительный интервал | 1.1 | 6.3 | 4.2 | 0.6 | 0.3 | 0.6 | 3.5 |
| Zn | Средняя | 12.5 | 1.3 | 1.5 | 2.3 | 1.7 | 5.5 | 4.6 |
| | Максимальная | 26.7 | 1.5 | 1.9 | 3.4 | 3.1 | 13.6 | 8.0 |
| | 95% доверительный интервал | 9.0 | 0.3 | 0.8 | 1.2 | 0.6 | 2.4 | 1.5 |
| Ni | Средняя | 1.7 | - | 7.9 | 1.1 | - | - | - |
| | Максимальная | 3.1 | - | 14.7 | 1.3 | - | - | - |
| | 95% доверительный интервал | 0.8 | - | 13.5 | 0.1 | - | - | - |
| Hg | Средняя | - | 1.1 | - | - | 2.2 | 9.4 | 3.0 |
| | Максимальная | - | 1.3 | - | - | 3.4 | 37.5 | 4.0 |
| | 95% доверительный интервал | - | 0.1 | - | - | 0.8 | 6.3 | 0.8 |
| Cr | Средняя | - | - | - | - | - | 9.0 | - |
| | Максимальная | - | - | - | - | - | 22.2 | - |
| | 95% доверительный интервал | - | - | - | - | - | 3.4 | - |
| Индекс степени загрязнения | Средняя | 2.5 | 1.6 | 2.2 | 1.7 | 1.5 | 4.4 | 9.9 |
| | Максимальная | 3.6 | 2.2 | 3.1 | 2.1 | 2.0 | 6.1 | 16.8 |
| | 95% доверительный интервал | 0.8 | 0.7 | 1.9 | 0.5 | 0.2 | 0.9 | 3.2 |

* Районы исследований: 1 – Бакальская коса; 2 – Александровская бухта; 3 – Мраморная бухта; 4 – Балаклавская бухта; 5 – м. Плака; 6 – Феодосийский залив; 7 – Керченский пролив

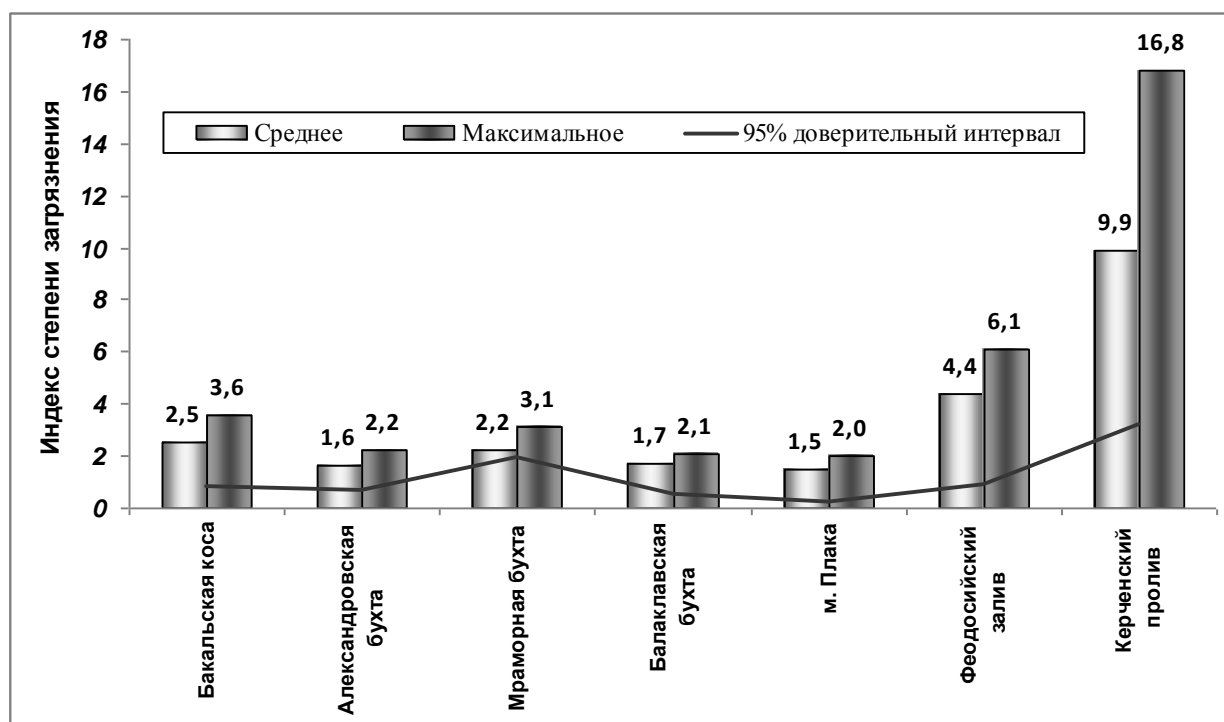


Рис. 2 Индекс степени загрязнения донных осадков в прибрежных районах Крыма
Fig. 2 Pollution degree index of bottom sediments from coastal regions of Crimea

Таким образом, в настоящее время процесс накопления ТМ в ДО наиболее интенсивно протекает в районах, где их содержание минимальное (Керченский пролив и Феодосийский залив). И, наоборот, в самых загрязнённых бухтах скорость накопления металлов минимальная. Широкий диапазон значений индекса степени загрязнения подтверждает "пятнистость" в распределении и накоплении ТМ в донных отложениях, независимо от их вещество-генетического типа.

Выводы. 1. Во всех пробах донных осадков Александровской, Балаклавской, Мраморной бухт, Феодосийского залива, Керченского пролива и акваторий, прилегающих к Бакальской косе и м. Плака, присутствуют тяжёлые металлы (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Hg). В штормовых условиях, а также в результате постоянно протекающих физико-химических процессов переноса металлов через границу раздела водный слой – донные отложения, возникает угроза вторичного загрязнения вод-

ного слоя. **2.** В бухтах закрытого типа (Александровская и Балаклавская), в связи с характерными особенностями их гидрологического режима и генетического типа донных осадков, наблюдаются зоны повышенных концентраций ТМ. **3.** Превышение средних концентраций металлов над их допустимыми уровнями, согласно "голландским листам", наблюдается в Александровской (по Pb, Cd, Cu, Zn) и Балаклавской (по Cd, Cu) бухтах, а также в акватории моря, прилегающей к Бакальской косе (по Cd). География превышения содержания ТМ над их природными кларками в литосфере значительно шире и охватывает практически все районы исследований. **4.** В современный период процесс накопления ТМ в ДО наиболее интенсивно наблюдается в районах, где их содержание минимальное (Керченский пролив и Феодосийский залив). В выявленных зонах экологического риска (Александровская и Балаклавская бухты) аккумуляция металлов протекает менее активно.

1. Болтачев А. Р., Губанов В. И., Костова С. К., Волков Н. Г. Оценка загрязнения донных осадков Керченского пролива тяжелыми металлами и нефтяными углеводородами // Методи хімічного аналізу. Праці та повідомлення: Тез. третього Міжнародного симпозіума, 27 – 30 травня 2008 р., Севастополь, 2008. – С. 52 – 53.
2. Губанов В. И., Болтачев А. Р., Копытов Ю. П. Состояние загрязнения донных отложений Феодосийского залива нефтяными углеводородами и тяжелыми металлами // Экология моря. – 2008. – Вып. 75. – С. 89 – 93.
3. Губанов В. И., Клименко Н. П., Моница Т. Л. Современное состояние загрязнения вод Чёрного моря // Под ред. А. И. Симонова и А. И. Рябининой. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 1996. – 4, вып. 3. – 230 с.
4. Динамика и прогноз загрязнения океанических вод // Под ред. А. И. Симонова. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 144 с.
5. Игнатъева О. Г., Овсяный Е. И., Романов А. С. Комплексная оценка загрязнения донных отложений Севастопольской бухты // Системы контроля окружающей среды. 2002. – 2. Мониторинг и модели: Мат. докл. Междунар. науч.-техн. сем. – Севастополь, 2003. – С. 93 – 95.
6. Костова С. К. Распределение ртути в воде, взвешенном веществе и донных отложениях Керченского пролива (Чёрное море) // Геология, география и экология океана: Мат. Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Д. Г. Панова (8 – 11 июня 2009 г., Ростов-на-Дону), – Ростов-на-Дону, 2009. – С. 175 – 177.
7. Костова С. К. Распределение ртути в поверхностном слое донных отложений Севастопольской бухты (Чёрное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. – Севастополь, 2005. – Вып. 12. – С. 273 – 279.
8. Костова С. К., Плотицына О. В. Анализ состояния загрязнения ртути прибрежных акваторий Крыма // Проблемы биологической океанографии XXI века: Междунар. науч. конф., посвященная 135-летию ИнБЮМ (19–21 сентября 2006 г., Севастополь, Украина). – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – С. 98.
9. Костова С. К., Поповичев В. Н. Распределение ртути в акватории черноморского побережья Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. – Севастополь, 2002. – Вып. 1 (6). – С. 118 – 127.
10. Овсяный Е. И., Романов А. С., Игнатъева О. Г. Распределение тяжелых металлов в поверхностном слое донных осадков Севастопольской бухты (Чёрное море). // Морск. экол. жур. – 2003. – 2, № 3. – С. 85 – 93.
11. РД 52.30.556-95. Методические указания. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложениях и взвеси. – М.: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1996. – 50 с.
12. Романов А. С., Орехова Н. А., Игнатъева О. Г. Влияние физико-химических характеристик донных осадков на распределение микроэлементов на примере бухт Севастопольского региона. // Экология моря. – 2007. – Вып. 77. – С. 85 – 90.
13. Шимкус К. М., Емельянов Е. М., Тримонис Э. С. Донные отложения и черты позднечетвертичной истории Чёрного моря // Земная кора и история развития Черноморской впадины. – М.: Наука, 1975. – С. 84 – 97.
14. http://www.esimo.oceanography.ru/esp2/index/index/esp_id/10/section_id/8/menu_id/4071
15. <http://www.ecotron.ru/PV.htm>
16. Krishnamutry K. V., Shoirt E., Reddy M. M. Trace metal extraction of soils and sediment by nitric acid – hydrogen peroxide // Atom. Absorption Newsletter. – 1976. – 3, 15. P. 68 – 70.
17. Neue Niederlandische Liste, Altlasten Spektrum 3/95 // PTS limits and levels of concern in the environment, food and human tissues. – 3. – www.amap.no/documents. – P. 29 – 32.
18. Tomlinson D. L., Wilson J. G., Harris C. R., Jeffrey D. W. Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and formation a pollution index // Helgolander Meeresunters. – 1980. – 33. – P. 566 – 575.

*Поступила 11 января 2010 г.
После доработки 12 июля 2010 г.*

Оцінка стану забруднення донних осадок важкими металами в прибережних районах Криму (Чорне море). В. І. Губанов, Ю. П. Копитов, Н. І. Бобко. Представлено дані щодо концентрації важких металів (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Hg, Cr) у поверхневому шарі донних осадок у прибережних районах Криму. Проведено порівняння змісту важких металів з відкритими районами Чорного моря, їх природними кларками в літосфері та припустимими рівнями концентрацій забруднюючих речовин по "голландським листам" Розраховані значення факторів та індексів ступеня забруднення важких металів донних осадок.

Ключові слова: Чорне море, прибережні райони Криму, донні осадки, важкі метали, індекс ступеня забруднення, припустимий рівень концентрації

Assessment of bottom sediments in Crimea coastal regions pollution by heavy metals. V. I. Gubanov, Y. P. Kopytov, N. I. Bobko. The paper presents results of definition of heavy metals concentrations (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Hg, Cr) in a surface layer of bottom sediments in coastal waters of Crimea. Comparison of heavy metals in the regions with their concentrations in open areas of the Black Sea, with their natural clarkes in lithosphere and permissible levels of polluting substances on "the Dutch sheets" is spent. Values are calculated of factors and indexes of degree of heavy metals pollution in bottom sediments.

Keywords: Black Sea, Crimea coastal regions, bottom sediments, heavy metals, index of pollution degree, permissible levels concentration

ЗАМЕТКА

Первый случай «цветения» *Nodularia spumigena* Mertens ex Born. et Flah. в Чёрном море [Перший випадок «цвітіння» *Nodularia spumigena* Mertens ex Born. et Flah. у Чорному морі - First case of *Nodularia spumigena* blooming in the Black Sea]. Синезелёная водоросль *Nodularia spumigena* Mertens ex Born. et Flah. 1886 – широко распространённый эвригалинный вид. Встречается в планктоне и бентосе опреснённых морских акваторий, а также в солоноватых, солёных и ультрагалинных континентальных водоёмах. Часто вызывает «цветение» воды летом в Балтийском (Mazur, Pliński, 2003), Азовском (Матишов, Фуштей, 2003) и Каспийском (Roohi et al., 2010) морях. В Чёрном море ранее встречался в единичных количествах в его северо-западной части и в Григорьевском лимане (Северо-западная..., 2008). Впервые в Чёрном море «цветение» *N. spumigena* было зарегистрировано в его северо-западной части в междуречье Днепра и Днестра, в том числе в устьевой зоне Тилигульского лимана, в период с 7 по 23 июля 2010 г. Первоначально «цветением» был охвачен поверхностный 10 м слой воды. Численность и биомасса водорослей колебалась в пределах $2.2\text{--}22.6 \cdot 10^6$ нитей·л⁻¹ длиной 100 мкм и $23.2\text{--}238.7$ г·м⁻³, соответственно. Максимальная концентрация (численность $585.6 \cdot 10^6$ нитей·л⁻¹, биомасса 6.2 кг·м⁻³) была зарегистрирована 12 июля 2010 г. у побережья Одессы в поверхностном слое при солёности воды 14.48 ‰. Пятно «цветения» серо-желтого цвета шириной 2-3 мили вытянулось практически вдоль всего Одесского залива. Спутниковые снимки свидетельствуют о возможно ещё более широком распространении этого вида на северо-западном шельфе. Вероятной причиной «цветения» стало сочетание необычно высокой температуры воды и большого объёма атмосферных осадков. По данным морской геофизической лаборатории Одесского государственного экологического университета, за последние 30 лет средняя температура воды в первой половине июля у Одесского побережья возросла почти на 2°C, достигнув в 2010 г. значения 24.9°C, близкого к максимальному за этот период. В это же время выпало 206 % нормы атмосферных осадков (<http://pogoda.ru.net/monitor.php>). Особую озабоченность, связанную с «цветением», вызывает тот факт, что *N. spumigena* относится к токсичным видам водорослей, вырабатывающих гепатотоксин (нодуларин), влияющий на рыбу и тормозящий развитие её икры. Токсин аккумулируется также в моллюсках, особенно в мидиях. В 2001 г. сильное «цветение» *N. spumigena* в Гданьском заливе (Балтийское море) стало причиной временного закрытия местной администрацией всех пляжей (Mazur, Pliński, 2003). **Б. Г. Александров**, докт. биол. наук, дир., **Д. А. Нестерова**, канд. биол. наук, ст. н. с., **Л. М. Теренько**, канд. биол. наук, ст. н. с. (Одесский филиал Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского НАН Украины, Одесса)