

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 574 (262.5)

Е.А. Котельянец¹, О.В. Соловьева², Е.А. Тихонова³

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА ДОНУЗЛАВ

В настоящее время озеро Донузлав, расположенное в западной части Крымского полуострова, активно используется человеком. В акватории производится добыча песка, располагаются фермы по выращиванию мидий, устриц и др. Восточная часть озера активно эксплуатируется. Западное побережье Донузлава не подвержено антропогенной нагрузке и является малоизученным. Целью настоящей работы стала комплексная оценка уровня загрязнения основными классами загрязняющих веществ. Данная оценка включает определение содержания нефтяных углеводородов (НУ) в воде и донных отложениях; хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ), микроэлементов (Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, V, Sr, Ti, Mn, Fe) в донных отложениях северо-западного побережья озера Донузлав по данным 2017 г. Концентрация нефтяных углеводородов в воде озера не превышала ПДК для рыбохозяйственных водоемов. По содержанию хлороформ-экстрагируемых веществ донные отложения озера соответствуют I–III уровням загрязнения. Содержание металлов в морских грунтах северо-западного побережья озера Донузлав отличалось от прилегающих районов открытого моря. На исследуемом прибрежном участке отмечены повышенные концентрации некоторых микроэлементов (Zn, Co, V, Sr, Ti). В донных отложениях открытого моря данной геохимической особенности не выявлено. По данным 2017 г. озеро Донузлав по уровню загрязнения донных отложений приоритетными классами поллютантов можно характеризовать как водоем со средним уровнем загрязнения.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, нефтяные углеводороды, хлороформ-экстрагируемые вещества, микроэлементы

Введение. В западной части Крымского полуострова располагается озеро Донузлав – уникальный природный водоем, который подвергся существенной антропогенной трансформации. По разным данным несколько столетий оно существовало замкнутым и гиперсолёным, отделённым от моря песчаной пересыпью. В 60-е годы XX века в пересыпи, отделяющей Донузлав от Черного моря, был сделан проран. В результате произошло распреснение гипергалинного озера, что повлекло изменение геохимических показателей и заселение водоема морскими видами, существенно изменившими состав биоты [Болтачева, 2002]. На протяжении полувека в озере активно ведется добыча песка, вследствие которой нарушается подпитка побережья обломочным материалом. Это вызывает сокращение ширины пляжей и размыв берегов [Агаркова-Лях, 2014].

Сформировавшаяся в Донузлаве система течений после строительства судоходного канала такова, что в нем, в зависимости от направления и силы ветра наблюдаются течения, при которых вода сгоняется из озера или наоборот – поступает в него. Скорость течений в нижнем слое обычно больше, чем в верхнем. В озере существуют вихревые течения в районе прорана, снос терригенного матери-

ала со стороны верховьев Донузлавского озера и незначительный привнос песчаного материала со стороны взморья. Особенности гидродинамики водоема указывают на то, что воды озера, загрязненные различными видами поллютантов, беспрепятственно через канал могут попадать в открытое море и дальше вовлекаться в общую систему циркуляции [Тихоненкова, 2010; Ковригина, 1999].

Антропогенная нагрузка на побережье озера неравномерна. Его восточная часть, эксплуатируется достаточно активно. Карьер для подводной добычи песка находится в приустьевой его части. Вблизи этих объектов прибрежная акватория загрязнена промышленными и бытовыми отходами. Судя по приведенным в литературе данным, исследования в озере в большей мере проводились на его восточном побережье и в районах, примыкающих к карьеру и судоходному каналу. Предшествующие работы преимущественно касались оценки загрязнения вод акватории отдельными поллютантами (нефтяными углеводородами (НУ); Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr и Fe в придонной воде; поверхностно-активными веществами и др.). Существуют отдельные данные о концентрации этих элементов в донных отложениях [Тихоненкова, 2008; Тихоненкова, 2010; Пасынков, 2012; Ежегодник ..., 2016]. Ранее были

¹ ФГБУН Морской гидрофизический институт РАН, отдел гидрофизики шельфа, мл. науч. с., филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в г. Севастополе, инженер; *e-mail*: plistus@mail.ru

² ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН», отдел морской санитарной гидробиологии, ст. науч. с., канд. биол. н.; *e-mail*: kozl_ya_oly@mail.ru

³ ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН», отдел морской санитарной гидробиологии, ст. науч. с., канд. биол. н.; *e-mail*: tihonova@mail.ru

выявлены зоны с аномально высокими концентрациями НУ в воде, микроэлементов в донных отложениях. Особенно загрязнению подвержены участки, прилегающие к флотским объектам [Пасынков, 2012].

На западном берегу водоема расположены преимущественно сельскохозяйственные угодья и единичные базы отдыха. Данный участок водоема не подвержен антропогенной нагрузке и является малоизученным, в отличие от юго-восточного берега, где сосредоточены практически все техногенные объекты. В связи со слабой изученностью северо-западного района залива, нами было принято решение исследовать данное побережье. Этот район, с одной стороны, не подвержен антропогенной нагрузке, с другой – может подвергаться воздействию локальных источников загрязнения, расположенных на противоположном берегу водоема.

При экологической оценке гидросистемы одним из наиболее информативных объектов изучения являются донные отложения. В настоящей работе в качестве показателей для оценки экологического состояния акватории выбраны наиболее распространенные классы загрязняющих веществ – НУ, микроэлементы, содержание которых может свидетельствовать об определенном уровне антропогенного загрязнения. Целью работы стала комплексная оценка уровня загрязнения основными классами загрязняющих веществ. Данная оценка включает определение содержания нефтяных углеводородов в воде и донных отложениях; хлороформ-экстрагируемых веществ, некоторых микроэлементов (Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, V, Sr, Ti, Mn, Fe) в донных отложениях северо-западного побережья озера Донузлав по данным 2017 г.

Материалы и методы исследований. Пробы воды и донных отложений отбирали в акватории озера Донузлав во время экспедиции, проводимой сотрудниками ФГБУН ИМБИ в районе его западного побережья, в августе 2017 г. На внешнем рейде отбор проб осуществляли в рамках 86-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» в июне 2016 г. (рис. 1).

Станции отбора проб донных отложений выбирали вдоль западного побережья с учетом доступности уреза воды (так как берега Донузлава к северо-востоку от приустьевого расширения обрывисты, высота их достигает двух м) и наличия местной циркуляции вод и донных отложений [Фомин, 2006].

Отсутствие впадающих в озеро рек и ориентация его вдоль направления господствующих ветров определяют формирование сгонно-нагонных процессов. В результате происходит вынос обломочного материала из вершинной части водоема к его приустьевым участкам [Тихоненкова, 2010]. Вместе с донными осадками осуществляется транспорт загрязняющих веществ. В соответствии с моделями циркуляции вод и транспорта донных отложений [Фомин, 2006], наряду со сгонно-нагонными течениями вдоль оси залива, в акватории формируются относительно обособленные зоны циркуляции и транспорта донных отложений.

Попадание в одну из этих зон, наряду с доступностью и относительно равномерным распределением вдоль побережья озера, являлось важным фактором выбора местоположения станций пробоотбора. Полученный материал пополнит информацию о состоянии донных отложений этого уникального водоема. Отбор проб на каждой станции проводился трехкратно. Обсуждаемые показатели являются результатом обработки смешанных проб.



Рис.1. Карта-схема отбора проб донных отложений озера Донузлав

Fig. 1. The scheme of sampling the bottom sediments of the Donuzlav Lake

Пробы (слой 0–5 см) отбирались ручным пробоотборником. В свежееотобранных пробах донных отложений *in situ* проводили измерение величин рН и Eh рН-метром-термометром «Нейтрон-рН». Для определения содержания микроэлементов брали только центральную часть, которая не контактировала со стенками пробоотборника. Отобранную усредненную 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°C. Срок хранения осадков не более двух месяцев.

Получено 5 проб воды (4 – воды поверхностного горизонта и 1 – придонного) (ст. 1). Одна из станций находилась на внешнем рейде озера (ст. 1). Ее характеристики использовали как фоновые для сравнения показателей среды в водоеме с прилегающими участками открытого моря. Остальные станции пробоотбора (ст. 2, 3, 4) находились в западной части акватории, вдоль берега залива. Это обеспечило возможность проследить изменение исследуемых параметров с удалением от пересыпи, ограждающей озеро. Ввиду отсутствия на западном берегу водоема крупных антропогенных объектов, уровень загрязнения данного участка преимущественно должен быть связан с природными процессами, а также с перераспределением веществ в акватории локальными течениями.

В пробы морской воды, отобранные с поверхностного и придонного горизонтов, добавляли тетрахлорметан (CCl₄) из расчета 20 см³ на 2 дм³ для последующей экстракции. Дальнейшую обработку проводили на берегу в лабораторных условиях с использованием общепринятой методики, разработанной в ГОИН [Руководство ..., 1977].

Определение количества ХЭВ и НУ в воде и донных отложениях проводилось в измерительной лаборатории отдела морской санитарной гидробиологии (ОМСГ) ФГБУН Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН. Согласно паспорту лаборатории и перечню объектов и контролируемых в них показателей измерительной лаборатории ОМСГ ФГБУН ИМБИ погрешность измерения НУ в донных отложениях составляет 31% при принятой вероятности $P=0,95$, для ХЭВ – 20%. Измерение концентрации НУ производили на фурье-спектрофотометре ФСМ-1201 в диапазоне длин волн 2750–3150 см⁻¹.

В лабораторных условиях осадки высушивали до воздушно-сухого состояния, растирали в ступе и часть пробы просеивали через сита с диаметром ячеек 0,25 мм для определения концентраций НУ и хлороформ-экстрагируемых веществ. В подготовленных таким образом пробах определяли общее количество ХЭВ – весовым методом, НУ – методом инфракрасной спектроскопии [Руководство ..., 1977]. Все полученные результаты для concentra-

ций ХЭВ и НУ пересчитывали на 100 г воздушно-сухого донного осадка (возд.-сух. д. о.).

Подготовка проб к определению микроэлементов и измерению их содержания в пробах состояла из последовательных операций по высушиванию пробы до воздушно-сухого состояния (проводилось при температуре 105°C). В сухой пробе после растирания максимальный размер частиц не превышал 1 мм. Для этого пробу измельчали в фарфоровой ступке и просеивали через почвенное сито с диаметром отверстий 1 мм [Методика ..., 2002]. Построение градуировочных характеристик выполнялось с использованием аттестованных градуированных образцов (комплект СЧТ, СДПС, СКР, ССК) [Методика ..., 2002].

Определение (Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, V, Sr (мг/кг), и оксидов металлов TiO₂, MnO, Fe₂O₃) в донных отложениях исследуемой акватории выполнялось в лаборатории учебно-научного лабораторного корпуса филиала МГУ в г. Севастополе на приборе «Спектроскан» – МАКС-G [Методика ..., 2002].

Взаимное влияние элементов и матричные эффекты РФА метода учитываются нормировкой аналитического сигнала на линиях флуоресценции определяемых элементов на аналитический сигнал, измеренный на длине волны некогерентного рассеяния характеристической линии анода рентгеновской трубки на материале пробы, а также подбором (с помощью программного обеспечения) соответствующего аналитического вида градуированной характеристики [Методика ..., 2002].

Применение РФА для анализа различных объектов обусловлена доступностью и экспрессностью метода, его точностью и воспроизводимостью при содержании определенных элементов до 10⁻²% отн. При достаточно малых образцах пробы в пределах несколько граммов. Метод является экспрессным. Для оценки воспроизводимости и точности измерений применялся анализ сертифицированного донного осадка ДСЗУ 163.1-98 в восьми проворностях. Минимальное среднеквадратическое отклонение составляло 0,0026% (MnO), максимальное 7,625% (Cr).

Для оценки загрязненности воды нефтью и нефтепродуктами использовали показатель ПДК = 0,05 мг/л в воде рыбохозяйственных водоемов [Анисова и др., 1990]. ПДК для содержания ХЭВ и НУ в донных отложениях отсутствуют. Для оценки загрязненности морских грунтов ХЭВ использовали классификацию [Миронов, 1986], в которой уровень загрязнения донных отложений оценивается по благополучию бентосного сообщества. В соответствии с ней первый уровень загрязнения (0–50 мг/100 г возд.-сух. д. о.) – это чистые акватории с благоприятными условиями существования донных сообществ. Со второго уровня с содержанием ХЭВ 50–100 мг/100 г возд.-сух. д. о. можно считать, что накопление данного класса веществ носит преимущественно аллохтонный характер, хотя не несет негативных последствий для биоты. Третий уровень загрязнения (100–500 мг/100 г возд.-сух. д. о.), при котором начинается деградация биоценозов; чет-

вертый уровень (500–1000 мг/100 г возд.-сух. д. о.), когда формируется устойчивое к данному виду загрязнения сообщество, и его характеристики имеют высокие показатели (биомасса, численность). Самый высокий – пятый уровень (больше 1000 мг/100 г возд.-сух. д. о.), при котором наблюдается преобладание видов, устойчивых к загрязнению и массовое сокращение остальных. Нормативы содержания НУ в донных отложениях в нашей стране отсутствуют. Для оценки загрязнения использовали так называемые «голландские листы» [Neue Niederlandische, 1995], в соответствии с которыми допустимая концентрация НУ в донных отложениях составляет 5 мг/100 г. Эти нормативы, хоть и не имеют в нашей стране официального статуса, но широко используются многими исследователями для различных водных бассейнов. В некоторых субъектах федерации на их основе создаются региональные нормативы. Не существует ПДК и для содержания микроэлементов в морских донных отложениях. В настоящем исследовании концентрации химических элементов в морских донных осадках сравнивали с их кларками, либо с фоновыми значениями для изучаемых морских систем [Митропольский с соавт., 1982; Методика ..., 2002].

Результаты исследований и обсуждение. Полученные результаты показали, что содержание НУ в поверхностных водах озера колебалось от 0,002 до 0,050 мг/л, в среднем составляя 0,025 мг/л. Максимальные значения, соответствующие уровню ПДК для вод рыбохозяйственных водоемов, отмечены на участках, прилегающих к косе Беляус. С продвижением с западного на восточный берег озера концентрация НУ в воде падает. На внешнем рейде содержание нефти в поверхностном горизонте превышало ПДК в 1,26 раза (0,063 мг/л), а в придонном составляло 0,26 ПДК (0,013 мг/л). В 2015 г. в результате сочетания природных и антропогенных факторов уровень загрязнения вод Донузлава был сопоставим с таковым для одной из самых неблагоприятных бухт Крымского побережья – Севастопольской [Мионов, 2009]. Воды Донузлава характеризуются гидрометслужбой как умеренно загрязненные. В качестве приоритетных загрязняющих веществ выделены НУ, концентрация которых колебалась в пределах 1,2–2,4 ПДК, в среднем составляя 1,6 ПДК [Ежегодник ..., 2016].

Повышенное содержание НУ в обозначенном районе взморья, как правило, связано с функционированием черноморских течений, приносящих загрязняющие вещества со стоком европейских рек [Лебедев, 2009]. При исследовании системы течений озера, отмечено [Тихоненкова, 2010], что основной поток загрязняющих веществ попадает в открытое море. По всей видимости, коса является естественным барьером, препятствующим процессам переноса загрязняющих веществ, в результате чего происходит аккумуляция последних. Следует предположить, что в летний период в указанном районе происходит концентрирование морской воды за счет испарения и отсутствия берегового стока. В резуль-

тате соленость превышает показатель для открытого моря, составляя 21‰. Соленость озера в его центральной и вершинной частях уменьшается до 17–18‰, что соответствует солености прилегающих морских акваторий. Показатели 2017 г. были меньше тех, что зафиксированы в 2015 г. (0,06–0,12 мг/л) [Ежегодник ..., 2016]. Комментируя данные о загрязнении воды, необходимо учитывать, что различия в результатах единоразовых съемок могут и не отражать какие-либо перемены в уровне загрязнения акватории, а быть следствием подвижности водных масс. Более достоверные выводы о динамике содержания НУ в воде можно сделать только на основании продолжительных наблюдений.

Донные отложения Донузлава преимущественно имеют местное происхождение. Известно, что существует незначительный привнос обломочного материала из открытых участков акватории в озеро. На данном участке побережья наблюдается поступление материала со дна от абразии бенча и с биогенными выбросами, также отмечается размыв берегов и эоловые процессы [Агаркова-Лях, 2014]. Отсутствуют впадающие в озеро реки. В вершинной части существует множество подводных источников, которые распресняют воду в верховье озера и являются источником загрязнения водоема [Юровский, 2013]. Еще одной особенностью озера является незаполненность его иловыми отложениями [Курнаков, 1936; Тихоненкова, 2010].

Северо-западный участок дна озера сложен песками, илами мощностью от 1,2 до 2,5 м. По своему гранулометрическому составу пески относятся в основной массе к группе средних и мелких. Они характеризуются повышенным содержанием фракции ракушки размером более 5 мм (до 10%). Модуль крупности изменяется от 1,0 до 2,9 (в среднем 2,0). Объемная масса изменяется от 956 до 1774 кг/м³. Химический состав характеризуется преобладанием карбоната кальция – 88,7% [<http://ekomir-scimea.ru/2017/12/16/703/>]. Такого рода донные отложения не способствуют аккумуляции загрязняющих веществ.

Физико-химические показатели донных отложений соответствовали характеру морского грунта, представленного серыми песками с примесью ила, и находились в следующих пределах: рН – 7,8–8,3, Eh – от – 136 до – 190 мВ.

По полученным данным содержание ХЭВ (рис. 2) в донных отложениях озера колеблется в пределах от 20 до 150 мг/100 г возд.-сух. д. о. Данные показатели соответствуют I–III уровням загрязнения [Мионов, 1986]. Указанные уровни возрастают при продвижении с запада на восток вдоль исследуемого побережья. Содержание ХЭВ за пределами Донузлава характеризует побережье как чистое по данному показателю (уровень I).

Содержание НУ (от 14,7 до 41,2 мг/100 г) в донных отложениях увеличивалось аналогично ХЭВ, и во всех случаях превышало нормативное [Neue Niederlandische, 1995]. Изменение концентрации НУ в донных отложениях соответствовало таковому в

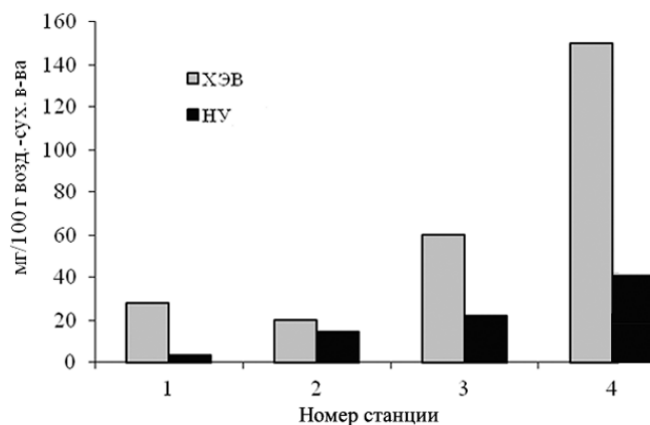


Рис. 2. Содержание (мг/100 г) ХЭВ и НУ в донных отложениях оз. Донузлав и прилегающей акватории

Fig. 2. Concentrations of chloroform-extractable substances and oil hydrocarbons in bottom sediments of the Donuzlav Lake and adjacent water area

поверхностной воде, которая и является источником их поступления в донные осадки. Доля НУ от ХЭВ с удалением от косы возрастала, составляя соответственно 28,4 и 74%. Содержание данного поллютанта в донных отложениях прилегающей черноморской акватории (ст. 1), не превышало нормативное, и было в 4 раза меньше минимального в акватории озера (3,4 мг/100 г).

Анализ содержания отдельных металлов в донных отложениях открытого моря в районе озера Донузлав показал (табл.) отсутствие превышения содержания средних показателей для шельфа для исследуемых элементов. При этом концентрации Zn, Ni, Cr близки к средним величинам, концентрация остальных элементов – существенно ниже геохимического фона.

В акватории озера микроэлементы были распределены неравномерно. В юго-западной части исследуемого побережья наблюдаются максимумы

содержания Pb, V, Sr, Ti. В этом районе превышены (в 1,5 раза) кларки таких элементов, как V, Sr, Ti. В литературе имеются данные, в соответствии с которыми в 2006 г. содержание V на данном участке было в разы меньше, отмеченного нами. Однако сложно сделать вывод об изменении содержания данных микроэлементов, ввиду методических различий в их определении. Уточнение данного вопроса требует расширенных исследований с использованием атомно-абсорбционного метода, что позволит произвести более корректное сравнение полученных показателей.

В центральной части западного побережья Донузлава превышение средних величин черноморского шельфа отмечено только для Sr. В 2006 г. содержание в этом районе микроэлементов (определено атомно-абсорбционным методом) также было меньше, чем возле косы [Тихоненкова, 2008]. В вершинной части озера (ст. 4) наблюдалось максимальное содержание для Zn, Ni, Co, Cr, V, Fe, Sr. Из них фоновые значения превышены для Zn, V и Sr. Повышенные концентрации отдельных элементов в вершинной части Донузлава могут быть связаны с функционированием в этой части водоема большого количества подводных источников. Крымскими гидрологами показано, что в результате субмаринной разгрузки в этом районе, в воду озера попадают существенные количества загрязняющих веществ [Юровский, 2013].

Выводы:

– уровень загрязнения донных отложений ХЭВ в отдельных участках озера достигает достаточно высоких показателей (150 мг/100 г воздушно-сухого вещества). Концентрация НУ в донных отложениях водоема превышает допустимую [Neue Niederlandische, 1995] и колеблется от 14,7 до 41,2 мг/100 г.;

– содержание НУ в воде в акватории озера не превышало санитарный норматив [Анисова с соавт., 1990], в то время как на взморье – зафиксирована концентрация, равная 1,26 ПДК. Показатели 2017 г.

Т а б л и ц а

Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в донных отложениях оз. Донузлав (2017 г.) и прилегающих участков Черного моря. Данные о концентрациях приведены по Б.В. Виноградову [Добровольский, 2003]

Элемент	Пределы колебаний в оз. Донузлав		Среднее значение в оз. Донузлав	Содержание в осадках	
	min	max		открытого моря	черноморского шельфа
Zn мг/кг	0	93,35	33,12	47,4	48
Pb, мг/кг	0	21,28	11,56	–	85
Ni, мг/кг	0	16,42	8,81	38,15	42
Co, мг/кг	0	21,85	7,28	–	14
Cr, мг/кг	27,34	76,97	47,87	61,35	45–90
V, мг/кг	1,38	103,3	67,54	10	90
Sr, мг/кг	797,8	10067	4167	281	300
TiO ₂ , %	0,2093	0,9105	0,60	0,3009	0,6–0,8
Fe ₂ O ₃ , %	0,5153	2,729	1,41	1,882	5,08
MnO, %	0,024	0,029	0,03	0,0315	0,38

П р и м е ч а н и е. – ниже предела обнаружения метода рентгенофлуоресцентного анализа.

были меньше (в среднем в 4 раза), отмеченных в 2015 г. Следует учесть, что зафиксированные величины могут быть результатом подвижности водных масс и не отражать изменения содержания НУ в воде;

– содержание микроэлементов в донных отложениях северо-западного побережья озера Донузлав отличалось от прилегающих районов открытого моря. На исследуемом прибрежном участке отмечены повышенные концентрации некоторых элементов (Zn, Co, V, Sr, Ti). В донных отложениях откры-

того моря данной геохимической особенности не выявлено;

– на основе результатов исследования уровня загрязнения донных отложений озера Донузлав приоритетными классами загрязняющих веществ можно характеризовать его как водоем со средним уровнем загрязнения. Уточнение экологического статуса акватории требует комплексного регулярного контроля с использованием более точных аналитических методов.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН МГИ по теме № 0827-2019-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование прибрежных зон Черного и Азовского морей», ФГБУН ИМБИ по теме государственного задания «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ 0828-2019-0006).

Авторы выражают свою благодарность анонимным рецензентам за тщательный анализ статьи и ценные замечания, профессору Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова Е.И. Голубевой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агаркова-Лях И.В.* Современное состояние пляжей западного побережья Крыма и актуальные вопросы берегового природопользования // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2014. Вып. 29. С. 50–60.
- Анисова С.Н., Лесников Л.А., Минаева Т.В., Ляшенко С.Ф.* Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. М.: ВНИРО, 1990. 46 с.
- Болтачева Н.А., Колесникова Е.А., Ревков Н.К.* Фауна макрозообентоса лимана Донузлав (Черное море) // Экология моря. 2002. Вып. 62. С. 10–13.
- Добровольский В.В.* Основы биогеохимии. М.: Academia, 2003. 397 с.
- Емельянов В.А., Митропольский А.Ю., Наседкин Е.И. и др.* Геоэкология Черноморского шельфа Украины. Киев: Академперіодика, 2004. 141 с.
- Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2015 / Под ред. А.Н. Коршенко. М.: Наука, 2016. 184 с.
- Ковригина Н.П., Немировский М.С.* Гидрохимическая характеристика вод озера Донузлав по данным 1990–1997 гг. // Экология моря. 1999. Вып. 48. С. 10–14.
- Курнаков Н.С., Кузнецов В.Г., Дзен-Литовский А.И. и др.* Соляные озера Крыма. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1936. 278 с.
- Лебедев С.А.* Оценка фонового загрязнения нефтепродуктами Черного и Каспийского морей с использованием данных дистанционного зондирования и модельных расчетов // Мат-лы Междунар. научно-практ. конф. «Экологические проблемы современности». Майкоп, Россия, 5 мая 2009 г. С. 25–44.
- Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа, регламентированная в документе М049-П/02. СПб.: ООО «Спектрон», 2002. 16 с.
- Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсяный Е.И.* Геохимия Черного моря. Киев: Наукова думка, 1982. 114 с.
- Мионов О.Г., Миловидова Н.Ю., Кирюхина Л.Н.* О предельно допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках прибрежной зоны Черного моря // Гидробиол. журн. 1986. Т. 22. № 6. С. 76–78.
- Пасынков А.А., Тихоненков Э.П., Тихоненкова Е.Г.* Методика и технология экологического мониторинга среды акватории Черного моря в районе Донузлавского лимана // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2012. Т. 1. № 26. С. 58–63.
- Переладов М.В.* Структура биотопа и современное состояние поселений устриц (*Ostrea edulis*) в озере Донузлав, п-ов Крым, Черное море // Тр. ВНИРО. 2016. Т. 163. С. 36–47.
- Романов А.С., Орехова Н.А., Игнатъева О.Г., Коновалов С.К., Овсяный Е.И.* Влияние физико-химических характеристик донных осадков на распределение микроэлементов на примере бухт Севастополя (Черного моря) // Экология моря. 2007. Вып. 73.
- Руководство по методам химического анализа морских вод / Под ред. С.Г. Орадовского. Л.: Гидрометеониздат, 1977. 208 с.
- Санитарно-биологические исследования в прибрежной акватории региона Севастополя / Под общ. ред. О.Г. Миронова. ИнБЮМ НАН Украины. Севастополь: ЭкоСи-Гидрофизика, 2009. 192 с.
- Тихоненкова Е.Г.* Влияние антропогенной деятельности на экологическое состояние геологической среды и геохимические ландшафты озера Донузлав // Уч. зап. Таврического национального ун-та им. В.И. Вернадского. Сер. география. 2008. Т. 21(60). № 3. С. 359–365.
- Тихоненкова Е.Г., Пасынков А.А., Иванютин Н.М.* Закономерности распределения загрязняющих веществ в водах сопредельных участков озера Донузлав и Черного моря // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2010. № 4. С. 75–84.
- Юровский Ю.Г.* Подземные воды шельфа. Задачи и методы изучения. Монография. Симферополь: ДИАЙПИ, 2013. 260 с.
- Юровский Ю.Г., Юровская Т.Н., Прусов А.В.* Проблемы оценки экологического состояния донных отложений и субмаринная разгрузка подземных вод // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. Вып. 26. С. 116–126.
- Neue Niederlandische Liste // Altlasten Spektrum. 1995. 3/95. 200 p.

Поступила в редакцию 26.10.2018
После доработки 19.11.2018
Принята к публикации 06.12.2018

Е.А. Kotelyanets¹, О.В. Soloveva², Е.А. Tikhonova³

POLLUTION OF BOTTOM SEDIMENTS IN THE DONUZLAV LAKE

The Donuzlav Lake, which is located in the western part of the Crimean peninsula, is actively exploited by man. The sand is extracted and mussels and oysters farms are operating. The eastern part of the lake is actively exploited. The western coast of the Donuzlav Lake is not subjected to anthropogenic pressure and is poorly studied. The study is aimed at the comprehensive assessment of pollution level for the priority classes of pollutants. This assessment includes the determination of the content of oil hydrocarbons in water and bottom sediments; chloroform-extractable substances and microelements (Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, V, Sr, Ti, Mn, Fe) in the bottom sediments of the north-western coast of the Donuzlav Lake. Concentrations of oil hydrocarbons in lake water do not exceed the MPC for fishery reservoirs. According to the content of chloroform-extractable substances, bottom sediments of the lake correspond to I–III levels of pollution. Concentrations of metals in marine sediments of the northwestern coast of the Donuzlav Lake differ from the adjacent areas of the open sea. Higher concentrations of microelements (Zn, Co, V, Sr, Ti) were recorded for the studied coastal water area while for the bottom sediments of the open sea this geochemical feature was not revealed. Basing on the 2017 data on the level of bottom sediments contamination with priority classes of pollutants, the Donuzlav Lake can be characterized as a reservoir with an intermediate pollution level.

Key words: pollutants, oil hydrocarbons, chloroform-extractable substances, microelements

Acknowledgments. The study was realized within the framework of the state task of FSBIR MHI «Complex interdisciplinary studies of oceanologic processes, determining the functioning of the Black and Azov Sea coastal zones» (№ 0827-2019-0004); as well as the state task of FSBIR IMBI «Molismological basics of marine ecosystems homeostasis» (№ 0828-2019-0006).

The authors are grateful to E.I Golubeva, Professor of the Lomonosov Moscow State University, and to anonymous reviewers for a thorough analysis of the article and valuable comments.

REFERENCES

- Agarkova-Ljah I.V.* Sovremennoe sostojanie pljazhej zapadnogo poberezh'ja Kryma i aktual'nye voprosy beregovogo prirodopol'zovanija [present-day state of beaches on the western coast of Crimea and the actual problems of coastal nature management] // *Jekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon morja*. 2014. Vyp. 29. P. 50–60. (In Russian)
- Anisova S.N., Lesnikov L.A., Minaeva T.V., Lyashenko S.F.* Obobshchennyj perechen' predel'no dopustimyh koncentracij (PDK) i orientirovochno bezopasnyh urovnej vozdejstviya (OBUV) vrednyh veshchestv dlya vody rybohozyajstvennyh vodoyomov [General list of maximum permissible concentrations and safe reference levels of impact (SRLI) of hazardous substances for the water of fishery reservoirs]. M.: VNIRO, 1990. 46 p. (In Russian)
- Boltacheva N.A., Kolesnikova E.A., Revkov N.K.* Fauna makrozoobentosa limana Donuzlav (Chernoe more) [Fauna of macrozoobentosa in the Donuzlav coastal lake (the Black Sea)] // *Jekologija morja*. 2002. Vyp. 62. P. 10–13. (In Russian)
- Dobrovol'skij V.V.* Osnovy biogeohimii [Fundamentals of biogeochemistry]. M.: Academia. 2003. P. 397. (In Russian)
- Emel'yanov V.A., Mitropol'skij A.Y., Nasedkin E.I. i dr.* Geoehkologiya Chernomorskogo shel'fa Ukrainy [Geoecology of the Black Sea shelf in Ukraine]. Kiev: Akadempriodika, 2004. P. 141. (In Russian)
- Kachestvo morskikh vod po gidrohimicheskim pokazateljam [Quality of marine water in terms of hydrochemical parameters]. *Ezhegodnik 2015 / Pod red. A.N. Korshenko*. Moskva: Nauka, 2016. P. 184. (In Russian)
- Kovrigina N. P., Nemirovskij M. S.* Gidrohimicheskaya harakteristika vod ozera Donuzlav po dannym 1990–1997 gg. [Hydrochemical characteristics of the Donuzlav Lake water according to 1990–1997 data] // *Ekologiya morya*. 1999. Vyp. 48. P. 10–14. (In Russian)
- Kurnakov N.S., Kuznetsov V.G., Dzen-Litovskij A.I. i dr.* Solyanye ozera Kryma [Salt lakes in Crimea]. M.-L.: Iz-vo AN SSSR, 1936. 278 p. (In Russian)
- Lebedev S.A.* Ocenka fonovogo zagryznenija nefteproduktami Chjornogo i Kaspijskogo morej s ispol'zovaniem dannyh distancionnogo zondirovanija i model'nyh raschjotov [Assessment of background pollution of the Black and Caspian seas with oil products using the remote sensing data and model calculations] // *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. (In Russian)
- Metodika vypolnenija izmerenij massovoj doli metallov i oksidov metallov v poroshkovykh probah pochv metodom rentgenofluorescentnogo analiza, reglamentirovannaja v dokumente M049-P/02 [Technique of performing the measurements of the weight percentage of metals and metal oxides in powdered samples of soils by X-ray fluorescence analysis regulated by the M049-P/02 document]. SPb.: OOO «Spektron». 2002. 16 p. (In Russian)
- Mironov O.G., Milovidova N.Ju., Kirjuhina L.N.* O predel'no dopustimyh koncentracijah nefteproduktov v donnyh osadkah pribrezhnoj zony Chjornogo morja [About maximum permissible concentrations of oil products in bottom sediments in the coastal zone of the Black Sea] // *Gidrobiol. z.* 1986. T. 22. № 6. P. 76–78. (In Russian)

¹ FSBIS Marine Hydrophysical Institute of RAS, Shelf Hydrophysics Department, Junior Research Scientist; Lomonosov Moscow State University, Sevastopol Branch, engineer; *e-mail:* plistus@mail.ru.

² A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS, Department of marine sanitary hydrobiology, Senior Research Scientist, PhD. in Biology; *e-mail:* kozl_ya_oly@mail.ru

³ A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS, Department of marine sanitary hydrobiology, Senior Research Scientist, PhD. in Biology; *e-mail:* tihonoval@mail.ru

Mitropol'skij A.Ju., Bezborodov A.A., Ovsjanyj E.I. Geohimija Chjornogo morja [Geochemistry of the Black Sea]. Kiev: Naukova dumka, 1982. P. 114. (In Russian)

Neue Niederlandische Liste // *Altlasten Spektrum*. 1995. 3/95. 200 p.

Pasynkov A.A., Tihonenkov E.P., Tihonenkova E.G. Metodika i tehnologiya ehkologicheskogo monitoringa sredy akvatorii Chyornogo morja v rajone Donuzlavskogo limana [Methods and technologies of environmental monitoring of the Black Sea water in the vicinity of the Donguzlav coastal lake] // *Ehkologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoj i shel' fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*. 2012. T. 1. № 26. P. 58–63. (In Russian)

Pereladov M.V. Struktura biotopa i sovremennoe sostojanie poselenij ustric (*Ostrea edulis*) v ozere Donuzlav p-ov Krym, Chjornoe more [Biotope structure and the actual state of oyster colonies (*Ostrea edulis*) in the Donuzlav Lake, the Crimean Peninsula, the Black Sea] // *Trudy VNIRO*. 2016. T. 163. P. 36–47. (In Russian)

Romanov A.S., Orekhova N.A., Ignat'eva O.G., Kononov S.K., Ovsjanyj E.I. Vliyanie fiziko-himicheskikh harakteristik donnyh osadkov na raspredelenie mikroehlementov na primere buht Sevastopolja (Chernogo morja) [Influence of physical and chemical parameters of bottom sediments on the distribution of trace elements in the bays of Sebastopol (the Black Sea)] // *Ehkologiya morya*. 2007. Vyp. 73. (In Russian)

Rukovodstvo po metodam himicheskogo analiza morskih vod [Guide on the methods of chemical analysis of marine water] / Pod red. S.G. Oradovskogo. L.: Gidrometeoizdat, 1977. 208 p. (In Russian)

Sanitarno-biologicheskie issledovaniya v pribrezhnoj akvatorii regiona Sevastopolja [Sanitary-biological research in the coastal part of the sea in the Sebastopol region] / Pod obshhej red. O.G. Mironova. InBJuM NAN Ukrainy. Sevastopol': Jekosi-Gidrofizika, 2009. 192 p. (In Russian).

Tihonenkova E.G., Pasynkov A.A., Ivanjutin N.M. Zakonomernosti raspredelenija zagriznjajushhih veshhestv v vodah sopredel'nyh uchastkov ozera Donuzlav i Chernogo morja [Regularities of pollutants distribution in water of the adjacent parts of the Donuzlav Lake and the Black Sea] // *Geologija i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*. 2010. № 4. P. 75–84. (In Russian).

Tihonenkova E.G., Vliyanie antropogennoj dejatel'nosti na jekologicheskoe sostojanie geologicheskoy sredy i geohimicheskie landshafty ozera Donuzlav [Impact of anthropogenic activities on the ecological state of geological environment and geochemical landscapes of the Donuzlav Lake] // *Uuchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. serija: geografija*. 2008. T. 21(60). № 3. P. 359–365. (In Russian)

Jurovskij Yu.G. Podzemnye vody shel'fa. Zadachi i metody izucheniya [Underground water of the continental shelf. Aims and methods of study]. Monografiya. Simferopol': DIAJPI, 2013. 260 s.

Jurovskij Yu.G., Jurovskaja T.N., Prusov A.V. Problemy ocenki jekologicheskogo sostojanija donnyh otlozhenij i submarinnaja razgruzka podzemnyh vod [Problems of the assessment of the ecological state of bottom sediments and the submarine groundwater discharge] // *Jekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnoj i shel' fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*. Sevastopol': JeKOSI- Gidrofizika, 2012. Vyp. 26. P. 116–126. (In Russian)

Received 26.10.2018

Revised 19.11.2018

Accepted 06.12.2018