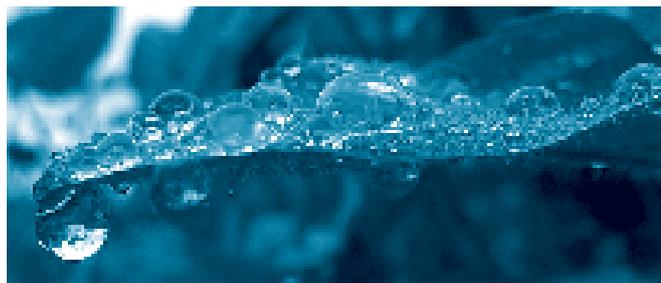


# КОНТРОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД как ВАЖНЫЙ ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОВЕРХНОСТНОГО ВОДОЁМА (на примере Сакского соленого озера)

Проанализирована степень влияния грунтовых вод на экологическую безопасность Сакского лечебного озера. Охарактеризованы природные факторы, обуславливающие формирование Сакского озера, а также детально рассмотрены гидрогеологические факторы, к которым относятся грунтовые воды.



## Введение

На территории Крымского полуострова находится 26 соленых озер, обладающих ценными гидроминеральными ресурсами (рапой и лечебной грязью). В свое время часть озер активно использовалась для бальнеолечения (озера из Евпаторийской и Керченской группы), другая служила сырьевой базой для химической промышленности (озера из Евпаторийской и Перекопской группы). Некоторые соленые озера не осваивались из-за малого объема рапы и лечебных грязей, сезонного пересыхания и значительного удаления от промышленно-курортной инфраструктуры.

На сегодняшний день Сакское месторождение является главной гидроминеральной лечебно-сырьевой базой курорто-оздоровительных учреждений Крыма и Украины. Благодаря своим ценным бальнеологическим свойствам лечебная грязь и рапа Сакского озера позволяют лечить ряд заболеваний: болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани, ревматоидный артрит, остеоартрит, оститы, периоститы, остаточные явления травм и интоксикаций ЦНС, заболевания пери-

**Н.В. Бейнер\***, аспирантка, преподаватель, Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

**В.В. Чабан**, инженер по научно-технической информации, эколог, Сакская гидрогеологическая режимно-эксплуатационная станция

**П.С. Бейнер**, аспирант, Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

ферической нервной системы, шейно-лопаточный радикулит, невралгия межреберных нервов, пояснично-крестцовый радикулит и др.

Сакское соленое озеро представляет собой 7 изолированных друг от друга водоемов, каждый из которых имеет свое промышленное или лечебное назначение, гидрологический режим и контроль. Восточный бассейн — современный район добычи гидроминеральных ресурсов (лечебных пелоидов и покровной рапы) — носит названия Лечебного озера (водоема).

Рапа Восточного бассейна представляет собой прозрачный, бесцветный, соленосыщенный рассол, образовавшийся в результате многократного выпаривания поступающей в водоем воды Черного моря. Свой вклад в формирование химического состава рапы внес диффузионный перенос солей из подстилающих илов и разнотипных поверхностных и грунтовых вод. По химическому составу рапа Восточного бассейна хлоридно-магниевая-натриевая (идентична воде Черного моря). Пределы колебания общей минерализации рапы составляют от 75,9 г/дм<sup>3</sup> (февраль 1998 г.) до 200,9 г/дм<sup>3</sup> (сентябрь 2001 г.).

При снижении минерализации ниже 40 г/дм<sup>3</sup> может произойти распреснение. При солености свыше 200 г/дм<sup>3</sup> происходит ин-

\*Адрес для корреспонденции: beyner@list.ru

тенсивная осадка гипса, которая приводит к увеличению гипсовой корки на грязевой залежи, что, в свою очередь, сильно затрудняет добычу. Таким образом, если не проводить искусственное регулирование водно-солевого баланса зимой водоем может полностью распресниться, а летом — пересохнуть. В обоих случаях месторождения будут утрачены.

Основными источниками питания водоема являются пресные атмосферные осадки, выпавшие на зеркало, солоноватые (с минерализацией от 4 г/дм<sup>3</sup> до 12 г/дм<sup>3</sup>) грунтовые воды, хлоридно-сульфатно-натриево-магниевая морская вода с минерализацией 18 г/дм<sup>3</sup> и сульфатно-хлоридно-натриево-кальциево-магниевая вода Михайловского пруда с минерализацией 4 г/дм<sup>3</sup>.

В настоящее время водно-солевой баланс водоема регулируется с помощью гидротехнической системы, состоящей из каналов и насосных станций, но роль гидрогеологических факторов по-прежнему велика. Грунтовые воды являются одним из важных источников питания озера.

В проведенных ранее работах [1, 2] установлено, что озеро находится в неблагоприятной экологической обстановке, связанной с наличием в пределах округа зон санитарной охраны источников техногенного загрязнения, которые обуславливают поступление загрязнителей в окружающую среду. В результате подпитки с сельскохозяйственных земель, садово-огороднических и дачных участков происходит изменение гидрохимических характеристик грунтовых вод, разгружающихся в котловине озера. Следовательно, грунтовые воды, поступающие в водоем, могут являться транзитной средой при переносе загрязняющих веществ.

## Материалы и методы исследования

Для наблюдения динамики параметров грунтовых вод в зоне их транзита с 1986 г. оборудована гидрогеологическая сеть наблюдательных грунтовых скважин, которая расположена в 1-й зоне санитарной охраны Сакского озера и состоит из 39 скважин. В связи с истечением срока эксплуатации наблюдательных скважин, с мая 2004 г. оборудована новая гидрогеологическая сеть, состоящая из 12 скважин. Большинство скважин новой сети располо-

жены по схеме 1986 г., что позволяет сопоставлять результаты водопритока в озеро на различных участках побережья по годам.

Для снижения техногенного воздействия на водоем, ДП «Сакская гидрогеологическая режимно-эксплуатационная станция» (ГПРЭС) ведет непрерывный контроль за гидрологическими, физико-химическими и санитарно-бактериологическими параметрами грунтовых вод.

При изучении влияния грунтовых вод на экологическую безопасность Сакского лечебного озера проводилась работа по анализу и обобщению опубликованных и фондовых материалов. Осуществлялся отбор проб и систематизация результатов исследования гидрохимических и гидрологических параметров грунтовых вод в наблюдательных скважинах. Проведен структурный анализ типов почв и определено содержания в них загрязнителей.

Обработка результатов проводилась при помощи программного пакета «Microsoft Office–2003». Для составления топооснов использовалось программное обеспечение «Goggle Earth», «Photoshop 8» и «Corel draw 12».

## Результаты и их обсуждение

### Анализ загрязнения почв

На прилегающей к озеру территории (в зоне санитарной охраны) располагаются сельскохозяйственные угодья, объекты химической промышленности, жилые кварталы г. Саки и др. населенные пункты с сопутствующей инфраструктурой. Развитие хозяйственной деятельности обусловило образование вокруг водоема большого количества потенциальных источников техногенного загрязнения: дренажа с полей орошения и сброса сточных вод в защитные водоемы; коммуникаций, проложенных на берегу озера; объектов легкой и пищевой промышленности; объектов санаторно-курортного комплекса; накопительных бассейнов бывшего химического завода; несанкционированных мусорных свалок и др. Перечисленные источники являются причиной поступления и накопления в окружающей среде большого количества техногенных загрязнителей (табл. 1).

Геоморфологическое строение района исследования способствует тому, что озера, примыкающие к лечебным водоемам, являются приемниками большого количе-

Таблица 1

Виды загрязнителей, поступающих в объекты окружающей среды из различных техногенных источников [3, 4]

Группы загрязнителей	Теоретически и экспериментально обоснованные загрязнители, поступающие в окружающую среду
Пищевая промышленность	$\text{NO}_3^{2-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{Ca}^{2+}$ , Li, Ba, Pb, Cd, Md, Hg, фенолы, нефтепродукты, СПАВ
Сельское хозяйство	$\text{N}_3^{2-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{K}^+$ , $\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{Ca}^{2+}$ , Se, Li, Ba, Al, As, Mn, Hg, Cu, Zc, фенолы, окислители, пестициды, гербициды, фунгициды, зооциды
Свалки ТБО и строительных отходов	$\text{NO}_3^{2-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{Ca}^{2+}$ , Li, Ba, Cd, Md, Hg Al, As, фенолы, нефтепродукты, окислители СПАВ
Химическая промышленность	$\text{NH}_4^+$ , Fe, $\text{NO}_3^{2-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{Ca}^{2+}$ , Li, Ba, Mn, Hg, As, Cu, Pb, фенолы, нефтепродукты, серная и соляная кислоты
Хранение углеродов	$\text{H}_2\text{S}$ , $\text{NH}_4^+$ , Fe, $\text{NO}_3^{2-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{Ca}^{2+}$ , Li, Ba, Mn, Hg, As, Pb, фенолы, нефтепродукты, ароматические углеродов
Отсутствие канализации	$\text{P}_2\text{O}_5$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{K}^+$ , $\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{Ca}^{2+}$ , Se, Li, Ba, Al, фенолы, окислители, СПАВ
Транспорт	$\text{NO}_3^{2-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{NH}_4^+$ , Se, Li, Ba, As, Mn, Hg, Cu, Fe, Zn, Ni, Co, Mo, фенолы, окислители, нефтепродукты
АЗС	$\text{NO}_3^{2-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{NH}_4^+$ , Se, Li, Ba, As, Mn, Hg, Cu, Fe, Zn, Ni, Co, Mo, фенолы, окислители, нефтепродукты
Предприятия, использующие отравляющие вещества (аммиак, хлор, сернистый ангидрид)	$\text{NO}_3^{2-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{NH}_4^+$ , Li, Ba, As, Mn, Hg, Al, фенолы
ТЭЦ и др. энергетические комплексы	$\text{NO}_3^{2-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{NH}_4^+$ , Li, Ba, As, Mn, Fe, фенолы, нефтепродукты

ства загрязненных сточных вод с поселков, расположенных рядом, и с орошаемых полей. При помощи системы гидротехнических сооружений загрязненные воды отводятся в биологический пруд-поглотитель, но при экстремальных проявлениях климатических факторов (обильных осадков, паводков и т.д.) возникает угроза размыва защитных дамб и попадания загрязнителей в лечебные водоемы. К тому же, разница между уровнями воды в лечебных и защитных водоемах, достигает более 1 м, создавая при этом угрозу фильтрации загрязняющих веществ в Восточный и Западный бассейны через разделительные дамбы.

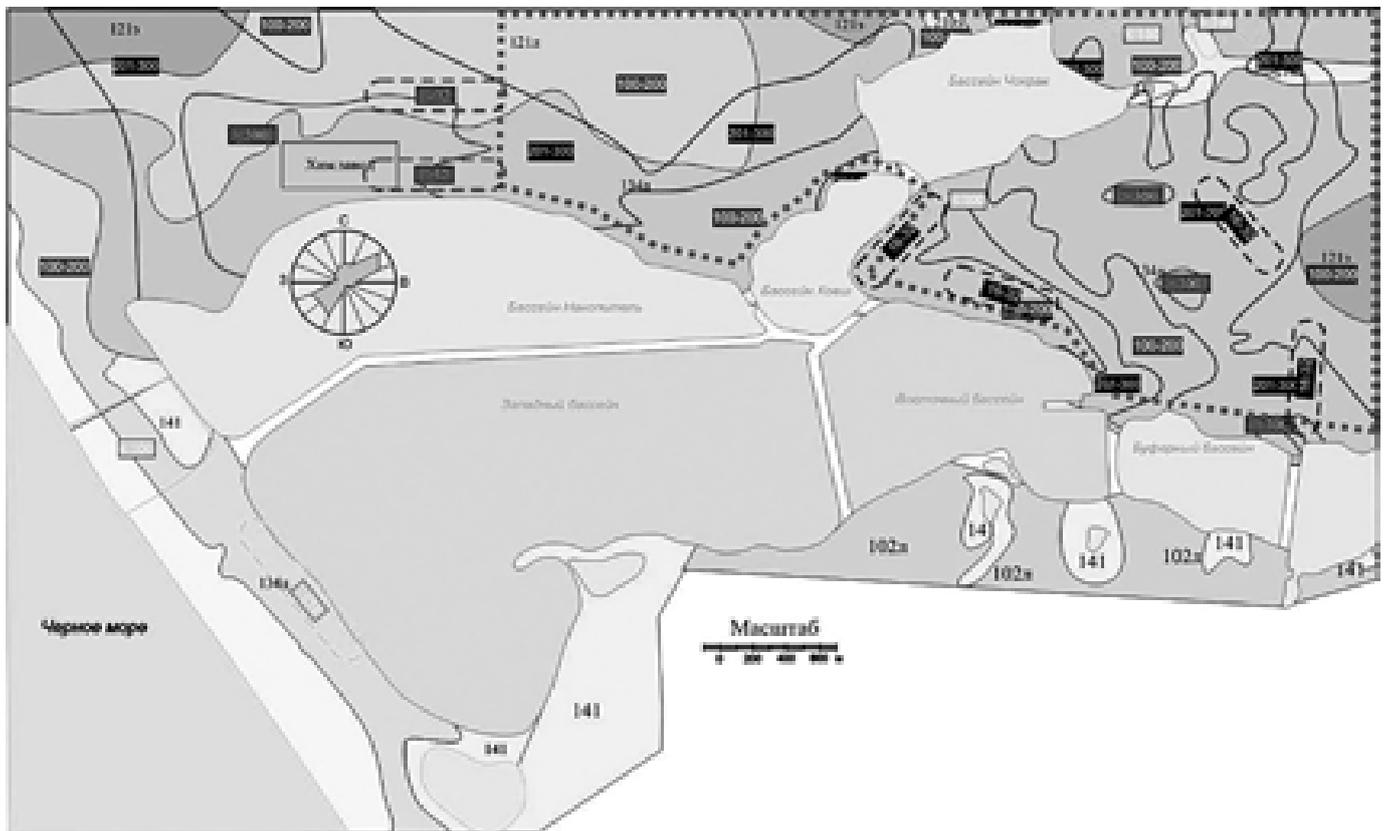
В прошлом столетии Сакский химический завод являлся основным источником загрязнения акватории соленого озера и прилегающей к нему территории химическими загрязнителями, преимущественно из группы тяжелых металлов (ТМ). В 90-х годах завод был закрыт, но, учитывая специфику загрязнения и результаты проведенных исследований (показавших наличие в почвах и грунтовых водах высоких концентраций ТМ) необходимо повторно

**Ключевые слова:** Сакское соленое озеро, грунтовые воды, экологический мониторинг.

провести анализ содержания остаточных концентраций ТМ в объектах окружающей среды.

Проведенные в 2009 г. исследования по загрязнению ТМ территории, прилегающей к Сакскому озеру, позволили установить, что неравномерное распределение загрязнителей в почвах района исследования обуславливается геохимическими и структурными особенностями почв, а также степенью удаления от источника техногенного загрязнения.

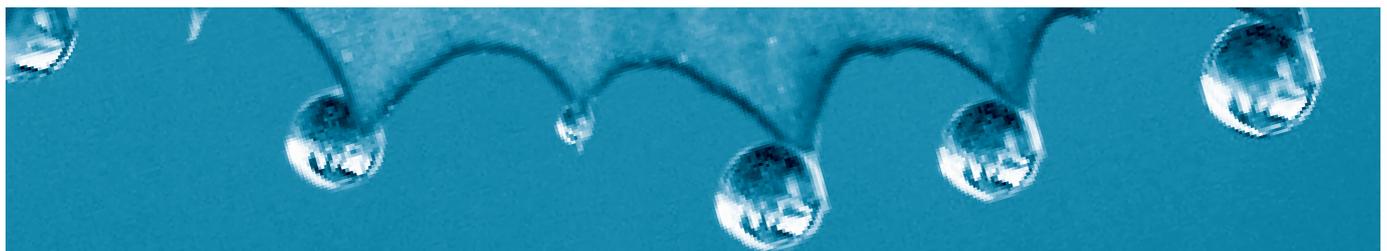
Кислотность луговых черноземов способствует накоплению загрязнителей в почвах. Именно в этом типе почв установлены наивысшие значения концентраций ТМ по району (превышение ПДК в 2,48; 12,14; 29,44; 7,06 и 24,79 раз по свинцу, цинку, меди, хрому и марганцу, соответственно). Еще одним, не менее важным показателем способности накапливать загрязнители, является структурный состав почвы. Так, например, вымыв загрязнителей из глинистых почв происходит значительно медленнее, чем из суглинистых и песчаных. Вследствие этого в глинистых почвах происходит более интенсивное накопление



Дополнения к рис. 4 Условные обозначения



Рис. 1. Карта-схема распределения суммарного загрязнения (Zс) в пределах района исследований по результатам 1982 и 2009 гг. [5, 6].



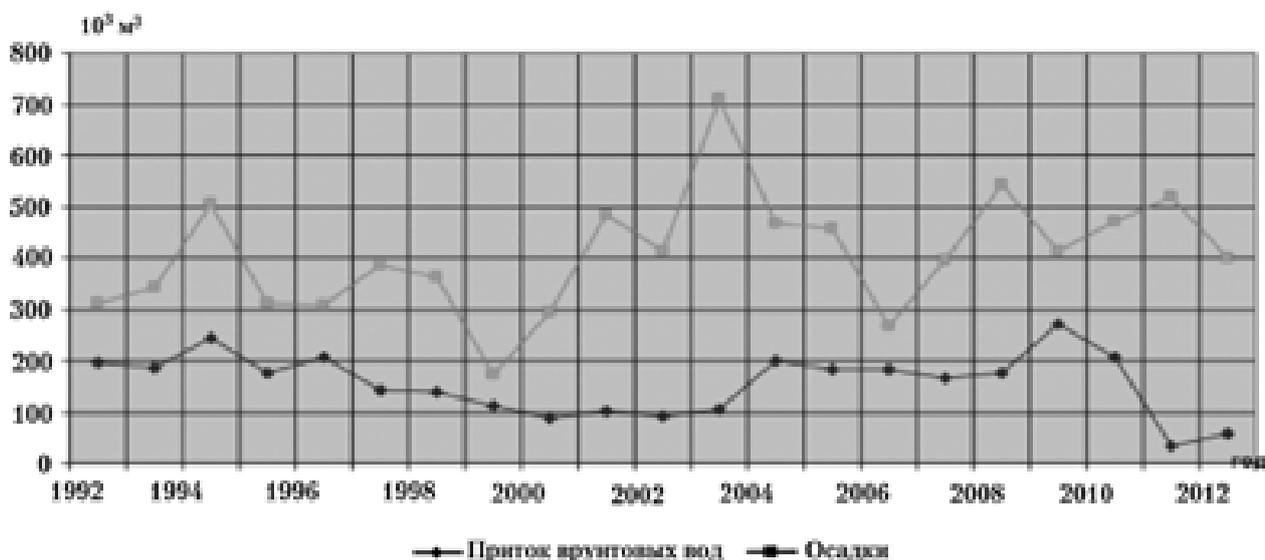


Рис. 2. Зависимость притока грунтовых вод в Восточный бассейн от выпавших осадков.

загрязнителей, чем в суглинистых и песчаных.

Значительное влияние на неравномерное распределение содержания загрязнителей оказывает расположение их относительно источников техногенного загрязнения. При удалении на юго-восток от территории бывшего завода (в пределах километрового радиуса) уровень загрязнения снижается: свинец в 1,1 раз, цинк в 2,3 раза, медь в 5,1 раз и хром в 1,3 раз; а на юго-запад от центра города (в пределах километрового ради-

уса) уровень загрязнения снижается следующим образом: свинец в 3,1 раза, цинк в 6,5 раз и медь в 3,8 раза.

После закрытия химического завода (90-е годы прошлого столетия) произошло значительное снижение содержания загрязнителей в почвах. Об этом свидетельствует уменьшение суммарного показателя загрязнения почв (в районе химического завода суммарный показатель загрязнения уменьшился в 13,5 раз, в границах города в 14,5 раз, в устьевых частях балок в 215 раз.

В центральной части города были установлены максимальные концентрации свинца, цинка и никеля, которые превышали ПДК, соответственно, в 1,47; 8,73 и 6,79 раз, что позволяет сделать вывод о перераспределении «очагов» загрязнения. В последние годы кроме территории бывшего химического завода источником поступления техногенных загрязнителей в объекты окружающей среды является инфраструктура г. Саки, что обусловлено интенсивным движением автотранспорта, размещением в центральной части города автостанции и многочисленных автомобильных стоянок, существует также опоясывающая густая сеть автомобильных дорог республиканского и местного значения.

Несмотря на то, что после закрытия Сакского химического завода содержание загрязнителей в почвах района исследования снизилось в несколько раз, проведенные исследования свидетельствуют о сохранившейся угрозе миграции загрязни-

Таблица 2

Содержание ТМ в рапе Восточного бассейна, г/дм<sup>3</sup>

Год	Cu	Zn	Pb	Cd
2009	0,000004	0,000012	<0,000002	0,00084
2012	<0,00001	<0,0001	—*	—

Примечание: \* не обнаружено

Таблица 3

Содержание ТМ в донных отложениях Восточного бассейна, мг/кг

Год	Cu	Zn	Pb	Cd
2009	5,80	20,07	—*	—
2012	9,31	28,45	—	—

Примечание: \* не обнаружено

телей из почвы в защитные и лечебные водоемы (см. рис. 1).

#### *Грунтовые воды как среда транзита загрязняющих веществ*

В Восточный бассейн ежегодно поступает в среднем 156 тыс. м<sup>3</sup> грунтовых вод. На графиках сравнения объема притока грунтовых вод и выпадения атмосферных осадков видно, что объем притока не зависит от выпавших осадков, следовательно, источником поступления большого количества сточных вод в водоем является техногенный фактор — повышение общего объема грунтовых вод за счет стоков с полей орошения и населенных пунктов (рис. 2).

В 80-х годах прошлого столетия вместе с грунтовыми водами в лечебные водоемы Сакского соленого озера (Восточный и Западный бассейны) поступали загрязнители из группы ТМ в концентрациях, превышающих ПДК.

Превышение содержания ТМ в грунтовых водах, разгружающихся в Сакское озеро, по отношению к их содержанию на фоновых участках достигало значений: по железу в 5 раз, по марганцу в 21-35 раз, по никелю в 3-4 раза, по кадмию в 6-10 раз, по свинцу в 9-12 раз, по цинку в 20-27 раз [6].

Как было установлено [7], важной геохимической особенностью рапы является осаждение в ней ионов металлов, которые в виде комплексных соединений попадают в лечебные грязи. Восстановительные условия среды, большое количество коллоидных частиц и сернистых соединений создают благоприятные условия для сорбции металлов в лечебных грязях, что, в свою очередь, приводит к изменению их геохимических характеристик.

После прекращения работы Сакского химического завода (начало 90-х годов прошлого столетия) поступления ТМ с грунтовыми водами в Восточный бассейн резко снизилось, и с 1991–1992 гг. обнаруженные концентрации не превышали ПДК. С 1994 г. работы по определению содержания ТМ в грунтовых водах на берегах озера не проводились. За время миграции ТМ в лечебный водоем произошло их накопление в донных отложениях, следы и малые концентрации некоторых элементов были обнаружены в рапе и донных отложениях и в последние годы (табл. 2, 3).

С увеличением притока грунтовых вод в лечебный водоем происходит распреснение рапы вдоль берегов, что может привести к

процессу ресуспензирования (возвращение в толщу воды (растворение) биомассы, выпавшей в осадок), который замедляет процесс грязеобразования [8].

В настоящее время грунтовые воды не оказывают прямого воздействия на экологическую безопасность лечебного водоема. Однако, они являются источником поступления загрязняющих веществ в защитные водоемы Сакского лечебного озера (по данным исследований ДП «Сакская ГПРЭС») и при экстремальных природных условиях возможно загрязнение гидроминеральных ресурсов за счет перелива загрязненных вод через разделительные дамбы.

Проведенные исследования показали, что грунтовые воды, разгружающиеся в акватории Сакского озера, являются важным элементом экологического мониторинга.

## Заключение

Проведенные исследования показали, что в условиях интенсивного загрязнения объектов окружающей среды грунтовые воды являются важным элементом экологического мониторинга. Особенности природных условий района способствуют сосредоточению на прилегающей к озеру территории большого количества источников техногенного загрязнения объектов окружающей среды. За четверть века произошло значительное снижение содержания ТМ в почвах, что



связано с прекращением функционирования мощного источника техногенного загрязнения, которым являлся Сакский химический завод. Но обнаруженные в 2012 г. концентрации практически во всех пробах превышают ПДК, что говорит о сохранившейся угрозе миграции ТМ в грунтовые воды. Сакское озеро является региональной областью разгрузки грунтовых вод, формирующихся в различных гидрогеологических и техногенных условиях.

### *Литература*

1. Чабан В.В. Исследование сезонного изменения экологической обстановки Сакского соленого озера / В.В. Чабан, Н.А. Сурова // Вестник Крымское качество (Симферополь), 2007. №1 (9). С. 56–60.
2. Дзенс-Литовский А.И. Соляные месторождения УССР. М.: Наука, 1962. 168 с.
3. Ревич Б.А. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами / Б.А. Ревич,

Ю.Е. Сагет, Е.П. Смирнова, Е.В. Сорокина. М.: ИМГРЭ, 1982. 112 с.

4. Иванова Л.С. Грязеразведочные работы на Сакском озере Крымской области в 1966-1967 гг. Отчет о НИР / Геоминвод, инв.№00123. М.: НИР Гоминвод, 1988. 210 с.
6. Дзенс-Литовский А.И. Пересыпи и косы Крымских соляных озер. Л.: Изд-во Гос. геогр. об-ва, 1933. 487 с.
7. Хохлов В.А., Модель управления гидролого-гидрохимическим режимом и качеством лечебных ресурсов бальнеогрязевых месторождений. М.: ВСЕГИНГЕО, 1995. 170 с.
8. Родкин В.И. Формирование геохимической обстановки месторождений лечебных грязей Крыма в условиях техногенного воздействия. М: Московский ордена трудового красного знамени геологоразведочный институт им. С. Орджоникидзе, 1988. 20 с.
9. Гулов О.А. Информация о современном состоянии гидроминеральных ресурсов лечебного назначения на территории АР Крым / О.А. Гулов, В.А.Хохлов // Сб. статей специалистов ДП «Сакская ГПРЭС», 1995–2007. Саки: Сакская «ГПРЭС», 2008 г. С. 41–44.

N.V. Beyner, V.V. Chaban, P.S. Beyner

## ECOLOGICAL STATE CONTROL OF GROUNDWATER AS IMPORTANT MONITORING ELEMENT FOR SURFACE WATER RESERVOIR

**R**ate of influence of groundwater on ecological safety of the Sakskoethrapy lake was analyzed. Natural factors responsible for the lake formation were characteristic and hydrological factors in particular groundwater were viewed in details also.

**Key words:** Sakscoe salt lake, groundwater, ecological monitoring