

УДК 504.4.054

РАЗГРУЗКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВЕНДСКОГО ВОДОНОСНОГО КОМПЛЕКСА В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ

И.А. Румянцев, А.А. Шебеста

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: rumigor@gmail.com, shebesta@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 07.04.2017; принята к печати 04.07.2017

Цель работы состояла в оценке влияния разгрузки подземных вод на состав морской воды и донных отложений в Финском заливе. Рассмотрены собственные данные и материалы ряда геологических организаций (ОАО Севзапгеология, ВСЕГЕИ и ВНИИ Океангеология), относящиеся к побережью Курортного района Санкт-Петербурга и к Невской губе. Пробы поверхностных вод и донных отложений проанализированы в лаборатории геоэкологического мониторинга СПбГУ на содержание металлов методом атомно-абсорбционной спектроскопии и нефтепродуктов методом ИК-спектроскопии. Пробы подземных вод проанализированы в аккредитованных лабораториях ОАО «Севзапгеология». Отмечены повышенные концентрации меди, бария, железа, алюминия, свинца, никеля в воде и донных отложениях Невской губы, а также прибрежной части Курортного района. Проведено сравнение составов морских вод в районе кратерообразных донных образований (покмарков) в Копорской губе и подземных вод вендского водоносного горизонта. Результаты свидетельствуют о существовании в Финском заливе участков, подверженных существенному влиянию сосредоточенной подводной разгрузки подземных вод.

Ключевые слова: Финский залив, Вендский водоносный комплекс, подземные воды, разгрузка подземных вод.

DISCHARGES OF THE GROUNDWATER OF THE VENDIAN AQUIFER SYSTEM IN THE GULF OF FINLAND

I.A. Rumiatshev, A.A. Shebesta

Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

E-mail: rumigor@gmail.com; shebesta@yandex.ru

Study objective was to evaluate the contribution of groundwater discharges to the composition of seawater and bottom sediments in the Gulf of Finland. The evaluation is based on original results and data available from the geological research organizations Sevzapgeologiya, Russian Geological Research Institute, and Research Institute "Okeangeologiya" related to the coast of Kurortny District of Saint Petersburg and to Neva Bay. Samples of surface water and bottom sediments were analyzed at the Laboratory of Geoecological Monitoring of Saint-Petersburg State University with atomic absorption spectrometry for the contents of metals by IR spectrometry for petroleum products. Groundwater samples were analyzed at accredited laboratories of Sevzapgeologiya. Elevated levels of copper, barium, iron, aluminum, lead, and nickel found in seawater and bottom sediments of the Neva Bay and near the coast of Kurortny District and the results of comparison of the composition of underground waters of the Vendian aquifer system and of seawater at pockmarks found in Koperskaya Bay suggest that in the Gulf of Finland there are areas significantly influenced by concentrated submarine discharges of groundwater.

Key words: Gulf of Finland, Vendian Aquifer Complex, groundwater, submarine groundwater discharges.

Загрязнение Финского залива является актуальной проблемой экологии Балтийского региона, что подтверждается международным интересом к этой проблеме, который нашел свое отражение в проведении «Года Финского залива – 2014» под патронажем президентов России, Эстонии и Финляндии¹. До последнего времени хорошо изученным был поверхностный путь поступления загрязнений в Финский залив. Работы по оценке подземного стока начали проводиться недавно. Под подземным стоком здесь понимается субмаринная разгрузка подземных вод в центральную

и прибрежные части Финского залива. По некоторым данным, подземный сток составляет лишь 1,29% [1, 11] от поверхностного стока. Несмотря на столь незначительный объем подземного стока, пренебрегать им нельзя, так как он может быть причиной локального загрязнения залива.

Наибольшая разгрузка подземных вод происходит в южной части Финского залива (побережье от Санкт-Петербурга до границы с Эстонией) и составляет 87,5% от общей разгрузки или 1,14 км³/год [11]. На берег Курортного района и Невскую губу приходится около 12% подземного стока.

Вендский водоносный комплекс (ВВК) распространен практически на всей рассматриваемой террито-

¹ http://www.vodokanal.spb.ru/presscentr/news/vodokanal_podvodit_itogi_goda_finskogo_zaliva/

рии, где он перекрыт котлинским водоупорным горизонтом мощностью до 60 м, представленным толщей глин с редкими маломощными прослоями песчаника, и повсюду подстилается кристаллическими породами фундамента [6, 7]. Комплекс сложен переслаивающимися пачками песчаников, песков, алевролитов и глин.

В западной части Курортного района подземные воды ВВК – ультрапресные гидрокарбонатные с минерализацией 0,1–0,2 г/дм³ [7]. Распространение пресных вод ограничивается линией «Сестрорецкий курорт – Белоостров – Черная речка». Вблизи этой границы пресные воды имеют смешанный гидрокарбонатно-хлоридный натриевый состав с минерализацией 0,8–1,1 г/дм³ [7, 11]. Южнее состав подземных вод изменяется на хлоридно-натриевый с одновременным ростом минерализации.

Вендский водоносный комплекс эксплуатируется для целей водоснабжения в Санкт-Петербурге и Ленинградской области (главным образом на Карельском перешейке) и используется как коллектор для хранения газа в Гатчинском районе [6].

В данной статье рассматривается разгрузка подземных вод Вендского водоносного комплекса и четвертичных отложений в прибрежной полосе Курортного района Санкт-Петербурга и подводная разгрузка вод комплекса в Невскую и Копорскую губы. Основная цель исследования состояла в оценке вклада разгрузки подземных вод в загрязнение акватории Российской части Финского залива. Полученные данные могут быть использованы для совершенствования системы мониторинга прибрежных регионов Балтийского моря.

Методика работы

Для исследования в 10 точках на побережье Курортного района (рис. 1) были отобраны 30 проб воды и донных осадков (по 3 пробы в каждой точке). Отбор проб воды производился в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01-80 «Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность», ГОСТ 17.1.5.05-80 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к осмотру поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков», ГОСТ Р 51593-2000 «Вода питьевая. Отбор проб». Пробы отбирались в стеклянные и пластиковые емкости, предварительно очищенные химическими методами и высушенные. Перед отбором емкости споласкивались водой из исследуемого водного объекта (ручья или Финского залива, соответственно). Пробы воды на нефтепродукты отбирались в затемненную стеклянную посуду, предварительно промытую гексаном. Отбор, хранение и транспортировка проб донных осадков осуществлялись в соответствии с ГОСТ

17.1.5.02-80 «Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность», РД 52.24.609-99 «Методические указания. Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях». Пробы отбирались с помощью дночерпателя в полиэтиленовые пакеты с указанием шифра пробы и даты отбора. Консервирование проб не проводилось.

Пробы были проанализированы в лаборатории геоэкологического мониторинга кафедры геоэкологии и природопользования СПбГУ на содержание тяжелых металлов (подвижные формы) и нефтепродуктов. Тяжелые металлы определялись методом атомно-абсорбционной спектрометрии^{2, 3} на атомно-абсорбционном спектрометре NOVA 300 (Analytik Jena, Германия). Нефтепродукты определялись методом ИК-спектрометрии⁴ на спектрофлуориметре «ФЛЮОРАТ-02-ПАНОРАМА» (группа компаний «Люмэкс», Россия). Донные отложения в лаборатории были предварительно высушены при комнатной температуре и просеяны через сито с размером ячеек 1 мм.

Данные по химическому составу вендского водоносного комплекса основываются на результатах лабораторного анализа проб воды из 50 скважин государственной и ведомственной мониторинговой сети за 2007–2015 гг.⁵ Пробы подземных вод отбирались 4 раза в год (1 раз в квартал), причем в 2012–2013 гг. – авторами в ходе полевых работ в рамках государственного мониторинга ресурсов подземных вод 2012–2013 гг., проводимого ОАО «Севзапгеология».

Химический анализ подземных вод проводился согласно СанПиН 2.1.4.1074-01, ГН 2.1.5.1315-03 с определением тяжелых металлов (подвижные формы), микрокомпонентов, нефтепродуктов. Химические анализы выполнялись в лаборатории ОМЭ ОАО «Севзапгеология», зарегистрированной в Государственном реестре Системы сертификации № РОСС RU.0001.510172. Данные по химическому составу вод также предоставлялись недропользователями.

² Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций железа, кобальта, марганца, меди, никеля, серебра, хрома и цинка в пробах питьевых, природных и сточных вод методом Атомно-абсорбционной спектрометрии. ПНД Ф 14.1:2.4.139-98; Москва, 1998; Издание 2004 года.

³ Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля и марганца в почвах, донных отложениях и осадках сточных вод методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии. ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.36-02; Москва, 2002. Издание 2004 года.

⁴ Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-СПЕКТРОМЕТРИИ. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Москва, 1998. Издание 2005 года.

⁵ <http://www.infoeco.ru/index.php?id=243>



Рис. 1. Точки отбора проб воды и донных отложений на побережье Курортного района Санкт-Петербурга

Для анализа ситуации в Невской и Копорской губах результаты изучения подземных вод были сопоставлены с материалами ВСЕГЕИ по химическому составу донных отложений и придонных вод [4, 5].

Выборка данных по каждому участку исследуемой территории для каждого вещества проверялась на близость к нормальному распределению. За региональный (локальный) фон приняты величины $M \pm \delta$, где M – среднее арифметическое содержание элемента, δ – стандартное отклонение. Аномальным для исследованной территории принято содержание за пределами $M \pm 2\delta$. Сильно аномальные величины – за пределами $M \pm 3\delta$ – при расчете среднего не учитывались. Окончательные данные в таблицах представлены в виде среднего и стандартной ошибки среднего (SE).

Среднегодовая концентрация компонента в водах ВВК на исследуемой территории определялась путем нахождения среднего значения из выборки среднегодовых концентраций проб воды каждой исследуемой скважины. При этом среднегодовая концентрация компонента в воде конкретной скважины определялась путем усреднения полученных за год 4 значений. Если концентрация определяемого компонента в пробе воды была ниже предела обнаружения, то для расчета среднего бралось значение, равное половине предела обнаружения. Среднеголетняя концентрация вещества в водах ВВК на исследуемой территории определялась в результате расчета среднего значения из выборки среднегодовых концентраций компонента. На графиках кроме среднегодового зна-

чения концентрации вещества «усами» указан 95%-й доверительный интервал.

Результаты и обсуждение

Побережье Курортного района Санкт-Петербурга и Невская губа

По результатам анализов проб воды из наблюдательных и эксплуатационных скважин на ВВК в 2006–2013 гг. установлено, что воды комплекса на данной территории относятся к пресным гидрокарбонатно-хлоридным натриевым водам со средней минерализацией 0,43 г/кг.

Микрокомпонентный состав вод ВВК береговой зоны Курортного района Санкт-Петербурга представлен в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что в воде ВВК повышены в сравнении с другими микрокомпонентами концентрации бария и алюминия, что может быть объяснено как природными, так и техногенными факторами. Максимальные концентрации бария отмечаются в водоносных горизонтах, сложенных терригенными отложениями. В частности, в водопунктах в пределах развития терригенного комплекса вендских отложений (южный берег Финского залива в пос. Шепелево и г. Сосновый бор) они составляют 1,3 и 2,5 мг/дм³ соответственно [6]. Повышенное содержание бария обусловлено составом горных пород. Кроме того, в некоторых пробах подземных вод (пос. Песочное, Ольгино, Лисий нос) обнаружены особо высокие концент-

Содержание некоторых микрокомпонентов (мг/дм³) в воде ВВК (Курортный район СПб) в 2006–2013 гг.

Микрокомпонент	ПДК п. в. ⁶ , мг/дм ³	Среднеголетняя концентрация (± SE)	Максимальная определенная концентрация*	Минимальная определенная концентрация
Cu	1	0,0033 ± 0,0003	0,03	0,0013
Cd	0,001	0,0001 ± 0,0001	0,0015	<0,0001
Pb	0,03	0,0015 ± 0,0001	0,003	<0,0001
Ni	0,1	0,0028 ± 0,0001	0,004	<0,001
Cr	0,05	0,0048 ± 0,0013	0,005	0,0023
Zn	5	0,005 ± 0,002	0,006	0,0021
Ba	0,1	0,165 ± 0,016	2,5	0,073
Al	0,5	0,03 ± 0,01	7,5	0,011

* Некоторые из этих значений выбивались из промежутка $M \pm 3\delta$, поэтому при расчете среднего они не учитывались.

рации алюминия – от 0,7 до 7,5 мг/дм³, который может попадать в воду вместе с инфильтрационным питанием с загрязненной территории [6]. Распределение значений по алюминию сильно отличается от нормального из-за высоких значений в указанных пунктах, что указывает на его техногенное происхождение.

В воде ВВК постоянно отмечается высокая концентрация железа (0,1–7,5 мг/дм³ при ПДК_{п.в.} 0,3 мг/дм³, рис. 2). Причиной этого могут быть особенности условий формирования подземных вод, когда продуктивные водоносные горизонты перекрыты надежными водоупорными отложениями, с чем связано их обеднение кислородом и, как следствие, переход к низким значениям окислительно-восстановительного потенциала (Eh). В этих условиях железо активно мигрирует и накапливается в водах в двухвалентной восстановленной форме – Fe²⁺ [6]. Эпизодически в некоторых скважинах на территории поселков Стрельна, Шушары и Лисий нос отмечались экстремально высокие концентрации железа (до 7,5 мг/дм³), что связано, скорее всего, с неудовлетворительным состоянием устьев скважин, через которые в них попадает загрязнение.

Особое внимание на повышенные концентрации железа и бария в водах ВВК (по сравнению с нормативами для питьевых вод) связано с тем, что практически при любых гидрогеологических работах состояние вод в подземных водоносных горизонтах в конкретном месте оценивается и с точки зрения потенциальной возможности использования этих вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения. Особенно это относится к побережью Финского

залива Курортного района Санкт-Петербурга, где существует дефицит пресных питьевых вод хорошего качества, а сведения о состоянии подземных вод получены в ходе режимных наблюдений государственного мониторинга ресурсов подземных вод.

В Курортном районе расстояние между источниками загрязнения подземных вод и Финским заливом часто измеряется первыми десятками метров, поэтому загрязнение практически не задерживается в горных породах и попадает в полном объеме в Финский залив при разгрузке подземных вод.

В ходе исследования на берегу Финского залива в Зеленогорске, Солнечном и Сестрорецке в 10 точках смешения вод из источников (ручьев) и Финского залива (рис. 1) были отобраны пробы воды и донных отложений.

Анализ проб донных отложений в зоне смешения подземных вод с морскими показал, что содержание железа в них выше, чем в отложениях других районов Финского залива вне зоны сосредоточенной разгрузки подземных вод (табл. 2).

Анализ проб воды показал, что в зоне разгрузки подземных вод содержание железа, меди и никеля выше их содержания в воде Финского залива вне сосредоточенной разгрузки подземных вод (табл. 3). Более высокое содержание железа по сравнению со средним значением по ВВК можно объяснить тем, что кроме вод ВВК на данной территории развиты межморенные воды с содержанием железа до 5,7 мг/л [6].

Концентрация нефтепродуктов в подземных водах и в месте смешения вод составила более 1 мг/дм³. Непосредственно в Финском заливе она составила $0,97 \pm 0,06$ мг/дм³. Прибрежная акватория Финского залива является наиболее уязвимой к загрязнению, и именно здесь воздействие подземных вод может быть наиболее сильным. Накопление железа, меди и свинца в донных отложениях связано, по всей видимости, с

⁶ СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения, 2001.

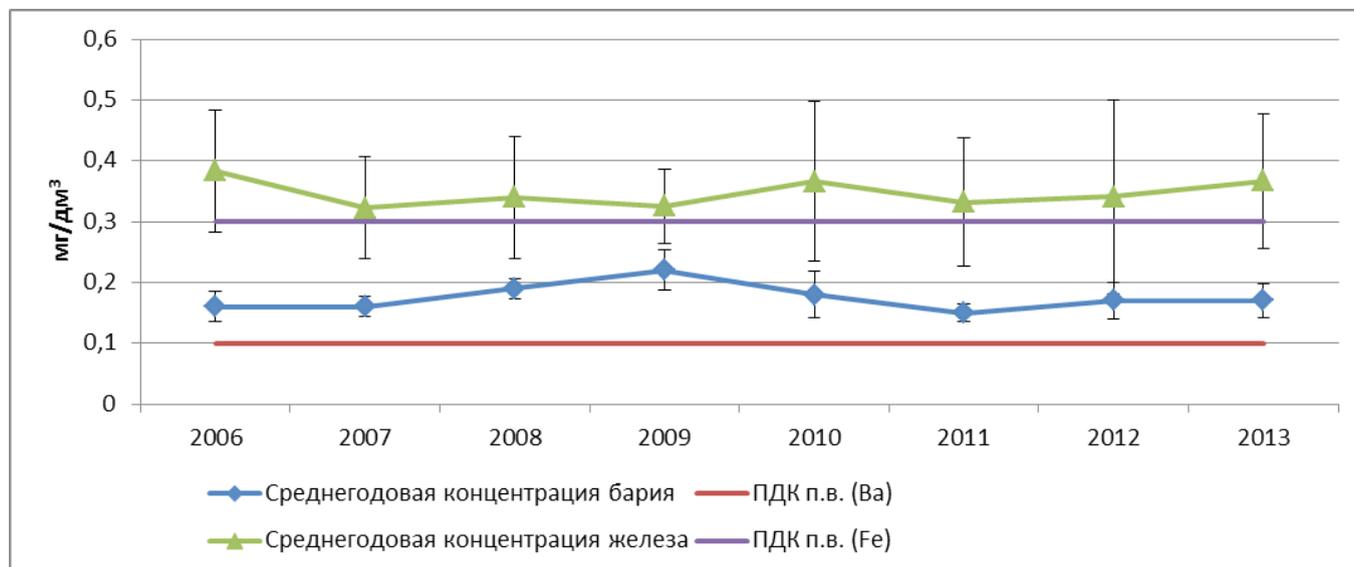


Рис. 2. Среднегодовая концентрация железа и бария в воде ВВК в 2006–2013 гг.

Табл. 2

Содержание тяжелых металлов, включая железо, в донных отложениях (мг/кг сухого веса \pm SE)

Компонент	Выходы подземных вод на берегу ($n = 9$)	Зона смешения подземных и морских вод ($n = 9$)	Финский залив вне зоны разгрузки подземных вод ($n = 12$)
Fe, общ.	798 \pm 87	501 \pm 77	164 \pm 13
Cu	0,736 \pm 0,08	0,612 \pm 0,14	0,432 \pm 0,007
Ni	1,10 \pm 0,14	0,87 \pm 0,11	0,77 \pm 0,08
Pb	4,02 \pm 0,2	2,99 \pm 0,17	0,58 \pm 0,08
Zn	5,10 \pm 0,2	6,12 \pm 0,22	5,47 \pm 0,19

Табл. 3

Содержание тяжелых металлов, включая железо, в воде (мг/дм³ \pm SE)

Компонент	Выходы подземных вод на берегу ($n = 9$)	Зона смешения подземных и морских вод ($n = 9$)	Финский залив вне зоны разгрузки подземных вод ($n = 12$)
Fe, общ.	1,67 \pm 0,11	1,81 \pm 0,11	1,34 \pm 0,09
Cu	0,00085 \pm 3 $\times 10^{-5}$	0,00081 \pm 3 $\times 10^{-5}$	0,00039 \pm 5 $\times 10^{-6}$
Ni	0,0223 \pm 0,002	0,0121 \pm 0,002	0,00655 \pm 0,001
Pb	0,002 \pm 0,0009	0,005 \pm 0,0017	0,007 \pm 0,0014
Zn	Ниже порога определения		

наличием окислительно-восстановительного барьера в местах выхода подземных вод. Кроме того, летом данная территория испытывает сильную рекреационную нагрузку. Население Курортного района Санкт-Петербурга увеличивается летом вдвое [4, 5]. Берега сильно загрязнены. Воды ВВК разгружаются непосредственно в прибрежной полосе и, стекая по береговому склону, попадают в Финский залив. Во время сильных штормов происходит разрушение береговой линии, что приводит к дополнительному загрязнению подземных вод.

По многочисленным литературным данным, начиная с 1981 г. [8] и до современных исследований ВСЕГЕИ и Севзапгеологии [4–6], Невская губа является самым загрязненным местом Финского залива: в 2013 г. для многих химических элементов отмечается превышение фоновых значений до 1,5 раза. Наиболее сильно загрязнены прибрежные участки Васильевского острова и острова Котлин, наименее – северное побережье. Распределение полей повышенных концентраций тяжелых металлов в донных осадках и грунтах прибрежной зоны подтверждает, что загрязнение поступает с берега. Среди тяжелых металлов наиболее сильное загрязнение донных отложений отмечено по свинцу, среднее содержание которого (43 г/т) превышает в 2,5 раза фоновое значение (20 г/т) для Невской губы, максимальная определенная концентрация составила 383 г/т [4]. Основное загрязнение приносят в Невскую губу Нева и ее притоки.

Анализ проб воды ВВК за 2006–2013 гг. на территории Санкт-Петербурга (центральные районы) показал, что среднее содержание бария и алюминия превышает ПДК для питьевых вод в 7,9 и 2 раза соответственно. Наибольшее загрязнение отмечено в Московском районе и в Кронштадте.

Начало эксплуатации вендского водоносного комплекса в Санкт-Петербурге относится к концу XIX в., когда были пробурены первые скважины. В этот период отметки пьезометрических уровней в ряде скважин отмечались выше поверхности земли (на абсолютной отметке +4 м в центральной части города). В 1950–1970 гг. в результате интенсивного отбора подземных вод из ВВК на территории Санкт-Петербурга образовалась депрессионная воронка. В 1974 г. уровень подземных вод ВВК опустился до абсолютной отметки –74 м [6]. С конца 1980-х гг. интенсивность отбора резко уменьшилась, что привело к частичному восстановлению уровней. В 2015 г. глубина депрессионной воронки составила от 13 до 16,5 м. С учетом вышеописанных фактов маловероятно, что воды ВВК разгружаются в Невской губе. Скорее всего, происходит обратный процесс интрузии морских вод в водоносные горизонты. Однако если тенденция восстановления уровня подземных вод продолжится, в недалеком будущем может начаться процесс посту-

пления поллютантов из подземных горизонтов в поверхностные источники, в первую очередь – Невскую губу.

Сток грунтовых вод в Невскую губу равен 0,1041 км³/год [11]. Несмотря на то что ежегодный поверхностный сток Невы равен 78,84 км³/год [8], а объем сточных вод – 1,24 км³ на локальном уровне (в изолированных частях Невской губы), вклад подземных вод в загрязнение поверхностных вод может быть заметным.

Копорская губа

Заключение о подводной разгрузке подземных вод ВВК в Финском заливе подтверждается результатами сравнения физико-химических свойств и состава проб воды из трех источников: воды внутри «покмарков» (донные структуры, найденные в Копорской губе), придонные воды вне покмарков [3–5] и наши данные о подземных водах вендского комплекса.

Копорская губа, расположенная в южной части Финского залива, ограничена с запада Сойкинским полуостровом (мыс Колганпя) и мысом Устинский с востока. Многочисленные кратероподобные структуры *покмарки* [9] были обнаружены в северо-восточной части Копорской губы экспедицией ВНИИ Океангеологии в 2008 г. [3] (рис. 3). Дальнейшие исследования покмарков в этой части Финского залива проводил ВСЕГЕИ в 2011–2013 гг. [4, 5].

Размеры покмарков варьируют от 5 до 15 м в диаметре, глубина достигает первых метров. На площади около 7 км² при помощи профилирования гидролокацией бокового обзора (ГЛБО) было выявлено более 70 покмарков [5]. Покмарки формируются на поверхности дна, сложенного тонкозернистыми осадками морских и озерных бассейнов в результате выходов подземных вод или углеводородных газов.

Обращает на себя внимание пространственная близость или совмещение поля покмарков с разрывными нарушениями субширотного простирания и оперяющими их зонами трещиноватости, что может способствовать выходу подземных вод глубинного происхождения [2]. По данным [2] в северо-восточной части Копорской губы отсутствует связь образования покмарков с выходами биогенных газов, так как на этом участке развиты ледниковые и водно-ледниковые отложения, крайне обедненные органическим веществом. Наиболее вероятно, что образование покмарков в северо-восточной части Копорского залива обусловлено разгрузкой подземных вод Вендского водоносного комплекса.

Сравнительный анализ составов и свойств придонных вод залива и подземных вод ВВК показал, что воды покмарков имели повышенную температуру (+6,9 °С) по сравнению с фоновой (+3,2 °С) и также чуть более кислые величины рН (6,4–6,7 против 7,6)

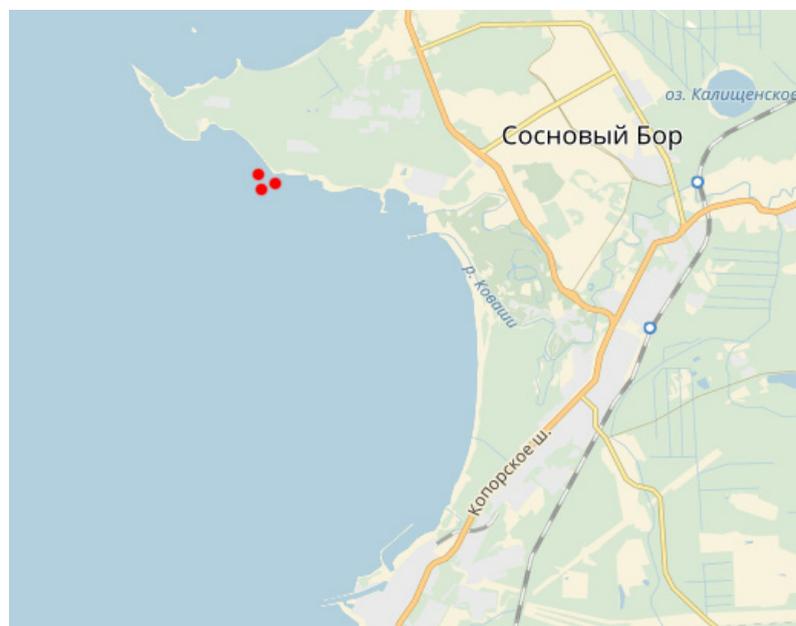


Рис. 3. Покмарки в северо-восточной части Копорской губы

[2,3]. Характеристики вод покмарков ближе к характеристикам подземных вод ВВК (по данным режимных наблюдений температура $+7,1$ °С, рН = 6,8–7,5).

Сравнение состава подземных вод ВВК и придонных вод из кратеров покмарков указывает на то, что значительное превышение концентрации определяемых компонентов в придонных водах покмарков над их значениями вне покмарков, скорее всего, происходит за счет разгрузки вод Вендского водоносного комплекса. Содержание ионов хлора в придонной воде кратеров покмарков (2585 мг/дм³) ближе к таковому значению в подземных водах ВВК (2700 мг/дм³), чем фоновому для придонных вод залива (2140 мг/дм³). Кроме этого, в зоне покмарков значения биомассы бентосных организмов ($2,65$ – $12,32$ г/м²) превышают фоновые ($0,04$ – $1,34$ г/м²) для данной акватории [3]. Наиболее вероятной причиной является поступление раствора иного, чем морская вода, солевого состава и наличие пограничной зоны окислительно-восстановительного барьера на границе донные отложения–вода. Это может повлиять на состав и развитие бентосных организмов.

Выводы

Состав ВВК характеризуется повышенным содержанием меди, бария, алюминия и железа. Аномальные значения могут быть обусловлены как природными (состав горных пород), так и техногенными факторами (общая загрязненность территории, высокая антропогенная нагрузка).

Воды вендского комплекса сосредоточено разгружаются в мелководной зоне акватории Финского за-

лива. При этом на суше в Курортном районе Санкт-Петербурга воды ВВК залегают близко к поверхности, а мощность зоны аэрации небольшая, вследствие чего подземные воды слабо защищены и подвержены загрязнению. В зоне разгрузки вод ВВК придонные воды Финского залива содержат более высокие концентрации железа и никеля, а в донных осадках зафиксированы повышенные содержания меди и свинца. Результаты исследования подтверждают формирование зон повышенных концентраций металлов в донных осадках залива вследствие наличия окислительно-восстановительного барьера, на котором металлы переходят из растворимой формы в нерастворимую.

Роль подземных вод в загрязнении Невской губы незначительна, так как основное загрязнение поступает туда из Невы, ее притоков и коммунально-бытовых стоков. В настоящее время уровень вод ВВК находится ниже уровня моря, вследствие чего, вероятно, может происходить обратный процесс – интрузия морских вод в водоносный горизонт.

С нашей точки зрения, образование покмарков в северо-восточной части Копорской губы обусловлено разгрузкой подземных вод вендского водоносного комплекса. В пользу этой версии говорит сходный химический состав придонной воды в кратерах покмарков и подземной воды ВВК. Отличие концентраций некоторых тяжелых металлов в придонной воде внутри покмарков и снаружи составляет несколько десятков раз. И по анионному составу придонная вода в кратерах ближе к подземным водам. Видовой состав и объем биомассы бентосных организмов в кратерах отличается от других донных участков.

Наличие высоких концентраций металлов (в том числе железа) в подземных водах, выходящих в кратерах покмарков, и различие в составе и физико-химических состояниях подземных вод ВВК и придонных вод Финского залива предопределяет формирование

ряда геохимических барьеров (окислительно-восстановительных, кислотно-щелочных и др.).

Эти факты говорят о том, что на локальном уровне разгрузка подземных вод в Финском заливе может оказывать влияние на химический состав вод и биоту.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Добровольский АД, Залогин БС. Моря СССР. М.: Изд-во МГУ; 1982.
2. Жамойда ВА, Рябчук ДВ, Спиридонов МА, Григорьев АГ, Пименов НВ, Амантов АВ, Кропачев ЮП, Неевин ИА. Геолого-геоморфологические условия формирования покмарков в восточной части Финского залива. Региональная геология и металлогения. 2013;(54):25-37.
3. Иванова ВВ, Кириевская ДВ, Болотов АЕ. Геохимическая характеристика донных отложений в зоне покмарков в восточной части Финского залива. Балтийский регион. 2011;(1):78-89.
4. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2013 г. СПб.: ВСЕГЕИ; 2014.
5. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2012 г. СПб.: ВСЕГЕИ; 2013.
6. Информационный бюллетень о состоянии недр территории г. Санкт-Петербурга за 2013 год. СПб.: ОАО «Севзапгеология»; 2013.
7. Конюхова ТА, Шебеста ЕА, Андреева НГ, Шебеста АА. Современные представления о гидрогеологических особенностях территории Ленинградского артезианского бассейна. Разведка и охрана недр. 2010;(7):31-4.
8. Нежиховский РА. Река Нева и Невская губа. Л.: Гидрометеиздат, 1981.
9. King LH, McLean B. Pockmarks on the Scotian Shelf. Geological Society of America Bulletin. 1970;81(10):3141-8.
10. Peltonen K. Direct groundwater inflow to the Baltic Sea. Copenhagen: Nordic Council; 2002.
11. Voronov AN, Viventsova EA. Groundwater Runoff into the Gulf of Finland. Water Resources. 2004;31(6):601-9.
12. Zhamoida VA, Ryabchuk DV, Spiridonov MA, Grigoryev AG, Pimenov NV, Amantov AV, Kropachev YuP, Neevin IA. [Geological and geomorphological conditions of pockmarks formation in the eastern part of Gulf of Finland]. Regionalnaya geologiya i metallogeniya. 2013;(54):25-37. (In Russ.)
13. Ivanova VV, Kirievskaya DV, Bolotov AYe. [Geochemical characterization of sediment in pockmarks zone in the eastern part of the Gulf of Finland]. Baltijski region. 2011;(1):78-89. (In Russ.)
14. Informatsionnyi biulleten o sostoianii geologicheskoi sredy pribrezhno-shelfovykh zon Barentseva, Belogo i Baltiiskogo morei v 2013 godu. St. Petersburg: VSEGEI; 2014. (In Russ.)
15. Informatsionnyi biulleten o sostoianii geologicheskoi sredy pribrezhno-shelfovykh zon Barentseva, Belogo i Baltiiskogo morei v 2012 godu. St. Petersburg: VSEGEI; 2013. (In Russ.)
16. Informatsionnyi biulleten o sostoianii nedr territorii Sankt-Peterburga za 2013. St. Petersburg: JSC "Sevzapgeologiya"; 2013. (In Russ.)
17. Konyukhov TA, Shebesta YeA, Andreeva NG, Shebesta AA. [Modern understanding of the hydrogeological features of the territory of the Leningrad Artesian Basin]. Razvedka i ohrana neдр. 2010;(7):31-4. (In Russ.)
18. Nezhihovskiy RA. Reka Neva i Nevskaya guba. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1981. (In Russ.)

Общий список литературы/Reference List

1. Dobrovolsky AD, Zalogin BS. Morya SSSR. Moscow: MSU; 1982. (In Russ.).