

И. А. Румянцев

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПРИБРЕЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Санкт-Петербургский государственный университет,
Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

Рассматривается проблема загрязнения подземных вод на территории Санкт-Петербурга, разгружающихся непосредственно в Финский залив либо в поверхностные водотоки, относящиеся к бассейну залива. Целью исследования являлось изучение пространственно-временного изменения концентрации нефтепродуктов и тяжелых металлов в подземных водах различных водоносных горизонтов на территории Санкт-Петербурга. Для этого были проанализированы данные по 150 скважинам за последние 7–10 лет, определены наиболее вероятные источники загрязнения. Библиогр. 7 назв. Ил. 6. Табл. 1.

Ключевые слова: Финский залив, Балтийское море, подземный сток, техногенная нагрузка, загрязнение.

I. A. Rumiancev

CONTAMINATION OF GROUNDWATER IN THE COASTAL AREA OF ST. PETERSBURG

Saint Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

The Finnish Gulf is the most vulnerable part of the Baltic Sea. The main reasons for Baltic Sea contamination are direct wastewater discharge, river and underground runoff and oil spills. This article deals with the problem of groundwater pollution in the territory of St. Petersburg. Groundwater from this area discharges directly to the Finnish Gulf or into rivers and channels of the gulf. The main goal of this article was to study spatial-temporal changes in petroleum products and heavy metals concentrations in groundwater of different hydrogeological levels. To achieve this goal, data from 150 groundwater wells were analyzed. As result, the most affected areas of St. Petersburg and possible polluters were identified. Refs 7. Figs 6. Table 1.

Keywords: Gulf of Finland, Baltic Sea, groundwater runoff, anthropogenic load, contamination.

Введение

Финский залив является одной из наиболее уязвимых частей Балтийского моря. Это обусловлено его относительной удаленностью от Мирового океана, небольшим объемом воды и высокой урбанизированностью берега. Средняя глубина составляет 38 м при площади в 29 тыс. км² [1]. Он имеет наибольшую удельную антропогенную нагрузку по сравнению с другими заливами Балтийского моря. Главными причинами загрязнения Финского залива являются сброс неочищенных промышленных сточных вод, поступление загрязняющих веществ вместе со стоком рек, дноуглубительные работы и непосредственное загрязнение морской воды в процессе навигации морских судов. Подземный сток, по некоторым оценкам, составляет 1,42 км³/год, или лишь 1,29 % от поверхностного стока (110 км³/год) [1]. Под подземным стоком здесь понимается разгрузка подземных вод как непосредственно в Финский залив, так и в поверхностные водные объекты прибрежной территории. Несмотря на столь незначительный объем, пренебрегать им нельзя, так как он может быть причиной локального загрязнения прибрежной территории.

В статье рассматривается прибрежная территория, которая находится в пределах так называемого Большого Петербурга и включает урбанизированную часть побережья от Сестрорецка на северном берегу залива до города Ломоносова — на южном. Протяженность береговой линии составляет около 75 км. Границы территории примерно совпадают границами комплекса защиты Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС). Его строительство привело к значительной изолированности Невской губы, что вызывает серьезное беспокойство значительной части экологов. Особенностью этой территории является и существование в ее пределах дельты Невы, ежегодный сток которой составляет около 80 км³ [1]. Разгрузка подземных вод происходит в основное русло Невы и в ее многочисленные мелкие притоки и каналы. Поэтому ширина исследуемой территории достигает 20 км, а площадь — 1500 км² [1]. Грунтовые воды привносят в Неву нефтепродукты и другие загрязняющие вещества, которые в конечном итоге попадают в Финский залив. Ежегодный подземный сток на данной территории составляет 0,1041 км³ [1]. Кроме того, в Невской губе и Сестрорецке имеет место и обратный процесс — подсосывание загрязненных вод Невской губы в горизонты грунтовых вод.

Основная цель исследования — установить характерные для данной территории загрязняющие вещества в подземных водах, выявить места, где наиболее сильно загрязнены подземные воды, и определить источники загрязнения.

Геологические и гидрогеологические условия

Геологическое строение бассейна Финского залива обусловлено его расположением на границе Балтийского кристаллического щита и Русской равнины. Кристаллический фундамент перекрыт нижнепалеозойскими и четвертичными отложениями. Кристаллические породы с севера на юг постепенно опускаются под вендские и кембрийские отложения. С гидрогеологической точки зрения Финский залив расположен в северо-западном крыле Ленинградского артезианского бассейна [1]. На прибрежной территории Санкт-Петербурга развиты следующие горизонты и комплексы подземных вод [1, 2]:

1. Четвертичные отложения:

грунтовые воды (надморенные горизонты);

напорные межморенные горизонты:

а) Московско-валдайский межморенный водоносный горизонт (ВГ) (верхний межморенный горизонт);

б) Днепровско-московский межморенный ВГ (нижний межморенный горизонт);

2. Дочетвертичные отложения:

а) ордовикский водоносный комплекс (ВК) (только в южной части города);

б) кембро-ордовикский ВК (только в южной части города);

в) нижнекембрийский ВК (только в южной части города);

г) вендский ВК (верхнекотлинские отложения).

Техногенная нагрузка

Высокая степень урбанизированности территории оказывает воздействие практически на все водоносные горизонты и комплексы. Промышленная и сельскохозяйственная деятельность приводит к загрязнению подземных вод. Карьерный, шахтный водоотлив и эксплуатация крупных водозаборов влечет изменение гидродинамического режима подземных вод [3, 4]. На значительной части территории Санкт-Петербурга подземные воды являются незащищенными или условно защищенными от загрязнения с поверхности.

Наиболее сильное воздействие на подземные воды оказывает загрязнение атмосферных осадков, почвы и поверхностных водных объектов.

Источником выброса таких веществ, как диоксиды серы и азота, аммиак, тяжелые металлы и органические вещества, становятся крупные промышленные предприятия [3, 4].

Санкт-Петербург — самый большой город северо-западной части Европы. Его население составляет более 5 млн. человек. Источниками загрязнения окружающей среды, в том числе подземных вод, являются свалки, склады промышленных и коммунальных отходов, застройка зданиями, подземными сооружениями, канализационными коллекторами, дорогами и т. п. Практически сплошная застройка города приводит к нарушению естественного режима грунтовых вод и к их значительному загрязнению (особенно нефтепродуктами). Кроме того, на территории города располагаются несколько теплоэлектроцентралей, наиболее крупные из них — Северо-Западная и Северная ТЭЦ.

Качество подземных вод

Для оценки качества подземных вод в пределах исследуемой территории были проанализированы данные мониторинга за последние 7–10 лет по 150 наблюдательным и эксплуатационным скважинам, расположенным во всех районах Санкт-Петербурга кроме Колпинского. Результаты исследования основаны на данных ОАО «Севзапгеология». Пробы подземных вод в 2012–2013 гг. отобраны непосредственно автором.

Грунтовые воды (надморенные горизонты)

Грунтовые воды являются наиболее уязвимым элементом гидрогеосферы [5]. В прибрежной зоне Санкт-Петербурга этому способствует также их плохая защищенность [2]. Ежегодно в Финский залив с территории Санкт-Петербурга вместе с грунтовыми водами попадает 83255 т растворенных веществ [1]. Результаты режимных наблюдений за качеством грунтовых вод показывают, что тенденция увеличения степени загрязнения грунтовых вод на территории Санкт-Петербурга сохраняется [3, 4]. В таблице приведены данные о содержании некоторых химических веществ в грунтовых водах на основании анализа проб, отобранных в 2007–2014 гг.

Средняя минерализация грунтовых вод на территории Санкт-Петербурга — 0,4–0,6 г/дм³. По составу вода натриево-магниевая хлоридно-гидрокарбонатная и магниевая-кальциевая гидрокарбонатная. Наибольшая минерализация отмечается на юге города, около 1 г/дм³, а также в районе деревни Каменка, где средняя

Содержание химических веществ в грунтовых водах Санкт-Петербурга

Хим. вещество	Ср. содержание в грунтовых водах Санкт-Петербурга (мг/дм ³)	Мах содержание в грунтовых водах Санкт-Петербурга (мг/дм ³)	ПДК в водных объектах рыбохозяйственного значения (рыбхоз) (мг/дм ³) [6]	ПДК для питьевых вод (п.в.) (мг/дм ³) [7]
Na ⁺	40,02	530	120	200
Ca ²⁺	45,91	230	180	—
Mg ²⁺	24,95	200	40	50
K ⁺	4,23	54	50	—
SO ₄ ²⁻	15,46	320	100	500
Cl ⁻	41,61	1300	300	—
HCO ₃ ⁻	235,08	1600	—	—
Fe (общ.)	6,40	83,1	0,1	0,3
Cr	0,0097	0,01	0,02	0,05
Ni	0,009	0,12	0,01	0,02
Cu	0,0135	0,26	0,001	1
Cd	0,0001	0,0106	0,005	0,001
Pb	0,0052	0,12	0,006	0,01
Al	0,281	2,5	0,04	0,2
Нефтепродукты	0,45	10	0,05	0,1

концентрация в некоторых скважинах достигает 2,15 г/дм³. Столь высокие значения минерализации в этом районе скорее всего связаны с влиянием свалки. Воды здесь характеризуются повышенным природным содержанием железа. Среднее содержание железа в грунтовых водах Санкт-Петербурга составляет 6,4 мг/дм³. Максимальная концентрация железа для грунтовых вод выявлена на территории Северо-Западной ТЭЦ, где она достигает 83,1 мг/дм³.

За последние 7–8 лет отмечается эпизодическое превышение в питьевой воде предельно допустимых концентраций тяжелых металлов, алюминия и особенно нефтепродуктов в прибрежной части города. Так, превышение по свинцу (ПДК п.в. — 0,01 мг/дм³, ПДК рыбхоз — 0,006 мг/дм³) часто фиксируется в воде скважин, расположенных на территории Северо-Западной ТЭЦ (скв. 11200011) и в Стрельне (скв. 11325322). Изменение концентрации свинца в этих водах показано на рис. 1.

Похожая ситуация сложилась с загрязнением грунтовых вод алюминием (ПДК п.в. — 0,5 мг/дм³, ПДК рыбхоз — 0,04 мг/дм³). Повышенные значения отмечаются периодически в северной и южной частях прибрежной территории Санкт-Петербурга (рис. 2). Максимальное превышение ПДК п.в. зафиксировано в 2012 г. в Стрельне, 4–5 ПДК п.в. (скв. 11302100 и 11325322).

Наибольшее опасение вызывает загрязнение грунтовых вод нефтепродуктами. На протяжении последних 7–8 лет фиксируется устойчивое превышение концентрации нефтепродуктов ПДК п.в. практически во всех исследованных скважинах (рис. 3). Начиная с 2007 г. концентрация нефтепродуктов здесь стабильно превышает установленную ПДК п.в. (0,1 мг/дм³). Так, среднее содержание нефтепродуктов по всем исследованным скважинам в 2013 г. составило 0,44 мг/дм³, что в 4,4 раза превышает ПДК для питьевой воды. Наиболее сильное загрязнение подземных вод было

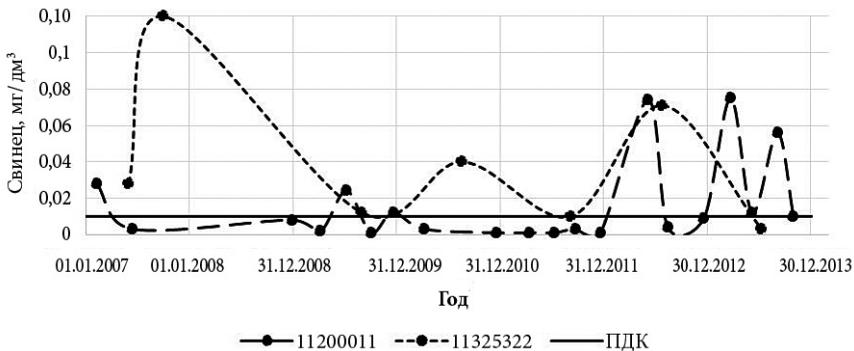


Рис. 1. Содержание свинца в грунтовых водах

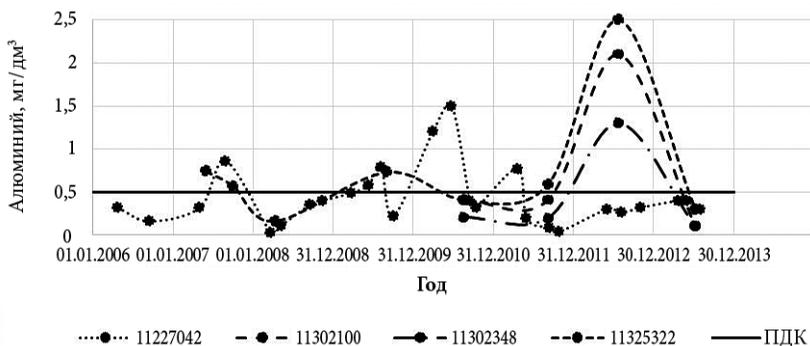


Рис. 2. Содержание алюминия в грунтовых водах

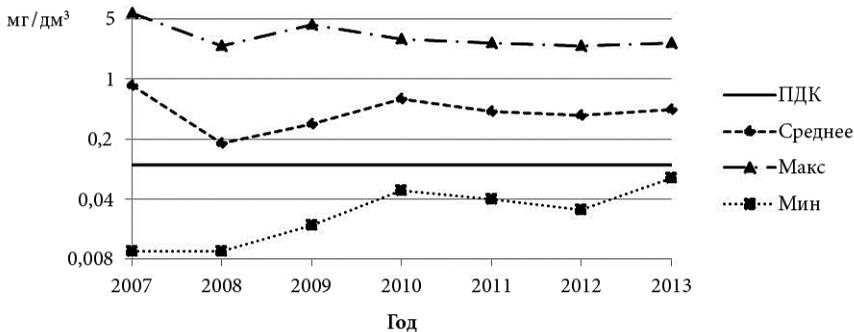


Рис. 3. Концентрация нефтепродуктов в грунтовых водах в 2007–2013 гг.

выявлено в 2007 г., содержание нефтепродуктов в среднем составило $0,84 \text{ мг/дм}^3$, что в 8,4 раза превышает ПДК п.в., а в скв. 11202526 (Красносельский район) было отмечено стократное превышение ПДК п.в. (10 мг/дм^3). Наиболее сильное загрязнение в Приморском районе отмечается в скв. 11202167. За 2007–2013 гг. концентрация нефтепродуктов в воде из этой скважины лишь в 2009 г. не превышала ПДК п.в. В 2010–2013 гг. концентрация нефтепродуктов превышала ПДК для питьевых вод в 14–26 раз. Источником загрязнения, по всей видимости, является расположенное

на данной территории предприятие по выпуску автокомпонентов. В Невском районе в 2013 г. сильное загрязнение ($1,4 \text{ мг/дм}^3$) отмечено в скв. 11202529 в саду «Спартак», который расположен в непосредственной близости от Обуховского моста. В Московском районе с 2005 по 2008 гг. отмечалось стабильное загрязнение ($1,6\text{--}2,4 \text{ мг/дм}^3$) в воде из скв. 11220561, расположенной на территории городского суда. Однако к 2010–2012 гг. концентрация нефтепродуктов в воде снизилась до $0,6 \text{ мг/дм}^3$, что впрочем в 6 раз выше ПДК п.в. В Красногвардейском районе наиболее сильное загрязнение (до $2,4 \text{ мг/дм}^3$) отмечается в районе железнодорожного моста, а также рядом с ж/д станцией Ржевка. В Петроградском районе на территории Петропавловской крепости в подземной воде концентрация нефтепродуктов достигает $1,6 \text{ мг/дм}^3$, что в 16 раз превышает ПДК п.в. В Петродворцовом районе высокая концентрация нефтепродуктов (от 5 до 24 раз) отмечается вдоль Ново-Нарвского шоссе и, видимо, связана с интенсивным движением и плохой системой ливневых канализаций. Все эти факты указывают на площадное техногенное загрязнение грунтовых вод на обширной части территории Санкт-Петербурга. Причины, скорее всего, кроются в бурном экономическом росте 2000-х гг., который среди прочего сопровождался ростом автопарка города. Так, в 2008 г. на 100 тыс. человек в Санкт-Петербурге приходилось в 1,7 раза больше автомобилей, чем в 2001 г., и в 2,4 раза, чем в 1995 г.

Нефтепродукты и другие загрязняющие вещества также попадают в грунтовые воды с промплощадок ТЭЦ, расположенных в Санкт-Петербурге. Однако к настоящему времени уровень загрязнения заметно снизился. Так, если в конце 1990-х гг. в некоторых скважинах на территории Северо-Западной ТЭЦ концентрация нефтепродуктов в воде составляла 4 мг/дм^3 , что в 40 раз выше ПДК п.в., то сейчас обнаруживаются лишь эпизодические превышения до 5 ПДК п.в.. Стабильное загрязнение отмечается только в скв. 11200008.

Валдайский моренный водоносный горизонт. Наибольшее техногенное воздействие на этот горизонт в прибрежной части Санкт-Петербурга оказывает Северо-Западная ТЭЦ. На ее промплощадке также выявлена высокая концентрация формальдегида, превышение ПДК п.в. — от 3,6 до 14,7 раза (рис. 4).

Московско-валдайский межморенный водоносный горизонт. Данный горизонт является верхним межморенным горизонтом и, вероятно, имеет гидравлическую связь с грунтовыми водами [3]. В целом на территории Санкт-Петербурга

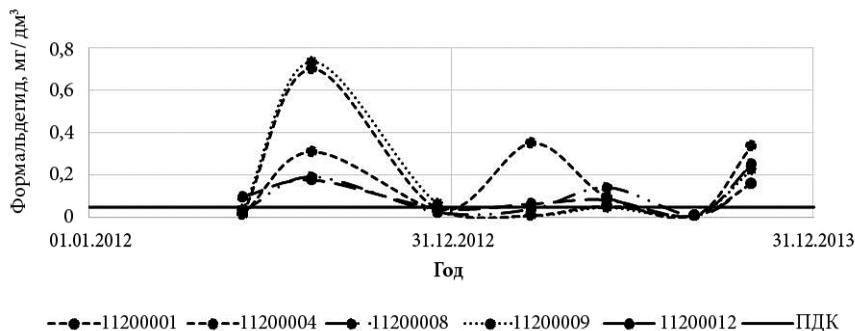


Рис. 4. Содержание формальдегида в воде Валдайского водоносного горизонта (СЗТЭЦ)

средняя концентрация нефтепродуктов в воде в 2008–2013 гг. менялась от 0,1 до 0,29 мг/дм³ (рис. 5). Это обстоятельство дает основание говорить о том, что некоторая часть нефтепродуктов просачивается из грунтовых вод. Наиболее сильное загрязнение отмечается в Калининском районе (пр. Непокоренных и Пискаревский пр.) и Приморском районе (Коломяги, предприятие по выпуску автокомпонентов канадской компании «Magna International»).

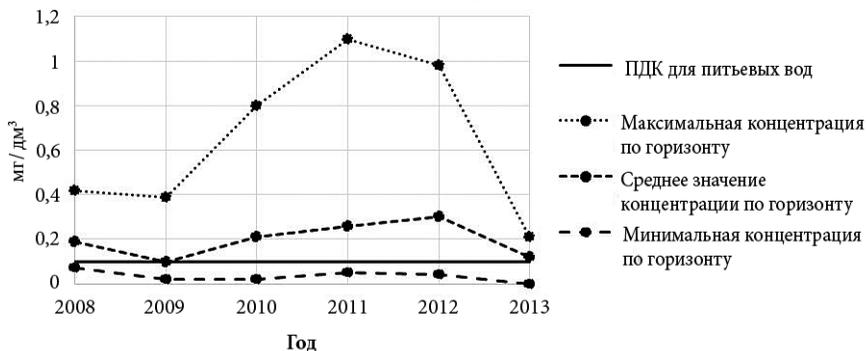


Рис. 5. Среднее содержание нефтепродуктов в воде Московско-Валдайского межморенного горизонта на территории Санкт-Петербурга

Днепровско-московский межморенный водоносный комплекс. Несмотря на относительную защищенность горизонта [3, 4], в последние годы эпизодически отмечается загрязнение алюминием и нефтепродуктами вод днепровско-московского межморенного водоносного комплекса (рис. 6).

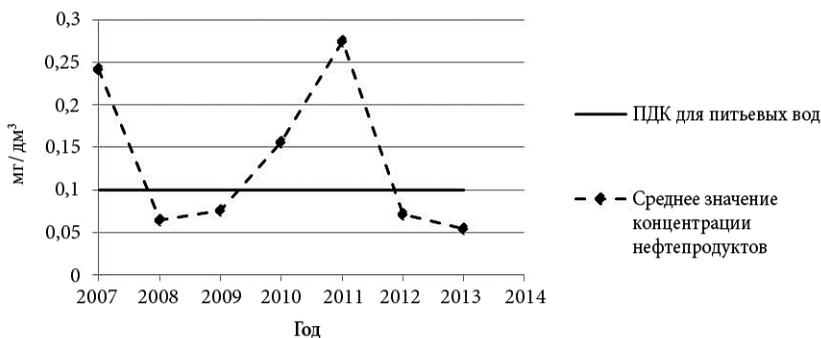


Рис. 6. Содержание нефтепродуктов в воде Днепровско-московского межморенного водоносного комплекса

По всей видимости, это связано с повсеместным загрязнением грунтовых вод, из которых нефтепродукты просачиваются в нижележащие горизонты. В 2012 и 2013 гг. среднее содержание нефтепродуктов в воде не превышало ПДК п.в. Наиболее часто загрязнение фиксируется в Курортном районе, где защищенность горизонта наименьшая по городу [3].

Вендский водоносный комплекс. Воды Вендского водоносного комплекса используется для водоснабжения в Курортном районе Санкт-Петербурга [2]. Водоснабжение

носный горизонт относительно хорошо защищен, и главной проблемой является рост депрессионной воронки из-за чрезмерного водоотбора. Однако в Курортном и Приморском районах города в 2013 г. в скв. 11100001 и 11100002 было выявлено превышение нормативов по алюминию от 0,4 мг/дм³ (2 ПДК п.в. или 10 ПДК рыбохоз) до 0,5 мг/дм³ (2,5 ПДК п.в. или 12,5 ПДК рыбохоз) соответственно. Загрязнение обусловлено высокой техногенной нагрузкой.

Заключение

Санкт-Петербург оказывает сильное техногенное воздействие на грунтовые воды. За последние семь лет уровень загрязнения грунтовых вод не только не снижался, но и резко вырос по сравнению с ситуацией на начало века. Наиболее серьезной проблемой является загрязнение верхних горизонтов (грунтовых вод и межморенных горизонтов) нефтепродуктами. Так, за последние три года (2010–2013) среднее содержание нефтепродуктов в водах надморенных горизонтов прибрежной территории Санкт-Петербурга составило 0,7 мг/дм³, что в 7 раз превышает ПДК для питьевых вод и в 14 раз ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Превышение ПДК п.в. по нефтепродуктам отмечено и в более глубоких горизонтах (до 2,9 мг/дм³), что свидетельствует об инфильтрации загрязнения из верхних горизонтов. Загрязнению способствует слабая защищенность подземных вод прибрежной территории, особенно в Курортном районе [2]. Так, в районе Зеленогорска отмечается превышение ПДК п.в. по нефтепродуктам для питьевых вод в 2–5 раз. Главной причиной загрязнения нефтепродуктами, по всей видимости, является большой автопарк города и наличие большого количества АЗС, где не всегда правильно организовано хранение нефтепродуктов. Источником загрязнения также являются объекты промышленности и автосервиса.

Кроме нефтепродуктов время от времени в грунтовых водах фиксируются высокие концентрации алюминия и свинца. Наибольшие значения концентрации алюминия были отмечены в 2012 г. Источником загрязнения могут быть несанкционированные свалки. Устойчивое техногенное загрязнение наблюдается на промплощадке Северо-Западной ТЭЦ, где отмечается превышение ПДК п.в. по нефтепродуктам (до 8 раз) и формальдегиду (до 14 раз). Помимо того на территории Северо-Западной ТЭЦ в грунтовых водах обнаружено высокое содержание железа — до 80 мг/дм³, что в 800 раз превышает ПДК для рыбохозяйственных вод и более чем в 250 раз для питьевых вод. В районе Каменки отмечаются anomalно повышенные значения минерализации, что может быть объяснено соседством большой свалки. Наиболее глубокий горизонт — вендский — в достаточной мере защищен и поэтому пока, в целом, не загрязнен. Высокое загрязнение грунтовых вод в значительной степени нивелируется поверхностным стоком реки Невы, однако часть загрязнения попадает в Финский залив напрямую в неразбавленном виде и может оказывать прямое неблагоприятное воздействие на биоту.

Литература

1. Voronov A. N., Viventsova E. A. Groundwater runoff into the Gulf of Finland // Water Resources. 2004. Vol. 31, N 6. P. 601–609.

2. Вивенцова Е. А. Гидрохимические особенности состава подземных вод месторождений Курортного района Санкт-Петербурга // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. Геология. География. 2008. Вып. 2. С. 37–41.

3. Васина Г. Г. и др. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Санкт-Петербурга за 2013 год. СПб.: ОАО «Севзапгеология», 2013. 146 с.

4. Румянцев И. А. и др. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Санкт-Петербурга за 2012 год. СПб.: ОАО «Севзапгеология», 2012. 192 с.

5. Зецкер И. С., Куделин Б. П. К вопросу о подземном стоке в Балтийское море // Труды ГГИ. 1965. Вып. 122. С. 82–86.

6. Приказ Федерального агентства по рыболовству N 20 от 18 января 2010 г. «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

7. Гигиенические нормативы // Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. ГН 2.1.5.1315–03.

Для цитирования: Румянцев И. А. Загрязнение подземных вод в прибрежной территории Санкт-Петербурга // Вестник СПбГУ. Серия 7. Геология. География. 2016. Вып. 3. С. 177–185. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.314

References

1. Voronov A. N., Viventsova E. A. Groundwater runoff into the Gulf of Finland. *Water Resources*, 2004, vol. 31, no. 6, pp. 601–609.

2. Viventsova E. A. *Gidrokhimicheskie osobennosti sostava podzemnykh vod mestorozhdenii kurortnogo raiona Sankt-Peterburga* [Hydrochemical characteristics of groundwater deposits of Kurort District of St. Petersburg]. *Vestnik of Saint Petersburg University. Ser. 7. Geology. Geography*, 2008, issue 2, pp. 37–41. (In Russian)

3. Vasina G. G. i dr. *Informatsionnyi biulleten' o sostoianii neдр territorii Sankt-Peterburga za 2013 god* [Information bulletin about the state of the underground territory of St. Petersburg in 2013]. St. Petersburg, JSC “Sevzapgeologiya” Publ., 2013. 146 p. (In Russian)

4. Rumiantsev I. A. i dr. *Informatsionnyi biulleten' o sostoianii neдр territorii Sankt-Peterburga za 2012 god* [Information bulletin about the state of the underground territory of St. Petersburg in 2012]. St. Petersburg, JSC “Sevzapgeologiya”, 2012. 192 p. (In Russian)

5. Zetsker I. S., Kudelin B. P. K voprosu o podzemnom stoke v Baltiiskoe more [On the issue of the underground runoff into the Baltic Sea]. *Trudy GGI*, 1965, issue 122, pp. 82–86. (In Russian)

6. *Prikaz Federal'no agentstva po rybolovstvu N 20 ot 18 ianvaria 2010 g. «Ob utverzhenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhoziaistvennogo znachenii, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsii vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhoziaistvennogo znachenii»* [Order of January 18, 2010 N 20 “On Approval of Water Bodies of Water Quality Standards for Fishery, Including the Standards of Maximum Permissible Concentrations of Harmful Substances in the Waters of Fishery Water Bodies”, the Federal Agency for Fisheries, 2010]. (In Russian)

7. *Gigienicheskie normativy // Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'ektov khoziaistvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniia. GN 2.1.5.1315–03* [Hygienic standards / Maximum Permissible Concentration (MPC) of Chemicals in Water Bodies Drinking and Cultural and Community Water Use. GN 2.1.5.1315-03, 2013]. (In Russian)

For citation: Rumiancev I. A. Contamination of groundwater in the coastal area of St. Petersburg. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography*, 2016, issue 3, pp. 177–185. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.314

Статья поступила в редакцию 10 февраля 2016 г.

Контактная информация

Румянцев Игорь Александрович — аспирант; rumigor@gmail.com

Rumiancev Igor A. — Postgraduate; rumigor@gmail.com