

Эколого-гидрогеохимические условия Северо-Двинского бассейна подземных вод

Создана объемная цифровая гидрогеохимическая модель территории, учитывающая общую гидрогеохимическую зональность чехла бассейна и влияние природных и техногенных факторов на качество подземных вод питьевого назначения. Предложено объяснение происхождения рассолов рифейского водоносного комплекса. Показаны основные области разгрузки глубокозалегающих водоносных горизонтов. Отражено распространение пресных подземных вод, содержащих природные компоненты-загрязнители. Выделены участки антропогенного загрязнения.

Ключевые слова: *цифровая гидрогеохимическая модель, гидрогеохимическая зональность, качество подземных вод, природные компоненты-загрязнители, антропогенное загрязнение.*

V. V. PETROV (VSEGEI), A. A. SEMENCHUK (JSC «North-West PGA»)

Ecological-hydrogeochemical conditions of the North-Dvina basin groundwater

A 3D digital hydrogeochemical model of the territory has been created. It considers the total hydrogeochemical zoning of the basin and the impact of natural and anthropogenic factors on the quality of groundwater for drinking purposes. An explanation of the origin of brines of the Riphean aquiferous complex is proposed. The main areas of discharge of deep-lying aquifers are shown. The distribution of fresh containing natural contaminants groundwater and territories with the presence of anthropogenic pollution in some areas is reflected.

Keywords: *3D digital hydrogeochemical model, hydrogeochemical zoning, the quality of groundwater, natural contaminants, anthropogenic pollution.*

Работы по оценке эколого-гидрогеохимических условий Северо-Двинского бассейна подземных вод выполнены по договору подряда ВСЕГЕИ с ОАО «ПКГЭ» в процессе создания гидрогеологической карты Северо-Двинского артезианского бассейна масштаба 1 : 1 000 000» (отв. исполнитель Г. Ю. Воронюк). Такого рода исследования обусловлены необходимостью оценки обеспеченности населения качественными питьевыми водами. Выполненные ранее исследования [5, 7–9, 15] показали практически повсеместное распространение здесь пресных вод, а также минеральных вод разного типа. В то же время подземные воды, отвечающие нормативным требованиям питьевого качества, часто оказываются в дефиците.

Рассматриваемая территория расположена на северо-востоке Европейской России и представляет собой низменную, плоско-холмистую равнину, полого наклоненную в сторону Белого моря и Чешской губы, заключенную между возвышенностями Ветреного пояса на западе, Тиманского кряжа на востоке, Северных увалов на юге и Балтийско-Беломорско-Черноморским водоразделом на юго-западе. Отметки поверхности главнейших базисов эрозии здесь от 0 до 200 м.

Территория Северо-Двинского бассейна занимает северо-восточную часть Русской плиты. В строении его разреза участвуют два структурных этажа: нижний — дорифейский кристаллический фундамент, сложенный метаморфизованными и сложнотрофизованными образованиями архея — раннего протерозоя, и верхний — осадочный чехол в разной степени литифицированных пологозалегающих пород рифея, венда, палеозоя,

мезозоя и кайнозоя, включая сплошной относительно маломощный покров четвертичных отложений. Осадочный чехол делится на два структурных подэтажа — авлакогенный (рифейско-нижневендский) и плитный (верхневендско-фанерозойский). Строение осадочного чехла исследуемой территории довольно сложное. Его особенности позволяют обособить Московскую и Мезенскую синеклизы. Структуры Московской синеклизы северо-восточного простирания, включают в свой разрез породы всех выделяемых здесь структурных подразделений. Московская синеклиза имеет симметричное строение по отношению к оси погружения фундамента. Мощность чехла 3–3,5 км. Мезенская синеклиза северо-западного простирания, ось погружения ее кристаллического основания смещена к Тиману. В ее разрезе преобладают породы рифея и верхнего венда. Породы нижнего палеозоя отсутствуют, а отложения верхнего палеозоя и мезозоя сравнительно меньше по мощности и области распространения. Суммарная мощность осадочного чехла в Мезенской впадине достигает 1,2–3 км. Границей между Мезенской и Московской впадинами является Сухонская седловина [4]. На юго-востоке бассейна расположен Сыктывкарский свод Волго-Уральской антеклизы, который отделяется от Мезенской синеклизы Котлас-Яренским авлакогеном. В разрезе свода преобладают терригенные и карбонатные отложения среднего и верхнего палеозоя.

В гидрогеологическом отношении рассматриваемая территория представляет собой сложностроенный бассейн подземных вод артезианского типа. В соответствии с основными принципами

структурно-гидрогеологического районирования [10, 11] в пределах Северо-Двинского бассейна можно выделить три гидрогеологических района III порядка: Верхнеонего-Сухонский, Двинско-Мезенский и Лузский. Эти районы приурочены к Московской, Мезенской синеклизам и Волго-Уральской антеклизе и располагаются в бассейнах рек Онега и Сухона, Северная Двина и Мезень, а также р. Луза.

В разрезе Северо-Двинского бассейна выделяется ряд стратифицированных гидрогеологических подразделений регионального распространения. В верхней части разреза бассейна развит четвертичный водоносный комплекс, представленный над- и межморенными водоносными горизонтами, разделенными суглинистыми моренными водоупорами общей мощностью до 100 м, редко более.

Ниже по разрезу на востоке региона (Притиманье) распространен водоносный горизонт терригенных пород юры, местами юрско-меловой водоносный комплекс. Его подстилает более широко распространенный триасовый относительно водоупорный горизонт.

Гидрогеологические подразделения перми в осевой части бассейна выходят на дочетвертичную поверхность и погружаются в восточном направлении под более молодые образования. Начинается разрез с татарского и казанского водоносных горизонтов, представленных терригенными и карбонатными отложениями. Наиболее широко распространен сакмарско-уфимский относительно водоупорный горизонт сульфатносульфатный, местами с галитом. При выходе на дочетвертичную поверхность он содержит трещинно-карстовые подземные воды. При погружении под более молодые образования перми он приобретает характер регионального водоупора.

Ниже развиты гидрогеологические подразделения карбона, включающие водоносные горизонты среднего-верхнего и нижнего-среднего отделов, разделенные на значительной части региона водоупорными верейскими глинами. Подстилает эти горизонты нижнекаменноугольный относительно водоупорный горизонт существенно глинистого состава.

Девонские водоносные комплексы широко распространены на юге Северо-Двинского бассейна.

Кембрийский и ордовикский, местами также ордовик-силурийский водоносные комплексы развиты лишь во внутренней части Верхнеонего-Сухонского района, где представлены терригенными и терригенно-карбонатными образованиями, слагающими водоносные горизонты и глинистые водоупоры. Суммарная мощность нижнепалеозойских гидрогеологических подразделений достигает здесь 900 м.

Верхневендский водоносный комплекс распространен повсеместно. Его мощность увеличивается в восточном направлении, достигая в Притиманье 1000–1500 м и более. На северо-западе и севере Двинско-Мезенского района (Онежский полуостров, южный берег Белого моря) терригенные породы комплекса выходят на дочетвертичную поверхность.

Рифейский водоносный комплекс (песчаники, реже терригенно-карбонатные отложения) развит в пределах грабенообразных прогибов и авлакогенов в Двинско-Мезенском и Верхнеонего-Сухонском районах.

На севере территории часто отмечается проявление щелочно-ультраосновного магматизма (средний палеозой), выраженного трубками взрыва и силами, прорывающими отложения чехла.

Гидрогеохимическая зональность Северо-Двинского бассейна отражена на гидрогеохимических картах верхнего и нижнего этажей (рис. 1, 2). Основные принципы и методика составления гидрогеохимической карты разработаны во ВСЕГЕИ под руководством Е. А. Баскова и С. Н. Сурикова [2, 3].

В вертикальном разрезе бассейна до фундамента выделяются два гидрогеологических этажа, которые существенно различаются по направленности гидрогеологических и гидрогеохимических процессов и степени защищенности подземных вод от загрязнения. Верхний этаж, наиболее подверженный загрязнению, содержит подземные воды зоны современного водообмена, получающие питание в естественных условиях с дневной поверхности; нижний этаж занимает более глубокие части разреза геологических структур и содержит седиментогенные и древнеинфильтрационные воды.

Вопрос об установлении границы между этапами дискуссионный. Вместе с тем, основываясь на современных представлениях [1, 6], граница контролируется гипсометрическим положением региональных базисов дренирования и располагается здесь несколько ниже поверхности главного базиса дренирования – уровня моря (80 м – преобладающие глубины в Онежском заливе Белого моря и придельтовой части Северной Двины).

Гидрохимическая зональность в бассейне (рис. 1, 2) проявлена в целом в последовательной смене вниз по разрезу пресных, обычно гидрокарбонатных вод (до 0,5–1 г/л) солеными водами (до 35 г/л) разного состава и хлоридными рассолами (до 200–250 г/л и более). Мощность зоны пресных вод от 10–30 до 150–200 м. Нижележащая зона соленых, довольно пестрых по составу (сульфатных, хлоридно-сульфатных, хлоридно-гидрокарбонатных и др.) вод изучена слабо. По имеющимся отрывочным данным ее мощность может достигать 600–700 м (Койнасская опорная скважина и др.) в районах широкого развития триасовых и верхнепермских отложений. С глубиной возрастает минерализация вод (от 1–3 до 20–35 г/л), которые в нижних частях зоны приобретают хлоридный состав. Мощность зоны хлоридных рассолов 2000–3000 м и более.

Верхний гидрогеохимический этаж тесно связан с бассейнами стока рек Онега, Сухона, Северная Двина, Кулой, Мезень. Его мощность 50–100, в южных районах бассейна до 150–200 м. В верхней части разреза этого этажа подземные воды обычно пресные (до 0,3–0,5 г/л), гидрокарбонатного магниево-кальциевого либо натриевого состава, местами также сульфатные кальциевые. Вниз по разрезу в районах распространения микулинской трансгрессии моря и южнее и юго-восточнее развиты слабо- и среднесоленые сульфатные и сульфатно-хлоридные и хлоридные воды. Важную роль в повышении минерализации подземных вод верхнего этажа играют широко развитые в регионе сульфатноносные породы перми. Как показано на рис. 1, на восток от Балтийского гидрогеологического массива пояс пресных вод сменяется на участках распространения сульфатноносных пород поясом слабосоленых вод. Далее на восток при погружении сульфатноносных пород на глубину в верхах разреза развиты пресные воды, сменяющиеся с глубиной

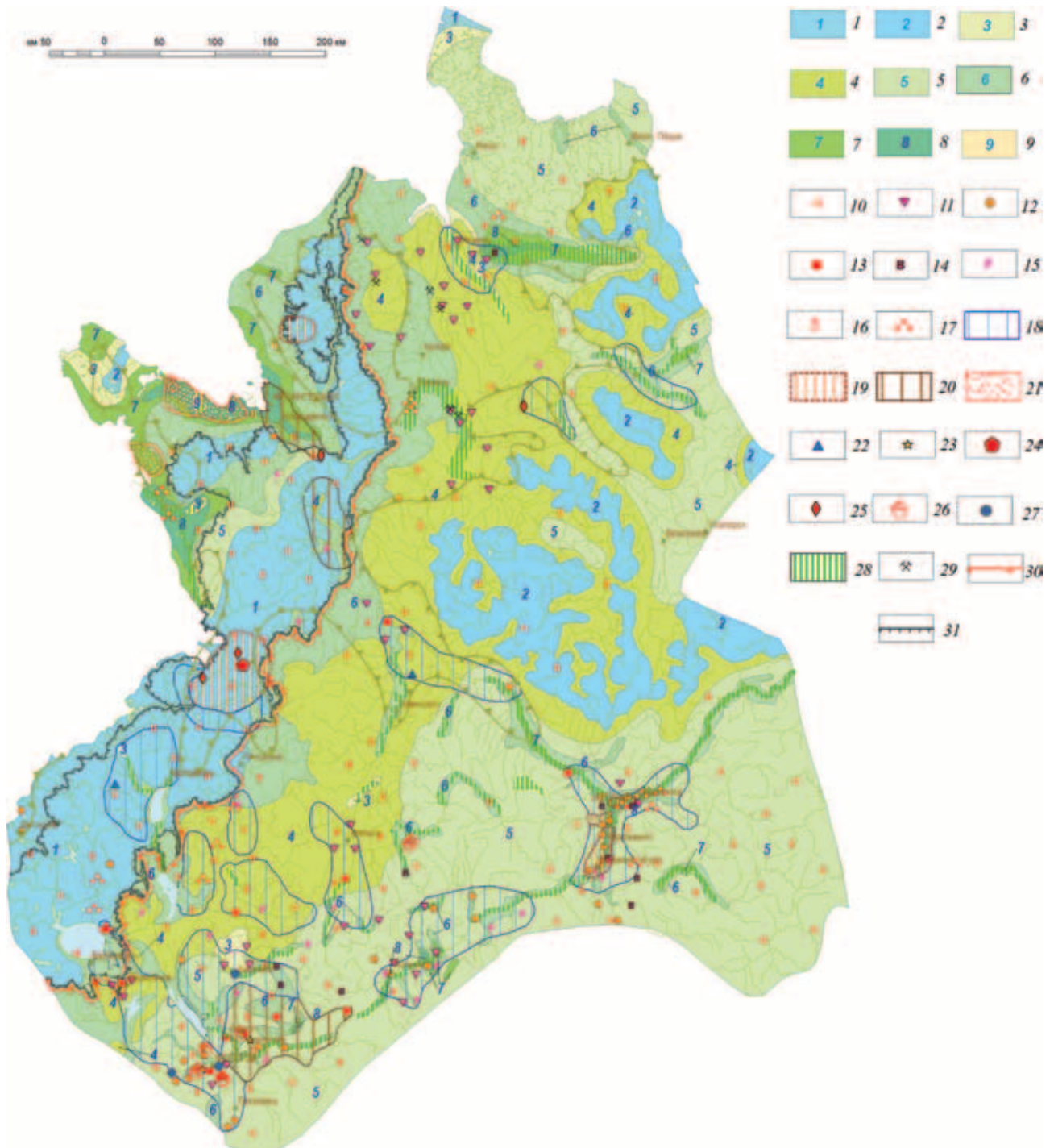


Рис. 1. Эколого-гидрогеохимическая карта Северо-Двинского бассейна подземных вод (верхний гидрогеохимический этаж)

1–9 – гидрогеохимические пояса (районы) без антропогенного загрязнения подземных вод: 1–8 – с закономерным увеличением минерализации воды с глубиной (1 – $A_{0,3}^x A_{0,3-1}$, 2 – $A_{20} 1,0$, 3 – B_{1-3} , 4 – $A_{0,3-1} B_{1-3}$, 5 – $A_{0,3-1} B_{1-10}$, 6 – B_{1-10} , 7 – B_{3-10} , 8 – B_{3-35}), 9 – с незакономерным изменением «пестрых» по минерализации вод, Γ_{35-140} ; 10–15 – территории, на отдельных участках которых распространены подземные воды с концентрациями компонентов, превышающих ПДК (в мг/кг) для питьевых вод (природное загрязнение): 10 – железо общее (0,3), 11 – стронций (7,0), 12 – бор и барий, 13 – барий (0,1), 14 – бор (0,5), 15 – фтор (1,5); 16, 17 – территории, на отдельных участках которых встречаются подземные воды: 16 – радоновые, 17 – сероводородные; 18–21 – гидрогеохимические пояса (районы) с наличием на отдельных участках антропогенного загрязнения: 18 – сельскохозяйственного (NH_4 , NO_3 , Cl, пестициды и др.), 19 – предприятий горнодобывающей, перерабатывающей, химической промышленности и др. (Pb, Cd, нефтепродукты, S, Cl, Na, SO_4), 20 – предприятий целлюлозно-бумажной, лесохимической промышленности (Pb, Cd, S, органические соединения), 21 – радиоактивного (Rn, U); 22–27 – основные группы компонентов-загрязнителей: 22 – NH_4 , нефтепродукты, фенолы, 23 – пестициды, 24 – NH_4 , Cl, Na, SO_4 , нефтепродукты, фенолы, 25 – Pb, Cd, нефтепродукты, 26 – Li, B, Vg, Cl, Na, SO_4 , 27 – B, H_2S ; 28–31 – некоторые факторы, влияющие на гидрогеохимическую обстановку: 28 – разгрузка вод нижележащих водоносных горизонтов, 29 – выявленные рудопоявления целестина и стронцианита, 30 – граница распространения сульфатонесных отложений, 31 – граница выхода карбонатных отложений на дочетвертичную поверхность.

A, B, B, Г – символы гидрогеохимических зон подземных вод по значениям минерализации, в г/кг: A – до 1, B – от 1 до 35, B – от 35 до 350 и более, Г – от 1 до 140. Цифры рядом с буквенными индексами указывают на максимальную минерализацию вод в зонах и подзонах; знак x – преобладание гидрокарбонатных, хлоридно-гидрокарбонатных и гидрокарбонатно-хлоридных натриевых подземных вод

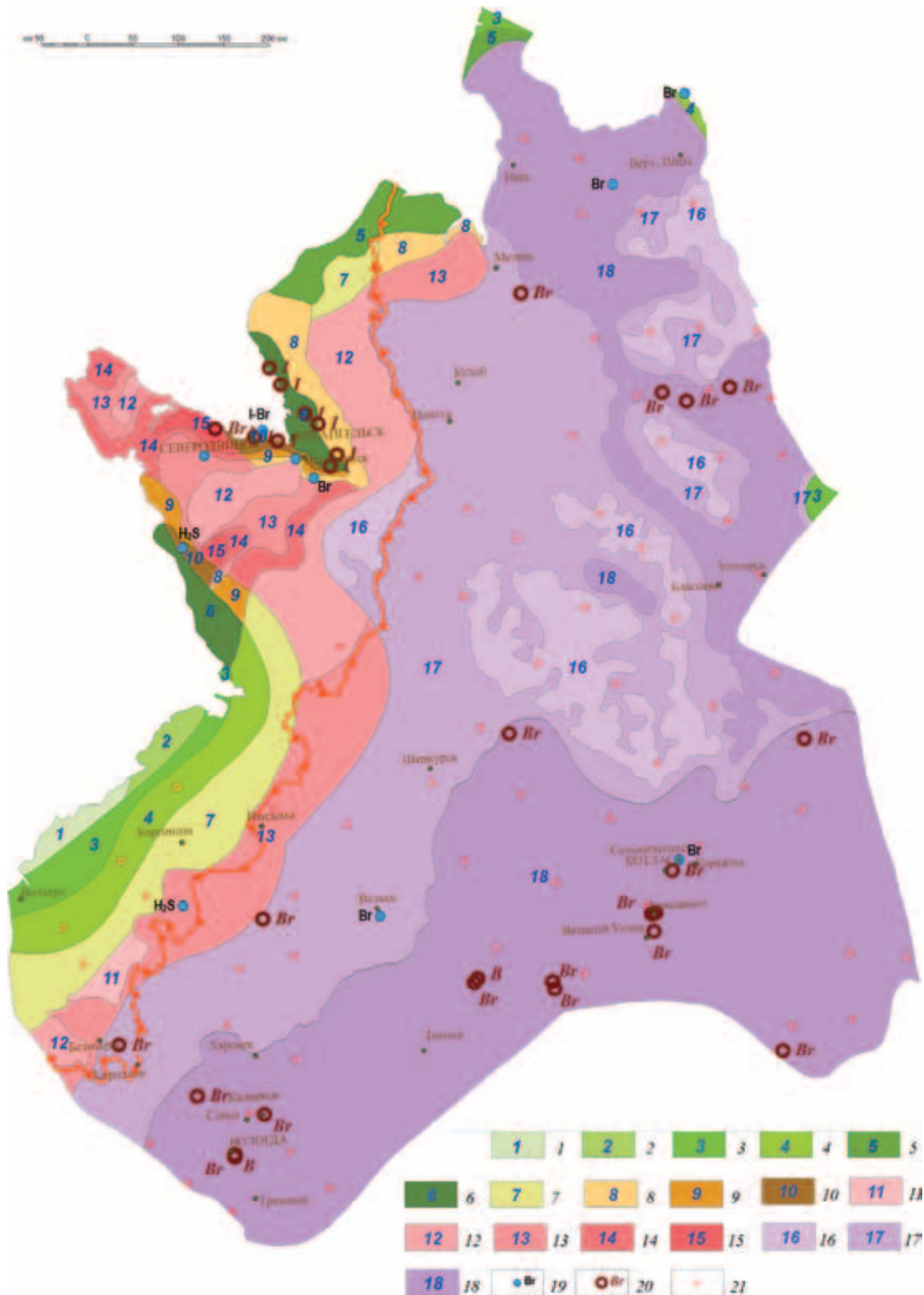


Рис. 2. Эколого-гидрогеохимическая карта Северо-Двинского бассейна подземных вод (нижний гидрогеохимический этаж)

1–18 – гидрогеохимические пояса (районы) с закономерным увеличением минерализации воды с глубиной (1 – $A_{0,3-1}B_{1-3}$, 2 – B_{1-3} , 3 – B_{1-10} , 4 – B_{1-35} , 5 – B_{3-35} , 6 – B_{10-35} , 7 – $B_{1-35}B_{35-70}$, 8 – $B_{3-35}B_{35-70}$, 9 – $B_{10-35}B_{35-70}$, 10 – B_{35-70} , 11 – $A_1B_{1-35}B_{35-140}$, 12 – $B_{1-35}B_{35-140}$, 13 – $B_{3-35}B_{35-140}$, 14 – $B_{10-35}B_{35-140}$, 15 – B_{35-140} , 16 – $B_{1-35}B_{35-270}$, 17 – $B_{3-35}B_{35-270}$, 18 – $B_{10-35}B_{35-270}$); 19 – проявления минеральных лечебных вод, у знака индекс компонента, имеющего бальнеологическое значение (отсутствие индекса указывает на проявление воды без специфических компонентов); 20 – проявление промышленных вод у знака индекса компонента, имеющего промышленное значение; 21 – преобладающий состав подземных вод – метаново-азотный и азотно-метановый.

Прочие усл. обозн. см. на рис. 1

слабосолеными, восточнее в низах разреза верхнего этажа развиты среднесоленые воды. На Онежском полуострове и северо-востоке территории повышенная минерализация вод верхнего этажа обязана проявлению микулинской трансгрессии. Кроме того, в долинах рек встречаются соленые источники с минерализацией до 50–100 г/л, связанные с разгрузкой подземных вод из нижнего этажа по зонам разломов.

Среди микрокомпонентов в составе подземных вод верхнего этажа широко распространены железо, бор, барий, стронций, фтор, а также азотистые соединения и др. На отдельных участках в водах месторождений подземных вод выявлены превышающие ПДК тяжелые металлы (Cd, Pb и др.). Газовый состав вод верхнего этажа кислородно-азотный и азотный. Местами обнаружен сероводород.

Кондиции качества подземных вод определяются в первую очередь пригодностью их для питья. В соответствии с санитарно-гигиеническими нормами [14] определены предельно допустимые концентрации (ПДК) отдельных компонентов состава вод, превышение которых не позволяют использовать воды для питья, либо требуется водоподготовка. При этом превышение ПДК питьевых вод носит как природный, так и антропогенный характер.

Природное загрязнение подземных вод. Концентрации железа, превышающие ПДК (от 0,3–1,6 до 7,0–30,0 мг/л и более) довольно широко распространены в верхнем гидрогеологическом этаже бассейна. Присутствие железа в подземных водах в повышенных концентрациях определяется высоким кларком концентрации железа в горных породах и благоприятными геохимическими условиями его миграции в подземных водах. К таким условиям относятся глеевая либо восстановительная обстановка природной среды, что часто связано с изоляцией водоносного горизонта от дневной поверхности вышележащими водоупорами. На данной территории такого рода горизонтом часто служат моренные образования. Также железистыми являются воды с большим количеством органического вещества, приуроченные к болотным отложениям. В таких же условиях формируются подземные воды с высокой окисляемостью (от 5–10 до 50–100 мг/л и более). Вместе с тем, повышенная окисляемость вод может быть также следствием техногенного загрязнения, например, в районе Архангельска и Плесецка (до 100–416 мг/л).

Важными для определения качества питьевых вод, но менее распространенными по площади являются такие природные компоненты-загрязнители, как стронций, барий, бор, фтор. Стронциеносные (от 7–15 до 27 мг/л) подземные воды встречаются главным образом в полосе выходящих на поверхность карбонатных образований средней перми (казанский и уфимский водоносные горизонты), в которых имеют место рудопроявления целестина и стронцианита [4], также карбонаты казанского яруса, обогащенные стронцием до 2400 мг/кг [8]. Повышенные концентрации в подземных водах бария (0,7–1,29 мг/л) и бора (до 1–4 мг/л), как правило, связаны с терригенными и терригенно-карбонатными формациями прибрежно-морского происхождения (горизонты верхней перми и триаса). Минералы с этими компонентами содержатся в основном в глинистых фракциях пород. Подземные воды с высокими содержаниями

фтора (1,5–9,7 мг/л) характерны для пресных вод щелочного состава, часто встречающихся на юге территории.

Распространение основных видов *антропогенного загрязнения* на рассматриваемой территории представлено на рис. 1. Исходя из имеющихся данных, сведенных в электронную базу, а также опубликованных и фондовых материалов [2, 5, 12–14 и др.], наиболее широко представлено *сельскохозяйственное загрязнение* подземных вод верхнего гидрогеохимического этажа. Этот вид загрязнения фиксируется в основном развитием повышенных концентраций в воде азотистых соединений, не обязательно превышающих ПДК для питьевых вод. Так, нитраты в пресных водах на таких участках составляют от 5 до 30 мг/л и более, нитриты превышают 1–4 мг/л, а ион аммония достигает 2–10 мг/л. На отдельных участках в водах выявлены пестициды, сероводород до 0,4, окись фосфора до 0,4 мг/л.

На промышленно освоенных и осваиваемых площадях (Архангельск, Плесецк, Котлас, Великий Устюг и др.) и на участках разработки месторождений алмазов на подземных водах сказывается *промышленное загрязнение* воды тяжелыми металлами (Cd, Pb и др.) в концентрациях, превышающих ПДК для питьевых вод (1 и 30 мкг/л). Присутствуют азотистые соединения, нефтепродукты, соленые воды, связанные с подтягиванием некондиционных вод из нижележащих горизонтов в процессе эксплуатации месторождений подземных вод, и др. Район добычи алмазов пока еще мало изучен с позиций загрязнения подземных вод, так как в зону осушения карьеров попадают пресные подземные воды падающего горизонта верхнего венда. Однако ниже по разрезу залегают соленые воды и рассолы в породах мезенской свиты верхнего венда и трещиноватых кимберлитах. Эти некондиционные воды также подтягиваются к зоне осушения и требуют утилизации или сброса, т. е. эколого-гидрогеохимическая обстановка на данной территории будет обостряться.

В освоенных и сравнительно густонаселенных районах с развитой инфраструктурой, промышленным производством и сельским хозяйством выделяется *смешанный вид антропогенного загрязнения*. Здесь выявлены подземные воды, не соответствующие гигиеническим требованиям для питьевых вод: азотистые соединения, тяжелые металлы, нефтепродукты, органические соединения, засоление водоносных горизонтов. К таким участкам относятся районы нижнего течения р. Северная Двина с городами Архангельск, Усть-Пинега, а также юг территории (район г. Сокол и др. с развитыми лесоперерабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленностью), также районы с интенсивным развитием сельского хозяйства.

На северо-западе бассейна на берегах Онежского полуострова выделяются участки *загрязнения* подземных вод, связанного с захоронением радиоактивных отходов и использованием ядерных энергетических установок.

Гидрогеохимическая зональность *нижнего гидрогеохимического этажа* бассейна (рис. 2) характеризуется увеличением минерализации подземных вод сверху вниз по разрезу и в восточном направлении от границы с Балтийским гидрогеологическим массивом до границы с Тиманской гидрогеологической складчатой областью. В западных прибортовых частях бассейна в нижнем этаже наряду с пресными распространены соленые воды, во внутренних

частях бассейна — также и рассолы до крепких (пояса Б₁₋₃₅В₃₅₋₇₀, Б₁₋₃₅В₃₅₋₁₄₀, Б₁₋₃₅В₃₅₋₂₇₀ и др.). На юго-западе территории в районе оз. Белое выделяется район с пресными водами в верхней части разреза данного этажа (пояс А, Б₁₋₃₅В₃₅₋₁₄₀). Развитие пресных вод в нижнем этаже связано с захоронением древнеинфильтрогенных вод, образовавшихся при промыве данной части разреза в дочетвертичное время.

Степень минерализации подземных вод в разновозрастных водоносных горизонтах соответствует общей гидрогеохимической зональности и увеличивается с глубиной (таблица). В пермских горизонтах в нижнем гидрогеологическом этаже минерализация воды составляет 16–40 г/л на глубинах 130–290 м, 42–70 г/л на глубинах 220–400 м, достигая 200–300 г/л на глубинах 424–1100 в подсолоненных горизонтах. По составу рассолы преимущественно хлоридные натриевые, кальциево-натриевые с довольно высоким содержанием сульфат-иона (1,0–4,0 г/л), концентрации брома до 0,5–0,6 г/л седиментационного и смешанного происхождения. На это указывает величина хлор-бромного отношения от 175–350 до 550–1000. Сульфаты накапливались при метаморфизации вод озерных бассейнов. Сохранению сульфат-иона в захороненных рассолах, часть которых не достигла садки гипса, видимо, препятствовало ограниченное количество органического вещества в водовмещающих породах, тормозящее активность сульфатредуцирующих бактерий.

Распространение соленых вод и рассолов в каменноугольных водоносных горизонтах носит сходный характер. Степень минерализации их нарастает с глубиной от 19–50 до 180–250 г/л. Состав вод хлоридный натриевый, кальциево-натриевый в соленых водах и рассолах до 130, концентрация сульфат-иона в основном 2,0–4,6, в крепких рассолах от 0,3 до 1,0–1,5 г/л. Содержание брома в воде не превышает 0,6 на фоне 0,1–0,3 г/л. Хлор-бромное отношение редко превышает 350 ед., т. е. в основном воды седиментогенные, сформировавшиеся в пермских бассейнах, в том числе солеродных.

В нижележащих водоносных горизонтах девона и кембрия развиты рассолы с минерализацией от 40–60 до 190–220 г/л. Состав их хлоридный натриевый, кальциево-натриевый. Концентрация кальция в крепких рассолах 13–24 г/л. Содержание сульфатов от 1,2–2,1 г/л в слабых рассолах до 0,2–0,3 г/л в крепких рассолах. Концентрация брома от 0,1 до 0,4–0,6 г/л, достигая 2,0 г/л в водах кембрийских отложений. Хлор-бромное отношение в этих рассолах составляет порядка 200 ед. Вероятно, это седиментогенные рассолы, связанные с пермскими и более древними солеродными бассейнами.

В водоносных комплексах верхнего венда выдерживается приведенная выше закономерность. На глубинах 70–200 м в этих отложениях развиты сильносоленые воды (до 34 г/л) хлоридного натриевого состава с содержанием сульфатов 0,5–2 и кальция 3–0,7 г/л. В районе Архангельска содержание йода в воде скв. 12а достигает 16 мг/л. При увеличении глубины залегания вод от 700 до 2000 м и более минерализация воды возрастает от 50–80 до 250 г/л, состав рассолов хлоридный кальциево-натриевый. При этом концентрация сульфатов уменьшается с 1,6 до 1,0–0,2, кальция возрастает с 4,6 до 10–30 г/л. Концентрация брома в этих рассолах 0,11–0,5, достигая 1,2 г/л на глубинах более 2 км.

Хлор-бромное отношение порядка 300 ед. указывает на их седиментационное происхождение.

Гидрогеохимия водоносного комплекса рифея охарактеризована данными по скважинам в п. Ненокса. Воды отобраны с глубин 254–282 и 282–615 м. Это рассолы средней крепости (116–125 г/л) хлоридного натриевого состава, содержащие сульфатов до 2 и кальция 2–4 г/л, а также порядка 100 мг/л брома. Хлор-бромное отношение 390–700 ед. [13]. Вопрос о формировании состава этих рассолов интересовал многих исследователей. Наиболее основательно в последние годы им занимался А. И. Коротков [9, 13]. Он обращал внимание на своеобразие состава этих рассолов по сравнению с рассолами других районов Северо-Двинского бассейна и предполагал возможность их образования за счет выщелачивания каменной соли позднепротерозойского возраста, на это указывал и Н. П. Юшкин [16]. Если предположить, что эти соли образовывались в континентальных (озерных) солеродных бассейнах и имели локальное распространение, эта версия весьма вероятна. На условия континентального осадконакопления указывают красноцветные водовмещающие породы рифея. Можно предложить еще одну версию происхождения ненокских рассолов, связанную с солеными озерами, степень минерализации которых не достигла стадии садки солей. На это указывают ионно-солевой состав рассматриваемых рассолов [12] и характер их распространения, ограниченного по площади.

Микрокомпонентный состав подземных вод нижнего гидрогеохимического этажа изучен довольно слабо. Для некоторых глубоких скважин приводятся данные о концентрациях брома, йода, бора, иона аммония. Распространение микрокомпонентов в водах нижнего этажа показано на рис. 2 и в таблице. Градация концентраций компонентов проведена с учетом отнесения их к минеральным лечебным и промышленным. Эти данные показывают присутствие в сильносоленых водах и рассолах йода в концентрациях от 10–18 до 113 мг/л. Концентрация брома в рассолах достигает 2 г/л. В отдельных скважинах на юге территории в рассолах распространен бор в концентрациях до 130 мг/л, в подземных водах нижнего этажа ион аммония, достигающий 66–142 мг/л.

Состав изученных растворенных газов рассолов азотный, метаново-азотный и азотно-метановый. Содержание метана в водорастворенных газах в вендских отложениях в скв. Койнас достигает 39, в скв. Ценогора 53 об. %. Распространение хлоридных рассолов обычно достаточно хорошо контролируется наличием галогенных формаций в палеозойских отложениях синеклизы. Недостаточно обоснован генезис хлоридных кальциево-натриевых рассолов (до 110–120 г/л), питающих источники (ненокские и др.) и вскрытых скважинами в рифейских отложениях в прибортовых зонах Онежского грабена [7]. Для этих рассолов характерны довольно высокие (390–600) отношения Cl/Vg.

Приведенные выше гидрогеохимические характеристики подземных вод позволяют выделить ряд гидрогеохимических типов. В верхнем гидрогеохимическом этаже распространены пресные и соленые подземные воды, ионно-солевой состав и степень минерализации которых формируются главным образом за счет инфильтрации вод атмосферного питания на контакте с различными по химическому

Ионно-солевой состав рассолов нижнего этажа

Скважина	Местоположение	Возраст	Интервал		Минерализация	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	B	Br	I	Cl/Br
			м	г/л											
мг/л															
Котласская 513 56*	г. Котлас п. Сельменга д. Камен. При- лук	P ₁ as-s P ₂ kz P ₂ kz ₁	160	165	16	4 959	...	462	356	7 370	2787	...	45	14	164
			190	201	41	13 679	...	2575	902	23 044	2824	5	35	3	666
			211	293	32	9 698	204	620	596	11 360	8957	...	3	1	3787
			218	239	66	22 393	...	1002	924	34 039	6695	3	61	5	556
			290	302	55	18 530	...	110	948	28 362	6649	1	2	4	11 870
			301	464	28	8 325	...	1022	610	13 088	4426	...	100	4	131
Коряжмская 273 (274)	д. Берез. По- чинок	P ₂ kz P ₂ kz ₂	356	378	70	23 941	...	1383	924	37 673	5929	1	69	8	550
			498	881	26	9 182	...	411	245	11 964	4525	...	36	4	332
1	д. Бобровниково	P ₂ kz ₂	820	850	301	107 307	...	6179	2626	182 813	1620	...	246	3	743
			824	879	231	73 567	...	9015	3903	139 515	1411	...	508	3	275
Манбас	ст. Фоминская	P ₂ kz-P ₁ kg P ₂ kz1	1173	1302	289	105 573	...	17 424	1549	170 136	4695	...	257	9	662
			235	240	74	26 918	...	1708	1309	44 353	54	...	40	...	1109
718	д. Паюса	C ₂₋₃ C ₃ g+P ₁ as	356	400	78	27 360	...	1603	664	43 610	4623	4	28	...	1561
2/67	д. Лапоч	C ₂₋₃	400	450	36	9 377	157	1358	1766	19 024	4148	...	85	1	223
Коношская 1-С	п. Коноша	C ₁ C ₃	467	499	21	5 555	...	1182	651	10 411	2778	...	46	...	226
			589	650	228	73 340	...	9699	3648	140 060	1100	15	435	6	322
2/65	г. Вологда	C ₂ yg-C ₁	600	717	65	18 857	263	3295	1552	36 882	3605	129	173	6	213
4	с. Занаволочье	C ₁	803	830	262	89 910	335	4511	1574	156 378	1067	...	32	...	4888
3-С	Тарног. Городок	C ₁	850	...	187	60 652	...	7062	3210	114 796	1357	...	328	3	350
Яренская 12а	с. Яренск	C ₂₋₃ V ₂ mz	1180	1282	194	62 144	...	8617	3276	119 416	1574	...	586	3	204
			69	72	25	7 545	...	733	905	14 804	865	...	15	16	987
641	д. Берг	V ₂ rd-kt	682	760	50	11 150	...	4609	1398	28 362	1392	1	141	1	201
Усть-Пинега Усть-Нафта-1	г. Усть-Пинега	V ₂ V ₂	804	826	154	47 227	300	9169	1828	94 075	1114	...	141	...	668
			1009	...	247	1178	113
Коношская Котласская	п. Коноша г. Котлас	V ₂ mz V ₃ pd	1030	1050	113	29 157	...	9588	2825	70 033	888	...	320	1	219
			1192	1199	214	65 896	...	12 025	3267	131 366	1148	...	389	4	338
Ненокса	с. Ненокса	RF	282	615	125	42 700	100	4300	900	75 000	2000	...	109	1	691

составу водовмещающими породами. Так, пресные гидрокарбонатные воды с преобладанием кальция и магния среди катионов развиты главным образом в карбонатных и терригенно-карбонатных породах, а пресные воды щелочного состава характерны для магматических и метаморфических пород и полимиктовых песчаников. Пресные и слабосоленые сульфатные кальциевые воды обязаны своим составом сульфатоносным вмещающим породам. Соленые воды хлоридного и сульфатно-хлоридного состава образуются при смешении инфильтрационных вод с водами глубоких горизонтов в зонах их разгрузки. Хлоридные натриевые соленые воды часто формируются на морских побережьях в приливо-отливных зонах.

Воды нижнего гидрогеохимического этажа и их геохимические особенности имеют три основных пути формирования — древнеинфильтрационный, седиментогенный и смешанный. К древнеинфильтрационным можно отнести воды верхней части разреза нижнего гидрогеохимического этажа, образовавшиеся в дочетвертичное время, когда на поверхности бассейна существовали глубокие речные врезы (до 290 м) [13]. В этой древней зоне аэрации были распространены пресные гидрокарбонатные и слабосоленые сульфатные кальциевые воды, местами сохранившиеся и поныне. В четвертичное время в ходе трансгрессий бореального моря (максимум в микелинское время) эти воды смешались с водами хлоридного натриевого состава морского генезиса, сформировались соленые хлоридно-сульфатные воды смешанного происхождения.

К древнеинфильтрационным относятся и хлоридные натриевые средние и крепкие рассолы (до 200 г/л и более) с содержанием сульфат-иона порядка 2 г/л и значениями хлор-бромного отношения до 1000 и более, распространенные главным образом в раннепермских, каменноугольных водоносных горизонтах и комплексах. Эти рассолы, вероятно, формируются за счет выщелачивания пермских солей.

К седиментогенным относятся рассолы хлоридного кальциево-натриевого состава с минерализацией порядка 100 г/л и содержанием сульфатов более 2 г/л с хлор-бромным отношением до 300–600 ед. Они формировались в бассейнах осадконакопления, где рапа не достигла концентрации садки гипса. К тому же типу относятся крепкие рассолы хлоридного кальциево-натриевого состава с низким содержанием сульфат-иона (до 0,3 г/л) и величиной хлор-бромного коэффициента до 300 ед., развитые в водоносных горизонтах девона, кембрия и венда седиментационного происхождения, которые образовались в пермских и более древних солеродных бассейнах. Рассолы типа ненюкских с минерализацией до 140 г/л хлоридного натриевого состава с высокими содержаниями кальция 2–4 и сульфатов 2 г/л и хлор-бромным отношением до 350–700 ед., вероятно, формировались в континентальных бассейнах осадконакопления (озерных) в аридном климате.

1. Басков Е.А., Зайцев И.К. Гидрогеологическое и гидрогеохимическое районирование // Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 10. Кн. 1. — Л.: Недра, 1989. — С. 102–109.

2. Басков Е.А., Суриков С.Н. Эколого-гидрогеохимическая карта России масштаба 1 : 5 000 000 как основа региональной оценки качества питьевых подземных вод // Материалы Междунар. конгр. «Вода, экология и технология». — М., 1994. Т. IV. — С. 1003–1011.

3. Басков Е.А., Суриков С.Н., Чуйко М.А., Шор Г.М. Региональный эколого-гидрогеохимический анализ территории России в свете идей А.П. Карпинского о значении подземных вод как полезного ископаемого // Регион. геология и металлогения. 1997. № 7. — С. 46–57.

4. Геология и полезные ископаемые России. Т. 1: Запад России и Урал. Кн. 1. Запад России / ред Б.В. Петров, В.П. Кириков. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. — 528 с.

5. Гидрогеология СССР. Т. XLIV: Архангельская и Вологодская области. — М.: Недра, 1969. — 196 с.

6. Гидрогеохимическая карта территории СССР м-ба 1 : 10 000 000 с объяснительной запиской / ред. Е.А. Басков, С.В. Егоров, И.К. Зайцев. — Л.: ВСЕГЕИ, 1981. — 92 с.

7. Коротков А.И. Среднерусский артезианский бассейн. — Л., 1982. — 61 с.

8. Малов А.И. Подземные воды Юго-Восточного Беломорья: формирование, роль в геологических процессах. — Екатеринбург: УрО РАН, 2003. — 234 с.

9. Малов А.И. Экологические функции подземных вод. — Екатеринбург: УрО РАН, 2004. — 166 с.

10. Методическое письмо по подготовке схем гидрогеологической стратификации территории России. — М.: ГЦ «Геомониторинг», 1999. — 17 л.

11. Методические рекомендации по составлению карт гидрогеологического районирования масштаба 1 : 2 500 000, схем гидрогеологической стратификации и классификаторов объектов гидрогеологического районирования и стратификации. — М., 2004. — 29 с.

12. Региональный палеогидрогеологический анализ условий рудообразования для основных этапов геологического развития Русской платформы (в рифее — фанерозое) / Е.А. Басков, В.В. Петров, С.Н. Суриков и др.; ред. Е.А. Басков. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2001. — 166 с.

13. Редкие типы минеральных вод Среднерусского артезианского бассейна / под ред. А.И. Короткова, А.А. Потапова, В.Г. Румынина. — СПб.: Наука, 2013. — 303 с.

14. 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. — М.: Минздрав России, 2001. — 90 с.

15. Экология России. Т. 1: Европейская часть / гл. ред. Г.С. Вартамян. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. — 300 с.

16. Юшкин Н.П. Новые данные о возрасте диабазов и каменной соли Сереговского соляного купола // Докл. РАН. 1990. Т. 315. № 6. — С. 1451–1453.

1. Baskov Ye.A., Zaytsev I.K. Hydrogeological and hydrogeochemical zoning. *Geological structure of the USSR and regularities in the location of minerals*. Vol. 10. Book 1. Leningrad: Nedra. 1989. Pp. 102–109. (In Russian).

2. Baskov Ye.A., Surikov S.N. Ekologo-gidrogeohimicheskaya map of Russia of scale 1 : 5 000 000 as a basis for regional assessment of drinking groundwater quality. *Materials of the Intern. Congress "Water, ecology and technology"*. Moscow. 1994. Vol. IV. Pp. 1003–1011. (In Russian).

3. Baskov Ye.A., Surikov S.N., Chuyko M.A., Shor G.M. Regional ecological-hydrogeochemical analysis of the territory of Russia in the light of the ideas of A.P. Karpinsky on the importance of groundwater as a mineral. *Region. geologiya i metallogeniya*. 1997. No 7, pp. 46–57. (In Russian).

4. Geologiya i poleznyye iskopayemyye Rossii. T. 1. Zapad Rossii i Ural. Kn. 1. Zapad Rossii [Geology and minerals of Russia. Vol. 1: West of Russia and the Urals. Book 1. The West of Russia]. Ed. by B.V. Petrov, V.P. Kirikov. St. Petersburg: VSEGEI. 2006. 528 p.

5. *Gidrogeologiya SSSR. T. XLIV. Arkhangel'skaya i Vologodskaya oblasti* [Hydrogeology of the USSR. Vol. XLIV: Arkhangelsk and Vologda regions]. Moscow: Nedra. 1969. 196 p.
6. *Gidrogeokhimicheskaya karta territorii SSSR m-ba 1 : 10 000 000 s ob'yasnitel'noy zapiskoy* [Hydrogeochemical map of the territory of the USSR scale 1:10,000,000 with an explanatory note]. Eds. Ye.A. Baskov, S.V. Yegorov, I.K. Zaytsev. Leningrad: VSEGEI. 1981. 92 p.
7. Korotkov A.I. *Srednerusskiy artezianskiy basseyn* [Srednerusskiy artesian basin]. Leningrad. 1982. 61 p.
8. Malov A.I. *Podzemnyye vody Yugo-Vostochnogo Belomor'ya: formirovaniye, rol' v geologicheskikh protsessakh* [Underground waters of the South-Eastern White Sea: formation, role in geological processes]. Yekaterinburg: UrO RAN. 2003. 234 p.
9. Malov A.I. *Ekologicheskiye funktsii podzemnykh vod* [Ecological functions of groundwater]. Yekaterinburg: UrO RAN. 2004. 166 p.
10. *Metodicheskoye pis'mo po podgotovke skhem gidrogeologicheskoy stratifikatsii territorii Rossii* [Methodological letter on the preparation of schemes for hydrogeological stratification of the territory of Russia]. Moscow: GTS «Geomonitoring». 1999. 17 p.
11. *Metodicheskiye rekomendatsii po sostavleniyu kart gidrogeologicheskogo rayonirovaniya masshtaba 1 : 2 500 000, skhem gidrogeologicheskoy zashchity i klassifikatorov ob'yektov gidrogeologicheskogo rayonirovaniya i stratifikatsii* [Methodological recommendations for compiling maps of hydrogeological zoning at a scale of 1:2,500,000, hydrogeological stratification schemes and classifiers of hydrogeological zoning and stratification objects]. Moscow. 2004. 29 p.
12. Baskov Ye.A., Petrov V.V., Surikov S.N. *Regional'nyy paleogidrogeologicheskiy analiz usloviy rudoobrazovaniya dlya osnovnykh etapov geologicheskogo razvitiya Russkoy platformy (v rifeye-fanerozoey)* [Regional paleogidrogeological analysis of ore formation conditions for the main stages of the geological development of the Russian Platform (in the Riphean-Phanerozoic)]. Eds. Ye.A. Baskov. St. Petersburg: VSEGEI. 2001. 166 p.
13. *Redkiye tipy mineral'nykh vod Srednerusskogo artezianskogo basseyna* [Rare types of mineral waters of the Central Russian artesian basin]. Eds. A.I. Korotkova, A.A. Potapova, V.G. Rumynina. St. Petersburg: Nauka. 2013. 303 p.
14. SanPiN 2.1.4.1074–01. *Pit'yevaya voda. Gigiyenicheskiye trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'yevogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva. Gigiyenicheskiye trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti sistem goryachego vodosnabzheniya* [SanPiN 2.1.4.1074–01. Drinking water. Hygienic requirements to water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Hygienic requirements for ensuring the safety of hot water systems]. Moscow: Minzdrav Rossii. 2001. 90 p.
15. *Ekologiya Rossii. T. 1: Yevropeyskaya chast* [Ecology of Russia. Vol. 1: European part]. Chief editor G.S. Vartanyan. Moscow: ZAO «Geoinformmark». 2000. 300 p.
16. Yushkin N.P. *New data on the age of diabase and rock salt of the Seregovo salt dome. Dokl. RAN.* 1990. Vol. 315. No 6, pp. 1451–1453. (In Russian).

Петров Владимир Викторович – канд. геол.-минер. наук, зав. сектором, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия. <pvvaqua@mail.ru>

Семечук Алёна Анатольевна – аспирант, ВСЕГЕИ; гидрогеолог, АО «Северо-Западное ПГО». Ул. Одоевского, 24, корп. 1, Санкт-Петербург, 199155, Россия. <akimova_alenochk@mail.ru>

Petrov Vladimir Viktorovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Sector, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny prospect, St. Petersburg, 199106, Russia. <pvvaqua@mail.ru>

Alona Anatolyevna Semenchuk – Ph.D. Student, VSEGEI; Hydrogeologist, JSC «North-West PGA». 21/1 Odоеvskogo str., St. Petersburg. 199155. Russia. <akimova_alenochk@mail.ru>