



Научная статья  
УДК 330.15

## Управление ресурсами подземных вод на трансграничных территориях (на примере Российской Федерации и Эстонской Республики)

Е.И.ГОЛОВИНА✉, А.В.ГРЕБНЕВА

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

**Как цитировать эту статью:** Головина Е.И. Управление ресурсами подземных вод на трансграничных территориях (на примере Российской Федерации и Эстонской Республики) / Е.И.Головина, А.В.Гребнева // Записки Горного института. 2021. Т. 252. С. 788-800. DOI: 10.31897/PMI.2021.6.2

**Аннотация.** Подземные воды, являясь одним из источников водоснабжения, важнейшим полезным ископаемым и геополитическим ресурсом, в условиях нарастающего ухудшения качества поверхностных вод нередко становятся единственным источником обеспечения населения питьевой водой высокого качества, защищенным от загрязнения. Трансграничные подземные воды находятся в центре внимания исследователей-гидрогеологов по ряду причин, в том числе в связи с сокращением и загрязнением водных ресурсов в результате хозяйственной деятельности. Обострение противоречий между государствами из-за проблем с трансграничными водными ресурсами вызвало необходимость разработки международных правовых документов по вопросам, касающимся предотвращения конфликтов, связанных с водой, и устойчивого использования пресных вод. В рамках анализа проблемы правового регулирования добычи подземных вод из трансграничных водоносных горизонтов и комплексов предлагается рассмотреть данный аспект на примере России. Выявлены проблемы регулирования рационального использования и охраны пресной воды в двусторонних договорах Российской Федерации; разработана методика управления добычей подземных вод на территории трансграничного водоносного горизонта, определены размеры, параметры и факторы, влияющие на формирование трансграничной зоны (на основе исследований и анализа водозаборной деятельности в пограничных территориях Российской Федерации и Эстонской Республики).

**Ключевые слова:** трансграничный водоносный горизонт; водные ресурсы; правовое регулирование; добыча подземных вод; метод «большого колодца»; двустороннее соглашение

**Благодарность.** Исследование выполнено за счет гранта Президента Российской Федерации (проект № МК-5940.2021.2 «Разработка международной системы управления ресурсами подземных вод на трансграничных территориях»).

Принята: 30.11.2021

Онлайн: 27.12.2021

Опубликована: 27.12.2021

**Введение.** По данным ООН, к 2025 г. Россия со Скандинавией, Южной Америкой и Канадой останется наиболее обеспеченной пресной водой – более 20 тыс. м<sup>3</sup>/год в расчете на одного человека (жителя) [3]. В перспективе России отводится особая роль в решении проблем рационального водопользования не только на своей территории, но и на международной арене, что обуславливает стратегическое значение водных ресурсов для РФ. При этом, если в России вопросы относительно достаточности запасов пресной воды не возникают, то в некоторых соседних странах проблемы использования пресной воды стоят достаточно остро, что может отразиться на разделяемых с Россией водных объектах. В этой связи актуально исследование межправительственных соглашений, двусторонних договоров РФ по использованию и охране трансграничных источников пресной воды с целью установления их соответствия современным тенденциям развития международно-правового регулирования отношений в данной области и обеспечения интересов России [10].

Многие водоносные горизонты и комплексы являются трансграничными, т.е. залегают на территории двух и более административных единиц внутри страны или двух и более стран. Во втором



случае административное и оперативное управление ресурсами подземных вод сталкивается с дополнительными проблемами и требует согласования правил и налаживания трансграничного сотрудничества между различными органами, занимающимися вопросами подземных вод, на основе взаимного доверия и прозрачности. Существует немного примеров подобного сотрудничества [11].

Как показывает практика, необходимость совместной эксплуатации подземных вод из трансграничных водоносных горизонтов и комплексов практически всегда приводит к возникновению определенной напряженности в обществах, которые они объединяют. Это обусловлено различными факторами, которые, помимо отношений между странами, включают вопросы национальной безопасности, развития экономического потенциала, открытости и экологической стабильности. Управление трансграничными водными ресурсами может стать как объединяющим фактором, так и причиной конфликта; направленность во многом обусловлена политической волей [2].

Немногие международные границы соответствуют естественным физическим особенностям, и водные ресурсы могут беспрепятственно пересекать их. Для эффективного управления и справедливого распределения ученые оценивают ресурсы, которые пересекают эти границы. В гидрогеологических терминах они могут быть оценены только с помощью наблюдений и измерений отдельных гидравлических параметров, аналогичных процессу оценки других трансграничных ресурсов. Во многих случаях водоносный горизонт может иметь область питания на территории одного государства, а область разгрузки на территории других пограничных государств. Для России тема является актуальной ввиду наличия 16 сухопутных государств-соседей.

Анализ современного состояния изученности и использования подземных вод показывает, что в новых общественно-экономических условиях эффективность исследований зависит не только от степени изученности гидрогеологических условий, но и от соответствия их результатов требованиям нормативно-правовой базы. Вопросы нормативно-правового регулирования изучения и добычи подземных вод не получили достаточного научного обоснования, что существенно влияет на информационную обеспеченность выполняемых работ и их эффективность [5].

Выгодное и рациональное использование подземных вод в большей степени зависит от социально-экономических, институциональных, правовых, культурных, этических и политических соображений. Их национальному развитию препятствуют слабые социальный и институциональный потенциал и правовые и политические рамки. В трансграничном контексте это может быть усилено из-за контрастных уровней знаний и возможностей по обе стороны многих международных границ [4].

Современные исследования переработки полезных ископаемых направлены на повышение экологической, экономической и энергетической эффективности технологических процессов из-за высокой потребности в энергии и воде [26]. Баланс экономических интересов субъектов, входящих в состав страны, является необходимым условием повышения эффективности минерально-сырьевой отрасли на всех уровнях управления [21, 24]. Поэтому вопросы, связанные с государственным управлением ресурсами подземных вод, являются актуальными.

Проблемы трансграничного регулирования добычи полезных ископаемых анализируются в [16, 20, 27]. Распределение общих водных ресурсов трансграничного характера в соответствии с международным правом является одним из ключевых факторов безопасности в регионе [19].

Основная цель статьи – совершенствование законодательной базы в сфере государственного регулирования добычи подземных водных ресурсов на трансграничных территориях за счет внесения поправок в законы и подзаконные акты, регламентирующие процедуру добычи подземных вод для различных целей из трансграничных водоносных горизонтов и комплексов.

**Методология.** Поиск путей урегулирования межгосударственных разногласий по вопросам использования водных объектов, расположенных на территории двух и более государств, становится актуальнее в международном сообществе [6]. Сначала нужно установить определения и понятия в сфере трансграничных водных ресурсов, а также выполнить анализ действующих норм российского и международного законодательств.

Под трансграничными водами понимаются водоемы и водотоки либо воды, которые пересекают государственную границу двух сопредельных государств или по которым проходят государственные границы. Такое понятие было принято в «Конвенции ЕЭК ООН по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер» в 1992 г., оно во многом идентично



понятию «пограничные воды» [17]. Статья 19 Водного кодекса РФ от 1995 г. определяет трансграничные водные объекты как «...поверхностные и подземные водные объекты, которые обозначают, пересекают границу между двумя или более иностранными государствами или по которым протекает Государственная граница Российской Федерации, являются трансграничными (пограничными) водными объектами», и далее «Порядок использования и охраны трансграничных (пограничных) водных объектов устанавливается настоящим Кодексом, законодательством Российской Федерации о Государственной границе Российской Федерации и международными договорами Российской Федерации» [5]. Однако в Водном кодексе РФ, утвержденном в 2006 г., и в принятых к нему поправках такой статьи нет [2, 19].

Анализ двусторонних соглашений России с прилегающими государствами показывает, что в половине рассматриваемых договоров под трансграничными пресноводными объектами понимаются «реки, озера, ручьи, болота, а также подземные воды, расположенные или пересекающие границы двух договаривающихся государств» [1, 6], тогда как из-под действия другой половины договоров выбывает использование и охрана трансграничных источников подземных вод [10].

При этом действующие международные договоры и другие акты для обеспечения рационального использования и охраны трансграничных источников пресной воды все чаще призывают государства к осуществлению интегрированного управления водными ресурсами, которое предполагает согласованное управление различными видами водных ресурсов – поверхностными, подземными и др. Именно в данной части интегрированное управление водными ресурсами остается наиболее неисполняемым, так как не учитывается особенность подземных вод и вытекающая из этого необходимость специального правового регулирования [10]. Данная проблема остается актуальной для России. Использование и охрана поверхностных ресурсов пресной воды регулируется положениями Водного кодекса РФ 2006 г. Подземные воды частично подпадают под действие норм Водного кодекса, однако преимущественно вопросы их использования и охраны регулируются законодательством о недрах, в частности законом РФ «О недрах» № 2395-1 от 21.02.1992. Помимо того, что оба документа нуждаются в модернизации, также необходимо правильное разграничение и взаимоувязка данных нормативных документов в части регулирования и регламентации добычи подземных вод. Так, после многочисленных поправок в водном законодательстве исчезло понятие преемственности «в отношении правового регулирования подземных водных объектов». Если ранее действовавший Водный кодекс РФ содержал понятие «подземный водный объект», то в новом кодексе такого понятия нет. Пока неясно, что понимается под подземным водным объектом как объектом правового регулирования водного законодательства, и чем он отличается от подземных вод, регулируемых горным правом. Отсутствие единства в терминологии создает противоречия в выборе той отрасли природоресурсного права, которая должна регулировать использование и охрану подземных вод [4, 5].

Действующий Водный кодекс предусматривает, что право пользования подземными водными объектами возникает на основании и в порядке, которые установлены законодательством о недрах. Однако «отсылочный характер норм водного законодательства представляется недостаточным в отсутствии детализации и правовой регламентации отношений» в законодательстве о недрах [14, 15]. Разобщенность правового регулирования в нескольких отраслях природоресурсного права обостряет проблему реализации норм права в данной сфере, поскольку приводит к коллизиям и противоречиям [5]. Поэтому большинство исследователей склоняются к фрагментарному характеру правового регулирования использования и охраны водных ресурсов и игнорированию экосистемного подхода в российском законодательстве [8].

В России создана нормативно-правовая и методологическая основа девяти двусторонних соглашений РФ в области охраны и рационального использования трансграничных водных объектов с Белоруссией, Казахстаном, Китаем, Монголией, Украиной, Финляндией, Эстонией, Азербайджаном, Абхазией и трехстороннего соглашения по р. Паз (Паатсойоки) с Финляндией и Норвегией [6, 7, 13]. Двусторонние договоры РФ исходят из применимости одних и тех же норм к поверхностным и подземным трансграничным пресноводным объектам, как и большинство стран, эксплуатирующих общие водоносные горизонты. Как в национальном, так и в международном законодательстве практически отсутствуют регламент определения размеров трансграничной



зоны (ТЗ), правила и ограничения по эксплуатации подземных водозаборов, расположенных вдоль государственных границ.

Одним из важнейших моментов, упущенных в действующем международном законодательстве по регламентации добычи подземных вод на трансграничных территориях, является отсутствие определения и методики расчета ширины ТЗ вдоль государственной границы. Впервые определено понятие территории трансграничного водоносного горизонта (ТТВГ) как полосы земли, расположенной с двух сторон от государственной границы соседних стран, обладающей определенными геометрическими размерами на основании гидрогеологических расчетов, базирующихся на фильтрационных параметрах совместно эксплуатируемых водоносных горизонтов.

Ограничение ширины ТЗ вдоль государственной границы – ограничение зон ответственности при добыче подземных вод, строительстве горнодобывающих предприятий, мелиоративных работах и добыче сланцевой нефти. Трансграничная зона должна соответствовать следующим требованиям (факторам):

- особо контролируемый режим недропользования (управления ресурсами подземных вод) в границах ширины ТЗ;
- взаимная двусторонняя система мониторинга по всем эксплуатируемым водоносным горизонтам с функциями периодического замера уровней и производства химического, радиологического, микробиологического анализов;
- ограничение по сработке запасов на ТТВГ, которое определяется взаимными соглашениями и расчетами, т.е. стороны договариваются о максимально допустимом снижении уровня подземных вод по заданным точкам мониторинга на расчетный период;
- особый режим контроля за добычей подземных вод, выраженный в 100 % системе лицензирования водозаборов, включая низкодебитные одиночные водозаборы с объемом добычи до 100 м<sup>3</sup>/сут и обязательным утверждением запасов по категориям с производством геологоразведочных работ (ГРП) [2]. Каждый водозабор, попадающий в ТЗ, должен быть оборудован системой контроля за объемами добычи (водомерные счетчики, системы замеров уровней подземных вод), а также периодической отчетностью за состоянием химической и микробиологической обстановкой по отбираемым пробам воды;
- добыча питьевых, технических и минеральных подземных вод в той или иной степени связана с оценкой запасов, соответственно, подземные воды с этой точки зрения являются полезным ископаемым. Следовательно, подземные воды – это «товар», который должен иметь стоимость [2]. Целесообразным представляется переход ТЗ на новую систему налогообложения добычи подземных вод, т.е. введение налога на добычу полезных ископаемых, ставка которого может меняться в зависимости от качества подземных вод, целевого использования, категории запасов. Стоимость подземных вод приобретает функцию от затрат на водоподготовку, целевое использование, транспортировку, категорию запасов (А, В, С1, С2) [2].

Разработана методика обоснования ширины ТТВГ с учетом конкретных геологических условий. В качестве примера использованы материалы геологических исследований на территории Ленинградской обл. и Эстонии. Объектом исследования выбран ломоносовский водоносный горизонт, эксплуатирующийся для хозяйственно-питьевого водоснабжения и имеющий стратегическое значение; период расчета 25 лет.

**Результаты и обсуждение.** Гидрогеологические исследования по проблематике добычи подземных вод из трансграничного водоносного горизонта подробно освещены в [4, 9] с использованием современных методов численного моделирования по двум основным водоносным горизонтам в районе Российско-Эстонской границы.

Границы исследований принимались от области питания водоносного горизонта до области разгрузки. Исследовательская работа носила фундаментальный характер, проанализировано большое количество водозаборов, данных российской и эстонской мониторинговой сети, проведены расчеты влияния отдельных водозаборов как с российской стороны на эстонскую, так и наоборот. Основные выводы работы заключались в том, что гидродинамическая ситуация на ТЗ близка к нейтральной несмотря на значительные мощности водозаборных сооружений в пограничном районе. Работа проводилась по анализу материалов конца 1990 – начала 2000-х гг.



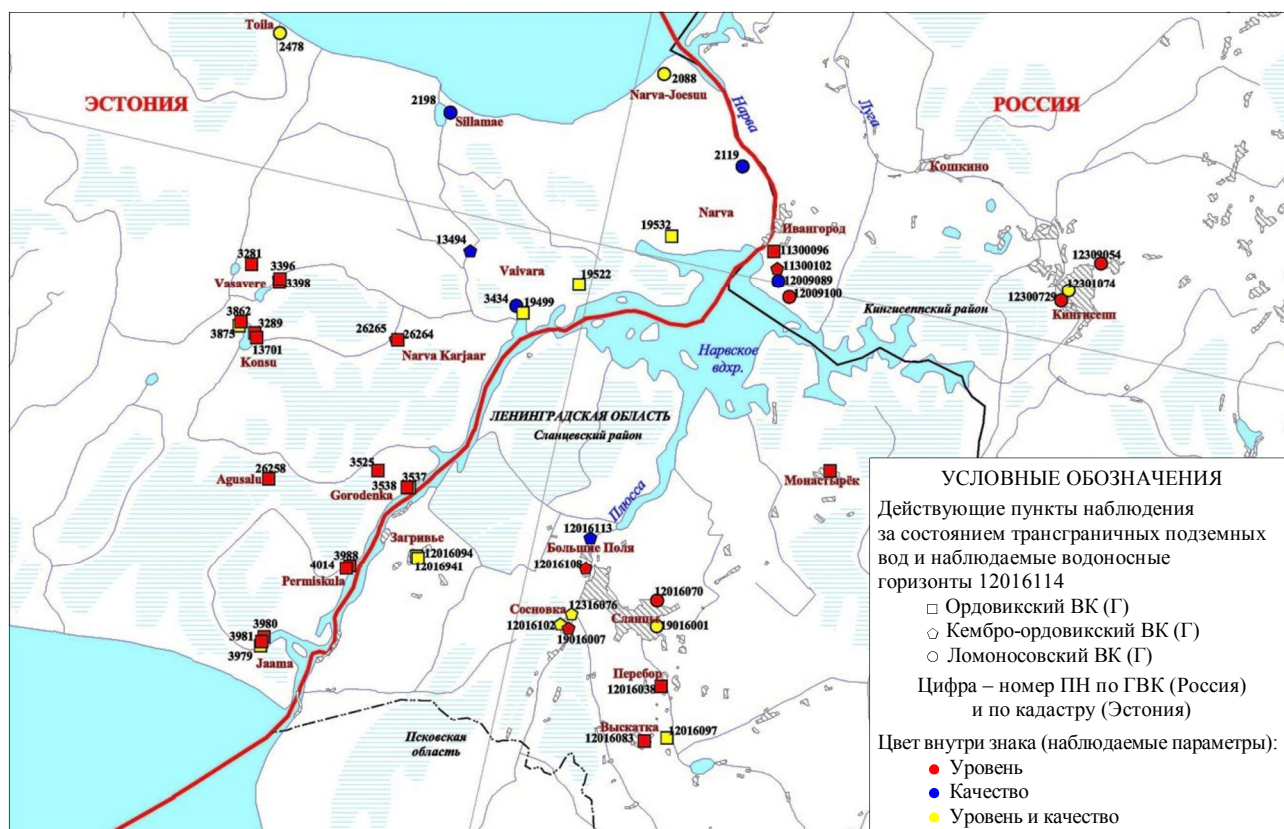


Рис.1. Схема расположения пунктов наблюдения и наблюдаемые показатели за состоянием трансграничных подземных водных объектов на территории России и Эстонии\*

В работе принимали участие специалисты со стороны России и Эстонии; разрабатывалась численная модель и проводились аналитические расчеты. Россия продолжает обмен данных систем мониторинга подземных вод, а также использует разработанную численную модель для решения прогнозных эпигнозных задач.

Оценка взаимного гидродинамического влияния при совместной эксплуатации водоносных горизонтов позволяет оценивать «привлечение» водных ресурсов с территории сопредельного государства [4].

Проанализирована совместная эксплуатация подземных вод в приграничной зоне Россия – Эстония. В гидрогеологическом отношении рассматриваемая территория находится в Восточно-Европейском артезианском бассейне, в пределах которого выделяется следующее: ломоносовский (нижнекембрийский) водоносный горизонт, кембро-ордовикский водоносный горизонт и ордовикский водоносный комплекс. Наиболее эксплуатируемым водоносным горизонтом приграничной территории является ломоносовский (нижнекембрийский), который находится под воздействием совместной эксплуатации подземных вод для питьевого водоснабжения, шахтного и карьерного водоотливов на территории РФ и Эстонской Республики. Схема расположения пунктов наблюдения показана на рис.1.

В качестве объекта исследования выступает ломоносовский водоносный горизонт, который широко распространен на территории Ленинградской обл. в Гатчинском, Ломоносовском, Волосовском, Кингисеппском и Сланцевском районах, а также в северной части Гдовского района и Псковской обл. Сложен мелкозернистыми слабосцементированными песками, переслаиваемыми с прослоями алевролитов и глин. Мощность водоносного горизонта на территории исследования в среднем составляет 20 м. Водупорной кровлей для ломоносовского горизонта являются глины лонтоваской свиты. Подстилается он водупорными котлинскими отложениями верхнего протерозоя;

\*Информационная записка о состоянии трансграничных подземных водных объектов (Россия – Эстония) за 2018 г. / Северо-Западный региональный центр ГМСН, 2018.



водоносный горизонт залегает на глубине 109-208 м от поверхности земли. Коэффициент фильтрации составляет 0,11-5,2 м/сут, в исследуемом районе в среднем – 3 м/сут. Высота напора местами достигает 180 м и более; глубина залегания уровня воды колеблется от 34,4 до 72 м.

Трансграничными потребителями подземных вод в данном районе являются: РФ, основные групповые водозаборы в приграничной зоне – Ивангород, Кингисепп, Сланцы (суммарный водоотбор – 3,341 тыс. м<sup>3</sup>/сут); Эстонская Республика – Вайвара, Васасвере, Консу, Агусалу, Пермис-кюла и Городенка (суммарный водоотбор – 2,923 тыс. м<sup>3</sup>/сут).

Совместная эксплуатация нижнекембрийского водоносного горизонта водозаборами, расположенными на территории Ленинградской обл. и Эстонской Республики, сформировала нарушенный режим уровня подземных вод. Изменение уровня подземных вод на водозаборах приграничной территории России в 2018 г. (Ивангород/Кингисепп): добыча подземных вод – 1,93/1,14 тыс. м<sup>3</sup>/сут; фактическое понижение уровня подземных вод  $S_{\text{ф}}$  – 32,5/24,2 м; изменение уровня – +1,3/–0,9 м; допустимое понижение  $S_{\text{доп}}$  – 83,2/81 м; режим эксплуатации – установившийся.

По имеющимся данным целесообразно оценить изменения пьезометрической поверхности трансграничных вод ломоносовского водоносного горизонта на границе Россия – Эстония.

Оценка будет состоять из определения величины радиуса влияния от работы водозаборов на ТЗ РФ и Эстонской Республики; расчетов понижения пьезометрического уровня в пределах радиуса влияния, определения количества «забираемых» ресурсов подземных вод с территорий сопредельных государств на срок эксплуатации 25 лет.

Для оценки характера изменения пьезометрического уровня трансграничных подземных вод ломоносовского водоносного горизонта при эксплуатации используются типовые расчетные схемы, применяемые для оценки запасов гидродинамическим методом, основной задачей которого является определение расчетного понижения при работе водозаборных сооружений. Расчет прогнозного понижения уровня ведется на срок  $t = 10^4$  сут. Величина допустимого понижения берется по опыту эксплуатации групповых водозаборов Ивангорода и Кингисеппа. Для решения поставленной задачи будет использоваться среднеарифметическое значение допустимого понижения от работы водозаборов, которое составит  $S_{\text{доп}} = 136$  м. Ввиду отсутствия информации со стороны Эстонии приняты фильтрационные параметры и допустимое понижение по аналогии с месторождениями, расположенными на территории России.

Для подбора типовой расчетной схемы проведена схематизация природных геолого-гидрогеологических условий исследуемой области.

Ломоносовский водоносный горизонт является напорным, перекрывается лонтоваскими водоупорными отложениями, сложенными алевритовыми глинами, коэффициент фильтрации которых 0,02 м/сут. Согласно предпосылкам Мятлева – Гириного  $k_{\text{max}} / k_{\text{min}} = 3 / 0,02 = 150 > 100$ , пласт лонтоваских отложений является водоупором, а пласт ломаносовских отложений принимается однородным водопроницаемым. Гидрогеологическая система однопластовая, питание сосредоточенное, структура потока радиальная, мерность одномерная, тип водообмена горизонтальный.

Область питания водоносного горизонта находится далеко за пределами участка исследования. В северной части Ленинградской обл. и пределах Эстонского сланцевого бассейна Гдовский и ломоносовский водоносные горизонты эксплуатируются совместно, из-за чего между ними есть гидравлическая связь.

Поскольку ломоносовский водоносный горизонт изолирован водоупорами, неограничен в плане и является напорным, то для расчетов понижения используется схема Тейса [22, 23]. На территории работ водозаборы будут рассматриваться как компактные группы скважин, следовательно, расчет целесообразно проводить с использованием метода «большого колодца».

Для безграничного пласта определяется понижение на внешнем контуре «большого колодца»

$$S_{\text{вн}} = \frac{Q_{\text{сум}}}{2\pi km} \ln \frac{R_{\text{пр}}}{R_0}, \quad (1)$$



где  $Q_{\text{сум}}$  – суммарный расход водозабора, м<sup>3</sup>/сут;  $km$  – водопроводимость пласта, м<sup>2</sup>/сут;  $R_0$  – радиус «большого колодца», для площадной системы определяется по зависимости  $R_0 = 0,1P$ , где  $P$  – периметр площади расположения скважин, м;  $R_{\text{пр}}$  – приведенный радиус влияния,

$$R_{\text{пр}} = 1,5\sqrt{at}; \quad (2)$$

$a$  – уровнепроводность пласта, м<sup>2</sup>/сут;  $t$  – расчетный срок эксплуатации водозабора – 10<sup>4</sup> сут.

Дополнительное понижение в скважине рассчитывается по формуле:

$$S_0 = \frac{Q_c}{2\pi km} \ln \frac{r_n}{r_c}, \quad (3)$$

где  $Q_c$  – проектный дебит расчетной скважины, находящейся в худших условиях эксплуатации, м<sup>3</sup>/сут;  $r_c$  – радиус фильтра скважин, м;  $r_n$  – приведенный радиус условной области влияния расчетной скважины [12, 25], который рассчитывается для площадной системы по зависимости:

$$r_n = 0,47\sqrt{\frac{F_0}{\pi}}; \quad (4)$$

$F_0$  – площадь области, ограниченная линиями, проходящими посередине между соседними скважинами, м<sup>2</sup>.

Расчет оценки влияния водозаборов исследуемой территории проводился по методу «большого колодца» с площадной системой расположения водозаборов, расстояние между которыми берется от их центра (табл.1).

Таблица 1

Расстояние между пунктами наблюдения

| Российская Федерация  |            | Эстонская Республика   |            |
|-----------------------|------------|------------------------|------------|
| Населенные пункты     | Расстояние | Населенные пункты      | Расстояние |
| Кингисепп – Сланцы    | 40900      | Вайвара – Вазавере     | 15600      |
| Кингисепп – Ивангород | 19000      | Вазавере – Консу       | 7200       |
| Ивангород – Сланцы    | 33800      | Консу – Агусалу        | 15300      |
|                       |            | Агусалу – Пермискюла   | 7200       |
|                       |            | Пермискюла – Городенка | 6400       |
|                       |            | Городенка – Вайвара    | 25900      |
| Итого                 | 93700      | Итого                  | 77600      |

Расстояния от водозаборных участков до границы Россия – Эстония представлены в табл.2. Для расчетов использовалось расстояние от центра «большого колодца» до границы, которое со стороны РФ составляет около 15000 м, а со стороны Эстонии – примерно 11110 м. Расчет изменения пьезометрической поверхности от работы водозаборов на срок эксплуатации водозаборов 10<sup>4</sup> сут (табл.3).

Таблица 2

Общая информация о водозаборах, расположенных на территории Российской Федерации и Эстонской Республики

| Российская Федерация                    |                        |                                  |  | Эстонская Республика                    |                        |                                  |  |
|---|------------------------|----------------------------------|--|---|------------------------|----------------------------------|--|
| Города с эксплуатационными водозаборами | Количество водозаборов | Общий дебит, м <sup>3</sup> /сут | Среднее расстояние до границы с Эстонией, км | Города с эксплуатационными водозаборами | Количество водозаборов | Общий дебит, м <sup>3</sup> /сут | Среднее расстояние до границы с Эстонией, км |
| Ивангород                               | 2                      | 1931                             | 3,74   | Вайвара                                 | 2                      | 2923                             | 17,4   |
| Сланцы                                  | 5                      | 270                              | 17,7   | Вазавере                                | 3                      |                                  | 20,8   |
| Кингисепп                               | 5                      | 1140                             | 19,6   | Консу                                   | 4                      |                                  | 18,5   |
|   |                        |                                  |  | Агусалу                                 | 1                      |                                  | 7,67   |
|   |                        |                                  |  | Пермискюла                              | 2                      |                                  | 1,00   |
|   |                        |                                  |  | Городенка                               | 3                      | 2923                             | 1,30   |
| Итого                                   | 12                     | 3341                             | 15,00  | Итого                                   | 15                     |                                  | 11,11  |



Таблица 3

## Результаты расчетов изменения пьезометрического уровня

| Российская Федерация   | Эстонская Республика   |
|--|--|
| Расчет понижения на внешнем контуре «большого колодца»   |  |
| $R_{пр} = 1,5\sqrt{10^5 \cdot 10^4} = 47434 \text{ м.}$  | $R_{пр} = 1,5\sqrt{10^5 \cdot 10^4} = 47434 \text{ м.}$  |
| $R_0 = 0,1 \cdot 93700 = 9370 \text{ м.}$  | $R_0 = 0,1 \cdot 77600 = 7760 \text{ м.}$  |
| $S_{вн} = \frac{3341}{2 \cdot 3,14 \cdot 60} \ln \frac{47434}{9370} = 8,86 \cdot 1,62 = 14,35 \text{ м.}$                        | $S_{вн} = \frac{2923}{2 \cdot 3,14 \cdot 60} \ln \frac{47434}{7760} = 7,76 \cdot 1,81 = 14,04 \text{ м.}$                        |
| Расчет дополнительного понижения в скважине с худшими условиями эксплуатации   |  |
| $r_{п} = 0,47 \sqrt{\frac{318295967,1}{3,14}} = 4732,04 \text{ м.}$  | $r_{п} = 0,47 \sqrt{\frac{229652725,65}{3,14}} = 4019,5 \text{ м.}$  |
| $S_0 = \frac{386}{2 \cdot 3,14 \cdot 60} \ln \frac{4732,04}{0,3} = 1,02 \cdot 9,67 = 9,86 \text{ м.}$                            | $S_0 = \frac{194,9}{2 \cdot 3,14 \cdot 60} \ln \frac{4019,5}{0,3} = 0,51 \cdot 9,50 = 4,84 \text{ м.}$                           |
| Расчет понижения от взаимодействия водозаборов на территории Российской Федерации  |  |
| Суммарный расход водозаборов на приграничной территории $Q_{вод} = 2923 \text{ м}^3/\text{сут.}$                                 | Суммарный расход водозаборов на приграничной территории $Q_{вод} = 3341 \text{ м}^3/\text{сут.}$                                 |
| Расстояние от центров группового водозабора – 24890 м,   | Расстояние от центров группового водозабора – 24890 м,   |
| $S_{вн} = \frac{3341}{4 \cdot 3,14 \cdot 60} \ln \frac{2,25 \cdot 10^4 \cdot 10^5}{24890^2} = 4,43 \cdot 1,28 = 5,67 \text{ м.}$ | $S_{вн} = \frac{2923}{4 \cdot 3,14 \cdot 60} \ln \frac{2,25 \cdot 10^4 \cdot 10^5}{24890^2} = 3,87 \cdot 1,28 = 4,96 \text{ м.}$ |
| Суммарное понижение:   | Суммарное понижение:   |
| $S_{сум} = S_{вн} + S_0 = 14,35 + 9,86 + 5,67 = 29,17 \text{ м.}$  | $S_{сум} = S_{вн} + S_0 = 14,04 + 4,84 + 5,67 = 23,64 \text{ м.}$  |

Допустимое понижение, составляющее 136 м, не превышает расчетное на срок эксплуатации  $10^4$  сут.

На основании данных мониторинга за 2020 г. депрессионная воронка на территории г. Сланцы составила 26,4 м (14 %) от допустимого понижения, а на территории Ивангорода – 31,1 м (37 %) от допустимого понижения. По Кингисеппскому промышленному району депрессионная воронка составила 20,7 м (25 %) от допустимого понижения\*. Полученные результаты сопоставимы с фактическими данными, что указывает на правильность методики расчетов.

Для выявления изменений естественных условий ломоносовского горизонта от работы водозаборов ТЗ Россия – Эстония проводилось наблюдение за динамикой изменения депрессионной воронки. По данным, полученным при исследовании ломоносовского водоносного горизонта, определен радиус влияния, величина которого составляет  $R_{пр} = 47434 \text{ м}$  и является одинаковой как для России, так и для Эстонии.

Исходя из величины радиуса влияния, можно сделать вывод, что влияния от работы водозаборов на 37430 и 32434 м выйдет за пределы границ Эстонской Республики и РФ соответственно. Далее определена динамика распространения воронки депрессии на разные промежутки времени с обеих сторон ТЗ (табл.4).

Оценка динамики распространения воронки депрессии рассматривалась по расчету радиуса влияния (2) для пяти моментов времени – 450, 500, 1000, 2000, 5000 сут:

$$R_{пр} = 1,5\sqrt{10^5 \cdot 450} = 10062 \text{ м;}$$

\*Информационный бюллетень о состоянии недр территории Северо-Западного федерального округа Российской Федерации в 2020 г. СПб, 2021.





$$R_{пр} = 1,5\sqrt{10^5 \cdot 500} = 10606 \text{ м};$$

$$R_{пр} = 1,5\sqrt{10^5 \cdot 1000} = 15000 \text{ м};$$

$$R_{пр} = 1,5\sqrt{10^5 \cdot 2000} = 21213 \text{ м};$$

$$R_{пр} = 1,5\sqrt{10^5 \cdot 5000} = 33541 \text{ м}.$$

Из расчета видно планомерное изменение воронки депрессии, которая достигнет границы со стороны Эстонской Республики через 450 сут, а со стороны РФ через 1000 сут (рис.2).

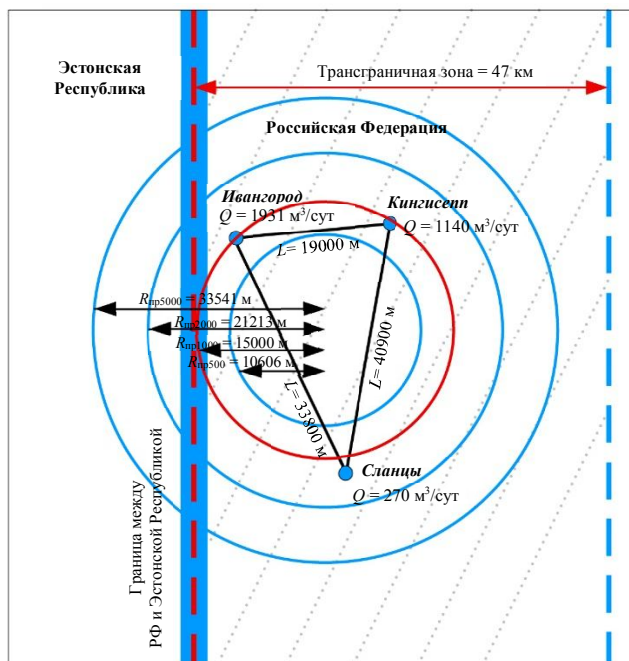
По полученным радиусам влияния проведен расчет понижения по уравнениям (1) и (3) (см. табл.3, рис.3).

Таблица 4

Расчетная величина понижения в разные моменты времени

| Российская Федерация |                             |   |                                     |   |                                    | Эстонская Республика |                             |   |                                     |   |                                    |
|----------------------|-----------------------------|---|-------------------------------------|---|------------------------------------|----------------------|-----------------------------|---|-------------------------------------|---|------------------------------------|
| Расчетное время, сут | Радиус влияния $R_{пр}$ , м | Понижение на внешнем контуре «большого колодца», $S_{вн}$ , м | Дополнительное понижение, $S_0$ , м | Срезка уровня от работы соседних групп водозаборов, м | Суммарное понижение, $S_{сум}$ , м | Расчетное время, сут | Радиус влияния $R_{пр}$ , м | Понижение на внешнем контуре «большого колодца», $S_{вн}$ , м | Дополнительное понижение, $S_0$ , м | Срезка уровня от работы соседних групп водозаборов, м | Суммарное понижение, $S_{сум}$ , м |
| 450                  | 10062                       | 13,77   | 9,86                                | 4,96  | 28,59                              | 450                  | 10062                       | 12,02   | 4,84                                | 4,96  | 21,82                              |
| 500                  | 10606                       | 13,27   | 9,86                                | 4,96  | 28,09                              | 500                  | 10606                       | 11,55   | 4,84                                | 4,96  | 21,35                              |
| 1000                 | 15000                       | 10,20   | 9,86                                | 4,96  | 25,02                              | 1000                 | 15000                       | 8,91  | 4,84                                | 4,96  | 18,71                              |
| 2000                 | 21213                       | 7,12  | 9,86                                | 4,96  | 21,94                              | 2000                 | 21213                       | 6,20  | 4,84                                | 4,96  | 16,00                              |
| 5000                 | 33541                       | 3,07  | 9,86                                | 4,96  | 17,89                              | 5000                 | 33541                       | 2,71  | 4,84                                | 4,96  | 12,51                              |

а



б

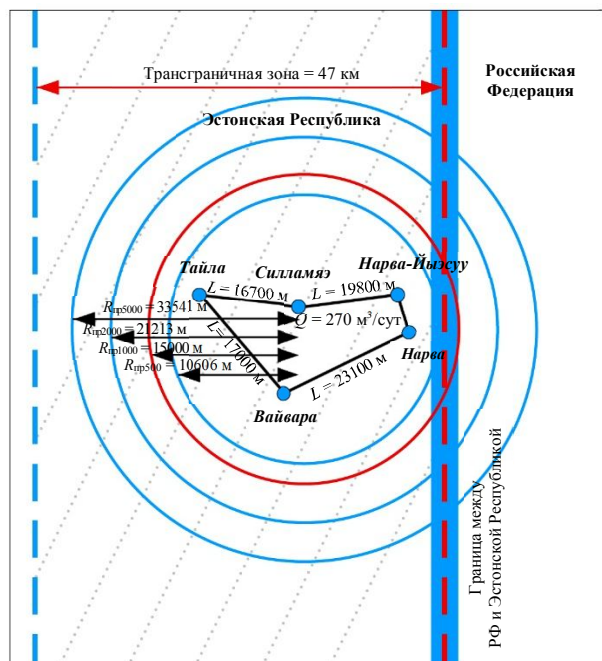


Рис.2. Динамика распространения воронки депрессии в процессе эксплуатации водозаборов на территории РФ (а) и Эстонской Республики (б)



С учетом полученных расчетных понижений определено количество «забираемых» ресурсов подземных вод с ТЗ Эстонской Республики и РФ. Расчет проводился по преобразованной схеме Тейса:

$$Q = \frac{2\pi TS_{\text{вн}}}{\ln R_{\text{пр}}/R_0}, \quad (5)$$

где  $T$  – водопроницаемость, м<sup>2</sup>/сут;  $S$  – понижение на внешнем контуре «большого колодца». Результаты расчетов представлены на рис.2.

Количество «забираемых» ресурсов подземных вод с территории Эстонской Республики (РФ/Эстонская Республика): радиус влияния  $R_{\text{пр}}$  – 15000/10606 м; понижение на внешнем контуре «большого колодца»  $S_{\text{вн}}$  – 10,2/8,91 м; количество привлекаемых ресурсов в разных точках радиуса влияния – 2372/1998 м<sup>3</sup>/сут; процент «забираемой» воды – 29/32.

Расчеты показали, что депрессионная воронка, создаваемая работой водозаборов, расположенных на территории России и Эстонии, эксплуатирующих (нижнекембрийский) ломоносовский водоносный горизонт, составит  $R_{\text{пр}} = 47434$  м за время работы водозаборов 10<sup>4</sup> сут.

Радиус влияния от работы водозаборов достигнет границы через 1000 сут эксплуатации со стороны России и через 500 сут со стороны Эстонии, а понижения не превысят 14,35 и 14,04 м соответственно.

На основании расчета расхода подземных вод в разных точках депрессионной воронки можно сделать вывод, что расстояние от центра «большого колодца» со стороны России до границы с Эстонией составляет 15000 м; при понижении, равном 10,2 м в пределах этого радиуса, количество ресурсов, эксплуатируемых водозаборами, составляет 2372,4 м<sup>3</sup>/сут из требуемых 3341 м<sup>3</sup>/сут. Это значит, что недостающие 968,6 м<sup>3</sup>/сут отбираются с территории Эстонии, что составляет 29 % от общей заявленной потребности. Расстояние от центра «большого колодца» со стороны Эстонии до границы с Россией составляет 10606 м, при понижении, равном 8,91 м в пределах этого радиуса, количество ресурсов, эксплуатируемых водозаборами, составляет 1998 м<sup>3</sup>/сут из требуемых 2923 м<sup>3</sup>/сут. Из этого следует, что недостающие 925 м<sup>3</sup>/сут отбираются с территории России, что составляет 32 % от общей заявленной потребности.

Таким образом, РФ забирает со стороны Эстонской Республики больше воды на 374 м<sup>3</sup>/сут. Эта величина является условной, так как в расчетах не учитываются расходы естественного потока подземных вод. Но поскольку превышение предельно допустимого уровня не наблюдается, то ситуацию можно рассматривать как нейтральную. Более точные расчеты можно получить с помощью численного моделирования недропользования на ТТВГ, которое базируется на сети мониторинга и многолетних наблюдениях за режимом подземных вод. Необходимо ежегодно проводить сверки данных по недропользованию на ТЗ, чтобы контролировать его взаимный баланс. Рассмотренный пример взаимодействия двух государств является в определенной степени образцовым, так как показывает связь служб мониторинга добычи подземных вод двух стран.

**Заключение.** Подобный подход к решению гидрогеологических задач на ТТВГ может стать примером сотрудничества соседних государств по развитию отношений в совместном недропользовании. Тем не менее в 2020 г. были проведены независимые аналитические расчеты по водному балансу и взаимовлиянию крупнейших водозаборов РФ и Эстонской Республики, но в рамках выделенной ТЗ.

Из расчетов можно сделать вывод, что неизбежно на территории одного из государств объем добычи водного ресурса всегда будет выше. Количественную оценку отбираемых из водоносного горизонта сопредельного государства водных ресурсов можно выполнить расчетным путем по методу баланса. Количественные показатели добываемого ресурса не могут иметь денежный экви-

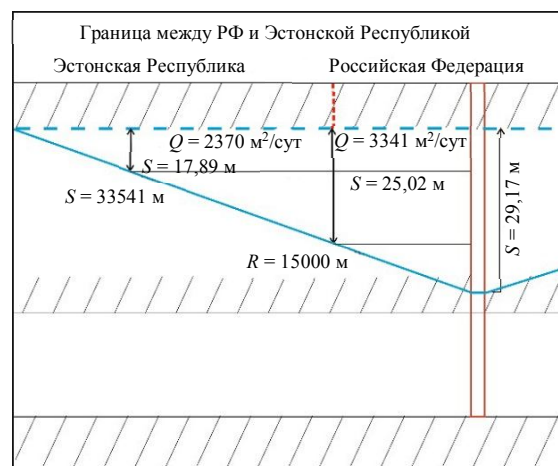


Рис.3. Изменения пьезометрического уровня в процессе эксплуатации водозаборов на территории РФ



валент как как товарная продукция, поэтому взаиморасчеты между государствами, эксплуатирующими один и тот же водоносный горизонт, не могут проводиться в стоимостном выражении. Факторами ограничения чрезмерной добычи подземных вод на ТТВГ должны быть критерии положения уровня подземных вод, а также их качества в рамках достигнутых межгосударственных договоренностей, контроль за которыми производится в рамках международной системы мониторинга подземных вод.

Одной из основных проблем совместного недропользования на трансграничной территории являлась количественная оценка «привлечения» водных ресурсов при эксплуатации водоносного горизонта с территории соседнего государства. Та же проблема неразрывно связана с изменением во времени качества добываемого ресурса. Такие изменения, чаще всего увеличение минерализации, характерны для южных районов, где основные водоносные горизонты имеют ограниченную область питания. Тем не менее рассматриваемая задача сужает область исследования, несмотря на то, что региональную гидрогеологию и генезис основных горизонтов необходимо учитывать при прогнозных задачах, особенно при создании численной модели трансграничных районов [4].

Существует масса пограничных районов, и преимущественно на территории Африканского континента, среднеазиатских государств и на Ближнем Востоке, где не проводятся ГРП, не говоря уже о системе мониторинга (например, Ботсвана, Намибия) [8, 28, 29]. Поэтому при создании ограниченной полосы исследования (ширины ТЗ) задача международной концепции по ТТВГ может быть решена не такими глобальными затратами. Финансировать организацию ТЗ должно государство, удельная доля которых в вопросе недропользования является наибольшей.

Безусловным фактором организации ТЗ является привлечение специалистов именно обоих пограничных государств, а при их нехватке – привлечение специалистов-экологов, гидрогеологов, экспертов из государств, имеющих подобный опыт работ. Россия, а ранее СССР, уделяла огромное внимание подготовке высококвалифицированных специалистов, имеющих опыт работы не только на евроазиатском континенте, но и по всему миру. Это касается и постановки ГРП, организации мониторинга, аналитической и экспертной деятельности, связанной с самыми сложными инженерными задачами. В большинстве пограничных ТЗ целесообразно использовать данные по действующим водозаборам, а также местной сети наблюдательных точек. В случае попадания на ТЗ горнодобывающих предприятий или гидротехнических сооружений учет гидрогеологической обстановки необходимо анализировать в первую очередь.

Трансграничная зона должна иметь определенное ограничение по площади распространения, которое определяется гидрогеологическими параметрами и характеристиками. Именно к этой зоне можно применить соответствующие нормы и правила. По предварительным расчетам, ширина ТТВГ может составлять от нескольких километров до их первых десятков.

Установлено, что большинство крупных водоносных горизонтов и комплексов, расположенных на ТЗ нескольких государств, являются основными источниками водоснабжения для целей хозяйственно-бытового водоснабжения, что создает предпосылки для формирования взаимных договоренностей, соглашений, конвенций, регламентирующих обязательства по ограничению добычи и ведению системы контроля.

На примере исследований и анализа водозаборной деятельности в пограничных территориях РФ и Эстонской Республики разработана методика управления добычей подземных вод на ТТВГ, определены размеры, параметры и факторы, влияющие на формирование ТЗ.

По результатам гидрогеологических расчетов ширина ТЗ для данного примера составила 47 км. На этой территории требуется особый экологически-сбалансированный режим недропользования. Подобные гидрогеологические расчеты можно проводить для любых условий и районов. Особое значение имеет наличие горнодобывающих предприятий, гидротехнических сооружений, а также добыча сланцевой нефти на трансграничных территориях.

Мировые ресурсы подземных вод имеют ключевое значение для устойчивого развития. Использование ресурсов подземных вод в полной мере и эффективный контроль постоянных проблем, связанных с подземными водами, – чрезмерное использование и загрязнение – являются очень сложными задачами. Поэтому обмен информацией и опытом по управлению добычей подземных вод по всему миру будет необходим и полезен [18, 29].



В перспективе предполагается использование зарубежного опыта в данной сфере, подготовка материалов для взаимодействия с ЮНЕСКО, обмен методиками на международном уровне, внесение поправок в базовые законы и подзаконные акты, регламентирующие добычу подземных вод из общих водоносных горизонтов. Россия может стать инициатором закрепления названных понятий и методик в международном праве. Многие международные конфликты можно предотвратить, если подходить к проблемам недропользования на основе всеобщей договоренности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Болгов М.В. Институциональные, нормативно-правовые и управленческие аспекты использования трансграничных водных объектов России / М.В.Болгов, А.П.Демин, К.Ю.Шаталова // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 4. С. 442-450. DOI: 10.7868/S0321059616040040
2. Боревский Б.В. Развитие представлений об изученности эксплуатационных запасов и ресурсов подземных вод и принципов их категоризации / Б.В.Боревский, А.Л.Язвин // Подземные воды Востока России, 18-22 июня 2018, Новосибирск, Россия. Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2018. С. 21-27.
3. Мировой рынок пресной воды. URL: <http://www.vigorconsult.ru/resources/mirovoy-rynok-presnoy-vodyi/> (дата обращения 25.03.2021).
4. Миронова А.В. Трансграничные проблемы при эксплуатации подземных вод в районе государственной границы Россия – Эстония (на примере ломоносовско-воронковского водоносного горизонта) / А.В. Миронова, Е.В. Мольский, В.Г. Румынин // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 4. С. 423-432.
5. Мухина Э.М. Правовое регулирование использования и охраны подземных вод: Автореф. дис. ... канд. юр. наук. М.: Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации, 2011. 30 с.
6. Никанорова А.Д. Становление принципов и норм, регулирующих использование государствами трансграничных водных ресурсов / А.Д.Никанорова, С.А.Егоров // Водные ресурсы. 2019. Т. 46. № 1. С. 114-120. DOI: 10.31857/S0321-0596461114-120
7. Оролбаева Л.Э. Формирование и геориски трансграничных потоков подземных вод Кыргызстана // Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов. Труды IV Международной научно-практической конференции, 7 апреля 2016, Екатеринбург, Россия. Уральский государственный горный университет, 2016. С. 219-225.
8. Парламентские слушания в Государственной Думе (хроника, аннотации, обзор). URL: <http://duma.gov.ru/media/files/s9GWpyCNyMVLEVDwJ6g55w0ymVhcMqm5.pdf> (дата обращения 25.03.2021).
9. Пузач С.Л. Прогнозные ресурсы, запасы, добыча и качество подземных вод по федеральным округам и основным речным бассейнам России / С.Л.Пузач, С.В.Спектор // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2010. № 1. С. 8-11.
10. Теймуров Э.С. Проблемы регулирования рационального использования и охраны пресной воды в двусторонних договорах Российской Федерации // Альманах кафедры международного права Ceteris Paribus. 2017. С. 78-86.
11. Управление ресурсами подземных вод трансграничных водоносных горизонтов (Проект ГТРЕТА). Обзор и результаты оценки (2013-2015 гг.). URL: [https://groundwaterportal.net/sites/default/files/GGRETA%20Overview%20Brochure\\_RUSSIAN.pdf](https://groundwaterportal.net/sites/default/files/GGRETA%20Overview%20Brochure_RUSSIAN.pdf) (дата обращения 12.04.2021).
12. Устюгов Д.Л. Экспресс-откачки как способ выявления взаимодействия обводненной толщи с внешней средой / Д.Л.Устюгов, Д.П.Мирончук // Записки Горного института. 2015. Т. 212. С. 84-88.
13. Фрумин Г.Т. Трансграничные водные объекты и водосборы России: проблемы и пути решения / Г.Т.Фрумин, Л.А.Тимофеева // Биосфера. 2014. Т. 6. № 2. С.118-133.
14. Язвин А.Л. Критический обзор нормативно-правовых документов, регламентирующих изучение и использование питьевых и технических подземных вод // Разведка и охрана недр. 2014. № 5. С. 3-10.
15. Язвин А.Л. Научное обоснование информационного обеспечения системы геологического изучения ресурсного потенциала пресных подземных вод: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М.: Российский государственный геологоразведочный университет, 2015. 48 с.
16. Aureli A. Strengthening cooperation on transboundary groundwater resources / A.Aureli, G.Eckstein // Water International. 2011. Vol. 36. Iss. 5. P. 549-556. DOI:10.1080/02580860.2011.615137
17. Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes. Helsinki, 17 March 1992 // Elgar Encyclopedia of Environmental Law. Edward Elgar Publishing Limited, 2016. P. 257-268. DOI: 10.4337/9781785369520
18. IGRAC (International Groundwater Resources Assessment Centre). URL: <https://www.un-igrac.org/ru> (дата обращения 20.02.2021).
19. Janusz-Pawletta B. Transboundary Water Management in Central Asia. Legal Framework to Strengthen Interstate Cooperation and Increase Regional Security / B. Janusz-Pawletta, M. Gubaidullina // Cahiers d'Asie centrale. 2015. № 25. P. 195-215.
20. Jarvis T. The International Law of Transboundary Groundwater Resources // Groundwater. 2017. Vol. 56. Iss. 2. P. 247-247. DOI: 10.1111/gwat.12626
21. Kirsanova N.Yu. Future vision and possibilities of Russia's transition to «green» economy / N.Yu.Kirsanova, O.M.Lenkovets // Responsible Research and Innovation (RRI 2016), 7-10 November 2016, Tomsk, Russia. Future Academy, 2016. P. 514-521. DOI: 10.15405/epsbs.2017.07.02.66
22. Lange I.Y. A Study of Water Permeability of Coal Ash and Slag to Assess the Possibility of Their Use as Road Pavement Layers / I.Y.Lange, Y.A.Lebedeva, P.V.Kotiukov // International Journal of Engineering Research and Technology. 2020. Vol. 13. № 2. P. 374-378. DOI: 10.37624/IJERT/13.2.2020.374-378
23. Lebedeva Y.A. Study of the geo-ecological state of groundwater of metropolitan areas in the conditions of intensive contamination thereof / Y.A.Lebedeva, P.V.Kotiukov, I.Y.Lange // Journal of Ecological Engineering. 2020. Vol. 21. № 2. P. 157-165. DOI: 10.12911/22998993/116322





24. *Lenkovets O.M.* Housing renovation in Russia and engineering and environmental aspects of renovation programs // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2020. Vol. 12. Iss. 4. P. 1060-1068. DOI: 10.5373/JARDCS/V12SP4/20201579
25. *Leonteva E.* Anthropogenic impact on the resources and composition of groundwater in the North-Western slope of the Moscow Artesian Basin / E.Leonteva, L.Norova // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management SGEM. 2018. Vol. 18. Iss. 1.2. P. 59-66. DOI:10.5593/sgem2018/1.2/S02.008
26. *Litvinenko V.S.* Digital Economy as a Factor in the Technological Development of the Mineral Sector // Natural Resources Research. 2019. Vol. 29. P. 1521-1541. DOI:10.1007/s11053-019-09568-4
27. *Smirnova N.V.* Application of Norwegian and Russian legislative basis during collaborative development of transboundary hydrocarbon fields / N.V.Smirnova, A.E.Cherepovitsyn, A.A.Ilinova // European Research Studies Journal. 2018. Vol. 21. Special iss. 2. P. 434-441.
28. UNESCO 2013-2015 GRGTA (Groundwater Resources Governance in Transboundary Aquifers). URL: <https://unesdoc.unesco.org/images/0024/002430/243003r.pdf> (дата обращения 29.04.2021).
29. UNESCO Internationally Shared (Transboundary) Aquifer Resources Management. A framework document – 2001. URL: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/legal/docs/Int\\_Shared\\_Aquifer\\_Resources\\_Management.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/legal/docs/Int_Shared_Aquifer_Resources_Management.pdf) (дата обращения 25.03.2021).

**Авторы:** **Е.И.Головина**, канд. экон. наук, доцент, [Golovina\\_EI@pers.spmi.ru](mailto:Golovina_EI@pers.spmi.ru), <http://orcid.org/0000-0002-4674-4342> (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), **А.В.Гребнева**, канд. геол.-минерал. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0001-9216-8027> (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.