

- [13] Zhuchkova V. K., Zonov Yu. B., Goryacheva V. A. Metodicheskie priemy landshaftnyx issledovanij vulkanicheskix rajonov Kamchatki // *Landsaftnyj sbornik*. M.: Izd-vo MGU, 1973. S. 117—137.
- [14] Zaxarixina L. V., Litvinenko Yu. S. Geneticheskie i geoximicheskie osobennosti pochv Kamchatki. M.: Nauka, 2011. 245 s.
- [15] Ivanov A. N., Valebnaya V. A., Chizhova V. P. Problemy rekreacionnogo ispol'zovaniya osobo ohranyaemyx prirodnyx territorij (na primere Doliny Gejzerov) // *Vestn. MGU. Ser. 5. Geografiya*. 1995. N 6. S. 68—74.
- [16] Kalov R. O., Vagapova A. B. Belligerativnye komplekсы как geneticheskij tip tektonnyx landshaftov // *Problemy regional'noj e'kologii*. 2013. N 6. S. 137—139.
- [17] Lebedeva N. V., Krivoluckij D. A., Puzachenko Yu. G. i dr. *Geografiya i monitoring bioraznoobraziya*. M.: NUMC, 2002. 432 s.
- [18] Levin B. V., Kajstrenko V. M., Rybin A. V. i dr. Proyavleniya cunami 15.11.2006 g. na Central'nyx Kuril'skix ostrovax i rezul'taty modelirovaniya vysot zapleskov // *Dokl. Akademii nauk*. 2008. T. 419, N 1. S. 118—122.
- [19] Levin B. V., Rybin A. V., Razzhigaeva N. G. i dr. Kompleksnaya e'kspediciya «Vulkan Sarycheva — 2009» (Kuril'skie ostrova) // *Vestn. DVO RAN*. 2009. N 6. S. 98—104.
- [20] Levin B. V., Melekescev I. V., Rybin A. V. i dr. E'kspediciya «Vulkan Pik Sarycheva — 2010» (Kuril'skie ostrova) // *Vestn. DVO RAN*. 2010. N 6. S. 152—159.
- [21] Levin B. V., Razzhigaeva N. G., Ganzej K. S. i dr. Izmenenie landshaftnoj struktury ostrov Matua posle izverzheniya v 2009 g. // *Dokl. Akademii nauk*. 2010. T. 431, N 5. S. 692—695.
- [22] Me'garran E'. E'kologicheskoe raznoobrazie i ego izmerenie. M.: Mir, 1992. 184 s.
- [23] Nikolaev V. A. *Landsaftovedenie*. M.: Geograficheskij fakul'tet MGU, 2006. 208 s.
- [24] Razzhigaeva N. G., Ganzej L. A., Grebennikova T. A. i dr. Paleocunami v Yuzhno-Kuril'skom regione v golocene: osobennosti proyavleniya, osadki, vozrast, povtoryaemost', vozdejstvie na geosistemy // *Vestn. DVO RAN*. 2011. N 2. S. 59—69.
- [25] Rybin A. V., Degterev A. V., Razzhigaeva N. G. i dr. Aktivnye vulkany Kuril'skix ostrovov: vulkan Pik Sarycheva. Yuzhno-Saxalinsk: In-t morskoy geologii i geofiziki, 2012. 80 s.
- [26] MacInnes B. T., Bourgeois J., Pinegina T. K. et al. Tsunami geomorphology: Erosion and deposition from the 15 November 2006 Kuril Island tsunami // *Geology*. 2009. V. 37, N 11. P. 995—998.

Изв. РГО. 2017. Т. 149, вып. 5

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В СРЕДНЕАМУРСКОМ АРТЕЗИАНСКОМ БАССЕЙНЕ

© В. В. КУЛАКОВ

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск
E-mail: vvkulakov@mail.ru

Рассматриваются природные и антропогенные условия загрязнения и безопасность использования ресурсов пресных подземных вод на территории трансграничного Среднеамурского артезианского бассейна на участках крупных водозаборов и полигонов промышленных и твердых бытовых отходов. Для минимизации и исключения рисков загрязнения рекомендуется перспективное

размещение водозаборов подземных вод ориентировать на разумное удаление от контура р. Амур с учетом имеющихся полигонов складирования отходов. При решении экологических проблем безопасности использования некондиционных подземных вод с высоким природным содержанием железа и марганца предпочтительней использовать их очистку непосредственно в водоносном горизонте.

Ключевые слова: подземные воды, загрязнение, железо, марганец, Среднеамурский артезианский бассейн.

Введение. Пресные (питьевые) подземные воды — жизненно важные минеральные ресурсы России, обеспечивающие развитие социальной сферы и экономики страны и пользующиеся все возрастающим спросом [3, 4]. Общемировая тенденция переориентации питьевого водоснабжения населения с поверхностных источников на подземные продекларирована ЮНЕСКО еще в 1985 г.: пресные подземные воды — последний резерв человечества. Поэтому методология оценки безопасности подземных вод позволяет оптимизировать взаимоотношение людей с окружающей средой в части использования пресных подземных вод для питьевого водоснабжения населения и проведения природоохранных мероприятий в районе источника водоснабжения. Это заставляет специалистов, всесторонне изучая проблему загрязнения и безопасности именно пресных (питьевых) подземных вод, достаточности их количества и безупречности качества, находить наиболее эффективные способы устойчивого обеспечения населения питьевой водой из подземных источников, даже имеющих некондиционный состав подземных вод, на далекую перспективу.

Цель работы — оценка основных природных факторов и характеристика некоторых антропогенных источников загрязнения пресных подземных вод, и подготовка предложений и рекомендаций по использованию ресурсного потенциала для обеспечения устойчивого питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения населения на территории Среднеамурского артезианского бассейна, являющегося трансграничным и располагающегося в пределах России и Китая.

Результаты и обсуждение. В артезианских бассейнах Дальнего Востока России преобладают пресные подземные воды на всю глубину изученного разреза (сотни метров). Региональное распространение загрязнения природного характера в химическом составе подземных вод имеют железо, марганец, кремний [1, 7, 10]. Площади распространения некондиционных подземных вод с повышенными концентрациями железа (до 70 мг/дм³) и марганца (до 4.5 мг/дм³) на территории приурочены к равнинным территориям (артезианским бассейнам и долинам рек, выполненным рыхлыми осадочными отложениями), где проживает основная масса населения. Именно с водами этого качества, не удовлетворяющего нормативным показателям по безопасности для питьевых вод и требующего проведения специальной водоподготовки, связаны все крупные месторождения подземных вод, снабжающие водой питьевого качества крупные города и поселки, а также индивидуальных водопользователей.

Оценка загрязнения подземных вод и экологическая безопасность их использования для питьевых нужд [2, 5, 8, 14] определяют возможность прогноза и предупреждения негативных последствий, возникающих в результате влияния природных и антропогенных факторов, для функционирования водозаборов подземных вод. Это требуется для обеспечения гарантии предотвращения экологически значимых катастроф и аварий в результате совокупности определенных действий для сохранения здоровья населения и для обеспечения длительного и устойчивого социально-экономического развития территории.

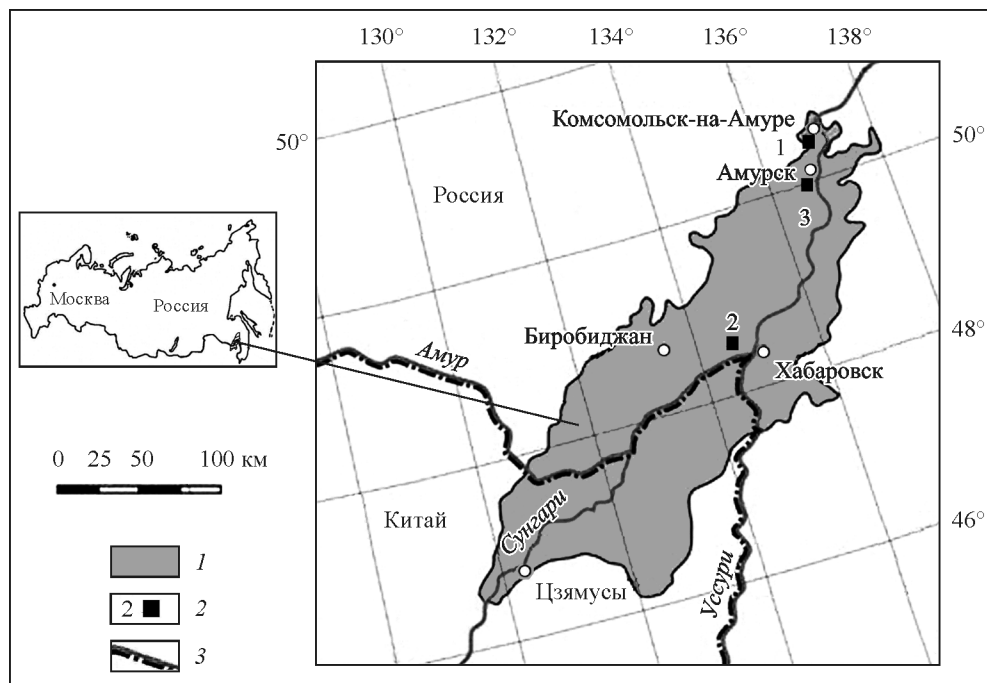


Рис. 1. Среднеамурский артезианский бассейн.

1 — Среднеамурский артезианский бассейн, 2 — характеризуемые участки (1 — полигоны твердых промышленных отходов в районе г. Комсомольска-на-Амуре, 2 — Тунгусское месторождение подземных вод, 3 — полигон твердых промышленных отходов в районе г. Амурска), 3 — государственная граница Китая и России.

В определении «безопасность подземных вод» необходимо выделить следующие основные характеристики этого понятия [8]:

- природное качество подземных вод;
- защитные свойства и уязвимость горных пород зоны аэрации, перекрывающих и подстилающих водоносных и водоупорных горизонтов и непосредственно подземных вод самого водоносного пласта;
- биогеохимические характеристики активности взаимодействия подземных вод и горных пород в естественных условиях, а также при антропогенном и разнообразном техногенном воздействии на систему вода—порода.

На примере пресных подземных вод трансграничного Среднеамурского артезианского бассейна (рис. 1), расположенного в бассейне Амура, охарактеризуем загрязнение и безопасность использования ресурсов пресных подземных вод, формирующихся в зоне свободного водообмена районов городов Хабаровск, Амурск и Комсомольск-на-Амуре [1, 12].

Пресные подземные воды на площади Среднеамурского артезианского бассейна широко используются для питьевых, бытовых и различных производственных нужд [7, 10]. В подавляющем большинстве разведаны и эксплуатируются месторождения пресных подземных вод в аллювиальных отложениях долин, а также в чехле артезианского бассейна, доля оцененных запасов в которых составляет более 80 % от разведанных в регионе. Для питьевого водоснабжения в пределах Среднеамурского артезианского бассейна используются подземные воды в основном с глубины до 100 м [1, 7], где повсеместно

скважинами вскрывается водоносный горизонт плиоцен-четвертичных озерно-аллювиальных отложений.

Формирование качественного состава подземных вод водоносного горизонта в плиоцен-четвертичных озерно-аллювиальных отложениях междуречья происходит в зоне свободного водообмена. В вертикальном разрезе и по площади химический состав подземных вод существенно не изменяется, за исключением уменьшения концентраций железа и марганца и некоторого роста концентраций кремния с глубиной [10, 12]. Величина pH изменяется в пределах от 5.8 до 6.3. Подземные воды нередко имеют запах (сероводородный) и привкус — не выше 2 баллов. По составу природные воды гидрокарбонатные натриево-кальциевые. Концентрация H_4SiO_4 в воде изменяется от 30 до 65 мг/дм³ (14—20 мг/дм³ по Si), общего железа (в основном в форме Fe^{2+}) от 15 до 50 мг/дм³, марганца — колеблется от 1.4 до 2.1 мг/дм³, содержание нитритов не превышает 0.01 мг/дм³, нитратов — 0.4 мг/дм³, карбонаты в воде не обнаружены. Концентрация фтора в воде составляет 0.04—0.15 мг/дм³. Содержание иона аммония не превышает 1—2 мг/дм³, содержание свободной двуокиси углерода изменяется от 120 до 250 мг/дм³.

Формирование пресных подземных вод происходит в зоне свободного водообмена, что требует целенаправленного изучения и оценки этой зоны как пространства, находящегося под влиянием дренирования в границах и рамках гидрологического цикла. Водосборы гидрографической сети являются непосредственными гидрогеологическими системами, обеспечивающими процессы дренирования и единство взаимодействующих подземных и поверхностных вод [7].

Что касается питьевых подземных вод, то решающим фактором безопасности, при прочих равных условиях, является структура зоны свободного водообмена, в границах которой происходит формирование их ресурсов и качественного состава.

Экологические проблемы безопасности использования подземных вод в Среднеамурском артезианском бассейне [2, 16] обусловлены особенностями природного формирования химического состава пресных подземных вод региона (повышенные концентрации железа, марганца, кремния и низкие содержания фтора) и антропогенным (техногенным) воздействием на геологическую среду в результате бытовой, производственной и сельскохозяйственной деятельности.

Вопрос о возможности использования подземных вод левобережья Амура для водоснабжения Хабаровска был поднят в конце 1980-х гг. Впервые об использовании больших потенциальных возможностей этой территории для обеспечения хозяйственно-питьевого водоснабжения Хабаровска и для переориентации водоснабжения города с поверхностного источника на подземный нами было предложено в 1989 г.

Тунгусское месторождение находится в центральной части Среднеамурской депрессии, которая в пределах изученной территории представляет собой однообразную плоскую заболоченную поверхность, образованную поймой рек Амур и Тунгуска и двумя надпойменными террасами [9, 12].

В геологическом строении (снизу вверх) принимают участие нижнемиоценовые отложения ушумунской свиты (алевролиты, аргиллиты, с пластами бурых углей, песков и линзами брекчий) и верхнемиоценовые-четвертичные аллювиальные отложения, представленные песками, гравийниками с галькой и песчаным заполнителем, с включением линз супесей и покровных суглинков.

Основной водоносный горизонт в плиоцен-нижнечетвертичных аллювиальных отложениях приамурской свиты сложен песками с гравием и галькой. Мощность водоносного горизонта колеблется в пределах 40—50 м. С поверхности залегают покровные суглинки и глины мощностью 5—7 м.

Дебиты скважин при откачках достигали 50 л/с (4.3 тыс. м³/сут) при понижении уровня до 10 м. Удельные дебиты скважин составляют 4 и более л/с · м.

В плане Тунгусское месторождение имеет с севера, востока и юга границы с постоянным напором, проходящие по урезу рек. С запада водовмещающую толщу можно рассматривать как неограниченный в плане пласт (рис. 2).

Качество воды соответствует нормативным требованиям, за исключением следующих показателей: содержание общего железа (от 12.3 до 28.0 мг/дм³), марганца (от 0.38 до 1.96 мг/дм³), бария (от 0.077 до 0.164 мг/дм³) и кремния (от 11.2 до 19.3 мг/дм³). Характерны очень низкое значение pH, находящееся в диапазоне 5.2—6.1, и высокая концентрация растворенной двуокиси углерода (CO₂) — 220—250 мг/дм³.

Питание подземных вод водоносной толщи плиоцен-четвертичных отложений в естественных условиях осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков на площади месторождения, а также — за счет поглощения части поверхностного стока рек Амур и Тунгуска при прохождении на них паводков. Разгрузка подземных вод происходит в русло Амура и Тунгуски (скрытая разгрузка).

Запасы Тунгусского месторождения подземных вод в 2000 г. были утверждены ГКЗ в количестве 500 тыс. м³/сут, из них для первоочередного промышленного освоения разведаны в объеме 120 тыс. м³/сут. При оценке запасов использована трехпластовая модель строения водовмещающей толщи Тунгусского месторождения. Траектории и время движения речных вод получены с помощью модуля RMPATH в составе пакета MODFLOW. Запасы подземных вод в объеме до 65 % обеспечиваются привлекаемыми ресурсами поверхностных вод р. Амур (рис. 2).

В 2013 г. в бассейне р. Амур прошло катастрофическое за весь период наблюдений (более 120 лет) наводнение [13]. Минимальный уровень в р. Амур в конце зимнего меженного периода в апреле 2013 г. на гидрометрическом посту у Хабаровска составил –0.12 м. Максимальный уровень по этому посту в сентябре 2013 г. достиг отметки 8.08 м, что на 1.5—2.5 м выше исторически зафиксированного максимума. Слой протекающих поверхностных вод на левобережье Амура на пике наводнения (3—4 сентября 2013 г.) над поверхностью покровных отложений Амуро-Тунгусского междуречья составил 0.2—1.0 м. Над затопленными дорогами в воде автором наблюдались косяки рыб.

На междуречье Амура и Тунгуски в 10 км западнее Хабаровска продолжается строительство Тунгусского водозабора подземных вод для водоснабжения города [9, 11]. В районе Тунгусского водозабора выделяются две зоны по степени и активности взаимодействия речных и подземных вод [12, 18]. Первая зона — активного влияния колебания уровня поверхностных вод в протоках Амура — приречный тип режима подземных вод. При естественном режиме здесь происходит скрытая разгрузка подземных вод в русло реки через донные отложения. Вторая зона — междуречного режима за счет преимущественного инфильтрационного питания подземных вод атмосферными осадками.

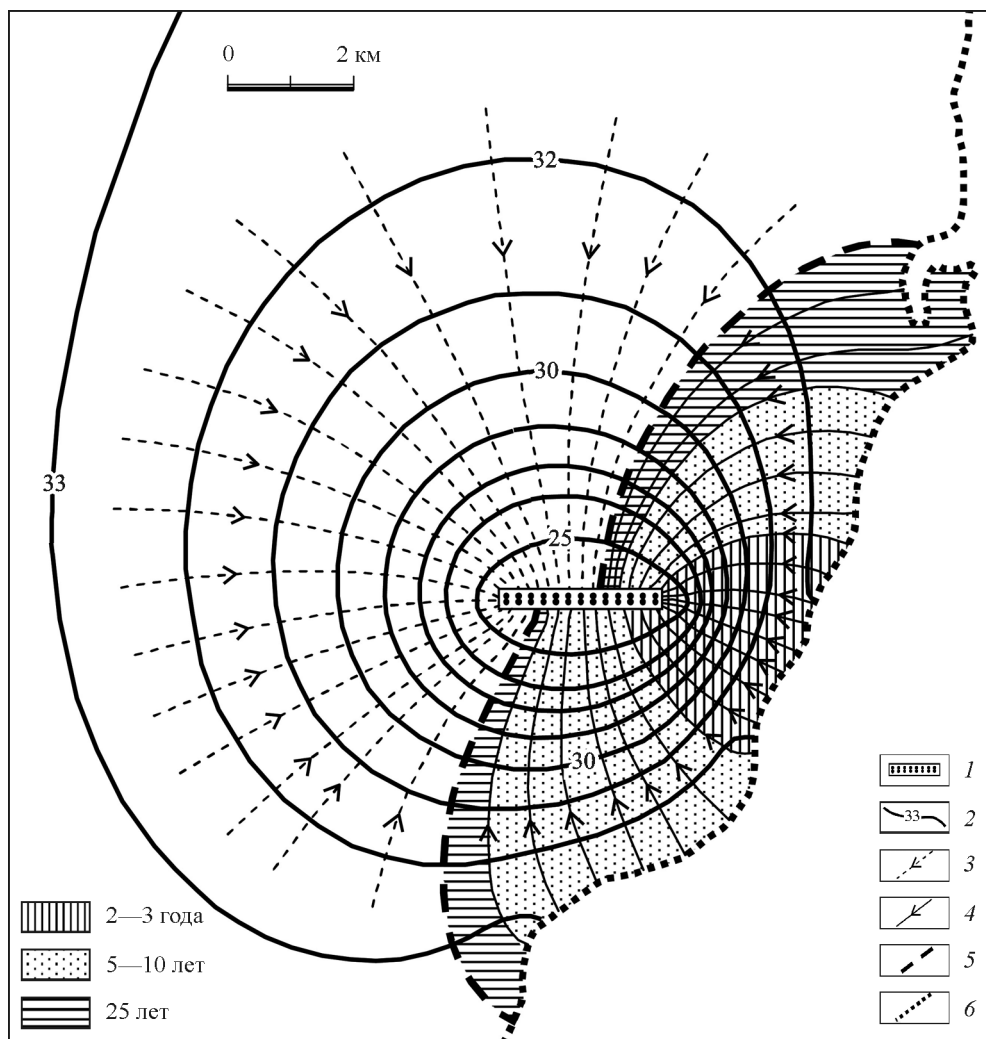


Рис. 2. Гидродинамическая сетка движения подземных вод к Тунгусскому водозабору первоочередного освоения [18].

1 — скважинный водозабор; 2 — линии равного напора, абс. отм. (м); 3 — линии тока пластовой воды; 4 — линии тока речной воды; 5 — граница зоны формирования привлекаемых ресурсов; 6 — контур уреза реки Амур и ее проток. Штриховкой показано время движения речной воды к водозабору.

В связи с катастрофическим наводнением в 2013 г. сформировался подпертый режим фильтрации подземных вод. Но в то же время уровни подземных вод в наблюдательных скважинах в период наводнения располагались ниже поверхности земли и уровня поверхностных вод, затопивших территорию. Разница в отметках уровней поверхностных и подземных вод на территории изменялась от 1.5 до 6.5 м. Развитие на изучаемой территории по всей площади в междуречье Амура и Тунгуски покровных суглинков способствовало развитию затрудненного водообмена между поверхностными и подземными водами, в связи с чем активного влияния речных вод на гидродинамические условия подземной гидросферы в период наводнения отмечено не

было. Наличие покровных суглинков явилось существенным фактором, снижающим риски загрязнения подземных вод, что подтвердило модельные оценки времени инфильтрации атмосферных осадков через покровные суглинки зоны аэрации до уровня подземных вод на глубину 7 м в 2000 г. Продолжительность периода инфильтрации оценена в 570 сут.

За весь период наблюдения за качественным составом подземных вод в районе Тунгусского месторождения по всем нормируемым показателям превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) природного характера были зарегистрированы только для железа, марганца и кремния [10].

Не останавливаясь на рассмотрении особенностей водоподготовки питьевых вод Приамурья за счет использования некондиционных подземных вод [9, 11, 20], охарактеризуем две основные общие проблемы ресурсного обеспечения, свойственные приречным водозаборам [12].

Особой, но, как показывает практика, вполне вероятной является возможность чрезвычайных ситуаций с критическим техногенным загрязнением поверхностных вод и возникновением угрозы выхода из строя действующих поверхностных и приустьевых подземных водозаборов. Показательным примером является общеизвестная ситуация с катастрофическим нитробензольным загрязнением р. Сунгари (КНР) и Амура с реальной угрозой дезорганизации водоснабжения г. Хабаровска и других городов в 2005 г. [6, 17].

Для минимизации (и даже полного исключения) такой опасности целесообразно при перспективном планировании размещения водозаборов подземных вод ориентироваться на разумное удаление подземных водозаборов от контура реки. Это позволяет регулировать соотношение естественных и привлекаемых ресурсов в балансе эксплуатационного водоотбора и увеличить время движения речной воды до водозабора. Возникающая при этом необходимость некоторого расширения схемы водозабора (вследствие возрастания эксплуатационных понижений при удалении водозабора от реки) вполне компенсируется более высокой степенью его защищенности и надежности водоподачи питьевых вод.

Расчеты показывают, что при характерных для региона величинах инфильтрационного питания и параметрах продуктивных водоносных горизонтов можно полностью исключить привлечение речного стока (или резко уменьшить его долю в структуре запасов подземных вод) при удалении водозабора от реки. Например, для проектного водозабора 1-й очереди на Тунгусском месторождении (рис. 2), отнесенного от Пемзенской протоки Амура на 1.3 км, поступление речной воды прогнозируется не ранее чем через 1 год, и наращается чрезвычайно медленно [18]. К концу нормативного срока эксплуатации (25 лет) почти половина скважин ряда еще не испытывает влияния речных вод и обеспечивается только естественным инфильтрационным потоком подземных вод. В режиме реального освоения Тунгусского месторождения подземных вод приведенный прогноз наверняка будет значительно смягчен очищающей способностью (сорбционной емкостью) продуктивных отложений озерно-аллювиальных осадков. Расчетное время поступления речного фильтрата к скважинам при полной производительности водозабора составляет около 2 лет. За это время органические вещества, которые поступят в водоносный горизонт с речными водами, будут трансформироваться до углекислого газа и воды за счет активизации биогеохимических (микробиологических) процессов на контакте дно реки—водоносный горизонт и при движении к водозабору по пласту.

Для решения экологических проблем безопасности использования некондиционных подземных вод с высоким природным содержанием железа и марганца экологически и экономически предпочтительней использовать внутрипластовую очистку непосредственно в водоносном горизонте [11, 20]. Данная технология успешно используется в России более 25 лет, а за рубежом (ФРГ) — более 100 лет. Дополнительным преимуществом данной технологии водоподготовки является отсутствие отходов производства, исключены экологические проблемы утилизации промывных вод и соответственно не загрязняется окружающая среда, не нужно тратить деньги на вывоз шлама промывных вод. Внутрипластовая очистка подземных вод позволяет снизить стоимость воды как минимум в 2.8 раза [11].

Подземные воды Среднеамурского артезианского бассейна характеризуются разной степенью защищенности [10]. Район развития аллювиальных песчаных или песчано-гравийных отложений в поймах рек и первых надпойменных террас характеризуется низкой степенью защищенности. Здесь отсутствуют слабопроницаемые покровные толщи, что позволяет загрязняющим веществам фильтроваться в подземные воды водоносного горизонта.

Другим примером может служить территория Комсомольска-на-Амуре, где отмечается масштабное загрязнение геологической среды [14]. Город располагается на северо-восточном замыкании Среднеамурского артезианского бассейна (рис. 1) и на его территории располагаются одиночные и более 5 групповых водозаборов подземных вод с оцененной величиной запасов порядка 90 тыс. м³/сут [7]. Основной водоносный горизонт плиоцен-четвертичных аллювиальных отложений (песчано-гравийно-галечниковые отложения мощностью от 50 до 100 м) залегает вторым от дневной поверхности на глубине 14—39 м, вскрываясь руслом р. Амур по правому борту долины. Перекрывающий верхний водоносный горизонт позднечетвертичных — современных аллювиально-пролювиальных отложений конуса выноса горной р. Силинки представлен неотсортированным валунно-галечным материалом с суглинистым заполнителем.

Дебиты скважин при откачках достигали 80 л/с (6.9 тыс. м³/сут) при понижениях уровня до 10 м. Удельные дебиты скважин составляют 13 и более л/с · м.

Строительство и ввод в эксплуатацию в 1930—1940 гг. авиационного, сернокислотного и нефтеперерабатывающего предприятий в городе, прокладка нефтепроводов привели к возникновению проблем с токсичными отходами и способствовали широкому распространению нефтяного загрязнения в подземных водах [15]. Содержание нефтепродуктов в отдельных скважинах превышает ПДК в 1000 раз и более, а мощность слоя плавающих на поверхности подземных вод линз нефти может достигать 3.5 м. Кроме того, техногенная залежь борогипса, расположенная на территории бывшего сернокислотного завода, служит источником загрязнения подземных вод Комсомольска-на-Амуре бором, которое выявлено еще в 1992 г. В результате распространения загрязнения бором и подтягивания его к скважинам Левосилинского водозабора с 2009 г. скважины законсервированы и не эксплуатируются.

Максимальное техногенное загрязнение геологической среды Среднеамурского артезианского бассейна отмечается в северной его части на территории Комсомольска-на-Амуре [15] в районе рекультивированного полигона твердых промышленных отходов. Степень защищенности подземных вод ха-

рактеризуется как низкая, так как водоносный горизонт не перекрыт бронирующим слоем слабопроницаемых пород. Исследования подземных вод на расстоянии 100 м ниже полигона по направлению их движения показали, что в период малой водности слой плавающих на поверхности подземных вод линз нефтепродуктов достигал 0.8 м, при этом концентрация растворенных нефтепродуктов составляла 0.3—8.1 мг/дм³. При подъеме уровня подземных вод слой плавающих нефтепродуктов сокращался до нескольких сантиметров или исчезал, а концентрация растворенных нефтепродуктов возрастала до 94.5 мг/дм³.

Территория г. Амурск также расположена в зоне слабой защищенности подземных вод, в результате чего подземные воды в районе отстойника Амурского целлюлозно-картонного комбината загрязнены фенолами [10].

Загрязнение подземных вод Среднеамурского артезианского бассейна отмечается как на его российской части, так и на китайской территории [1, 15, 19]. Источниками техногенного (антропогенного) загрязнения служат промышленные предприятия, сельскохозяйственные и коммунальные объекты. По количеству участков и объему загрязнения подземных вод нефтепродукты и их производные являются приоритетными для бассейна. Кроме того, отмечается загрязнение фенолами, тяжелыми металлами, аммонием, нитратами, нитритами, сульфатами. Считается, что самоочищение подземных вод может происходить за счет разбавления, сорбции, испарения и биodeградации. Однако истинное самоочищение подземных вод происходит за счет биodeградации, поскольку осуществляется деструкция (разрушение) загрязняющих веществ.

Выводы

Прогрессирующее, а иногда и аварийное загрязнение поверхностных вод в последние годы достаточно определенно высвечивает экологическую проблему безопасности на площади Среднеамурского артезианского бассейна — переориентацию питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения населения городов и поселков с поверхностных источников на подземные.

Переход на подземные источники водоснабжения существенно снижает риски при отказе от использования поверхностных вод, особенно в случае аварийных залповых сбросов в реки, подверженные непредсказуемым техногенным загрязнениям. Повышение безопасности за счет использования подземных вод некондиционного, но стабильного состава при отработанной системе водоочистки гарантирует устойчивость качества питьевых подземных вод, что способствует улучшению состояния здоровья людей и увеличивает продолжительность жизни населения.

Антропогенная (техногенная) нагрузка на геологическую среду в крупных населенных пунктах Среднеамурского артезианского бассейна привела к интенсивному загрязнению подземных вод и поставила под угрозу безопасность питьевого водоснабжения за счет подземных вод. Поэтому при проектировании и строительстве водозаборных сооружений подземных вод для минимизации рисков загрязнения необходимо располагать их вне зон существующей и прогнозируемой антропогенной нагрузки — жилой и производственной застройки и участков размещения полигонов твердых промышленных и бытовых отходов.

Список литературы

- [1] *Архипов Б. С., Козлов С. А.* Загрязнение подземных вод на территории ДВФО // Разведка и охрана недр. 2007. № 7. С. 86—88.
- [2] Водно-экологические проблемы бассейна реки Амур. (Отв. ред. А. Н. Махинов) // Владивосток: Изд-во ДВО РАН, 2003. 187 с.
- [3] *Гольдберг В. М.* Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 246 с.
- [4] *Зекцер И. С.* Подземные воды как компонент окружающей среды. М.: Научный мир, 2001. 328 с.
- [5] *Кондратьева Л. М.* Экологический риск загрязнения водных экосистем. Владивосток: Дальнаука, 2005. 299 с.
- [6] *Кондратьева Л. М., Фишер Н. К., Бердников Н. В.* Микробиологическая оценка качества воды в реках Амур и Сунгари после техногенной аварии в Китае // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 5. С. 575—587.
- [7] *Кулаков В. В.* Месторождения пресных подземных вод Приамурья. Владивосток: Изд-во ДВО АН СССР, 1990. 152 с.
- [8] *Кулаков В. В.* Безопасность подземных вод Приамурья // Экология и безопасность водных ресурсов: матер. 2-й Междунар. науч.-практ. конф., 27—28.11.2009 г. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2009. С.140—147.
- [9] *Кулаков В. В.* Использование внутрипластовой очистки подземных вод от железа и марганца (на примере г. Хабаровск) // Вестн. ДВО РАН. 2013. № 2 (168). С. 84—89.
- [10] *Кулаков В. В.* Геохимия подземных вод Приамурья. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2011. 254 с.
- [11] *Кулаков В. В., Стеблевский В. И., Тесля В. Г., Херлитуцус Й. Э.* Опытнo-промышленная эксплуатация пилотной установки по подготовке питьевых подземных вод в водоносном горизонте на Тунгусском водозаборе // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 7. С. 29—35.
- [12] *Кулаков В. В., Штенгелов Р. С.* Оценка запасов пресных подземных вод в речных долинах Приамурья // Сб. Подземные воды востока России (Материалы по подземным водам Сибири и Дальнего Востока). Тюмень, 2009. С. 254—257.
- [13] *Махинов А. Н., Ким В. И., Воронов Б. А.* Наводнение в бассейне Амура 2013 года: причины и последствия // Вест. ДВО РАН. 2014. № 2. С. 5—10.
- [14] *Фишер Н. К., Кулаков В. В.* Оценка экологической безопасности использования подземных вод Среднеамурского артезианского бассейна // Экология и безопасность жизнедеятельности города: проблемы и решения: материалы 4-й региональной науч.-практ. конф. 27—28.06.2014 г. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2014. С. 120—125.
- [15] *Фишер Н. К., Кулаков В. В.* Особенности загрязнения подземных вод нефтепродуктами в период обильных осадков // Чтения памяти В. Я. Леванидова. Вып. 6. Владивосток: Дальнаука, 2014. С. 719—722.
- [16] *Шамов В. В., Ониши Т., Кулаков В. В.* Сток растворенного железа в реках бассейна Амура в конце XX века // Водные ресурсы. 2014. Т. 41, № 2. С. 206—215.
- [17] *Шестеркин В. П., Шестеркина Н. М., Форина Ю. А., Ри Т. Д.* Трансграничное загрязнение Амура в зимнюю межень 2005—2006 гг. // География и природные ресурсы. 2007. № 2. С. 40—44.
- [18] *Штенгелов Р. С.* О возможности снижения риска загрязнения приречных подземных водозаборов // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2015. № 4. С. 38—44.
- [19] *Cao Y., Tang C., Song X., Liu C., Zhang Y.* Characteristics of nitrate in major rivers and aquifers of the Sanjiang Plain, China // Journal of Environmental Monitoring. 2012. V. 10, N. 14. P. 2624—2633.

- [20] Kulakov V. V., Fisher N. K., Kondratieva L. M., Grischek T. Chapter 17. Riverbank Filtration as an Alternative to Surface Water Abstraction for Safe Drinking Water Supply to the City of Khabarovsk, Russia // C. Ray and M. Shamrukh (eds). Riverbank Filtration for Water Security in Desert Countries/ DOI 10.1007.978-94-007-0026-0_17/ Springer Science + Business Media B. V. 2011. P. 281—298.

Поступило в редакцию
12 мая 2017 г.

Pollution of groundwater in the Middle-Amur Artesian basin

© V. V. Kulakov

Institute of Water and Environmental Problems FEB RAS, Khabarovsk
E-mail: vvkulakov@mail.ru

Natural and anthropogenic pollution conditions and safety of fresh groundwater resources in the territory of the transboundary Middle-Amur artesian basin at sites of large water intakes and industrial and solid waste landfills are considered. To minimize and eliminate the risks of contamination, it is recommended that the perspective location of groundwater abstraction facilities should be oriented at a reasonable distance from the river Amur outline taking into account the existing landfills of waste storage. When solving ecological problems of safety of the use of substandard groundwater with a high natural content of iron and manganese, it is preferable to use their purification directly in the aquifer.

Key words: Groundwater, pollution, iron, manganese, Middle-Amur artesian basin.

References

- [1] Arhipov B. S., Kozlov S. A. Zagryaznenie podzemnykh vod na territorii DVFO. Razvedka i ohrana nedr. 2007. N 7. S. 86—88.
- [2] Vodno-ekologicheskie problemy bassejna reki Amur. (Otv. red. A. N. Maxinov). Vladivostok: Izd-vo DVO RAN, 2003. 187 s.
- [3] Gol'dberg V. M. Vzaimosvyaz' zagryazneniya podzemnykh vod i prirodnoy sredy. L.: Gidrometeoizdat, 1987. 246 s.
- [4] Zekcer I. S. Podzemnye vody kak komponent okruzhayushhej sredy. M.: Nauchnyj mir, 2001. 328 s.
- [5] Kondrat'eva L. M. Ekologicheskij risk zagryazneniya vodnykh ekosistem. Vladivostok: Dal'nauka, 2005. 299 s.
- [6] Kondrat'eva L. M., Fisher N. K., Berdnikov N. V. Mikrobiologicheskaya ocenka kachestva vody v rekakh Amur i Sungari posle tekhnogennoj avarii v Kitae // Vodnye resursy. 2009. T. 36, N 5. S. 575—587.
- [7] Kulakov V. V. Mestorozhdeniya presnykh podzemnykh vod Priamur'ya. Vladivostok: Izdat. DVO AN SSSR, 1990. 152 s.
- [8] Kulakov V. V. Bezopasnost' podzemnykh vod Priamur'ya // Ekologiya i bezopasnost' vodnykh resursov: mater. 2-j Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 27—28.11.2009 g. Xabarovsk: Izd-vo DVGUPS, 2009. S. 140—147.
- [9] Kulakov V. V. Ispol'zovanie vnutriplastovoj ochistki podzemnykh vod ot zheleza i manganca (na primere g. Xabarovsk) // Vestnik DVO RAN. N 2 (168). 2013. S. 84—89.
- [10] Kulakov V. V. Geokhimiya podzemnykh vod Priamur'ya. Xabarovsk: IVE'P DVO RAN, 2011. 254 s.

- [11] Kulakov V. V., Steblevskij V. I., Teslya V. G., Xerlitcius J. E'. Opytno-promyshlennaya e'kspluatatsiya pilotnoj ustanovki po podgotovke pit'evyx podzemnyx vod v vodonosnom gorizonte na Tungusskom vodozabore // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. 2012. N 7. S. 29—35.
- [12] Kulakov V. V., Shtengelov R. S. Ocenka zapasov presnyx podzemnyx vod v rechnyx dolinax Priamur'ya // Sb. Podzemnye vody vostoka Rossii (Materialy po podzemnym vodam Sibiri i Dal'nego Vostoka). Tyumen', 2009. S. 254—257.
- [13] Maximov A. N., Kim V. I., Voronov B. A. Navodnenie v bassejne Amura 2013 goda: prichiny i posledstviya // Vestnik DVO RAN. 2014. N 2. S. 5—10.
- [14] Fisher N. K., Kulakov V. V. Ocenka e'kologicheskoy bezopasnosti ispol'zovaniya podzemnyx vod Sredneamurskogo artezianskogo bassejna // E'kologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti goroda: problemy i resheniya: materialy 4-j regional'noj nauch.-prakt. konf. 27—28.06.2014 g. Xabarovsk: Izd-vo DVGUPS, 2014. S. 120—125.
- [15] Fisher N. K., Kulakov V. V. Osobennosti zagryazneniya podzemnyx vod nefteproduktami v period obil'nyx osadkov // Chteniya pamyati V. Ya. Levanidova. Vyp. 6. Vladivostok: Dal'nauka, 2014. S. 719—722.
- [16] Shamov V. V., Onishi T., Kulakov V. V. Stok rastvorennogo zheleza v rekax bassejna Amura v konce XX veka // Vodnye resursy. 2014. T. 41. N 2. S. 206—215.
- [17] Shesterkin V. P., Shesterkina N. M., Forina Yu. A., Ri T. D. Transgranichnoe zagryaznenie Amura v zimnyuyu mezen' 2005—2006 gg. // Geografiya i prirodnye resursy. 2007. N 2. S. 40—44.
- [18] Shtengelov R. S. O vozmozhnosti snizheniya riska zagryazneniya prirechnyx podzemnyx vodozaborov // Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie. 2015. N 4. S. 38—44.
- [19] Cao Y., Tang C., Song X., Liu C., Zhang Y. Characteristics of nitrate in major rivers and aquifers of the Sanjiang Plain, China // Journal of Environmental Monitoring. 2012. V. 10, N 14. P. 2624—2633.
- [20] Kulakov V. V., Fisher N. K., Kondratieva L. M., Grischek T. Chapter 17. Riverbank Filtration as an Alternative to Surface Water Abstraction for Safe Drinking Water Supply to the City of Khabarovsk, Russia // C. Ray and M. Shamrukh (eds). Riverbank Filtration for Water Security in Desert Countries/ DOI 10.1007.978-94-007-0026-0_17/ Springer Science + Business Media B. V. 2011. P. 281—298.

Изв. РГО. 2017. Т. 149, вып. 5

ОТ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ К ПРАКТИКЕ МНОВЕКТОРНОГО ПОЗНАНИЯ РЕЛЬЕФА

© Д. В. ЛОПАТИН,¹ А. И. ЖИРОВ²

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

E-mail: ¹ Lopatin12@yandex.ru,

² zhirov84@mail.ru

Геоморфология — автономная наука в системе знаний о Земле, что определяется особенностями объекта ее исследования — земной поверхностью, разделяющей подвижные и консервативные геосферы. Но индикационные возможности земной поверхности, запечатлевающей механизм взаимодействия геосфер, объясняют не только автономность геоморфологии, но и ее объединяющую