Г. Б. Еремин, А. М. Никуленков,
Д. С. Борисова, Н. А. Мозжухина

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТЬЕВОГО И ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ. ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ

НАУКА

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТЬЕВОГО И ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ. ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ

«НАУКА»
Санкт-Петербург
2022

УДК 614.7
ББК 51.21

Федеральное бюджетное учреждение науки
«Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты
прав потребителей и благополучия человека

БИБЛИОТЕКА САНИТАРНОГО ВРАЧА

Под редакцией:
д-ра мед. наук, заслуженного работника здравоохранения Российской Федерации
С. А. Горбанева

Рецензенты:
А. П. Щербо, д-р мед. наук, профессор, член-корреспондент РАН,
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации

А. О. Карелин, д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой
общей гигиены с экологией федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет
имени академика И. П. Павлова» Министерства здравоохранения
Российской Федерации

Гигиеническая безопасность подземных источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения. Зоны санитарной охраны. — СПб.: Наука, 2022. — 195 с.

ISBN 978-5-02-040491-5

Система охраны подземных источников водоснабжения насчитывает двухвековую историю развития. За это время была накоплена обширная база знаний, которая позволяет рассуждать о преимуществах и недостатках отдельных ее направлений. Одним из базовых «рубежей» системы охраны подземных вод является практика организации зон санитарной охраны (ЗСО) вокруг водозаборов. Разработка проекта ЗСО требует от специалиста одновременно хороших знаний по нормативно-правовому регулированию в области санитарно-эпидемиологического благополучия, градостроительства, земельного, водного права и специальных гидрогеологических знаний. В настоящей монографии освещен российский и международный опыт разработки проектов зон санитарной охраны подземных источников централизованного питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения населения, представлены материалы исследований по миграции патогенных микроорганизмов и химических загрязнителей в подземных водах, объясняются базовые гидрогеологические понятия и рассматриваются основные параметры, которые необходимо использовать при разработке проекта ЗСО. В монографии изложены подходы к сокращению поясов ЗСО подземных водозаборов, которые подкреплены примерами из реальной жизни.

Настоящая монография предназначена для специалистов организаций Роспотребнадзора, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, проектировщиков, экологов, инженеров, гидрогеологов, студентов медико-профилактических факультетов медицинских и технических образовательных организаций.

© ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», 2022
© Редакционно-издательское оформление. Издательство «Наука», 2022

ISBN 978-5-02-040491-5

ПРЕДИСЛОВИЕ

Государственная система охраны подземных источников водоснабжения насчитывает двухвековую историю развития. За это время была накоплена обширная база знаний, которая позволяет рассуждать о преимуществах и недостатках отдельных ее направлений. Одним из базовых «рубежей» системы охраны подземных вод является практика организации зон санитарной охраны (ЗСО) вокруг водозаборов.

Разработка проекта ЗСО требует от специалиста одновременно хороших знаний по нормативно-правовому регулированию в области санитарно-эпидемиологического благополучия, градостроительства, земельного, водного законодательства, а также специальных гидрогеологических знаний. К сожалению, анализ поступающих на экспертизу проектов ЗСО выявляет тенденцию к формальному выполнению требований нормативных документов и практически полному игнорированию реальных гидрогеологических условий, которые, собственно, и определяют размеры зон санитарной охраны. Мы связываем это с тем, что разработкой проектов ЗСО все чаще занимаются специалисты, которые не имеют достаточных знаний по гидрогеологии, а доступная профильная литература слишком специфична и сложна. Врачи территориальных управлений и центров гигиены и эпидемиологии, специалисты других экспертных организаций, которые проводят экспертизу проектов ЗСО, также не всегда могут глубоко погрузиться в гидрогеологические особенности территории.

При создании монографии мы постарались учесть собственный опыт разработки и экспертизы проектов ЗСО, а также многочисленные вопросы от специалистов, которые регулярно поступают к нам при проведении обучающих семинаров.

В монографии рассказывается об истории становления системы охраны подземных источников водоснабжения в Российской Федерации, о ее современном состоянии, а также рассмотрен опыт других стран. Отдельные главы посвящены рассмотрению

процессов, которые сопровождают миграцию патогенных микроорганизмов и химических загрязнителей в подземных водах.

Читателю на доступном языке объясняются базовые гидрогеологические понятия и рассматриваются основные параметры, которые необходимо использовать при разработке проекта ЗСО. Обсуждаются различные подходы к оценке защищенности первого от поверхности водоносного горизонта. Все материалы сопровождаются наглядными иллюстрациями и подкреплены типовыми примерами.

Отдельная глава посвящена методам расчета зон санитарной охраны подземных водозаборов. Обсуждаются их преимущества и недостатки, а также использование современных программных средств для проведения корректных вычислений.

В монографии изложены подходы к сокращению поясов ЗСО подземных водозаборов, которые подкреплены примерами из реальной жизни.

В силу того что в написании монографии принимали участие специалисты различного профиля, в монографии ряд значимых вопросов рассмотрен с разных позиций, представлены различные мнения, что, по убеждению авторов, важно с научной точки зрения и может способствовать в дальнейшем совершенствованию правового регулирования.

ВВЕДЕНИЕ

Бóльшая часть доступной пресной воды на планете хранится под землей [1]. Ежедневное водопользование более двух миллиардов человек во всем мире зависит от подземных вод [2]. Обычно хорошо защищенные водонепроницаемыми пластами, они представляют собой ценный источник питьевой воды во многих регионах мира [3, 4].

Подземные воды представляют собой наиболее важный количественный ресурс пресной воды на нашей планете. Однако в настоящее время качество подземных вод все больше подвергается воздействию антропогенных физических, химических и биологических факторов, что представляет риск для здоровья населения [1].

Глобально подземные воды составляют примерно треть всех запасов пресной воды [1, 5]. В большинстве стран мира подземные воды используются в качестве основного источника питьевого водоснабжения. Например, в Европе использование подземных вод в качестве приоритетного источника питьевого водоснабжения колеблется от 13 % (в Норвегии) до 100 % (в Дании, Литве, Австрии, Словении) [6—14]. В Германии около 70 % питьевой воды происходит из водоносных горизонтов [15]. В США средняя доля подземных вод, использующихся в качестве источника питьевой воды, составляет около 65 % [14, 16]. Процент грунтовых вод, используемых в качестве источников питьевой воды различных европейских стран, следующий: Австрия (99 %), Беларусь (80 %), Болгария (60 %), Хорватия (90 %), Эстония (70 %), Финляндия (57 %), Германия (75—90 %), Венгрия (95 %), Литва (100 %), Нидерланды (67 %), Португалия (60 %), Словацкая Республика (80 %), Словения (90 %), Швейцария (84 %), Украина (65 %) [17, 18]. Интенсивное использование грунтовых вод происходит в Израиле, а Иордан использует ресурсы невозобновляемых подземных бассейнов, что может ухудшить качество водных ресурсов вследствие возможного поступления воды с высоким содержанием солей и минералов [14, 19, 20].

Что касается Российской Федерации, то в среднем доля подземных вод в балансе хозяйственно-питьевого водоснабжения составляет 45 % [21].

Кроме того, отмечается, что в связи с изменением климата, увеличением глобального спроса на воду, связанного с экономическим ростом, ростом населения и урбанизацией, эксплуатация подземных водных объектов значительно возрастет [22—24].

Загрязнение и чрезмерное использование подземных вод вызывают их прогрессирующее качественное ухудшение и количественное снижение [25—31], в связи с чем необходимо регулярно контролировать качество грунтовых вод и находить средства для их защиты, чтобы гарантировать доступность и надлежащее качество водных ресурсов для будущих поколений [25].

В настоящее время в Российской Федерации создана и функционирует многоуровневая модель организации управления качеством и безопасностью питьевой воды, соответствующая рекомендациям ВОЗ.[1] В модели выделены рубежи охраны водоисточников, одним из которых являются зоны санитарной охраны (ЗСО). Установление ЗСО в настоящее время в условиях экономической свободы хозяйственной деятельности, многоукладности форм собственности и организации хозяйства имеет особо важное значение. Это обусловлено тем, что качество воды подземных водоносных горизонтов систематически подвергается риску загрязнения вследствие усиленной эксплуатации водоносных горизонтов, перетеканием воды из выше- или нижележащих горизонтов, а также загрязнением промышленными и коммунальными сточными водами поверхностных водоисточников, а почв отходами, образующимися в результате нарушений их сбора и накопления, эксплуатации полигонов и свалок ТКО.

Специальные мероприятия по локализации или устранению загрязнения подземных вод являются сложными и дорогостоящими, кроме того, в случае больших площадей загрязнения и значительной мощности водоносных пород их применение, как правило, не дает удовлетворительных результатов [13, 32].

Организация зон санитарной охраны источников водоснабжения, по мнению ряда ученых [13], является наиболее важным и широко используемым механизмом по защите подземных вод от загрязнения.

Пригодность водного объекта для организации питьевого водоснабжения в нашей стране устанавливается на основе проведенной санитарно-гигиенической оценки источника, возмож-

---

[1] Руководство по обеспечению качества питьевой воды. 4-е изд. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2017. Лицензия: CCDE _NC-SA 3.0. IGO

ности организации у него зон санитарной охраны, задача установления которых — обеспечение охраны источника от возможного антропогенного загрязнения.

Список литературы

1. World Water Resources at the Beginning of the 21st Century / Ed. I. A. Shiklomanov, J. C. Rodda. Cambridge, 2004.

2. *Hiscock K. M.* Groundwater in the 21st century — meeting the challenges // Sustaining groundwater resources: a critical element in the global water crisis / Ed. J. A. Jones. Heidelberg: Springer, 2011. P. 207—225.

3. *Zhu Y., Balke K. D*. Groundwater protection: what can we learn from Germany? // Journal of Zhejiang University Science B. 2008. Vol. 9 (3). P. 227—231.

4. *Baoxiang Z., Fanhai M.* Delineation methods and application of groundwater source protection zone // ISWREP 2011: International Symposium on Water Resource and Environmental Protection. Xi'an, China, 20—22 May 2011. Xi'an, 2011. P. 66—69 (IEEE Conference Publications).

5. *Danielopol D. L. Griebler C., Gunatilaka A., Notenboom J*. Present state and future prospects for groundwater ecosystems // Environmental Conservation. 2003. Vol. 30. № 2. P. 104—130.

6. Groundwater Quality and Quantity in Europe: Data and basic information: Environmental Assessment Report. Copenhagen: EEA, 1999. № 3.

7. *Almássy E., Buzás Zs*. UN/ECE Task Force on Monitoring and Assessment: Guidelines on monitoring of transboundary groundwaters: Supporting Technical Documents. In 4 v. Vol. 1: Inventory of Transboundary Groundwaters / Lelystad, 1999.

8. *Ashbolt N. J*. Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions // Toxicology. 2004. Vol. 198 (1—3). P. 229—238.

9. Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking Water Sources.World Health Organization (WHO) / Eds. O. Schmoll, G. Howard, J. Chilton, I. Chorus. Geneva; London: IWA Publishing, 2006.

10. Die Grundwasservorkommen in Deutschland // Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). 2007. [Электронный ресурс]. URL: www.bgr.bund.de/nn_322854/DE/Themen/Wasser/grundwasser_deutschland.html (дата обращения: 03.02.2021).

11. *Schima J.* Role of Ecosystems, Forests and Wetlands as Water Suppliers in Austria. National report. Seminar On The Role Of Ecosystems As Water Suppliers (Geneva, 13—14 Dec. 2004). Geneva, 2004.

12. *Martinez Navarrete C., Grima Olmedo J., Dura´nValsero J. J., Gomez Gomez J. D., Luque Espinar J. A., De la Orden Gomez J. A*. Groundwater protection in Mediterranean countries after the European water framework directive // Environmental Geology. 2008. № 54. P. 537—549.

13. *Brencic M., Prestor J., Kompare B., Matoz H., Kranjc S*. Integrated approach to delineation of drinking water protection zones // Geologija. 2009. Vol. 52 (2). P. 175—182.

14. The evolution of the law and politics of water / Eds. J. W. Dellapenna, J. Gupta. Dordrecht: Springer Science; Business Media B. V., 2009.

15. *Machida I., Rumohr S., Hartwig C., Orth K., Scheytt T*. Groundwater management in Hessen, Germany // Journal of Groundwater Hydrology. 2015. Vol. 57 (3). P. 307—315.

16. *Krauss S., Griebler C*. Pathogenic microorganisms and viruses in groundwater: Acatech Materialien. N 6: Diskussionspapier für die acatech Projektgruppe «GeoressourceWasser — Herausforderung Globaler Wandel». München: Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2011.

17. *Homer-Dixon T. F*. Environmental Scarcities and Violent Conflict: Evidence from Cases // International Security. 1994. Vol. 19 (1). P. 5—40.

18. *Raleigh C., Urdal H*. Climate change, environmental degradation and armed conflict // Political Geography. 2007. Vol. 26 (6). P. 74—694.

19. *Almássy E., Busás Zs*. Guidelines on Transboundary Ground water Monitoring. Vol. 1: Inventory of Transboundary Groundwaters (UN/ECE Task Force on Monitoring and Assessment). Lelystad, 1999.

20. *Eckstein G*. A hydrogeological perspective of the status of ground water resources under the UN Watercourse Convention // Columbia Journal of Environmental Law. 2005. Vol. 30. P. 525—564.

21. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2017 году» // Министерство природных ресурсов. [Официальный сайт]. URL: http://mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_vodnykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ispolzovanii_vodnykh_resursov_rossiyskoy_federatsii_v_2017_god/ (дата обращения: 03.02.2021).

22. *Rosegrant M. W., Cai X., Cline S. A*. World Water and Food to 2025: dealing with scarcity. Washington: International Food Policy Research Institute, 2002.

23. *Nwanosike A. A*. Effects of urbanization on groundwater quality: A case study of Port-Harcourt, Southern Nigeria // Natural and Applied Sciences Journal. 2010. Vol. 11 (2). P. 143—152.

24. *Smerdon B. D., Ransley T. R., Radke B. M., Kellett J. R*. Water resource assessment for the great artesian basin. A report to the Australian Government from the CSIRO Great Artesian Basin Water Resource Assessment (CSIRO Water for a Healthy Country Flagship, Australia). Australia: CSIRO, 2012. [Электронный ресурс]. URL: https://doi.org/10.4225/08/584c45a39e1b5

25. *Nwanosike A. A., Olasehinde P. I., Yisa J., Okosun E. A., Nwankwoala H. O., Alkali Y. B*. Geostatistical Assessment of Groundwater Quality from Coastal Aquifers of Eastern Niger Delta, Nigeria // Journal of Geo-sciences. 2012. Vol. 2 (3). P. 51—59.

26. *Custodio E*. Coastal aquifers as important natural hydrogeological structures // Groundwater and Human Development / Bocanegra E., Martìnes D., Massone H. (eds). Bremerhaven; Germany, 2002. P. 1905—1918.

27. *Amadi U. M. P., Amadi P. A*. Saltwater migration in the coastal aquifers of southern Nigeria // Journal of Mining and Geology. 1990. Vol. 26 (2). P. 35—44.

28. *Karro E., Marandi A., Vaikmae R*. The origin of increased salinity in the CambriamVendian aquifer system on the Kopli Penninsula, Northern Estonia // Hydrogeology Journal. 2004. Vol. 12 (4). P. 424—435.

29. *Faye S., Maloszewski P., Stichler W., Trimborn P., Cissé Faye S., Bécaye Gaye C*. Groundwater salinization in the Saloum (Senegal) delta aquifer using minor elements and isotopic indicators // Science of the Total Environment. 2005. Vol. 343 (1—3). P. 243—259.

30. *Zhang Q., Volkes R. E., Lockington D. A*. Numerical investigation of seawater intrusion at Gooburrum Bundaberg, Queensland Australia // Hydrogeology Journal. 2004. Vol. 12 (6). P. 674—687.

31. *Vives L., Varni M., Usunoff E*. Behaviour of the freshwater and saltwater phases in an urban area in Western Buenos Aires Province, Argentina // Hydrogeology Journal. 2005. № 13. P. 426—435.

32. *Всеволожский В. А*. Основы гидрогеологии. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, 2007.

Глава 1

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральными законами и подзаконными нормативно-правовыми актами в отношении охраны водных объектов, используемых в качестве источников питьевого водоснабжения, установлены требования, гарантирующие обеспечение населения водой надлежащего качества в достаточном количестве и обеспечивающие безопасность ее использования. Формирование системы правового обеспечения безопасности питьевого водоснабжения имеет длительную историю.

Вопросы охраны источников и безопасности питьевого водоснабжения начинают свою историю от I Водопроводного съезда в Москве, который открылся 15 марта 1893 г. После этого события съезды собирались с периодичностью один раз в два года в различных городах Российской Империи. Первая мировая война, революции и гражданская война прервали проведение съездов до 1922 г., когда собрался XII Съезд. С 1925 г. съезды стали называться «Всесоюзными водопроводными и санитарно-техническими съездами». Проведенные съезды способствовали распространению опыта проектирования и эксплуатации водопровода и канализации [1].

Впервые вопрос о необходимости охраны источников водоснабжения был рассмотрен на I Водопроводном съезде в 1893 г., на котором было признано необходимым, чтобы закон, устанавливающий охранный район по отношению к целебным водам, был распространен и на источники грунтовой воды, которые служат для водоснабжения городов [2].

Следует отметить, что зоны санитарной охраны устанавливали в дореволюционные годы в Москве, Краснодаре, Туле, Кунгуре [3].

В Ленинграде с 20 по 26 мая 1924 г. проходил VIII Съезд бактериологов, эпидемиологов и санитарных врачей, на котором впервые был поднят вопрос о важности организации ЗСО как одной

из значимых мер охраны источников водоснабжения [4, 5]. К 1927 г. зоны санитарной охраны были организованы для водопроводов 56 городов как с речным, так и грунтовым водоснабжением (34.5 % и 17.9 % соответственно).

Принятое в 1928 г. Постановление СНК РСФСР об установлении зоны санитарной охраны водных источников, служащих для центрального водоснабжения городов, рабочих поселков и других населенных мест,[1] ввело правило об обязательной организации ЗСО не только в городах, рабочих поселках и крупных населенных местах, но и для источников водоснабжения, питающих водопроводы фабрик, заводов, железнодорожного и водного транспорта в том случае, если кроме технического обслуживания водоснабжение служит для пищевых и хозяйственных целей населения. Отмеченный документ стал основой для принятия в том же году Постановления НКЗ РСФСР и НКВД РСФСР, которым было утверждено Положение о зоне санитарной охраны водных источников, служащих для центрального водоснабжения городов, рабочих поселков и других населенных мест,[2] и разработана Инструкция по установлению зоны санитарной охраны водных источников, служащих для центрального водоснабжения городов, рабочих поселков и других населенных мест, в которых отражены основы установления границ поясов ЗСО и режимов для каждого из них [6].

В целях усиления санитарной охраны за источниками водоснабжения в мае 1937 г. Центральным исполнительным комитетом совместно с Советом народных комиссаров СССР было издано Постановление о санитарной охране водопроводов и источников водоснабжения,[3] в котором на местные советы возлагалась обязанность по установлению ЗСО, границы которых должны быть отмечены на карте, а границы 1-го пояса обозначены на местности соответствующими знаками для оповещения населения о границах, поясах и установленных режимах в пределах каждого пояса зоны санитарной охраны.

Всесоюзная государственная санитарная инспекция 7 апреля 1938 г. утвердила Положение о проектировании зон санитарной

---

[1] Постановление СНК РСФСР от 06.07.1928 г. «Об установлении зоны санитарной охраны водных источников, служащих для центрального водоснабжения городов, рабочих поселков и других населенных мест».

[2] Постановление НКЗ РСФСР и НКВД РСФСР от 10 октября 1928 г., № Б-9/мв «Об утверждении Положения о зоне санитарной охраны водных источников, служащих для центрального водоснабжения городов, рабочих поселков и других населенных мест».

[3] Постановление ЦИК СССР № 96, СНК СССР, № 834 от 17 мая 1937 г. «О санитарной охране водопроводов и источников водоснабжения».

охраны источников централизованного водоснабжения и водных источников, на основе которого, в частности, проводилась санитарная оценка проектов ЗСО. В состав ЗСО входило три пояса с особым режимом — зона строгого режима, зона ограничений, зона наблюдения. Отмечалось, что верхняя граница 2-го пояса должна быть установлена на расстоянии не менее 48 часов движения воды от водозабора, так как по предположению авторов в течение этого времени происходит микробное самоочищение воды, благодаря которому границы ЗСО будут обеспечивать эпидемическую и гигиеническую безопасность воды. Данный документ посвящен в основном поверхностным водоисточникам [7].

Перечень организаций, ответственных за предупредительный санитарный надзор, в частности, за проектированием и выполнением мероприятий в зонах санитарной охраны источников водоснабжения, необходимые материалы, входящие в состав проекта, представляемого на согласование санитарным организациям, требования к мероприятиям в зонах изложены в инструкции о порядке осуществления органами государственной санитарной инспекции и санитарно-противоэпидемической службы предупредительного санитарного надзора за проектированием, строительством и вводом в эксплуатацию водопроводных и канализационных сооружений.[4]

В то же время при санитарной оценке проектов зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения следовало руководствоваться инструкцией по установлению зон санитарной охраны хозяйственно-питьевых водопроводов с подземными источниками водоснабжения.[5]

Однако определение границ поясов ЗСО источников водоснабжения крупных населенных пунктов, комплекса санитарных мероприятий и режима использования территорий в пределах границ каждого пояса должно было базироваться на материалах гидрогеологических и/или гидрологических обследований и санитарно-топографических описаний населенных пунктов района водосбора. Кроме того, установление ЗСО подземных источников водоснабжения предусматривалось в составе двух поясов: зоны строгого режима и зоны ограничений. Размеры 1-го пояса

---

[4] «Инструкция о порядке осуществления органами государственной санитарной инспекции и санитарно-противоэпидемической службы предупредительного санитарного надзора за проектированием, строительством и вводом в эксплуатацию водопроводных и канализационных сооружений» (утверждена Главным государственным санитарным инспектором СССР 7 сентября 1951 г.).

[5] «Инструкция по установлению зон санитарной охраны хозяйственно-питьевых водопроводов с подземными источниками водоснабжения» (утверждена Главной госсанинспекцией СССР 7 июля 1956 г., № 219-56).

зависели от условий защищенности и были фиксированы, в то время как границы 2-го пояса точно определены не были [2].

Вопросы проектирования, установления и эксплуатации зон санитарной охраны были отражены в законодательстве о градостроительной деятельности [8]. В рамках строительного законодательства был принят ряд документов, которые устанавливали требования к проектированию ЗСО:

— строительные нормы и правила по нормам проектирования объектов водоснабжения;[6]

— санитарные нормы проектирования промышленных предприятий, в которых было отмечено, что проект хозяйственно-питьевого водоснабжения должен предусматривать ЗСО источников водоснабжения и водопроводных сетей;[7]

— указания по проектированию сооружений для забора подземных вод,[8] в которых были даны рекомендации по определению границ и размеров 2-го пояса ЗСО расчетным способом;

— санитарные нормы проектирования промышленных предприятий, в которых было уточнено, что проект ЗСО источников водоснабжения должен соответствовать требованиям строительных норм и правил по проектированию систем водоснабжения;[9]

— строительные нормы и правила о водоснабжении, наружных сетях и сооружениях, которые заменяли ранее действующие строительные нормы и правила и включали ряд новых положений.[10] Согласно документам, подземные водоисточники были разделены на две группы в зависимости от условий защищенности: 1 — надежно защищенные горизонты; 2 — недостаточно защищенные, незащищенные горизонты, инфильтрационные водозаборы.

Допускалось уменьшение размеров 1-го пояса в случаях «одиночного водозабора в условиях, исключающих возможность загрязнения почвы». Кроме того, территория 1-го пояса ЗСО должна обеспечиваться постоянной охраной, тревожной сигнализацией и техническими средствами охраны (колючая проволока,

---

[6] СНиП II-Г.3-62 «Водоснабжение. Нормы проектирования». М.: Госстройиздат, 1963.

[7] СН 245-63 от 05.06.1963 г. «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий».

[8] СН 325-65 «Указания по проектированию сооружений для забора подземных вод». М.: Стройиздат, 1966.

[9] СН 245-71 от 05.11.1971 г. «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий».

[10] СНиП II-31-74 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения (3-е изд.)». М.: Стройиздат, 1978; СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».

охранное освещение, тропа наряда, столбы-указатели, обозначающие границы запретной зоны). Для территории 2-го пояса предусматривалась патрульная охрана.

Важным этапом на пути развития санитарного зонирования было Постановление Центрального комитета КПСС и Совета Министров СССР об улучшении проектно-сметного дела,[11] в котором было указано на ряд недостатков в работе проектных организаций и необходимость проектирования предприятий, зданий и сооружений с учетом новейших достижений научно-технического прогресса. В результате был отменен ряд санитарных правил:[12] положение о проектировании зон санитарной охраны централизованного водоснабжения и водных источников, инструкция по установлению зон санитарной охраны хозяйственно-питьевого водопровода подземных источников водоснабжения. Итогом этого пересмотра было принятие положения о порядке проектирования и эксплуатации зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения.[13] В этом документе были приведены требования к качеству воды, а также было отмечено, что проектирование ЗСО должно начинаться в соответствии с программой, приведенной в ГОСТе, устанавливающем правила выбора и оценки качества источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Необходимо отметить, что государственные отраслевые стандарты сыграли и продолжают играть важную роль в обеспечении гигиенической безопасности источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения как документы, в соответствии с которыми принимаются проектные и управленческие решения. Тем более что длительный период времени они имели обязательную для исполнения силу:

— 1944 г. — ГОСТ о правилах выбора и оценке качества водоисточника, которым необходимо было руководствоваться при выборе водоисточника;[14]

— 1957 г. — ГОСТ с аналогичным наименованием, вышедший взамен предыдущего документа, в котором уже регламенти-

---

[11] Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 28 мая 1969 г., № 390 «Об улучшении проектно-сметного дела».

[12] Приказ Министерства здравоохранения СССР от 29 августа 1972 г., № 709 «Об отмене некоторых санитарных правил».

[13] Положение о порядке проектирования и эксплуатации зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения (утв. главным государственным санитарным врачом СССР от 18 декабря 1982 г., № 2640-82).

[14] ГОСТ 2761-44 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Правила выбора и оценки качества».

ровались требования, предъявляемые к качеству воды, степень пригодности ее состава и свойств для хозяйственно-питьевого водоснабжения;[15]

— 1977 г. — в этом ГОСТе уже были приведены дополнения о том, что источник водоснабжения и водозаборные сооружения водопровода должны быть защищены посредством организации ЗСО, представлен перечень показателей, на основе которых должна устанавливаться пригодность источника для хозяйственно-питьевого водоснабжения, а выбор водоисточников необходимо осуществлять относительно их санитарной надежности, однако положения данного стандарта не распространялись на морские источники водоснабжения и источники минеральной воды.[16]

Важную роль играет ныне действующий ГОСТ все с тем же названием.[17] Положения стандарта распространяются уже и на источники с солоноватой и соленой водой и включают в себя классификацию источников водоснабжения, по которой подземные и поверхностные водоисточники делятся на 3 класса в зависимости от качества воды и необходимых мероприятий в целях доведения ее показателей до нормативных.

Долгие годы решающим документом для расчета границ 2-го и 3-го поясов ЗСО подземных источников водоснабжения являлись рекомендации, разработанные ВНИИ «ВОДГЕО».[18]

Необходимо отметить, что до введения первого закона о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения[19] в санитарном законодательстве, затрагивающем вопросы охраны источников водоснабжения, отсутствовали точные условия организации границ ЗСО [9, 10]. Так, например, границы ЗСО Западной водопроводной станции Московского водопровода охватывали всю водосборную площадь водного объекта, что указано в соответствующем Постановлении Совета Министров РСФСР.[20]

---

[15] ГОСТ 2761-57 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Правила выбора и оценки качества».

[16] ГОСТ 17.1.3.03-77 (СТ СЭВ 1924-79) «Охрана природы. Гидросфера. Правила выбора и оценка качества источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения».

[17] ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора».

[18] Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ второго и третьего поясов санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1983.

[19] Закон РСФСР «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 19 апреля 1991 г., № 1034-1 // ВСНД и ВС РСФСР. 1991. № 20. Ст. 641.

[20] Постановление Совета Министров РСФСР от 30 ноября 1971 г., № 640 «Об утверждении зоны санитарной охраны Западной водопроводной станции Московского водопровода и питающих ее источников».

В развитие положений закона о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения и положения о санитарно-эпидемиологическом нормировании[21] были утверждены и введены в действие санитарные правила и нормы о зонах санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения,[22] в которых был представлен унифицированный подход к определению границ зон санитарной охраны. Так, определяющими ЗСО факторами выступали дальность распространения загрязнения в зависимости от вида источника водоснабжения, характера загрязнения, гидрогеологических или гидрологических условий, а для подземного источника к тому же и степени естественной защищенности от поверхностного загрязнения; время выживаемости микроорганизмов и т. д. Также был представлен перечень приоритетных показателей контроля санитарного состояния подземного и поверхностного источников водоснабжения.

В соответствии с законом о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения 1999 г. и положением о санитарно-эпидемиологическом нормировании[23] в 2001 г. вводятся в действие санитарные правила, устанавливающие гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения.[24] Так, в комплекс мероприятий по санитарной охране подземных вод входила в том числе организация и эксплуатация ЗСО источников централизованного питьевого водоснабжения. Правила охраны подземных водных объектов,[25] устанавливающие порядок осуществления мероприятий по охране подземных водных объектов, включают

---

[21] Постановление Правительства РФ от 5 июня 1994 г., № 625 (ред. от 30.06.1998) «Об утверждении Положения о Государственной санитарно-эпидемиологической службе Российской Федерации и Положения о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании» (СЗ РФ. 1994. № 8. Ст. 860).

[22] СанПиН 2.1.4.027-95 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения».

[23] Постановление Правительства РФ от 24 июля 2000 г., № 554 (ред. от 15.09.2005) «Об утверждении Положения о Государственной санитарно-эпидемиологической службе Российской Федерации и Положения о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании».

[24] Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 25 июля 2001 г., № 19 «О введении в действие Санитарных правил — СП 2.1.5.1059-01» (вместе с «СП 2.1.5.1059-01. 2.1.5 «Водоотведение населенных мест. Санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения. Санитарные правила», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 16.07.2001) (Зарегистрировано в Минюсте РФ 21 августа 2001 г., № 2886).

[25] Постановление Правительства РФ от 11 февраля 2016 г., № 94 «Об утверждении Правил охраны подземных водных объектов».

установление режима хозяйственной деятельности, запрещающего работы, загрязняющие подземные воды в областях питания незащищенных водоносных горизонтов, используемых для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения.

На сегодняшний день организация ЗСО источников водоснабжения и водопроводов питьевого и хозяйственно-бытового назначения осуществляется, в частности, в соответствии с Водным кодексом Российской Федерации (ст. 43) и законом о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения (ст. 18, 60), Земельным кодексом Российской Федерации (ст. 104—106), Градостроительным кодексом Российской Федерации [11]. Закон о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения (проект) (ст. 1) вводит, в отличие от Земельного и Градостроительного кодексов, самостоятельное определение «зона санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения — зона с особыми условиями использования территорий (территория и акватория), на которой устанавливается особый санитарно-эпидемиологический режим для предотвращения ухудшения качества воды источников централизованного питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения и охраны водопроводных сооружений».

В соответствии с действующей редакцией закона о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения зоны санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения устанавливаются, изменяются и прекращают существование по решению органа исполнительной власти субъекта Российской Федерации. При этом решения об установлении, изменении зоны санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения принимаются при наличии санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии границ таких зон и ограничений использования земельных участков в границах таких зон санитарным правилам. Положение о зонах санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения утверждается Правительством Российской Федерации. Закрепление в федеральном законе порядка установления, изменения ЗСО играет важную роль [12]. В проекте изменений в закон о санитарно-эпидемиологическом благополучии (ст. 18) вводится дополнение, касающееся установления ЗСО для источников водоснабжения, расположенных в нескольких субъектах РФ, для которых федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор, в случаях, предусмотренных Правительством Российской Федерации, вправе устанавливать в санитарных правилах особенности установления границ

зон санитарной охраны и их правового режима (за исключением минимально необходимых требований для обеспечения защиты источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения).

В Градостроительном кодексе РФ ЗСО как зоны с особыми условиями использования территорий учитываются в схеме расположения земельного участка на кадастровом плане территории, в документах территориального планирования, генеральных планах поселений и городских округов, в правилах землепользования и застройки, в градостроительных регламентах, проектах планировки территорий.

Земельный кодекс РФ (ст. 56, 57) вводит ограничение прав на землю и возмещение убытков землепользователей в связи с установлением зон с особыми условиями использования территорий. В соответствии с Земельным кодексом (ст. 106) предусмотрено установление, изменение, прекращение существования зон с особыми условиями использования территорий. В соответствии с данной статьей Правительство РФ утверждает положение по каждому виду зон с особыми условиями, в котором определяются:

— порядок подготовки и принятия решений об установлении, изменении, о прекращении существования указанных зон;

— исчерпывающий перечень объектов, территорий, в связи с размещением или в целях защиты и сохранения которых устанавливается зона с особыми условиями использования территории, или критерии таких объектов, виды территорий;

— требования к предельным размерам указанных зон и (или) правила определения размеров зон, порядок обозначения границ зоны с особыми условиями использования территории;

— перечень ограничений использования земельных участков, которые могут быть установлены в границах указанных зон.

Зоны с особыми условиями использования территорий считаются установленными, измененными со дня внесения сведений о зоне с особыми условиями использования территории соответствующих изменений в сведения о такой зоне в Единый государственный реестр недвижимости.

Примером подзаконного акта, реализующего положения Земельного кодекса в отношении санитарно-защитных зон, является Постановление Правительства РФ от 3 марта 2018 г., № 222.[26] До настоящего времени аналогичного документа применительно к ЗСО не было, что препятствовало реализации указанных положений Градостроительного и Земельного кодексов [13—15].

---

[26] Постановление Правительства РФ 3 марта 2018 г., № 222 «О Правилах установления санитарно-защитных зон и использования земельных участков, расположенных в границах санитарно-защитных зон».

Важным шагом на пути обеспечения гигиенической безопасности источников питьевого водоснабжения являются ныне действующие санитарные правила и нормы о зонах санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения[27] [16]. В документе отражены основные требования к установлению границ и эксплуатации ЗСО, показана роль каждого пояса и санитарно-защитной полосы, а обязательное наличие санитарно-эпидемиологического заключения на проект ЗСО с определением границ зоны и составляющих ее поясов, планом водоохранных мероприятий, правил и особого режима использования территорий поясов ЗСО обеспечили подтверждение гигиенической надежности водоисточника. Существенным достоинством документа является формализация требований к составу проекта ЗСО [1, 13, 14]. В соответствии с Постановлением Правительства РФ № 2480[28] и Постановлением Главного государственного врача РФ № 37[29] действие санитарных норм и правил о зонах санитарной охраны продлено до 01.01.2025, кроме этого, в соответствии с указанным постановлением Правительства в действующий документ допускается внесение изменений.

Вступившие в действие новые санитарные нормы и правила[30] закрепляют то, что ЗСО устанавливаются в соответствии с законодательством Российской Федерации [17]. Указывается, что в границах ЗСО должны соблюдаться особые условия использования земельных участков и участков акваторий в соответствии с законодательством Российской Федерации, при этом сделана ссылка на СанПиН 2.1.4.1110-02. Не допускается нахождение источни-

---

[27] СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения».

[28] Постановление Правительства РФ № 2480 от 25 декабря 2021 г. «О внесении изменений в постановление Правительства от 31 декабря 2020 г., № 2467».

[29] Постановление Главного государственного врача РФ № 37 от 14 декабря 2021 г. «О внесении изменения в Постановление Главного государственного санитарного врача РФ» от 2 января 2021 г., № 3: Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде, питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

[30] СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде, питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

ков загрязнения почвы и грунтовых вод в месте пролегания водоводов в пределах 10 метров от водовода по обе его стороны и не менее 20 метров при диаметре водоводов более 1000 миллиметров. Не допускается прокладка водоводов по территории свалок, полей фильтрации, полей орошения, кладбищ, скотомогильников, а также прокладка магистральных водоводов по территории промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

Применительно к подземным источникам нецентрализованного водоснабжения в этом документе[31] представлен перечень геологических и гидрологических данных при разработке ЗСО, а также подчеркивается необходимость обследования близлежащей территории с учетом наличия возможных источников микробного или химического загрязнения воды при выборе места размещения водозабора [18].

Процесс становления системы защиты источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения имеет длительную историю. Решающую роль в обеспечении гигиенической безопасности водоснабжения в Российской Федерации играют ЗСО, основной задачей которых является санитарная охрана водоисточников, водопроводных сооружений и территорий, на которых они расположены, водопроводов питьевого водоснабжения с целью предотвращения негативного антропогенного воздействия [19—24].

Список литературы

1. *Еремин Г. Б., Выучейская Д. С.* Питьевая вода подземных источников и обеспечение ее гигиенической безопасности // Современные проблемы оценки, прогноза и управления экологическими рисками здоровью населения и окружающей среды, пути их рационального решения. Мат-лы III Международного форума Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды. М., 2018. С. 106—109.

2. *Выучейская Д. С., Бадаева Е. А., Башкетова Н. С.* Развитие системы охраны источников питьевого водоснабжения в России // Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2018. Т. 13. № 2. С. 775—785.

3. *Гольдберг В. М., Газда С.* Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984.

4. *Авидсон С.* 8-й съезд бактериологов, эпидемиологов и санитарных врачей в Ленинграде (20—26 мая 1924 г.) // Профилактическая медицина. 1924. № 7/8. С. 157—167.

---

[31] СанПиН 2.1.4.1175-02 «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников».

5. *Орадовская А. Е., Лапшин Н. Н.* Санитарная охрана водозаборов подземных вод. М.: Недра, 1987.

6. *Лопатин С. А., Байченко Л. А., Терентьев Л. А.* Охрана водоисточников в России: основные этапы, перспективы // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. «Экономика и экологический менеджмент». 2015. № 4. С. 305—308.

7. *Язвин А. Л.* Научное обоснование информационного обеспечения системы геологического изучения ресурсного потенциала пресных подземных вод. Дис. … докт. геол.-минерал. наук. М., 2015.

8. *Борисова Д. С., Ломтев А. Ю., Еремин Г. Б., Мозжухина Н. А., Ганичев П. А., Мясников И. О., Метелица Н. Д.* Формирование системы охраны подземных источников водоснабжения в Российской Федерации // Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2020. Т. 15. № 1. С. 330—342.

9. *Гладун Е. Ф., Мадьярова Е. П.* Актуальные вопросы установления границ зон санитарной охраны (ЗСО) источников подземного водоснабжения // Актуальные вопросы юриспруденции и экономики. Мат-лы межвуз. науч.-практ. конф. АНОО ВО «Уральский финансово-юридический институт». 2017. С. 36—43.

10. *Волков Г. А.* Нормативы зон санитарной охраны источников водоснабжения как важнейшее звено эколого-правового механизма // Экологическое право. 2014. № 5. С. 32—38.

11. *Ломтев А. Ю., Карелин А. О., Еремин Г. Б., Мозжухина Н. А., Фридман К. Б., Горбанев С. А.* Современные проблемы применения законодательства о зонах санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения в Российской Федерации // Современные методологические проблемы изучения, оценки и регламентирования факторов окружающей среды, влияющих на здоровье человека. Мат-лы Международного форума Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды, посвященного 85-летию ФГБУ «Научно-исследовательский институт экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина» Минздрава России. 2016. С. 18—22.

12. *Лопатин С. А., Байченко Л. А., Терентьев Л. А.* Охрана водоисточников в России: основные этапы, перспективы // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. «Экономика и экологический менеджмент». 2015. № 4. С. 305—308.

13. *Горбанев С. А., Никуленков А. М., Еремин Г. Б., Башкетова Н. С., Бадаева Е. А., Ломтев А. Ю.* Проблемы проектирования и санитарно-эпидемиологической экспертизы проектов зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 12. С. 1152—1156.

14. *Еремин Г. Б., Бадаева Е. А., Носков С. Н., Башкетова Н. С., Фридман К. Б., Карелин А. О., Мозжухина Н. А.* Современные проблемы применения санитарных правил и норм организации зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 12. С. 1157—1161.

15. *Ганичев П. А., Мясников И. О.* К вопросу экспертизы проектов зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения //

Анализ риска здоровью — 2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью Rise-2020 и круглым столом по безопасности питания. Мат-лы X Всероссийской науч.-практ. конф. с международным участием. В 2-х т. / Под ред. А. Ю. Поповой, Н. В. Зайцевой. 2020. С. 136—141.

16. *Ганичев П. А*. Обеспечение гигиенической и экологической безопасности подземных водных ресурсов // Тез. докл. XVIII Всероссийской конференции-конкурсе студентов и аспирантов. Санкт-Петербургский Горный университет. СПб., 2020. С. 362—363.

17. *Никуленков А. М., Еремин Г. Б., Носков С. Н., Мозжухина Н. А., Вилькина М. В*. Проблемы обоснования зон санитарной охраны подземных водозаборов: анализ основных геологических факторов // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 8. С. 762—768.

18. *Карелин А. О., Ломтев А. Ю., Еремин Г. Б., Мозжухина Н. А., Фридман К. Б., Горбанев С. А*. О практике применения санитарных правил и норм о гигиенических требованиях к источникам нецентрализованного водоснабжения // Современные методологические проблемы изучения, оценки и регламентирования факторов окружающей среды, влияющих на здоровье человека. Мат-лы Международного форума Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды, посвященного 85-летию ФГБУ «НИИ ЭЧ и ГОС им. А. Н. Сысина» Минздрава России. В 2-х ч. 2016. С. 277—279.

19. *Григорьев Р. В., Оль Е. М*. Правовой режим зон санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения // Научные исследования: теория, методика и практика. Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары, 21 мая 2017 г. 2017. С. 260—266.

20. *Карелин А. О., Ломтев А. Ю., Еремин Г. Б., Мозжухина Н. А*. Зоны санитарной охраны водоисточников // Экология производства. 2016. № 5. С. 36—40.

21. *Карелин А. О., Ломтев А. Ю., Еремин Г. Б., Фридман К. Б., Горбанев С. А.* О практике применения санитарных правил и норм о гигиенических требованиях к источникам нецентрализованного водоснабжения // Современные методологические проблемы изучения, оценки и регламентирования факторов окружающей среды, влияющих на здоровье человека. Сборник Международного форума Научного Совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды. М., 2016. С. 277—278.

22. *Ломтев А. Ю., Карелин А. О., Еремин Г. Б., Мозжухина Н. А., Фридман К. Б., Горбанев С. А*. Современные проблемы применения законодательства о зонах санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения в Российской Федерации // Там же. С. 18—22.

23. *Тихомирова Л. А*. Зоны с особыми условиями использования территорий: особенности правового регулирования. [Электронный ресурс]. URL: http://base.garant.ru/57509230/ (дата обращения 03.05.2021).

24. *Ширина Н. В., Кононова О. Ю*. Актуальность проблемы учета зон с особыми условиями использования территории // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2014. № 2. С. 135—138.

Глава 2

СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПИТЬЕВОГО И ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Государствами на законодательном уровне разрабатываются системы управления безопасностью питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения [1, 2]. Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) разработаны концепция и меры по управлению качеством питьевой воды, согласно которой эффективным средством непрерывного обеспечения безопасности питьевого водоснабжения является использование метода оценки риска и управления риском, который основывается на многобарьерной функции защиты, охватывающей всю систему водоснабжения и ее функционирование, систему анализа рисков и критических контрольных точек.[1]

Управление риском именуется планами обеспечения безопасности воды, а индикаторами риска являются: оценка системы (ее уязвимости), мониторинг, регулирование и оповещение, анализ здоровья населения и эффективность надзора. Необходимо отметить, что в Российской Федерации создана и функционирует исчерпывающая многоуровневая модель организации управления качеством и безопасностью питьевого водоснабжения, соответствующая рекомендациям ВОЗ. В основе созданной системы лежит гигиеническое нормирование [3—7]. В модели выделены рубежи, задача которых состоит в обеспечении гигиенической безопасности питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения: источник водоснабжения, его свойства (характеристики) и качество воды в нем, зоны санитарной охраны источни-

[1] Руководство по обеспечению качества питьевой воды. 4-е изд. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2017.

ка, обеспечивающие его безопасность, эффективность очистных сооружений (методов очистки), транспортировки, качество воды, получаемой потребителем [8—13].

Федеральными законами в отношении охраны водных объектов установлены требования, гарантирующие обеспечение населения водой надлежащего качества в достаточном количестве и обеспечивающие безопасность ее использования, основными из которых являются:

— приоритет использования водных объектов для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения перед иными целями их использования;

— использование для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения защищенных от загрязнения и засорения поверхностных и подземных водных объектов, в отношении которых устанавливаются ЗСО и в пределах которых запрещен сброс сточных, в т. ч. дренажных вод;[1]

— ограничение оборота земельных участков в поясах зон санитарной охраны водных объектов, используемых для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения.[2]

Также установлены требования, согласно которым водные объекты:

— не должны являться источниками биологических, химических и физических факторов вредного воздействия человека и должны иметь санитарно-эпидемиологические заключения о соответствии водного объекта санитарным правилам и условиям безопасного для здоровья населения использования;[3]

— должны иметь нормативы допустимых воздействий на водные объекты, нормативы допустимых сбросов химических, биологических веществ и микроорганизмов, проекты округов и зон санитарной охраны;[4]

— территории, на которых размещены водные объекты, относятся к категории зон с особыми условиями использования, т. е. к зонам с ограниченным режимом использования, сведения о которых учитываются в документах территориального планирования;[5]

---

[1] Водный кодекс Российской Федерации № 74-ФЗ от 3 июня 2006 г.

[2] Земельный кодекс Российской Федерации № 136-ФЗ от 25 октября 2001 г.

[3] Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ.

[4] Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ.

[5] «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ.

— обеспечиваются государственным мониторингом, производственным контролем;[6]

— обеспечивают эффективную эксплуатацию объектов водоснабжения, для чего установлены показатели надежности и качества, энергетической эффективности объектов централизованных систем холодного водоснабжения.[7]

Забор воды для питьевого водоснабжения с использованием централизованных систем холодного водоснабжения должен производиться из источников, разрешенных к использованию в качестве источников питьевого водоснабжения в соответствии с законодательством Российской Федерации.[8] При отсутствии таких источников либо в случае экономической неэффективности их использования забор воды из источника водоснабжения и подача организацией, осуществляющей холодное водоснабжение питьевой водой абонентов, осуществляется по согласованию с территориальным органом федерального органа исполнительной власти, осуществляющего федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор.

Добыча подземных вод для целей питьевого или технического водоснабжения должна осуществляться с соблюдением правил охраны подземных водных объектов, а также основных требований по рациональному использованию и охране недр.[9]

Охрана подземных водных объектов[10] осуществляется путем проведения мероприятий по предупреждению загрязнения, засорения подземных водных объектов, истощения их запасов, а также ликвидации последствий указанных процессов и включает в себя:

а) мероприятия по предотвращению поступления загрязняющих веществ в подземные воды, в т. ч. путем установления зон санитарной охраны водоисточников;

---

[6] Федеральный закон «О водоснабжении и водоотведении» от 7 декабря 2011 г. № 416-ФЗ; Постановление Правительства РФ «О порядке осуществления производственного контроля качества и безопасности питьевой воды, горячей воды» от 6 января 2015 г. № 10.

[7] Приказ Минстроя России «Об утверждении перечня показателей надежности, качества, энергетической эффективности объектов централизованных систем горячего водоснабжения, холодного водоснабжения и (или) водоотведения, порядка и правил определения плановых значений и фактических значений таких показателей» от 4 апреля 2014 г. № 162/пр.

[8] Федеральный закон «О водоснабжении и отведении» от 7 декабря 2011 г. № 416-ФЗ.

[9] Закон РФ «О недрах» от 21 февраля 1992 г. № 2395-1.

[10] Постановление Правительства РФ от 11 февраля 2016 г. № 94 «Об утверждении Правил охраны подземных вод от загрязнения».

б) мероприятия по ликвидации последствий загрязнения, засорения подземных вод и истощения их запасов;

в) наблюдение за химическим, микробиологическим и радиационным состоянием подземных вод;

г) наблюдение за уровенным режимом подземных вод;

д) определение объемов добычи (извлечения) подземных вод из подземных водных объектов в соответствии с утвержденной в установленном порядке проектной документацией и (или) техническим проектом разработки месторождений полезных ископаемых;

е) определение объемов, размещаемых попутных (пластовых) вод, радиоактивных отходов, отходов производства и потребления I—V классов опасности в глубокие горизонты (коллекторы) в соответствии с утвержденной в установленном порядке проектной документацией;

ж) определение объемов сточных вод, размещаемых в подземных водных объектах, которые не используются и не могут быть использованы для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения в соответствии с утвержденной в установленном порядке проектной документацией;

з) установление режима хозяйственной деятельности, запрещающего работы, загрязняющие подземные воды в границах зон санитарной охраны водозаборов питьевых подземных вод, границах округов горно-санитарной охраны месторождений минеральных вод, а также в областях питания незащищенных водоносных горизонтов, используемых для целей централизованного и нецентрализованного питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения.

В перечень целевых показателей качества питьевой воды[11] включены:

— показатель надежности и бесперебойности — количество перерывов в подаче воды, возникших в результате аварий, повреждений и иных технологических нарушений в расчете на протяженность водопроводной сети в год (ед./км);

— доля проб питьевой воды, подаваемой с водопроводных станций в распределительную водопроводную сеть, отобранных по результатам производственного контроля качества питьевой воды, не соответствующих установленным требованиям;

— доля проб питьевой воды в распределительной водопроводной сети, отобранных по результатам производственного

---

[11] Постановление Правительства РФ «О стандартах раскрытия информации в сфере водоснабжения и водоотведения» от 17 января 2013 г. № 6.

контроля качества питьевой воды, не соответствующих установленным требованиям.

Для поддержания качества питьевой воды на подземных водозаборах централизованного водоснабжения организуются три пояса санитарной охраны.

Назначение 1-го пояса — это защита места водозабора и водозаборных сооружений от случайного или умышленного загрязнения и повреждения. Первый пояс назначается в виде окружности радиусом 50 м от скважины и может быть сокращен до 30 м при соответствующем обосновании защищенности эксплуатируемых подземных вод. Более подробно защищенность подземных вод обсуждается в главе 7.

2-й пояс (зона микробного загрязнения) определяется гидродинамическим расчетным путем и включает территорию, предназначенную для предупреждения загрязнения воды источников водоснабжения от микробного загрязнения. В расчетах принимается, что время продвижения микробного загрязнения воды до водозабора, в зависимости от климатических районов и защищенности подземных вод, составляет от 100 до 400 сут. Тема миграции патогенных микроорганизмов в подземных водах раскрыта более подробно в главе 4.

3-й пояс ЗСО предназначен для защиты водоносного пласта от химического загрязнения. Он, так же как и 2-й пояс, определяется гидродинамическими расчетами. При назначении 3-го пояса следует исходить из того, что время движения химического загрязнения к водозабору должно быть больше времени эксплуатации водозабора. Как правило, оценка запасов подземных вод для водозаборов проводится на 25 лет, поэтому для расчетов принимается время, равное 9125 дней (25 лет).

Различные гидродинамические методы расчета 2-го и 3-го поясов ЗСО подробно разбираются в главе 8, а параметры, которые необходимо использовать в расчетах, обсуждаются в главе 6.

Список литературы

1. *Башкетова Н. С., Выучейская Д. С., Сладкова Ю. Н., Еремин Г. Б., Фридман К. Б.* Регулирование качества питьевой воды. Сравнение национальных и международных стандартов // Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2018. Т. 13. № 3. С. 1136—1148.

2. *Горбанев С. А., Еремин Г. Б., Новикова Ю. А., Выучейская Д. С.* Федеральный проект «Чистая вода». Первые итоги // Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2019. Т. 14. № 1. С. 252—259.

3. *Копытенкова О. И., Новикова Ю. А., Еремин Г. Б.* Современный подход к выбору технологий водоподготовки с учетом методологии оценки риска здоровью населения // Безопасность жизнедеятельности. 2020. № 5 (233). С. 19—24.

4. *Еремин Г. Б., Носков С. Н., Сладкова Ю. Н., Бадаева Е. А., Борисова Д. С., Ломтев А. Ю., Мозжухина Н. А*. Научное обоснование и актуализация гигиенических требований к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения // Отчет о НИР (Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека). 2018. [Электронный ресурс]. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42965376

5. *Копытенкова О. И., Леванчук А. В., Новикова Ю. А., Еремин Г. Б., Рябец В. В*. Оценка технологии водоподготовки на основе расчета риска здоровью населения // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021616307, 20.04.2021. Заявка № 2021615210 от 12 апреля 2021 г. [Электронный ресурс]. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45822468

6. *Горбанев С. А., Никуленков А. М., Еремин Г. Б., Башкетова Н. С., Бадаева Е. А., Ломтев А. Ю.* Проблемы проектирования и санитарно-эпидемиологической экспертизы проектов зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 12. С. 1152—1156.

7. *Еремин Г. Б., Ломтев А. Ю., Карелин А. О., Мозжухина Н. А., Киселев А. В., Мельцер А. В., Якубова И. Ш., Никонов В. А*. Организационные и методические основы разработки и санитарно-эпидемиологической экспертизы проектов санитарно-защитных зон предприятий, зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения // СПб.: Изд-во СЗГМУ им. И. И. Мечникова. 2014.

8. *Еремин Г. Б., Выучейская Д. С*. Питьевая вода подземных источников и обеспечение ее гигиенической безопасности // Современные проблемы оценки, прогноза и управления экологическими рисками здоровью населения и окружающей среды, пути их рационального решения. Мат-лы III Международного форума Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды. 2018. С. 106—109.

9. *Мясников И. О., Новикова Ю. А., Алентьева О. С., Еремин Г. Б., Ганичев П. А*. Производственный контроль как составная часть мониторинга качества питьевой воды // Здоровье населения и среда обитания: ЗНиСО. 2020. № 10 (331). С. 9—14.

10. *Борисова Д. С., Ломтев А. Ю., Еремин Г. Б., Мозжухина Н. А., Ганичев П. А., Мясников И. О., Метелица Н. Д.* Формирование системы охраны подземных источников водоснабжения в Российской Федерации // Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2020. Т. 15. № 1. С. 330—342.

11. *Борисова Д. С., Никуленков А. М., Еремин Г. Б., Мозжухина Н. А., Ломтев А. Ю., Бадаева Е. А*. К вопросу миграции патогенных микроорганизмов из источников загрязнения в зонах санитарной охраны подземных источников питьевого и хозяйственно-бытового

водоснабжения. Обзор литературы // Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2020. Т. 15. № 1. С. 342—359.

12. *Еремин Г. Б., Бадаева Е. А., Носков С. Н., Башкетова Н. С., Фридман К. Б., Карелин А. О., Мозжухина Н. А*. Современные проблемы применения санитарных правил и норм организации зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 12. С. 1157—1161.

13. *Никуленков А. М., Еремин Г. Б., Носков С. Н., Мозжухина Н. А., Вилькина М. В.* Проблемы обоснования зон санитарной охраны подземных водозаборов: анализ основных геологических факторов // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 8. С. 762—768.

Глава 3

МЕЖДУНАРОДНОЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Необходимость охраны подземных источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения диктуется рядом причин, в число которых входят климатические изменения, рост антропогенной нагрузки, увеличение потребности в питьевой воде [1—12]. Пионером в области охраны питьевых вод в мире являлся СССР. Первые шаги в решении данного вопроса были предприняты в США спустя лишь несколько десятилетий. Наряду с советскими разработками Руководства США и Германии до сих пор являются фундаментальными и содержат основополагающие рекомендации по защите подземных вод.

Водоохранные мероприятия в отношении водоисточника подразделяются на активные и пассивные [13]. Среди активных мер можно выделить: проведение специальных мероприятий по локализации участка загрязнения (например, устройство противофильтрационных экранов и завес, перехват загрязненных вод с помощью дренажных устройств) или ликвидации загрязнения путем извлечения всего объема загрязненной воды или промывки пласта с помощью воды или специальных растворов через систему нагнетательных и откачивающих скважин [13—19]. Специальные мероприятия по локализации или устранению загрязнения подземных вод являются сложными и дорогостоящими, кроме того, в случае больших площадей загрязнения и значительной мощности водоносных пород их применение, как правило, не дает удовлетворительных результатов [13, 20, 21].

Пассивные меры, включающие организацию зон санитарной охраны источников водоснабжения, по мнению ряда ученых [13, 15, 20], являются наиболее важными и широко используемыми механизмами по защите подземных вод от загрязнения.

В целом практика использования зон санитарной охраны водоисточников хорошо известна [9, 12, 13, 15, 22—37]. Однако

более точное понимание мировой практики организации зон санитарной охраны необходимо для выявления различий в стратегии управления механизмами защиты водных ресурсов в разных странах, что будет способствовать совершенствованию национальной водной политики в вопросах охраны подземных источников водоснабжения.

Подходы к организации ЗСО в разных странах. Многие страны придерживаются политики по предотвращению загрязнения подземных вод, разработав и внедрив специальные программы, включающие регулирующий контроль деятельности, в результате которой образуются или используются загрязняющие материалы, и/или контроль попадания потенциальных загрязнителей в поверхностные и подземные воды [38]. Однако подход, подразумевающий установление защитных зон (ЗСО) (несмотря на признание их желательности), применяется не во всех странах [39]. Это может быть связано с рядом факторов, включающих отсутствие достаточно подробной информации о гидрогеологических условиях [39, 40] или о существующих видах землепользования, которые препятствуют установлению ЗСО. Кроме того, бедность, неопределенность владения территориями и ограниченные возможности по предоставлению компенсационных выплат предполагают, что такой подход может быть трудным с точки зрения его реализации, особенно в развивающихся странах [38].

В наиболее развитых странах разработаны и приняты специальные директивы, в целях стимулирования действий, направленных на охрану водных ресурсов, используемых для питьевого водоснабжения. Первые шаги по разработке нормативных документов в части установления зон санитарной охраны водоисточников были предприняты США и Германией, чьи руководства [41—43] до сих пор являются фундаментальными и содержат основополагающие рекомендации по защите подземных вод. В руководстве [41] описываются основные возможные способы разграничения ЗСО с учетом различных гидрогеологических условий, приводятся критерии и методы, которые могут быть приняты для определения границ ЗСО. К числу критериев отнесены расстояния, время продвижения, границы системы водотока, способность водоисточника ассимилировать загрязнители. Установление ЗСО направлено на устранение трех видов угроз: от прямого попадания контаминантов в водозабор (через сам водозабор или прилегающую зону), от химического или микробиологического загрязнения. Прилегающая к водозабору зона защищает от случайных загрязнений. В настоящее время многими странами установлены границы и размеры зон санитарной охраны.

В Европейских странах Директивой 2000/60/ЕС от 23 октября 2000 г. Европейский парламент и Совет Европейского союза [20, 44] установили основы для действий Сообщества в области водной политики (Водная Рамочная Директива), в соответствии с которой охрана водных ресурсов является основной задачей [45].

Например, согласно данной Директиве, для водных объектов, которые используются для питьевого водоснабжения, должны быть определены охраняемые территории (Приложение IV к Директиве), обеспечена необходимая защита, в т. ч. путем установления зон санитарной охраны.

Государства-члены ЕС подошли к решению вопроса организации защитных зон (ЗЗ) или зон санитарной охраны (ЗСО) с помощью национального законодательства, в котором, хотя и с некоторыми отличиями, выделяются три основные зоны [12, 45, 48]: внутренняя зона (пояс 1 — область, непосредственно окружающая подземный водозабор); промежуточная зона (пояс 2 — область, окружающая предыдущую, определяется на основе времени продвижения загрязнения с потоком подземных вод к водозабору); внешняя зона (пояс 3 — территория вокруг источника, в пределах зоны водосбора).

Сравнение границ ЗСО в разных странах представлено в таблице 1 (по: [38]).

Таблица 1

Границы ЗСО в разных странах

Страна	Зона охраны водозаборной скважины или внутренняя зона	Средняя зона	Внешняя зона
		Время продвижения загрязнения с потоком подземных вод к водозабору и/или радиус зоны	
Австралия	50 м	10 лет	Весь водосбор
Австрия	< 10 м	60 дней	Весь водосбор
Дания	10 м	60 дней или 300 м	10—20 лет
Германия	10—30 м	50 дней	Весь водосбор
Гана	10—20 м	50 дней	Весь водосбор
Индонезия	10—15 м	50 дней	Весь водосбор
Ирландия	100 дней или 300 м	—	Весь водосбор или 1000 м
Оман	365 дней	10 лет	Весь водосбор
Швейцария	10 м	Устанавливается индивидуально	Двойной размер ЗСО средней зоны
Великобритания	50 дней и 50 м минимум	400 дней	Весь водосбор

Исходя из данных, приведенных в таблице 1, для установления 1-го пояса ЗСО используются геометрические методы: арбитражный метод фиксированного радиуса (Австралия, Германия, Швейцария) и метод расчетного радиуса, где критерием является не расстояние, а время продвижения загрязнения (Оман), или же оба подхода (Великобритания, Ирландия). Как отмечено в руководстве, выбор критериев зависит от технических и нетехнических причин, преимущественно связанных с экономическим обоснованием используемой программы.

Выбор метода определения границ 1-го пояса ЗСО расстоянием (фиксированным радиусом) является самым простым и дешевым, однако данный метод не учитывает характеристики водотока и распространение загрязнителей. По сути он является арбитражным методом, основанным на предыдущем опыте контроля распространения загрязнения и преимущественно соображениях нетехнического характера, и может как преувеличивать, так и преуменьшать вероятность загрязнения. Метод расчетного радиуса, также относящийся к геометрическим методам, оставаясь достаточно простым, представляет собой аналитический метод, учитывающий физические процессы, такие как конвекция, но вместе с тем не учитывающий многие другие процессы.

Надо отметить, что арбитражный (экспертный) подход к определению границ 1-го пояса ЗСО дает значительный разброс минимальных значений ЗСО в различных странах (10—300 м). При этом используются различные критерии, позволяющие выбрать минимальное значение, среди которых присутствуют расстояние от источников загрязнения и восприимчивость к загрязнению. В российской практике в качестве такого показателя используется защищенность водоносного горизонта.

Средняя зона, направленная на защиту от загрязнения, устанавливается расчетом с учетом гидрогеологических параметров различными методами, при этом принятые критерии (время продвижения загрязнения) значительно различаются: от 50 дней в Германии до 10 лет в Австралии и Омане. Внешняя зона защиты водозаборной скважины также устанавливается расчетом и преимущественно включает всю область питания водозабора.

В некоторых случаях может быть предусмотрено разделение основных зон на подзоны. Так, в Германии зону 3 можно разделить на две подзоны, если ее протяженность превышает 2 км [3]. В Бельгии [49] и Италии [50] дополнительно на две подзоны может быть разделена зона 2, где границы данных подзон зависят от времени продвижения загрязнения (микробного и химического) с потоком подземных вод к водозабору. Кроме того, в некоторых странах, например во Франции и Великобритании [48], в соот-

ветствии с конкретными гидрогеологическими особенностями или условиями уязвимости того или иного источника водоснабжения, может быть добавлена еще одна зона (зона 4). На рис. 1 представлена общая схема деления ЗСО в Европейских странах.

Директива 2006/118/ЕС Европейского Парламента и Совета от 12 декабря 2006 г. по охране подземных вод от загрязнения и ухудшения их состояния [52] устанавливает режим, касающийся стандартов качества подземных вод, и описывает мероприятия по предотвращению или ограничению попадания загрязняющих веществ в подземные воды [46]. Директива представляет пропорциональный и научно обоснованный ответ на требования Водной Рамочной Директивы касательно оценки химического статуса подземных вод, определения и предотвращения значительных негативных тенденций в концентрациях в них загрязняющих веществ [46]. Согласно Директиве государства-члены ЕС обязаны разработать соответствующие стандарты с учетом местных или региональных условий.

В США защита питьевой воды — главный приоритет Агентства по защите окружающей среды США (*United States Environmental Protection Agency*) [53]. Основным федеральным законом, обеспечивающим качество питьевой воды на территории Соединенных Штатов Америки, является закон о безопасной питьевой воде (*Safe Drinking Water Act — SDWA*), принятый в 1974 г. Конгрессом [54]. Отмеченный закон требует принятия множества мер для защиты питьевой воды и ее источников. Признавая, что лучший способ поддерживать высокое качество питьевой воды — это предотвращать попадание загрязняющих веществ в водоисточники, в 1986 г. в отмеченный закон были внесены поправки, требующие от штатов разработки программ по защите подземных

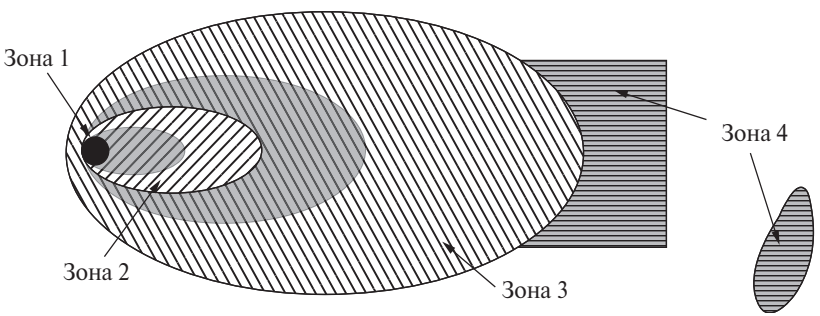


Рис. 1. Общая схема деления ЗСО в Европейских странах

Светло-серым выделены дополнительные подзоны

водозаборов [55]. В соответствии с принятыми поправками, каждый штат должен обеспечить установление зон, обеспечивающих защиту водозаборных скважин (Wellhead Protection Areas — WHPA), которые определяются как «поверхностные и подземные области, окружающие скважину или область нескольких скважин, снабжающих общественные системы водоснабжения, через которые загрязняющие вещества с разумной вероятностью могут попадать, двигаясь к данной скважине, и достигнут ее».

После внесения поправок 1986 г. в закон о безопасности питьевой воды [56] Агентство по охране окружающей среды США столкнулось с необходимостью учета гидрогеологических аспектов защиты подземных вод, в связи с чем было разработано руководство по разграничению зон защиты водозаборных скважин [41]. В Руководстве описываются основные и возможные способы разграничения зон с учетом различных гидрогеологических условий, приводятся критерии и методы, которые могут быть приняты для определения границ зон защиты подземных водозаборов.

Выделяются следующие основные пояса зон защиты подземных водозаборов (рис. 2, по: [23]): область над воронкой депрессии, область питания, область захвата.

Однако в зависимости от конкретных гидрогеологических и экологических условий каждый штат может разрабатывать свои программы по установлению границ зон защиты [57].

Так, на рис. 3 показан пример установления границ зон защиты водозаборной скважины в Нью-Джерси. Зона защиты скважины состоит из трех уровней, которые определяются исходя из скорости и направления движения подземных вод. Уровень 1 (2-летнее время продвижения (ВП) загрязнения с потоком подземных вод к водозабору) обозначен светло-серым цветом, уровень 2 (5-летнее ВП) показан серым цветом, а уровень 3 (12-летнее ВП) отмечен темно-серым цветом. Движение грунтовых вод осуществляется слева направо в сторону скважины рядом с центром уровня 1 [57].

Австралийская национальная стратегия управления качеством воды (The Australian National Water Quality Management Strategy) представлена совместным проектом по улучшению качества воды в Австралии и Новой Зеландии. В рамках этой стратегии были разработаны документы, касающиеся защиты, в том числе подземных вод. Так, Советом по сельскому хозяйству и управлению ресурсами Австралии и Новой Зеландии в 1995 в 1996 гг. разработаны Руководства [58, 59, 60], обеспечивающие согласованный подход во всех административных территориях, соответствующий местным или региональным

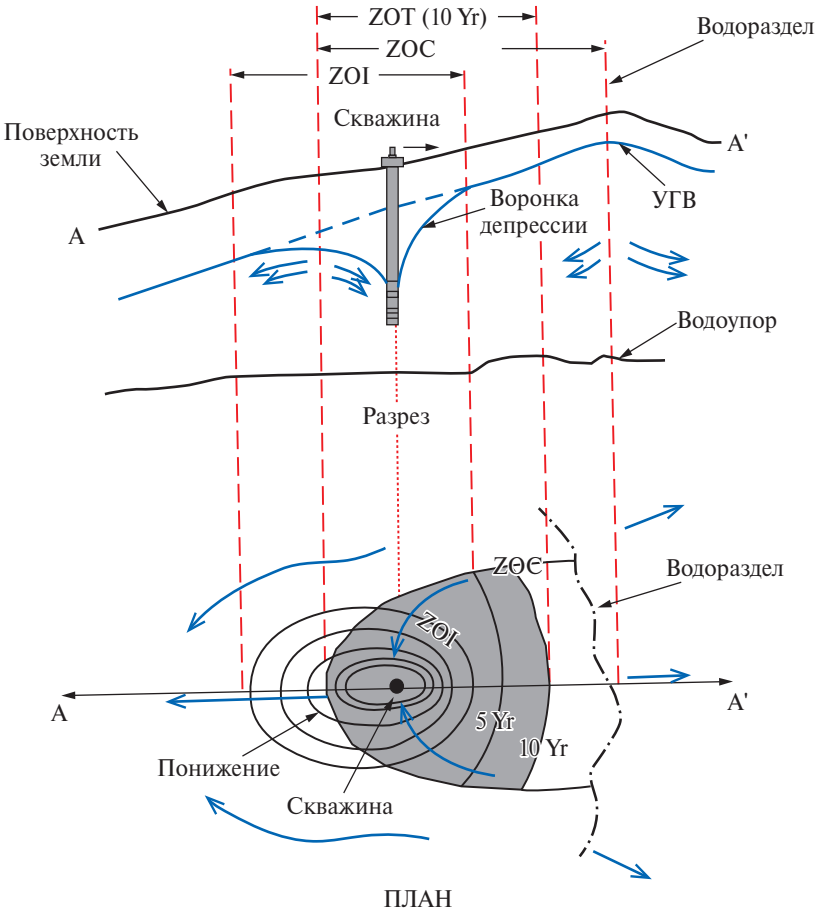


Рис 2. Пример распределения подзон зон защиты водозаборных скважин в соответствии с программой, утвержденной Агентством по охране окружающей среды США

масштабам, поддерживающий как охрану окружающей среды, так и экономическое развитие регионов. В руководствах отмечается, что мероприятия по защите водозаборных скважин считаются одним из основных инструментов сохранения ресурсов подземных вод. В Руководстве 1995 г. описан упрощенный подход на основе установления защитных зон вокруг водозаборной скважины [58]. Выделяют три защитные зоны с разными запретами или ограничениями в отношении землепользования, хозяйственной или иной деятельности [60, 61].

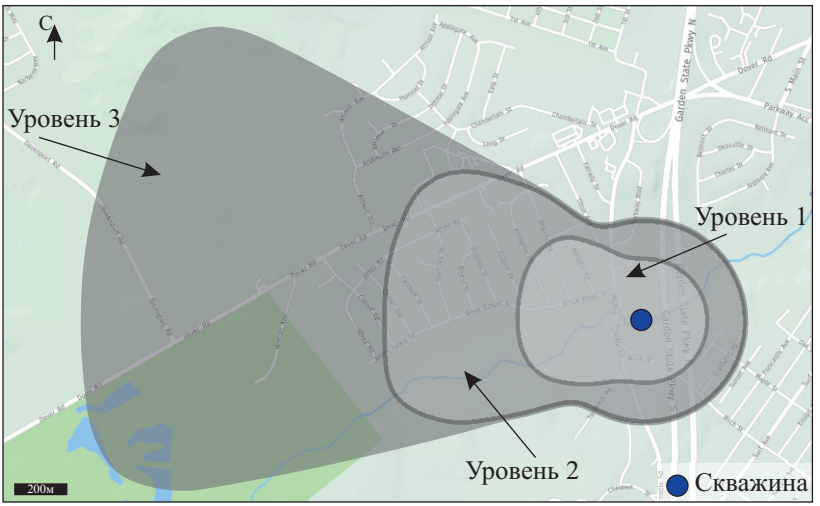


Рис. 3. Пример установления границ зон защиты водозаборной скважины в Нью-Джерси

1. Зона 1 — охватывает территорию водного хозяйства вокруг водозаборной скважины, радиус которой составляет 50 м. Применяются самые строгие контрольные мероприятия.

2. Зона 2 — границы условны и определяются на основании максимального расстояния, которое пройдут загрязняющие вещества (частицы), если бы на то, чтобы достичь скважины, потребовалось 10 лет (время продвижения микробного загрязнения с потоком подземных вод к водозабору).

3. Зона 3 — обычно соответствует водосборной площади, где время движения химического загрязнения к водозабору составит от 10 лет и более.

Кроме того, рост городских территорий поставил под угрозу и обеспечение населения водой гарантированного качества. Поэтому для некоторых территорий разработаны программы, предусматривающие охранные мероприятия в пределах определенных водосборных площадей (бассейнов), называемых Общественными источниками питьевой воды (ОИПВ) (Public Drinking Water Source Areas — PDWSA) [60, 62]. Политика защиты ОИПВ включает [38]:

1. Определение приоритетных защитных областей (P1, P2, P3) [38].

— Область P1. Определена, чтобы гарантировать отсутствие ухудшения качества воды, используемой для коммуналь-

ного водоснабжения. Включает земли, где обеспечение населения питьевой водой самого высокого качества является основным приоритетом (например, государственные земли, на которых нет застройки, или использование земель ограничено лесным хозяйством или лесоводством).

— Область P2. Контроль хозяйственной деятельности осуществляется, чтобы гарантировать отсутствие повышенного риска загрязнения подземных вод. Включает земли, на которых уже существует малоинтенсивная застройка (например, сельские районы). Обеспечение коммунального водоснабжения в этих областях имеет большое значение, но может наблюдаться некоторое ухудшение качества воды.

— Область P3. Включает земли, где потребности в водоснабжении сосуществуют с другими видами землепользования, такими, как жилые, коммерческие и небольшие промышленные застройки. Защита качества подземных вод в данной области достигается за счет руководящих принципов управления рисками, а не ограничением землепользования.

2. Установление границ зон, обеспечивающих защиту водозаборных скважин [62].

— Зоны защиты водозаборных скважин охватывают источники питьевой воды и обычно имеют круглую форму с радиусом 500 или 300 м для водоисточников, находящихся в зонах P1 или P2.

Китай — самая густонаселенная страна в мире, и, как следствие, потребность в воде для потребления людьми высока [23]. Распределение водных ресурсов в Китае крайне неоднородно, что отрицательно сказывается на социальном и экономическом росте в некоторых регионах [63]. По оценкам Министерства водных ресурсов страны [64], в 2005 г. около 300 миллионов человек в Китае не имели доступа к питьевой воде как с точки зрения качества, так и количества. Несмотря на то что водной политикой предусматривается создание системы по защите зон источников питьевой воды [65, 66], установление границ защитных зон для источников подземных вод все еще находится на начальной стадии [4], а в местах, где данная процедура выполнена, практические защитные мероприятия отсутствуют [67].

Согласно законодательству Китая [68], источники питьевой воды подразделяются на 2 класса (Grade-I и Grade-II). Кроме того, на периферии резерва источника питьевой воды можно выделить еще одну область — квазизапас (квазирезерв). Следовательно, выделяют три защитные зоны для этих областей. В зоне Grade-I запрещены строительство или любая деятельность, не связанная с объектами водоснабжения, их управлени-

ем и охраной. В зоне Grade-II и квазирезервной зоне запрещено строительство, реконструкция или расширение любых строительных объектов, выбрасывающих загрязняющие вещества и сильно загрязняющих воду. Регламент не устанавливает технических критериев для определения границ защитных зон.

В различных научных исследованиях, посвященных подземным источникам водоснабжения в Китае, сообщается о различных способах определения границ трех защитных зон. Для зон Grade-I и Grade-II обычно учитывается время продвижения микробного загрязнения с потоком подземных вод к водозабору. Так, в исследованиях [69] и [4] предложено для защиты Grade-I использовать значение данного показателя 100 дней [69] и 60 дней [4], а для Grade-II — 1000 дней [69] и 10 лет [4] соответственно. Квазирезервная зона в основном относится ко всему водозабору.

Многие африканские страны сталкиваются с проблемами как нехватки воды, так и ее низкого качества [70]. Это касается ряда стран Ближнего Востока и Северной Африки [71, 72], территории которых характеризуются засушливыми и полузасушливыми климатическими условиями, грунтовые воды являются здесь основным источником водоснабжения, что делает защиту подземных вод незаменимой [70, 73].

По мнению экспертов ВОЗ, наиболее эффективным средством непрерывного обеспечения безопасности питьевого водоснабжения является использование метода интегральной оценки риска и управления риском, который охватывает все этапы водоснабжения от водосбора до потребления воды [74, 75]. Такой подход отражен в Планах по обеспечению безопасного водоснабжения (ПОБВ) [76]. В странах Африки Агентство по охране окружающей среды США содействует разработке и внедрению ПОБВ в целях обеспечения населения безопасной питьевой водой на устойчивой основе [76, 77].

В Северной Африке в результате сотрудничества между арабскими странами и Германией были разработаны программы [78, 79], описывающие проблемы управления, защиты и устойчивого использования подземных вод. В 2003 г. разработано Руководство по определению границ защитных зон подземных вод [79], в котором представлена типовая схема с тремя защитными зонами (отражающими разные уровни риска), окружающими точку водозабора.

В рамках индонезийско-германского сотрудничества по надзору за качеством питьевой воды странами был разработан комплексный подход по обеспечению надлежащего качества питьевой воды в городских центрах Индонезии [23]. Данный подход

включает в себя определение границ защитных зон в целях охраны и поддержания водных ресурсов в их первоначальном состоянии. Выделяют три защитные зоны.

Зона I — установление границ основано на фиксированных расстояниях. Включает территорию вокруг водозабора в радиусе 10—15 м, огороженную забором, на которой запрещается любой вид деятельности, не связанный с объектами водоснабжения, их управлением и охраной.

Зона II — установление границ основано на времени продвижения микробного загрязнения с потоком подземных вод к водозабору с использованием гидрогеологического картирования (с целью определения границ для каждого водоисточника) и составляет 50 дней. Запрещены все возможные действия, вызывающие микробное загрязнение.

Зона III — включает всю территорию водозабора, основанную на топографических границах, где ограничивается применение различных химических агентов опасных для воды. Также возможно объединение нескольких водоисточников в одну зону водозабора.

Учитывая существующие водные директивы и другие акты государств, опыт нормирования и управления охраной источников питьевого водоснабжения в целом, можно отметить, что несмотря на то что в каждой стране используются разные подходы к защите подземных вод [80], в целом наблюдается сходство в организации защитных зон, окружающих источники питьевой воды, в которых запрещены или ограничены отдельные виды деятельности. Управление подземными водными ресурсами должно также основываться на конкретном анализе сведений о подземных водных объектах с точки зрения качества и количества вод, определения пороговых значений загрязняющих веществ в воде и установления границ защитных зон.

По мнению экспертов ВОЗ, наиболее эффективным средством непрерывного обеспечения безопасности питьевого водоснабжения является использование метода интегральной оценки риска и управления риском, который охватывает все этапы водоснабжения от водосбора до потребления воды. Надо отметить, что этот подход реализован на законодательном уровне в ряде стран, где имеются густонаселенные территории с ограниченными ресурсами подземных вод. При этом акцент сделан не только на ограничении землепользования, но и на управлении рисками. Интересен пример Австралии и Новой Зеландии, где наиболее жесткие меры применены для сбережения подземных водных ресурсов, которые могут быть использованы в будущем. На примере развития водного законодательства США видно,

что ужесточение федерального закона о безопасной питьевой воде потребовало разработки Руководства по установлению ЗСО с учетом различных гидрогеологических условий, критериев и методов установления ЗСО. Отсутствие в Регламенте КНР технических критериев установления ЗСО является одной из причин слишком медленного внедрения защитных мероприятий. Представляется важной формализация результатов научных исследований в виде руководств, позволяющих реализовать положения законодательных актов, обеспечить оптимальное управление и сохранение водного ресурса, гарантировать его доступность в будущем.

Список литературы

1. UNESCO. World Water Resources at the Beginning of the 21st Century / Ed. I. A. Shiklomanov, J. C. Rodda. Cambridge, 2004.

2. *Hiscock K. M.* Groundwater in the 21st century — meeting the challenges // Sustaining groundwater resources: a critical element in the global water crisis / Ed. J. A. Jones A. Heidelberg: Springer, 2011. P. 207—225.

3. *Zhu Y., Balke K. D.* Groundwater protection: what can we learn from Germany? // Journal of Zhejiang University Science B. 2008. Vol. 9 (3). P. 227—231.

4. *Baoxiang Z., Fanhai M.* Delineation methods and application of groundwater source protection zone // ISWREP 2011. International Symposium on Water Resource and Environmental Protection. China, Xi'an, 20—22 May 2011. Xi'an, 2011. P. 66—69 (IEEE Conference Publications).

5. *Danielopol D. L. Griebler C., Gunatilaka A., Notenboom J.* Present state and future prospects for groundwater ecosystems // Environmental Conservation. 2003. Vol. 30. № 2. P. 104—130.

6. EEA. Groundwater Quality and Quantity in Europe. Data and basic information. Environmental Assessment Report // European Environment Agency. Copenhagen: EEA, 1999. № 3.

7. UN/ECE Task Force on Monitoring and Assessment. Guidelines on monitoring of transboundary groundwaters. Supporting Technical Documents. In 4 v. Vol. 1: Inventory of Transboundary Groundwaters / Ed. E. Almássy, Zs. Buzás. Lelystad, 1999.

8. *Ashbolt N. J.* Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions // Toxicology. 2004. Vol. 198 (1—3). P. 229—238.

9. Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking Water Sources. World Health Organization (WHO) / Ed. O. Schmoll, G. Howard, J. Chilton, I. Chorus. Geneva; London: IWA Publishing, 2006.

10. Die Grundwasservorkommen in Deutschland // Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): [site]. 2007. [Электронный ресурс]. URL: www.bgr.bund.de/nn_322854/DE/Themen/Wasser/grundwasser_deutschland.html (accessed: 03.05.2021).

11. *Schima J.* Role of Ecosystems, Forests and Wetlands as Water Suppliers in Austria. National report. Seminar On The Role Of Ecosystems As Water Suppliers. Geneva, 13—14 Dec. 2004. Geneva, 2004.

12. *Martinez Navarrete C., Grima Olmedo J., Dura´nValsero J. J., Gómez Gómez J. D., Luque Espinar J. A., De la Orden Gomez J. A.* Groundwater protection in Mediterranean countries after the European water framework directive // Environmental Geology. 2008. № 54. P. 537—549.

13. *Brencic M., Prestor J., Kompare B., Matoz H., Kranjc S.* Integrated approach to delineation of drinking water protection zones // Geologija. 2009. Vol. 52 (2). P. 175—182.

14. The evolution of the law and politics of water / Eds. J. W. Dellapenna, J. Gupta. Dordrecht: Springer Science; Business Media B. V., 2009.

15. *Machida I., Rumohr S., Hartwig C., Orth K., Scheytt T.* Groundwater management in Hessen, Germany // Journal of Groundwater Hydrology. 2015. Vol. 57 (3). P. 307—315.

16. *Krauss S., Griebler C.* Pathogenic microorganisms and viruses in groundwater. Acatech Materialien. N 6: Diskussionspapier für die acatech Projektgruppe «GeoressourceWasser — Herausforderung Globaler Wandel». München: Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2011.

17. *Homer-Dixon T. F.* Environmental Scarcities and Violent Conflict: Evidence from Cases // International Security. 1994. Vol. 19 (1). P. 5—40.

18. *Raleigh C., Urdal H.* Climate change, environmental degradation and armed conflict // Political Geography. 2007. Vol. 26 (6). P. 74—694.

19. *Almássy E., Busás Zs.* Guidelines on Transboundary Ground water Monitoring. Vol. 1: Inventory of Transboundary Groundwaters / UN/ECE Task Force on Monitoring and Assessment. Lelystad, 1999.

20. *Eckstein G.* A hydrogeological perspective of the status of ground water resources under the UN Watercourse Convention // Columbia Journal of Environmental Law. 2005. Vol. 30. P. 525—564.

21. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2017 году» // Министерство природных ресурсов. [Официальный сайт]. URL: http://mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_vodnykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ispolzovanii_vodnykh_resursov_rossiyskoy_federatsii_v_2017_god/ (дата обращения 03.05. 2021).

22. Facts and trends — water: Version 2 // World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). 2009. [Электронный ресурс]. URL: http://wbcsdservers.org/wbcsdpublications/cd_files/datas/business-solutions/water_leadership/pdf/WaterFactsAndTrends-Update.pdf (accessed: 03.05.2021).

23. Threats to the Quality of Groundwater Resources. Prevention and Control / Eds. A. Scozzari, E. Dotsika. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2016. (The Handbook of Environmental Chemistry).

24. *Siebert S., Burke J., Faures J. M., Frenken K., Hoogeveen J., Doell P., Portmann F. T.* Groundwater use for irrigation — a global inventory // Hydrology and Earth System Sciences. 2010. Vol. 14 (10). P. 1863—1880.

25. *Rosegrant M. W., Cai X., Cline S. A.* World Water and Food to 2025: dealing with scarcity. Washington: International Food Policy Research Institute, 2002.

26. *Nwanosike A. A.* Effects of urbanization on groundwater quality. A case study of Port-Harcourt, Southern Nigeria // Natural and Applied Sciences Journal. 2010. Vol. 11 (2). P. 143—152.

27. *Smerdon B. D., Ransley T. R., Radke B. M., Kellett J. R.* Water resource assessment for the great artesian basin. A report to the Australian Government from the CSIRO Great Artesian Basin Water Resource Assessment // CSIRO Water for a Healthy Country Flagship, Australia. Australia: CSIRO, 2012.

28. *Башкетова Н. С., Выучейская Д. С., Сладкова Ю. Н., Еремин Г. Б., Фридман К. Б.* Регулирование качества питьевой воды. Сравнение национальных и международных стандартов // Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. Мат-лы XIII ежегодной всероссийской науч.-практ. конф. с международным участием, Санкт-Петербург, 22—24 ноября 2018 г. СПб., 2018. Т. 13. № 3. С. 1136—1148.

29. World Health Organisation (WHO). International Standards for Drinking Water. 3rd ed. Geneva, 2003. P. 346—385.

30. *Nwanosike A. A., Olasehinde P. I., Yisa J., Okosun E. A., Nwankwoala H. O., Alkali Y. B.* Geostatistical Assessment of Groundwater Quality from Coastal Aquifers of Eastern Niger Delta, Nigeria // Journal of Geo-sciences. 2012. Vol. 2 (3). P. 51—59.

31. *Custodio E.* Coastal aquifers as important natural hydrogeological structures // Groundwater and Human Development / Eds. Bocanegra E., Martìnes D., Massone H. Germany, Bremerhaven, 2002. P. 1905—1918.

32. *Amadi U. M. P., Amadi P. A.* Saltwater migration in the coastal aquifers of southern Nigeria // Journal of Mining and Geology. 1990. Vol. 26 (2). P. 35—44.

33. *Karro E., Marandi A., Vaikmae R.* The origin of increased salinity in the Cambriam Vendian aquifer system on the Kopli Penninsula, Northern Estonia // Hydrogeology Journal. 2004. Vol. 12 (4). P. 424—435.

34. *Faye S., Maloszewski P., Stichler W., Trimborn P., Cissé Faye S., Bécaye Gaye C.* Groundwater salinization in the Saloum (Senegal) delta aquifer using minor elements and isotopic indicators // Science of the Total Environment. 2005. Vol. 343 (1—3). P. 243—259.

35. *Zhang Q., Volkes R. E., Lockington D. A.* Numerical investigation of seawater intrusion at Gooburrum Bundaberg, Queensland Australia // Hydrogeology Journal. 2004. Vol. 12 (6). P. 674—687.

36. *Vives L., Varni M., Usunoff E.* Behaviour of the freshwater and saltwater phases in an urban area in Western Buenos Aires Province, Argentina // Hydrogeology Journal. 2005. № 13. P. 426—435.

37. *Всеволожский В. А.* Основы гидрогеологии. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, 2007.

38. *Chave P., Howard G., Schijven J., Appleyard S., Fladerer F., Schimon W.* Chapter 17: Groundwater protection zones // Protecting Groundwater for Health. Managing the Quality of Drinking Water Source. World Health Organization (WHO) / Eds. O. Schmoll, G. Howard, J. Chilton, I. Chorus. IWA Publishing, 2006. P. 465—492.

39. *Bannerman R. R*. Conflict of technologies for water and sanitation in developing countries // Water, Sanitation and Health / Eds. I. Chorus, U. Ringelband, G. Schlag, O. Schmoll. London: IWA, 2000. P. 167—170.

40. *Taylor R., Barrett M*. Urban groundwater development in sub-Saharan Africa // Proc. 25th WEDC Conference. Addis Ababa, Ethiopia: WEDC, Loughborough University, 1999. P. 203—207.

41. Guidelines for delineation of wellhead protection areas. Office of Groundwater Protection. U. S. EPA. Washington: EPA, 1987.

42. DVGW. Guidelines on drinking water protection areas. Part 1: groundwater protection areas. Code of practice W 101. Bonn: DVGW, 1995. [Электронный ресурс]. URL: https://shop.wvgw.de/var/assets/leseprobe//507848_lp_W%20101_englisch_2006_06.pdf (дата обращения: 03.02.2021).

43. USGS. Estimating areas contributing recharge to wells. US Geological Survey Circular 1174. Denver, 1998. [Электронный ресурс]. URL: http://water.usgs.gov/ogw/pubs/Circ1174/ (дата обращения: 03.02.2021).

44. European Communities. Directive 2000/60/CE of the European Parliament and of the council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy. Luxembourg, 2000. [Электронный ресурс]. URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF (дата обращения: 03.02.2021).

45. *Brencic M., Prestor J., Kompare B., Helena M., Stojan K*. Integrated approach to delineation of drinking water protection zones // Geologija. 2009. Vol. 52 (2).

46. *Ярошевич А*. Заключительный отчет по гармонизации законодательства Республики Беларусь в сфере управления водными ресурсами с законодательством Европейского Союза. Киев, 2012. [Электронный ресурс]. URL: http://old.greenlogic.by/content/files/WASSER/Final/03_Trebovaniya_vodnogo_zakonodatelstva_ES_A_YAroshevich.pdf (дата обращения: 03.02.2021).

47. European Communities. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document N 16. Guidance on Groundwater in Drinking Water Protected Areas. Luxembourg, 2007. [Электронный ресурс]. URL: https://circabc.europa.eu/sd/a/aef48d98-7715-4828-a7ee-df82a6df4afb/Guidance%20No%2016%20-%20Groundwater%20in%20DWPAs.pdf (accessed: 03.05.2021).

48. *García-García A., Martínez-Navarrete C.* Protection of groundwater intended for human consumption in the water framework directive: strategies and regulations applied in some European countries // Polish Geological Institute Special Papers. 2005. № 18. P. 28—32. [Электронный ресурс]. URL: https://www.pgi.gov.pl/en/docman-tree-all/publikacje-2/special-papers/79-garcia/file.html (accessed: 03.05.2021).

49. *Derouane J., Dassargues A*. Delineation of groundwater protection zones based on tracer tests and transport modeling in alluvial sediments // Environmental Geology. 1998. Vol. 36 (1—2). P. 27—36.

50. Norme in materia ambientale. Legislative Decree D. Lgs. 152/2006. Italian State Regions agreement signed on 12th of December 2006. [Элек-

тронный ресурс]. URL: https://www.conou.it/wp-content/uploads/2015/11/Dlgs-152_2006-Norme-in-materia-ambientale.pdf (accessed: 03.05.2021).

51. Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. [Электронный ресурс]. URL: https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0676:EN:PDF (accessed: 03.05.2021).

52. Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration. [Электронный ресурс]. URL: https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:372:0019:0031:EN:PDF (accessed: 03.05.2021).

53. United States Environmental Protection Agency (EPA). [Официальный сайт Агентства по защите окружающей среды США]. [Электронный ресурс]. URL: https://www.epa.gov/sdwa (accessed: 03.05.2021).

54. *Tiemann M*. Safe Drinking Water Act (SDWA): A Summary of the Act and Its Major Requirements. Congressional Research Service Report. March 1, 2017. [Электронный ресурс]. URL: https://fas.org/sgp/crs/misc/RL31243.pdf (accessed: 03.05.2021).

55. Wellhead Protection Program. Region 1: EPA New England / United States Environmental Protection Agency. [Электронный ресурс]. URL: https://www3.epa.gov/region1/eco/drinkwater/pc_wellhead_protection.html (accessed: 03.05.2021).

56. Safe Drinking Water Act Amendments of 1986. Public Law 99-339. [Электронный ресурс]. URL: https://fas.org/sgp/crs/misc/RL31243.pdf (accessed: 03.05.2021).

57. Guidelines for delineation of well head protection areas in New Jersey. New Jersey Department of Environmental Protection. New Jersey geological survey open-file report OFR 03-1. 2003. [Электронный ресурс]. URL: https://www.state.nj.us/dep/njgs/whpaguide.pdf (accessed: 03.05.2021).

58. ARMCANZ. Guidelines for groundwater protection in Australia. National Water Quality Management Strategy / Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand. Canberra: ARMCANZ, 1995. [Электронный ресурс]. URL: https://www.water.wa.gov.au/__data/assets/pdf_file/0020/4925/8728.pdf (accessed: 03.05.2021).

59. ARMCANZ. Allocation and use of groundwater: a national framework for improved groundwater management in Australia. Occasional Paper Number 2 // Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Standing Committee on Agriculture and Resource Management. Canberra: ARMCANZ, 1996.

60. Guidelines for groundwater quality protection in Australia. National Water Quality Management Strategy (Australian Government, Department of Agriculture and Water Resources) // Water Quality Australia [web site]. Canberra, 2013. [Электронный ресурс]. URL: https://www.waterquality.gov.au/sites/default/files/documents/guidelines-groundwater-quality-protection.pdf (accessed: 03.05.2021).

61. Protecting Groundwater for Health. Managing the Quality of Drinking-water Sources. World Health Organization (WHO) / Eds. O. Schmoll, G. Howard, J. Chilton, I. Chorus. London: IWA Publishing, 2006.

62. *Do E.* Land use compatibility in public drinking water source areas. Water Quality Protection Note, July 2004, Government of Western Australia-Department of Environment. 2004.

63. *Nitikin D., Shen C., Wang Q. J., Zou H.* Water service delivery reform in China: safeguarding the interests of the Poor // Annals of Economics and Finance. 2012. Vol. 13 (2). P. 463—487.

64. MWRC. Safe drinking water webpage of the Ministry of Water Resources of China. 2014. [Электронный ресурс]. URL: http://www.mwr.gov.cn/english/sdw.html (accessed: 03.02.2021).

65. Water Law of the People's Republic of China: Decree N 74 of the President of the People's Republic of China. 2002. [Электронный ресурс]. URL: http://www.mwr.gov.cn/english/laws.html (accessed: 03.05.2021).

66. Law of the People's Republic of China on the Prevention and Control of Water Pollution (1984): L1984/11/01 // Chinese Law and Government. 2004. Vol. 37 (3). P. 80—87. [Электронный ресурс]. URL: https://doi.org/10.1080/00094609.2004.11036407 (accessed: 03.05.2021).

67. *Wang H., Yu X.* A review of the protection of sources of drinking water in China // Natural Resources Forum. 2014. Vol. 38. P. 99—108.

68. Law of the People's Republic of China on the prevention and control of water pollution as revised on June 1st, 2008. 2008/06/01. [Электронный ресурс]. URL: www.faolex.fao.org/docs/texts/chn23549.doc (accessed: 03.05.2021).

69. *Wenjuan X., Jing J., Jinling Z.* Preliminary partition of groundwater protection zones by empirical formula method // International Journal of Geomatics and Geosciences. 2011. Vol. 2 (2). P. 589—594.

70. *Gaye C. B., Tindimugaya C*. Review: Challenges and opportunities for sustainable groundwater management in Africa // Hydrogeology Journal. 2018. Vol. 27. P. 1099—1110.

71. World Bank Definition: MENA. *Worldbank.org.* Archived *from the original on 29 October 2014*. Retrieved 28 November2014; Middle East and North Africa. unicef.org. UNICEF.

72. *Abbass R. A., Kumar P., El-Gendy A*. An overview of monitoring and reduction strategies for health and climate change related emissions in the Middle East and North Africa region // Atmospheric Environment. 2018. Vol. 17. P. 33—43.

73. Water security in the Mediterranean region: an international evaluation of management, control, and governance approaches. NATO Science for Peace and Security Series C // Environmental Security / Eds. A. Scozzari, B. El Mansouri. Springer, 2011.

74. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. WHO, Geneva, Switzerland. 2017. [Электронный ресурс]. URL: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/ (accessed: 03.05.2021).

75. *Выучейская Д. С., Еремин Г. Б., Фридман К. Б.* Возможности применения нефелометрии в качестве экспресс-метода вирусного загрязнения питьевой воды. Опыт зарубежных стран // Здоровье — ос-

нова человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. Мат-лы XIII ежегодной Всероссийской науч.-практ. конф. с международным участием. Санкт-Петербург, 22—24 ноября 2018 г. СПб., 2018. Т. 13. № 3. С. 785—795.

76. WHO. Water safety in distribution systems. Geneva. World Health Organization. 2014. [Электронный ресурс]. URL: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/water-safety-in-distribution-system/en/ (accessed: 03.05.2021).

77. EPA efforts in Sub-Saharan Africa. U.S. EPA. 2014. [Электронный ресурс]. URL: http://www2.epa.gov/internationalcooperation/epa-efforts-sub-saharan-africa#water (accessed: 03.05.2021).

78. *Schelkes K., Hobler M., Schmidt G., Steinbach V*. Management, protection and sustainable use of groundwater — results of long-term technical cooperation in the Middle East // Water in the Middle East and in North Africa / Eds. Z. Fathi, J. Wolfgang. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 2004. P. 129—143.

79. *Margane A*. Guideline for delineation of groundwater protection zones // Management, Protection and Sustainable Use of Groundwater and Soil Resources in the Arab Region. 2003. Vol. 5. P. 329.

80. *Борисова Д. С., Еремин Г. Б., Никуленков А. М., Мозжухина Н. А*. Анализ международного законодательства в области обеспечения защиты подземных источников водоснабжения (обзор литературы) // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 8. С. 797—802.

Глава 4

МИГРАЦИЯ ПАТОГЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ ИЗ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ЗОНАХ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТЬЕВОГО И ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В течение долгого времени подземные воды считались полностью свободными от биологического загрязнения. Однако в последние годы появились научные работы о выживаемости микроорганизмов в подземных водах [1—6].

Согласно действующим санитарным правилам о зонах санитарной охраны подземных источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения,[1] 2-й пояс ЗСО рассчитывается с целью защиты водоисточника от микробного загрязнения. Параметрами, определяющими расстояние от границ 2-го пояса ЗСО до водозабора, является время продвижения микробного загрязнения с потоком подземных вод к водозабору ($T_м$). При определении границ 2-го пояса следует учитывать, что приток подземных вод из водоносного горизонта к водозабору происходит только из области питания водозабора, форма и размеры которой зависят от гидрогеологических условий. Граница 2-го пояса ЗСО определяется гидродинамическими расчетами, исходя из условий, что микробное загрязнение, поступающее в водоносный пласт за пределами 2-го пояса, не достигает водозабора. Согласно действующим санитарным правилам и нормам при определении границ 2-го пояса ЗСО время продвижения микробного загрязнения с потоком подземных вод к водозабору принимается для недостаточно защищенных подземных вод (грунтовые воды, а также напорные и безнапорные межпластовые воды,

[1] СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения».

имеющие непосредственную гидравлическую связь с открытым водоемом) равным 400 суток в пределах I, II и III климатического района; для защищенных подземных вод — 200 суток в пределах I и II климатического района, для III климатического района — 100 суток.

Считалось, что время вертикального перемещения патогенных микроорганизмов достаточно велико, а длительность их выживания слишком мала, чтобы достичь водоносных горизонтов [7—11]. Однако риски, связанные с загрязнением воды, очевидны, если взглянуть на многочисленные вспышки заболеваний, вызываемых патогенными микроорганизмами за последние два столетия, которые связаны с загрязнением подземных вод и потреблением питьевой воды ненадлежащего качества [12—15]. Если воду из водоносного горизонта предполагается использовать как источник питьевого водоснабжения, то важно не только наличие в подземных водах патогенных микроорганизмов, но и длительность их выживания.

Продолжительность жизни патогенных микроорганизмов различна для каждого вида и рода и зависит по данным некоторых исследований [16—21] от следующих факторов:

— влажности грунтов;

— содержания органических веществ;

— температуры;

— pH почвы;

— количества выпавших осадков (повышенная влажность почвы способствует мобильности патогенных микроорганизмов);

— солнечного света;

— микробного антагонизма.

В некоторых исследованиях отмечалось, что разрушение патогенных агентов при низких температурах в недрах является длительным процессом и большое значение имеют процессы физического и химического ослабления [22, 23]. По мнению ряда ученых, факторы, которые приводят к разрушению патогенных микроорганизмов в водоносных горизонтах, могут быть основаны в т. ч. на биологической активности аутохтонной микрофлоры, т. е. на микробном антагонизме [16, 24, 25].

По данным отечественных ученых, значение аутохтонных микроорганизмов в формировании качества подземных вод различно и зависит от вида микроорганизмов, их количества и условий существования [26—29].

Положительная деятельность аутохтонных микроорганизмов проявляется в способности к биохимической деградации и обезвреживанию проникающих в водоносные горизонты разнообразных органических и бактериальных загрязнений. Однако при

большом поступлении органических веществ биологическая активность микроорганизмов настолько интенсифицируется, что приводит к изменению окислительно-восстановительных условий, состава и качества подземных вод [27]. Кроме того, масштабы и глубина естественной биохимической очистки подземных вод зависят от состава и количества поступивших загрязнений, а также от состава пород и подземных вод, водопроницаемости пород, скорости фильтрации и других элементов гидрогеологической обстановки. Например, при массовом поступлении органических веществ и аллохтонных микроорганизмов, при большой скорости фильтрации в трещиноватых и валунно-

Таблица 2

Факторы, влияющие на выживаемость патогенных микроорганизмов в подземных водах

Фактор	Влияние
Температура	Длительное выживание при низких температурах (4—6 °С), быстрое разрушение при высоких температурах. Однако для некоторых кишечных бактерий высокие температуры могут приводить к росту.
Содержание влаги в почве	Высыхание вредно для большинства микроорганизмов (за исключением спор).
Солнечный свет	Более быстрое разрушение на поверхности почвы вследствие воздействия ультрафиолетового излучения.
pH почвы	Бактерии погибают быстрее в кислых почвах (pH 3—5), чем в щелочных. pH влияет на адсорбцию микроорганизмов и вирусов в почвенном матриксе и косвенно влияет на выживаемость.
Микробный антагонизм	Почвенные бактерии и грибы могут продуцировать экзоэнзимы, которые повреждают структуру некоторых микроорганизмов, а амебы и другие простейшие могут поглощать их.
Содержание органического углерода в воде	Присутствие органического углерода увеличивает выживаемость и может привести к возобновлению роста бактерий.
Катионы	Некоторые катионы оказывают термостабилизирующее действие на вирусы и увеличивают их выживаемость. Катионы также усиливают адсорбцию вирусов в почве, что косвенно увеличивает их выживаемость, т. к. вирусы лучше выживают в адсорбированном состоянии.

галечниковых породах биохимическая очищающая деятельность автохтонных микроорганизмов имеет ограниченное значение и не может воспрепятствовать распространению микробиологических и органических загрязнений в водоносном горизонте [27].

В поверхностных водах большинство патогенных микроорганизмов и вирусов легко инактивируются при воздействии солнечного излучения (видимой части спектра и УФ-излучения) [30].

Другими факторами, которые эффективно способствуют разрушению патогенных микроорганизмов на поверхности, являются температура и высыхание. Однако после проникновения в подземные воды на выживаемость патогенных микроорганизмов в основном влияют адгезия (адсорбция) на частицы почвы и грунтовые отложения [31].

Факторы, влияющие на выживаемость патогенных микроорганизмов в подземных водах, представлены в таблице 2 [32].

Длительность выживания некоторых патогенных микроорганизмов в воде представлена в таблице 3 [33].

Таблица 3

Время жизни некоторых патогенных микроорганизмов в воде при t 20—30 °С

Возбудитель	Выживаемость, дни	
	Пресные воды	Сточные воды
Вирусы[1]		
Enteroviruses	< 120	обычно < 50
Бактерии		
Thermotolerant coliforms	< 60	обычно < 30
Salmonella species[2]	< 60	обычно < 30
Shigella species	< 30	обычно < 10
Vibrio cholerae[3]	< 30	обычно < 10
Простейшие		
Entamoeba histolytica (цисты)	< 30	обычно < 15
Гельминты		
A. lumbricoides (яйца)	Несколько месяцев	Несколько месяцев

[1] Включая вирусы полиомиелита, ECHO и Коксаки.

[2] В морской воде вирусы выживают гораздо меньше, чем бактерии.

[3] Существует большая неопределенность в отношении выживания холерных вибрионов в воде.

В научных исследованиях [27] описан механизм биологической деградации патогенных микроорганизмов в подземных водах. Так, биологическая деградация связана с тем, что в присутствии растворенных и адсорбированных органических веществ, а также нитратов и фосфора, вызывающих интенсивное развитие сапрофитных бактерий, на частицах пород формируется биологическая пленка, которая превращает породы в более эффективный фильтр для задержания разнообразных микроорганизмов. Дальнейшее снижение количества патогенных микроорганизмов по пути фильтрации происходит вследствие общего уменьшения содержания в воде биологических форм из-за неблагоприятных для их существования условий: низких температур, ограниченных возможностей питания, присутствия антагонистических организмов и веществ — бактериальных вирусов, антибиотиков, вырабатываемых другими микроорганизмами, и т. д. [27].

Выживаемость патогенных микроорганизмов в подземных водах изучалась в различных исследованиях, в т. ч. экспериментальных [34, 35]. В исследованиях отмечалась длительность жизни некоторых модельных микроорганизмов в подземных водах при определенных условиях (рис. 1 *а* и 1 *б*) [35].

Как видно на рисунке 1*а*, при концентрации клеток от 1×10^5 до 1×10^7 почти все протестированные штаммы микроорганизмов можно было обнаружить через 300 дней при температуре 10 °С в подземных водах. Только содержание Staphylococcus aureus уменьшилось в количестве более чем на шесть порядков в течение 15—25 дней. Содержание E. coli стало ниже предела обнаружения через 250 дней (рис. 1*а*). Для Bacillus cereus наблюдалось изначальное снижение концентрации, которая затем сохранялась на оставшееся время эксперимента. Аналогичная картина наблюдалась для Clostridium perfringens, что, скорее всего, было вызвано образованием спор у обоих штаммов [35].

Длительность жизни выбранных для исследования штаммов показана на рисунке 1 В. Результаты [35] согласуются с результатами других исследований. Например, в работе [34] сообщалось о сохранении E. coli, Y. enterocolitica, P. aeruginosa и других энтеробактерий более 300 дней в холодной питьевой воде (4 °С).

На протяжении долгого времени считалось, что патогенные бактерии кишечного тракта не способны размножаться вне организма человека [36], также считалось, что рост и размножение патогенных микроорганизмов в окружающей среде является исключением, а не правилом [37, 38]. Тем не менее появляется все больше доказательств того, что отдельные патогенные

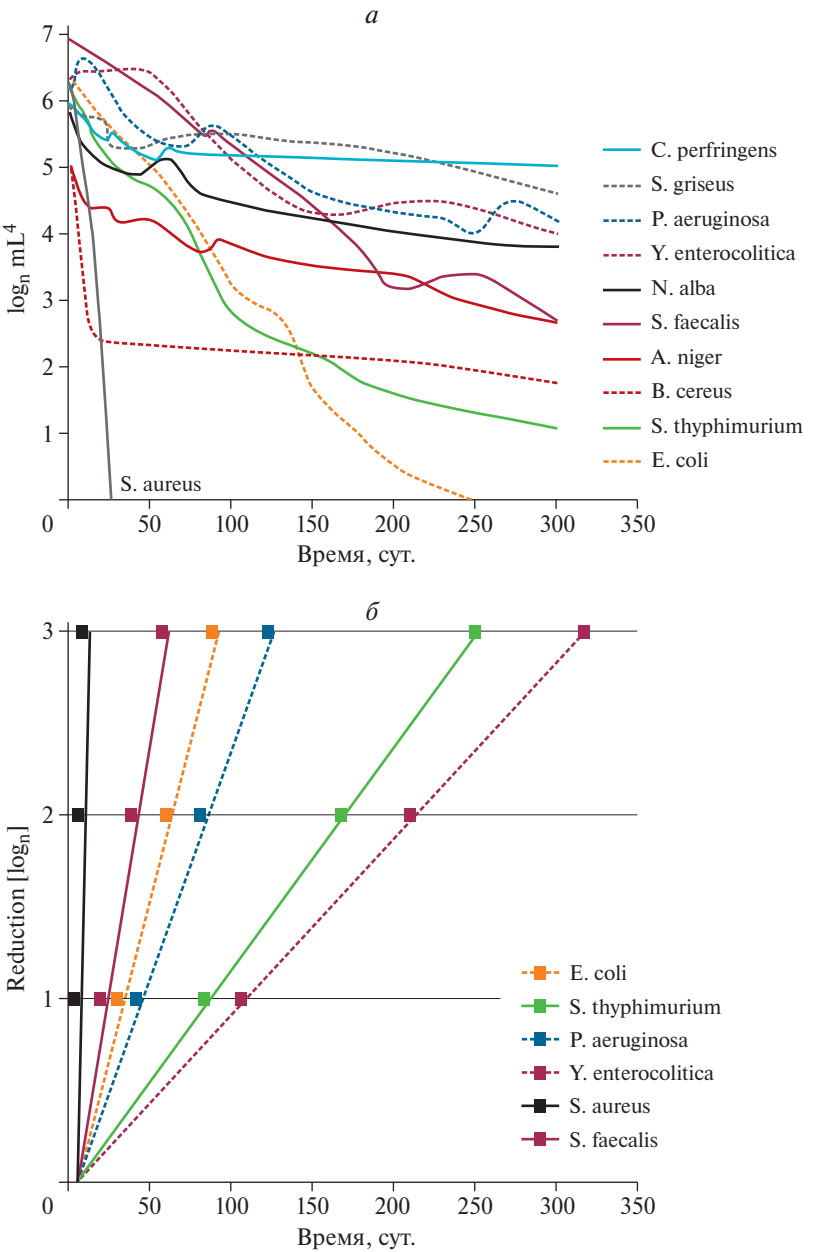


Рис. 1*а*, 1*б*. Выживание различных модельных микроорганизмов в подземных водах (pH = 7.3, O_2 = ≥ 0.8 мг/л, DOC (растворенный органический углерод) = 3.4 мг/л, PO_4 = 0.25 мг/л) при температуре 10 ± 1 °C

микроорганизмы способны размножаться в почве и водных системах, что было показано, например, для Vibrio cholerae (O1 Ogawa Eltor) и E. coli (O157), которые росли в олиготрофных водоемах [39, 40]. Рост обоих штаммов положительно коррелировал с температурой. Кроме того, в отношении Vibrio cholerae отмечалась положительная скорость роста в «нестерильных» водах [39], что позволяет сделать вывод о том, что нельзя исключать рост специфических патогенов в подземных водах [1].

По данным отечественных исследований [27, 28, 41, 42], перенос микроорганизмов в подземных водах кроме выживаемости контролируется еще и такими физическими и физико-химическими факторами, как фильтрация, адсорбция и дисперсия.

При фильтрации перенос микроорганизмов может быть ограничен малым по сравнению с размером микроорганизмов размером пор породы. Однако поскольку диаметр бактерий и вирусов крайне мал (от 0.2 до 5 мкм), то уже в крупнозернистых песках и тем более в гравии микроорганизмы могут свободно проходить через поры между частицами этих отложений и переноситься на значительные расстояния в соответствии со скоростью движения подземных вод, которая изменяется от долей до десятков и сотен метров в сутки [27]. Также отмечалось, что в натурных условиях продвижение аллохтонных микроорганизмов наблюдалось в почвенном слое на 100 м, в песках и гравии на 75 м, а в трещиноватых мелах на расстояние более 1 км [27].

Возможность дальнего переноса микроорганизмов увеличивается в трещиноватых и закарстованных породах не только из-за большой скорости движения воды, но и из-за значительного размера трещин [27, 43].

Большое влияние на задержку движения микроорганизмов при фильтрации в пористой и трещиноватой средах может оказывать их адсорбция [27]. Параметры, характеризующие соотношение между количеством микроорганизмов, адсорбированных и находящихся во взвешенном состоянии, зависят от состава пород и подземных вод, вида микроорганизмов [27].

Снижение скорости движения вирусов в грунтах значительно больше (для полиовирусов — до 500 раз) и зависит от свойств воды грунтов [27]. Однако вирусы могут десорбироваться и вновь перемещаться с потоком (например, после интенсивных дождей). Бактерии десорбируются в меньшей степени [27].

Параметры переноса микроорганизмов в подземных водах отличаются большой изменчивостью, так как зависят от вида и начального содержания микроорганизмов, литологического состава и структуры пород водоносного горизонта, химического

состава подземных вод и ряда других факторов [27]. В трещиноватых и закарстованных породах роль адсорбции относительно невелика, и «очистка» подземных вод происходит главным образом путем их разбавления и снижения концентрации микроорганизмов [27].

Гидродинамическая дисперсия микроорганизмов в породах определяется не только коэффициентом диффузии и дисперсии, но и коэффициентом собственной активной мобильности бактерий (М), причем со снижением температуры воды данный коэффициент уменьшается согласно лабораторным данным для Escherichia coli при t 20 °С, М = 0.1 м/сут [27, 44, 45].

Вирусы — это частицы без собственного метаболизма, поэтому [1] их можно сравнить со стадиями покоя бактерий и пропагативными стадиями простейших (споры и цисты соответственно), что также может объяснить сравнительно длительное сохранение патогенных вирусов в окружающей среде (рис. 2).

В ряде исследований отмечается, что солнечное излучение является важным фактором, способствующим инактивации вируса [17, 30, 46]. Другим важным параметром является температура. Так, длительная персистенция вирусов наблюдается при низких температурах [19]. Следовательно, при типичных температурах подземных вод ≤ 15 °С вирусы могут выживать в течение нескольких сотен дней (рис. 2). В подземных водах, исследованных на всей территории США, только температура из нескольких измеренных физико-химических параметров значительно коррелировала с длительностью выживания вирусов. Аналогичные наблюдения были сделаны для длительности жизни некоторых вирусов в почвах [47].

Среди кишечных вирусов представители семейства Adenoviridae, как известно, крайне устойчивы в водной среде. То же самое относится и к ранним исследованиям полиовируса, описывающим высокую стабильность данного вируса в холодных подземных водах в течение 550 дней (рис. 2) [48]. В некоторых исследованиях аденовируса серотипа 2 (AdV2) неоднократно оценивалась выживаемость вируса в подземных водах посредством одновременного исследования каждого образца с помощью культуры клеток (инфекционные частицы) и обратной транскрипции (ОТ) — ПЦР в реальном времени (суммарные частицы) [49, 50]. Длительность жизни AdV2 составила около 364 дней в грунтовых водах при 12 °С, а вирусная ДНК обнаруживалась в течение 672 дней из 728-дневного периода мониторинга [49].

В некоторых исследованиях отмечалось, что продолжительность выживания энтеровирусов, включая вирусы Коксаки

и полиовируса, в подземных водах при низких температурах составляла от нескольких недель до месяцев [51].

В исследовании [35] протестировали выживаемость трех отобранных модельных вирусов — вируса Коксаки А9, вируса ECHO 7 и полиовируса 1 в подземных водах в лабораторных экспериментах при 10 °С. Наблюдалось, что титр вируса снижался только на 2—3 порядка в течение 260 дней. Все протестированные вирусы показали в конце эксперимента более высокие концентрации в контрольной пробе (автоклавированные подземные воды), что указывает на антагонистические эффекты микробного сообщества природных подземных вод.

Другими факторами, влияющими на выживание патогенных вирусов в водной среде, являются концентрация растворенного кислорода и окислительно-восстановительные условия [44]. Исследование [52] показало, что инактивация и адсорбция вируса происходили медленнее в воде с меньшим содержанием растворенного кислорода. Одним из объяснений более высоких скоростей инактивации в аэробных условиях может быть присутствие оксигидроксидов железа (III), что приводит к более высоким скоростям адсорбции вирусов [52]. Поэтому некоторые ученые предлагают проводить различие между водоносными горизонтами с повышенным и пониженным содержанием растворенного кислорода в отношении защиты подземных вод и расширять зоны охраны от микробного (в т. ч. вирусного) загрязнения вокруг водоносных горизонтов с пониженным содержанием растворенного кислорода [53].

Исследования различных кишечных вирусов и бактериофагов также подчеркнули роль адсорбции как контролирующего фактора выживания вирусов [54].

В работе [1] была обобщена длительность выживания патогенных микроорганизмов в подземных водах по данным литературных и экспериментальных исследований при температуре от 4 до 15 °С (рис. 2).

Кроме того, авторами было отмечено, что сведения о выживаемости простейших в подземных водах скудны, поэтому, чтобы лучше проиллюстрировать высокую стойкость ооцист, были также учтены экспериментальные данные (на рис. 2 — пунктирная рамка).

Различные типы вирусов ведут себя по-разному в одних и тех же условиях, что характерно не только для разных родов (например, аденовирус, энтеровирус, ротавирус), но и для разных штаммов [55, 56].

Что касается свойств почвы, то в целом вирусы более подвижны в почвах, имеющих грубую текстуру [55]. В работе [57]

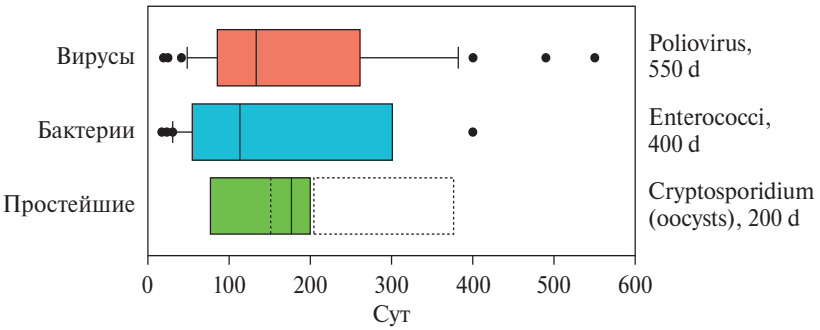


Рис. 2. Время выживания патогенных микроорганизмов в подземных водах

сообщалось, что почвы с высоким содержанием глинистых и илистых частиц имеют большую эффективность удержания вируса.

Состав почвы также влияет на выживаемость вирусов. Например, богатые алюминием почвы снижают длительность выживания, а богатые фосфором почвы ее увеличивают [54].

Кроме того, отмечается, что вирусы могут мигрировать на большие расстояния [19]. В некоторых исследованиях отмечается, что миграция вирусов может происходить до 67 м по вертикали и 480 м по горизонтали [19].

Простейшие патогенные микроорганизмы способны существовать длительное время в виде ооцист, которые нечувствительны к неблагоприятным условиям окружающей среды и многим процедурам обработки, применяемым при водоподготовке. Однако, как отмечалось ранее, данные о выживаемости простейших в подземных водах редки. Только в нескольких исследованиях в водоносных горизонтах были обнаружены ооцисты вследствие загрязнения поверхностных вод [58]. Известно, что на поверхности земли выживаемость простейших и их цист сильно зависит от температуры и влажности. В работах [59, 60] время жизни цист простейших в подземных водах при 5 °С было рассчитано в диапазоне от 176 до более 200 дней (рис. 2) [61].

Охрана источников питьевого водоснабжения и систем питьевого водоснабжения является обязательным условием обеспечения безопасности и безвредности питьевой воды и установленного режима ее подачи потребителям, в связи с обеспечением эффективной работы этой системы важным является не только представление о возможном наличии в подземных водах пато-

генных микроорганизмов, но и знание о длительности их выживания.

Согласно приведенному обзору, время выживания патогенных микроорганизмов в подземных водах контролируется множеством факторов. Тем не менее можно говорить о том, что среднее время выживания находится в диапазоне от нескольких суток до 550 дней. Этот диапазон времени хорошо согласуется с установленными требованиями в нормативных документах к 2-му поясу ЗСО (защитной зоне от микробного загрязнения).

Список литературы

1. *Krauss S., Griebler C*. Pathogenic microorganisms and viruses in groundwater // Acatech Materialien. N 6. München, 2011.

2. UNESCO. World Water Resources at the Beginning of the 21st Century. CD version. UNESCO; Paris, 1999.

3. *Danielopol D. L. et al*. Present state and future prospects for groundwater ecosystems // Environmental Conservation 30. 2003. P. 1—27.

4. EEA. Groundwater Quality and Quantity in Europe. Environmental Assessment Report. 1999. N 3.

5. UNECE. Inventory of Transboundary Groundwaters. UNECE Task Force on Monitoring and Assessment. Guidelines on monitoring of transboundary groundwaters. Vol. 1: Supporting Technical Documents. 1999.

6. *Ashbolt N. J*. Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions // Toxicology. N 198. 2004. P. 229—238.

7. World Health Organization (WHO). Protecting Groundwater for Health. Managing the Quality of Drinking Water Sources / Ed. O. Schmoll, G. Howard, J. Chilton, I. Chorus. IWA Publishing, 2006.

8. BGR. Die Grundwasservorkommen in Deutschland. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. 2007. [Электронный ресурс]. URL: www.bgr.bund.de/nn_322854/DE/Themen/Wasser/grundwasser_deutschland.html

9. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2017 году». [Электронный ресурс]. URL: http://mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_vodnykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ispolzovanii_vodnykh_resursov_rossiyskoy_federatsii_v_2017_god/

10. «Водный кодекс Российской Федерации» от 3 июня 2006 г., № 74-ФЗ (ред. от 24 апреля 2020 г.) (с изм. и доп., вступ. в силу с 14 июня 2020 г.).

11. СанПиН 2.1.4.1110-02. «Зоны санитарной охраны источников централизованного водоснабжения и водопроводов питьевого водоснабжения».

12. *Andersson Y., Bohan P*. Disease surveillance and waterborne outbreaks. Water Quality: Guidelines, Standards and Health / Ed. L. Fewtrell, J. Bartram. London: IWA Publishing, 2001.

13. OECD. Assessing microbial safety of drinking water — improving approaches and methods. Published on behalf of the World Health Organization and the Organization for Economic Co-operation and Development. London: IWA Publishing, 2003.

14. *Craun M. F. et al*. Waterborne outbreaks reported in the United States // Water Health Suppl. 2006. N 2. P. 19—30.

15. *Craun G. F. et al.* Causes of outbreaks associated with drinking water in the United States from 1971 to 2006 // Clinical Microbiology Reviews. 2010. N 23. P. 507—528.

16. *Keswick B et al*. Viruses in groundwater // Environmental Science & Technology. 1980. N 14. P. 1290—1297.

17. *Fattal B. et al*. Survival of bacterial indicator organisms and enteric viruses in the Mediterranean coastal waters off Tel-Aviv // Water Research. 1983. N 17. P. 397—402.

18. *Gerba C. P*. Virus survival and transport in groundwater // Industrial Microbiology and Biotechnology 1999. N 4—5. P. 535—539.

19. *Yates M. V et al*. Virus persistence in groundwater // Appliedand environmental microbiology. 1985. N 49. P. 778—781.

20. *Burkhardt W. et al*. Inactivation of indicator microorganisms in estuarine waters // Water Research. 2000. N 34. P. 2207—2214.

21. World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality: first addendum to the fourth edition, 1st add, 4th ed. London: IWA Publishing, 2017.

22. *Riemer R.* Untersuchungen zum Transportverhalten von Bakterien in sandigen und kiesigen Filtermedien. Kiel: Ph. D. Thesis Univ., 1983.

23. *Matthess G., Pekdeger A*. Survival and transport of pathogenic bacteria and viruses in groundwater // Groundwater Quality / Eds. C. H. Ward, W. Giger, P. L. McCarty. New York: J. Wiley and Sons, 1985. P. 472—482.

24. *Yates M. V. et al*. Modeling virus survival and transport in the subsurface // Journal of Contaminant Hydrology. 1987. N 1. P. 329—345.

25. *Hurst C. J.* Influence of aerobic microorganisms upon virus survival in soil // Canadian Journal of Microbiology. 1988. N 34. P. 696—699.

26. *Бочевер Ф. М. и др. О* санитарной охране водозаборов подземных вод // Разведка и охрана недр. 1977. № 5. С. 35—38.

27. *Орадовская А. Е*., *Лапшин Н. Н*. Санитарная охрана водозаборов подземных вод. М.: Недра, 1987.

28. *Бочевер Ф. М., Лапшин Н. Н., Орадовская А. Е.* Защита подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1979.

29. *Орадовская А. Е., Моложавая Е. И*. Миграция микробных загрязнений в подземных водах // Тр. ВОДГЕО. 1977. № 77. С. 70—77.

30. *Brookes J. D. et al*. Fate and transport of pathogens in lakes and reservoirs // Environ International. 2004. N 30. P. 741—759.

31. *Buchan G. D. et al*. Pathogens: Transport by Water // Encyclopedia of Water Science. Second Edition. Boca Raton; Florida: CRC Press, 2008. P. 808—811.

32. *Gerba C. P.* Applied and theoretical aspects of virus adsorption to surfaces // Advances in Applied Microbiology. 1984. N 30. P. 133—168.

33. *Feachem R. et al*. Sanitation and disease: health aspects of excreta and wastewater management. New York: John Wiley and Sons, 1983. P. 349—356.

34. *Weber G. et al*. Überlebensfähigkeit von Yersinien in Trinkwasser // Forum Städte-Hyg. 1982. P. 242—244.

35. *Filip Z. et al*. Untersuchungen über das Verhaltenpathogener und anderer Mikroorganismen und Viren im Grundwasser im Hinblick auf die Bemesseung von Wasserschutzzonen // Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes. WaBoLu-Hefte. 1986.

36. *Burgess G.* Bacteria in Oligotrophic Environments: Starvation Survival Lifestyle. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 1997. Vol. 14. N 2. P. 305.

37. *Camper A. K. et al*. Growth kinetics of coliform bacteria under conditions relevant to drinking water distribution systems // Applied Environmental Microbiology. 1991. N 57. P. 2233—2239.

38. *Pedley S., Yates M., Schijven J. F, West J., Howard G., Barrett M.* Ch. 3. Pathogens: Health relevance, transport and attenuation. Protecting Groundwater for Health. Managing the Quality of Drinking Water Sources / Ed. O. Schmoll, G. Howard, J. Chilton, I. Chorus. World Health Organization (WHO). 2006. IWA Publishing, 2006. P. 49—80.

39. *Vital M. et al*. Growth of Vibrio cholera O1 Ogawa Eltor in freshwater // Microbiology. 2007. N 153. P. 1993—2001.

40. *Vital M. et al*. Escherichia coli O157 can grow in natural freshwater at low carbon concentrations // Environ Microbiology. 2008. N 10. P. 2387—2396.

41. *Шестаков В. М.* Динамика подземных вод. М.: Изд-во МГУ, 1979.

42. *Веригин Н. Н*. Диффузия и массообмен при фильтрации жидкостей в пористых средах // Развитие исследований по теории фильтрации в СССР (1917—1967). М., 1969. С. 237—313.

43. *Лукнер Л*. Моделирование миграции подземных вод. М.: Недра, 1986.

44. *Pekdeger A.*, *Matthess G*. Factors of bacteria and virus transport in groundwater // Environmental Geology. 1983. Vol. 5. P. 49—52.

45. *Bition G. et al.* Survival of pathogenic and indicator microorganisms in ground water // Ground Water. 1983. Vol. 21. N 4. P. 405—410.

46. *Sinton L.W. et al.* Sunlight Inactivation of Fecal Indicator Bacteria and Bacteriophages from Waste Stabilization Pond Effluent in Fresh and Saline Waters // Applied Environmental Microbiology. 2002. N 68. P. 1122—1131.

47. *Yeager J. G. et al*. Enterovirus inactivation in soil // Applied Environmental Microbiology. 1979. N 38. P. 694—701.

48. Althaus H. Hygienische Bedeutung der Lebensdauer von Bakterien und Viren in Grundwasserleitern im Zusammenhang mit den Grundwassergewinnungsanlagen // Forum — Mikroorganismen und Viren in Grundwasserleitern. DVGW-SchriftenreiheWasser. Frankfurt; München: ZfGW-Verlag 1983. N 35. P. 25—40.

49. *Charles K. J. et al*. Assessment of the stability of human viruses and coliphage in groundwater by PCR and infectivity methods // Journal of Applied Microbiology. 2009. N 106. P. 1827—1837.

50. *Ogorzaly L. et al*. Occurrence, survival, and persistence of human adenoviruses and F-specific RNA phages in raw yjvthf cnhfybw& cv/ dtpltgroundwater // Applied Environmental Microbiology. 2010. N 76. P. 8019—8025.

51. Wellings F.M. et al. Demonstration of virus in groundwater after effluent discharge onto soil // Applied Environmental Microbiology. 1975. N 29. P. 751—757.

52. *Abudalo R. A. et al*. Effect of ferric oxyhydroxide grain coatings on the transport of bacteriophage PRD1 and Cryptosporidium parvumoocysts in saturated porous media // Environ Sci Technology. 2005. N 39. P. 6412—6419.

53. *Van der Wielen P. W. et al*. Removal of bacteriophages MS2 and ΦX174 during transport in a sandy anoxic aquifer // Environ Sci Technology. 2008. N 42. P. 4589—4594.

54. *Hurst C. J. et al*. Effects of environmental variables and soil characteristics on virus survival in soil // Applied Environmental Microbiology. 1980. N 40. P. 1067—1079.

55. *Lance J.C. et al.* Virus movement in soil during saturated and unsaturated flow // Applied Environmental Microbiology. 1984. N 47. P. 335—337.

56. *Goyal S. M. et al*. Comparative adsorption of human enteroviruses, simian rotavirus, and selected bacteriophages to soils // Applied Environmental Microbiology. 1979. N 38 (2). P. 241—247.

57. *Drewry W. et al*. Virus movement in groundwater // Journal of the Water Pollution Control Federation. 1968. N 40. P. 257—271.

58. *Hancock C. M. et al*. Crypto and Giardiain US ground water // Journal of American Water Works Association. 1998. N 90. P. 58—61.

59. *Robertson L. J. et al*. Survival of Cryptosporidium parvumoocysts under various environmental pressures // Applied Environmental Microbiology. 1992. N 58. P. 3494—3500.

60. *Ives R. L. et al*. Use of cell culture to assess Cryptosporidium parvumsurvival rates in natural groundwaters and surface waters // Applied Environmental Microbiology. 2007. N 73. P. 5968—5970.

61. *Борисова Д. С., Никуленков А. М., Еремин Г. Б., Мозжухина Н. А., Ломтев А. Ю., Бадаева Е. А*. К вопросу миграции патогенных микроорганизмов из источников загрязнения в зонах санитарной охраны подземных источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения. Обзор литературы // Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2020. Т. 15. № 1. С. 342—359.

Глава 5

МИГРАЦИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

Подход, связанный с оценкой риска при защите подземных вод, включает оценку трех звеньев: источника загрязнения, путей распространения и рецептора. Крайне важной является оценка путей распространения в подземных водах. При этом оценивается влияние гидрогеологических условий на перемещение и аттенюацию химических веществ в подземных водах. Стабильность и мобильность загрязнителей подземных вод весьма значимы для оценки риска. Аттенюация химических веществ связана как с естественным гидрохимическим фоном, так и со свойствами самих химических веществ. Естественный геохимический фон определяется взаимодействием воды как поляризованного жидкого растворителя и выстилающей породы, что приводит к растворению ряда неорганических ионов: «макро»-анионов в виде нитратов, сульфатов, хлоридов или бикарбонатов и катионов натрия, калия, магния и кальция; «микро»-анионов фторидов и бромидов, а также широкого ряда металлов.

Процесс аттенюации обеспечивает движение химических веществ, отличающееся от общего тока подземных вод благодаря дисперсии, сорбции, химической и биологической деградации химических веществ [1]. Как правило, аттенюация снижает воздействие химических веществ, являясь функцией геологических и специфических свойств. В последнее время естественная аттенюация органических загрязнителей в подземных водах рассматривается как восстановительная стратегия при управлении рисками. По мнению ряда исследователей, происходит биодеградация многих токсичных углеводородов до простых органических кислот, которые, сами являясь менее токсичными, также деградируют с образованием углекислого газа и воды [1]. Другие исследователи более осторожны в оценке глубины минерализации [2]. Мы присоединяемся к последнему мнению, считая,

что трансформация органических соединений может приводить к образованию промежуточных соединений (например, альдегидов кислот, ярким примером является формальдегид), обладающих не только высокой токсичностью, но и канцерогенным действием. Это касается также многих пестицидов [3]. Таким образом, трансформация часто, но не всегда, означает дезактивацию (снижение токсичности) [1]. Процессы трансформации включают химическую преципитацию, комплексообразование, гидролиз, биодеградацию (биотические процессы) и химические реакции (абиотические процессы). Химическая преципитация, комплексообразование особенно важны для неорганических соединений. Образование комплексов типично для металлов, которые играют роль центральных атомов. В качестве лигандов выступают анионы Cl^-, F^-, Br^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, CO_3^{2-}, а также органические молекулы, например аминокислоты. Такие составляющие, как нитраты, аммоний, натрий, хлориды, часто обусловливают длительные проблемы в связи с высокой растворимостью в воде. Например, нитратное загрязнение занимает большие площади водоносных горизонтов, расположенных близко к поверхности в связи с загрязнением сточными водами или сельскохозяйственной деятельностью. Засоление воды, возникающее в результате поступления противогололедных средств, инфильтрации морской воды, подъема рассольных вод, приводит к деградации подземных вод, что усиливается избыточной откачкой. Основное движение неорганических соединений осуществляется благодаря адвекции. Ретардартные процессы (замедление) имеют место благодаря денитрификации, адсорбции, микробной декомпозиции, преципитации и хелатообразованию. Все эти процессы существенно менее эффективны в условиях сатурации. Наиболее эффективные механизмы снижения концентраций загрязнителей в подземных водах — дисперсия и разбавление. Сравнительное ранжирование мобильности наиболее часто встречающихся загрязнителей, которые связаны со складированием муниципальных отходов, показывает значительное снижение концентраций тяжелых металлов, двигающихся через глину, в то время как наблюдается лишь небольшое снижение концентраций водорастворимых органических компонентов при недостаточном содержании кислорода. Показана относительная эффективность различных минералов, содержащихся в глине, гидроокисей железа и алюминия в удалении тяжелых металлов [4]. Окисление в почве и в воде приводит к преципитации гидроокисей железа, марганца и алюминия, при этом происходит очищение и от других металлов. С другой стороны, условия окисления в воде могут поддерживать значительные концентра-

ции растворенных нитратов, которые могли бы быть легко редуцированы при условиях биологического и химического восстановления.

Хотя определенные металлы могут персистировать в подземных водах на протяжении длительного времени, их мобильность обычно ниже, чем у других, более «консервативных» неорганических веществ, таких как нитраты и хлориды. Это явление является следствием низкой растворимости многих металлов при условиях, характерных для большинства подземных вод, и благодаря тенденции адсорбироваться на минералах глины, гидроксидах железа и марганца, на органических субстанциях. Изоморфное замещение или ко-преципитация с минеральными или аморфными твердыми частицами также может быть важна [5].

Растворимость металлов в природных подземных водах обычно контролируется многочисленными анионами. Это гидроксильные, бикарбонатные, сульфатные, хлоридные, нитратные и (в восстанавливающей среде) сульфидные анионы.

Мобильность металлов зависит от растворимости их гидроксильных, карбонатных, сульфатных, хлоридных, сульфидных и органических комплексов [6]. Движение металлов, как и других неорганических соединений, осуществляется преимущественно благодаря адвекции. Комплексообразование способствует транспорту металлов.

Биодеградация является результатом микробной активности, при этом уровни биодеградации очень различны. Абиотические реакции имеют относительно малое значение для деградации. Только немногие органические соединения, например 1,1,1-трихлорэтан и некоторые пестициды, легко вступают в реакции гидролиза. Другие, например ароматический углеводород бензол, не реакционноспособны при взаимодействии с водой. Процессы аттенюации гораздо более активны в почве, чем в подземных водах.

Большое значение имеет загрязнение подземных вод органическими синтетическими соединениями. Эти соединения включают органические растворители, пестициды, синтетические углеводороды. Органические соединения могут удаляться из подземных вод различными путями. Химические реакции, микробная активность, кометаболизм снижают концентрации органических соединений или разрушают химические соединения за счет трансформации и потребления субстрата. На уровень деградации влияют также такие факторы, как объем контаминанта, смешиваемость и растворимость в воде, температура, pH, содержание кислорода, доступность определенных органических и неорганических веществ [7—9].

Декомпозиция особенно усиливается микроорганизмами, которые наиболее активны в почве и аэробных расположенных близко к поверхности водоносных горизонтах. Тем не менее процессы декомпозиции гораздо более медленны в подземных водах, чем в почве. Вследствие этого органические соединения могут персистировать долго, если возникло загрязнение подземных вод. В таблице 1 представлена персистенция некоторых органических веществ в подземных водах и почве.

Таблица 1

Персистентность органических веществ в подземных водах и почве [2]

Органические соединения	Ожидаемый полупериод жизни (годы)	
	В подземных водах	В почве
Углеводороды		
Бензол		1
Толуол		0.3
Ксилол		0.3
Этилбензол		0.3
C_3Бензол		0.6
Нафталин		0.6
Галогенизированные углеводороды		
Дихлорметан		10
Трихлорэтан		2
1,1,1-трихлорэтан		1
Дихлорбензол		1
Пестициды (растворимые в воде)*		
Хлордан		2—4
ДДТ		3—10
Дилдрин		1—7
Гептахлор		7—12
Токсафен		10
Дихлофос (DDVP)		0.047 (17 дней)
Метилдиметон		0.071 (26 дней
Тимет		0.005 (2 дня)
Пестициды (очень высокая растворимость в воде)**		
Этилендибромид (EDB)	5.8	0.04—0.35 (2—18 недель)
Дифлуцид, СП (DBCP)	2.5—140	0.2 (10 недель)
Алдикарб	0.2—12.5	0.08—0.15 (4—8 недель)
Атразин	0.2—2	0.08—1.1 (4—57 недель)
Карбофуран	0—1	0.02—0.7 (1—37 недель)

Некоторые пестициды могут загрязнять подземные воды благодаря высокому потенциалу выщелачивания. Из таблицы 1 видно, что определенные органические загрязнители очень персистентны, особенно в подземных водах. Например, для дифлуцида, СП (DBCP) полупериод жизни в почве составляет 10 недель, что контрастирует со 140 годами в подземных водах.

Большое внимание следует уделять феномену, называемому «облегченный или усиленный» транспорт [10]. Контаминанты, которые рассматривались как относительно маломобильные, такие как диоксины и металлы, были обнаружены на больших расстояниях от источников загрязнения. Оказалось, что органические растворители могут значительно влиять на мобильность этих загрязнителей. Исследования показали, что коллоиды и макромолекулы, по-видимому, облегчают движение контаминантов, придавая им свойство подвергаться дисперсии быстрее, чем средний подземный поток. В полной мере эффект этих явлений на транспорт металлов и органических соединений еще не известен.

Мышьяк, анион фтора, селен и уран являются примерами значимых для здоровья естественных компонентов подземных вод. Нитраты также могут быть естественными компонентами подземных вод, хотя значительно чаще связаны с загрязнением подземных вод. Не останавливаясь на эффектах, касающихся влияния на здоровье человека, которые наиболее полно представлены в Руководстве ВОЗ [11], рассмотрим распространенность, источники, перемещение и аттенюацию применительно к основным неорганическим веществам, встречающимся в природных и загрязненных подземных водах (таблица 2).

Благодаря высокой физико-химической и биохимической активности тяжелые металлы присутствуют в водных объектах в форме свободных и гидратированных ионов, коллоидов, взвешенных частиц, растворенных или сорбированных комплексов с органическим и неорганическим веществом. Тяжелые металлы, содержащиеся в катионной форме, обычно легко сорбируются, поэтому площади их нахождения приурочены преимущественно к локальным источникам загрязнения и имеют ограниченное распространение [23].

Аммоний, нитраты и азотсодержащие органические соединения гуминового типа являются преобладающими формами существования соединений азота в подземных водах. Хотя нитриты высокотоксичны, в подземных водах они встречаются в очень низких концентрациях, которые не опасны для здоровья. Однако нитриты могут стать значимы при превращении иона аммония или нитратов в системе водоснабжения или организме человека.

Таблица 2

Источники, распространенность, перемещение и аттенюация неорганических веществ в подземных водах

Наименование вещества	Источники, распространенность	Перемещение и аттенюация
Мышьяк	Особенно часто встречается в районах с высокой вулканической активностью. Наиболее частыми являются концентрации в подземных водах менее 10 мг/л, однако могут достигать 5000 мг/л [12, 13].	Перемещение преимущественно контролируется свойствами водоисточника, особенно адсорбцией на гидроокисях железа, гуминовых соединениях, глинах. Адсорбция идет нелинейно, непропорционально снижаясь при росте концентрации [12, 14].
Фториды	Широко распространены, но набольшие концентрации связаны с кислыми вулканическими породами [16]. Значительные концентрации в подземных водах связаны с флюоритами и апатитами. Наиболее часто встречающиеся концентрации в подземных водах не более 1.5 мг/л, но могут достигать 50 мг/л и более.	Концентрация фторида в подземных водах определяется присутствием иона кальция и растворимостью CaF_2. В условиях дефицита кальция в подземных водах могут наблюдаться высокие концентрации фторидов [15]. При pH более 8 и преобладании ионов натрия и карбонатов концентрации фторидов превышают 1 мг/л и более [16].
Селен	Концентрации селена в подземных водах редко превышают 1 мкг/л [16], но могут достигать 6000 мкг/л [17], высокие концентрации (десятки и сотни мкг/л) могут встречаться в поверхностных и подземных водах вблизи мест добычи металлосульфидных руд. Концентрации селена часто особенно высоки в поверхностных и подземных водах при шахтной добыче угля, в местах, где размещаются твердые отходы и сточные воды теплоэлектростанций, работающих на угле [18, 19].	Селен может существовать в четырех стадиях окисления: 0 (элементный селен), –2 (селенид), +4 (селенит), +6 (селенат). В условиях окисления встречается преимущественно как селенит (SeO_3^{2-}) и селенат (SeO_4^{2-}) ион в природных водах. Эти ионы имеют очень высокую растворимость и могут достигать очень высоких концентраций, когда вода подвергается высоким уровням суммарного испарения, как в регионах с семиаридным и аридным климатом. Селенатные и селенитные минералы могут аккумулироваться с сульфатами в почвах в регионах с семиаридным

Таблица 2 (окончание)

Наименование вещества	Источники, распространенность	Перемещение и аттенюация
		и аридным климатом. Высокие концентрации могут встречаться в подземных водах под участками интенсивного ирригационного земледелия. Концентрации селена в подземных водах, расположенных близко к поверхности, и в дренажных водах, от ирригационного земледелия на селеносодержащих почвах часто токсичны для диких животных [20]. В восстановительных условиях подземных вод или болотах селен может быть удален из воды через копреципитацию с сульфидными минералами, такими как пирит (FeS_2) или преципитацию с ферроселитом ($FeSe_2$); через испарение как диметилселенид или селенид водорода или через поглощение селенооргани-ческих соединений растениями.
Металлы (кадмий, свинец, никель, хром, медь)	Металлы, поступающие в подземные воды в результате добычи полезных ископаемых, производства металла, машин и оборудования, влияния сточных вод, мест размещения отходов, сельского хозяйства, сжигания ископаемого топлива могут достигать значений, опасных для здоровья человека. Металлы являются и естественными составляющими природных вод, возникающими в результате выветривания и растворения многочисленных минералов. Обычно концентрации металлов природного происхождения в природных водах очень низки: для меди и никеля менее 10 мкг/л, для свинца менее 5 мкг/л, для	Большинство металлов существует в подземных водах в виде катионов (Pb^{2+}, Cu^{2+}, Ni^{2+}, Cd^{2+}), которые становятся более растворимыми при уменьшении pH. При нейтральной pH, которая характерна для большинства подземных вод, растворимость большинства металлов ограничивается преципитацией (оксиды, гидроксиды, карбонатные и фосфатные минералы), а также выраженной абсорбцией на гидроксидах металлов, глине или органических веществах в матриксе водоисточника. Абсорбция падает со снижением pH. Вследствие этого в естественных или антропогенно закисленных водах металлы

кадмия и хрома менее 1 мкг/л. Однако даже металлы природного происхождения могут достигать токсикологически релевантных значений, например, если водоисточник содержит металлосодержащую руду.

Значимые концентрации в подземных водах могут быть связаны с влиянием добычи руды или металлургии, а также мест складирования отходов. Другой антропогенной причиной роста концентраций в подземных водах является закисление дождя и почвы в результате загрязнения окружающей среды и мобилизации металлов при низких значениях pH. Эта проблема наиболее ярко проявляется в районах, занятых лесами, поскольку накопление закисляющих анионов серы и азота из атмосферы существенно больше.

мобильны и могут перемещаться на большие расстояния. Более того, применительно к простым катионам не будет иметь место микробная или иная деградация.

Согласно [21] ртуть абсорбируется наиболее сильно, вследствие чего ее концентрации в подземных водах очень малы. Выраженная сорбция меди может меняться в связи с взаимодействием с комплексообразователями, такими как фульвокислоты [22].

Хром мобилен как стабильный оксианион (CrVI) при условиях окисления, но образует катионные формы (CrIII) в условиях восстановления и становится относительно малоподвижен при этих условиях. Например, загрязненные подземные воды под влиянием промышленных предприятий или мест складирования отходов содержат Cr^{3+} или CrO_4^{2-}, среди которых CrO_4^{2-} более токсичен, но реже встречается, чем Cr^{3+}. В большинстве подземных водоисточников хром не очень мобилен из-за преципитации гидроксид CrIII оксида. В богатой серой, восстанавливающей среде многие из следовых металлов формируют нерастворимые сульфиды [12].

Хотя соединения азота могут встречаться в природных водах, основными источниками загрязнения подземных вод является сельскохозяйственная деятельность, а также водоотведение.

Загрязнение нитратами премущественно связано с сельскохозяйственной деятельностью, меньшее влияние оказывают промышленные и сельскохозяйственные отходы. Нитратное загрязнение встречается в основном в трех формах: аммонийное, нитритное и нитратное. Нитратный азот является конечным продуктом в цепочке преобразований азота при его окислении. Процесс нитрификации продолжается от 1 до 1.5 месяцев. В зависимости от гидрогеохимической обстановки и температуры водоносного горизонта он может замедляться или ускоряться.

Для азота характерны и обратные процессы — денитрификации, в результате которых нитратный азот восстанавливается до нитритного или аммонийного. Процессы денитрификации в восстановительной обстановке в водоносных горизонтах замедляются или прекращаются, что способствует сохранению аммонийного азота длительное время без перехода его в нитратный. Аммонийный и нитритный азот являются промежуточными, неустойчивыми формами и в конечном итоге переходят в более устойчивую нитратную форму; в подземных водах накапливается азот именно в этой форме.

Нитраты хорошо растворяются в воде, практически не сорбируются водовмещающими породами, что способствует их миграции на большие расстояния по водоносным горизонтам, а также распространению в более глубоко залегающие водоносные горизонты.

В зависимости от гидрогеохимической обстановки в водоносных горизонтах и времени года азотистые соединения в подземных водах могут встречаться не только в нитратной, но и других формах (см. таблицу 3) [24—28].

Органические вещества. Органические соединения в подземных водах обычно образуются в результате разложения и выщелачивания встречающихся в природе органических материалов, например из богатых органикой почвенных горизонтов и органических веществ, связанных с другими геологическими пластами или деятельностью человека — сельскохозяйственной, торговой и промышленной.

Природные источники всегда вносят некоторые органические соединения в подземные воды, часто в низких концентрациях. Природные органические вещества включают водорастворимые соединения довольно сложной природы, обладающие широким спектром химических и физических свойств. Обычно естественные органические вещества в подземных водах состоят

Таблица 3

Источники, распространенность, перемещение, аттенюация соединений азота в подземных водах

Название	Источники, распространенность	Перемещение, аттенюация
Соединения азота	Природные уровни аммония в подземных и поверхностных водах обычно ниже 0.2 мг/л, концентрации нитратов в подземных и поверхностных водах в диапазоне 0—18 мг/л. Хотя повышенные уровни нитратов в подземных водах преимущественно связаны с сельским хозяйством и водоотведением, естественные нитратные концентрации могут превышать 100 мг/л. Подобное отмечается в некоторых аридных частях света (Северная Африка, Австралия).	Аммоний (NH^{4+}) демонстрирует выраженную тенденцию к адсорбции на минералах глины, что снижает его мобильность в субповерхностных (сатурированных и несатурированных) зонах. По контрасту, взаимодействия минералов нитратов и нитритов обычно очень малы и оба иона мобильны в субповерхностной зоне. В окислительных условиях окисление аммония через нитрит до нитрата микроорганизмами (нитрификация) является единственным способом появления нитрата в естественных условиях. В отсутствие растворенного кислорода (например, в глубоко залегающих подземных водах) может иметь место денитрификация, осуществляемая денитрифицирующими бактериями. При полностью анаэробных условиях, в водоисточниках, в которых преимущественно сульфиды выступают как восстанавливающие агенты, происходит микробное окисление сульфидов в сульфаты одновременно с восстановлением нитратов до газообразного азота, что также снижает содержание нитратов.

из гуминовых (в основном фульвокислот) и негуминовых веществ, например углеводородов [29, 30].

В то время как естественные органические вещества — это сложная, неоднородная смесь, ее можно охарактеризовать по размеру, структуре, функциональности и реактивности. Естественное органическое вещество может происходить из наземных

источников (аллохтонное природное органическое вещество) и/или водорослей и бактерий в воде (автохтонное природное органическое вещество). Природные органические вещества, хотя и считаются безвредными, косвенно могут влиять на качество грунтовых вод. Например, загрязнители могут связываться с органическими веществами-коллоидами, позволяющими облегчить их перенос в подземных водах, названный процесс (не доказано), имеет наибольшее значение для органических соединений с более высокой степенью сорбции.

Человеческая деятельность привела к появлению широкого спектра антропогенных органических химических веществ, обычно называемых «микрозагрязнителями» окружающей среды, некоторые из которых могут пагубно влиять на качество подземных вод. Основное внимание уделяется химическим веществам промышленного производства, которые обладают высокой токсичностью, имеют физические и химические свойства, способствующие их появлению в подземных водах, и наблюдаются часто в виде загрязнителей подземных вод. Наличие органических загрязнителей в подземных водах определяется не только интенсивностью их использования и потенциалом высвобождения, но и их физическими и химическими свойствами, влияющими на подземный перенос и аттенюацию.

Ключевое значение имеет признание того, что органические химические вещества имеют очень разное сродство к воде: могут быть как гидрофильными, так и гидрофобными. Гидрофильные соединения образуют с водой единую жидкую фазу и считаются смешиваемыми с водой, например метанол, ацетон, диоксан.

Однако большинство органических соединений относительно гидрофобны, поскольку это сравнительно большие молекулы ограниченной полярности с низким потенциалом водородных связей. Они не смешиваются с водой, и существует граница раздела фаз между органической фазой и водной фазой.

Так, большинство нефтяных углеводородов обладает меньшей плотностью, чем вода. Сама нефть и нефтепродукты представляют собой смесь углеводородов, отличающихся растворимостью в воде, однако в целом для них характерна слабая растворимость. Поэтому вода и нефть рассматриваются как взаимонерастворимые и несмешивающиеся жидкости, нефтепродукты располагаются в верхней части горизонтов. В случае загрязнения подземных вод нефтепродуктами на их поверхности формируются линзы, которые состоят из однофазной жидкости — углеводородов, мощность которых зависит от количества проникших в горизонт нефтепродуктов и может изменяться от нескольких сантиметров до нескольких метров. Ниже однофаз-

ного слоя залегает слой, содержащий двухфазную смесь в виде эмульсии. Наиболее растворимые углеводороды (в основном ароматические) образуют водный раствор. В результате нефтяного загрязнения подземных вод образуется стратифицированный разрез водоносного горизонта, в верхних слоях которого залегает собственно нефть, в средних — двухфазная смесь, а в нижних — раствор нефтепродуктов в воде. Площади, занятые эмульгированными и растворенными в воде углеводородами, в несколько раз больше площади, занятой нефтяной линзой. С движением двухфазной системы связано понятие фазовой проницаемости пористой среды. Если порода содержит до 80—85 % нефти, она будет практически непроницаема для воды, двигаться будет как нефть. При содержании в породе 15—20 % нефти порода будет проницаема только для воды.

В водоносных горизонтах происходит разрушение нефти и нефтепродуктов под влиянием биогенного и химического окисления, при этом образуются нафтеновые кислоты, фенолы, эфиры, карбонильные соединения, которые обладают высокой растворимостью, что способствует изменению состава растворимой части нефтепродуктов во времени [24, 27, 31].

Перемещение и аттенюация органических соединений в подземных водах связана с улетучиванием, растворимостью, сорбцией, химическими реакциями и биодеградацией.

Бактерии разлагают органические загрязнители до более простых, часто менее токсичных продуктов. Биоразложение считается основным процессом ослабления, который может смягчить растворенный шлейф [32]. Наблюдение показывает исчезновение органических загрязнителей, а также появление промежуточных органических загрязнителей, которые могут сами по себе сохраняться или в дальнейшем биоразлагаться, в идеале до безвредных неорганических продуктов, например воды, углекислого газа, хлорида. Условия изначально являются аэробными (содержащими кислород), в этих условиях биоразложение многих загрязняющих веществ часто происходит наиболее быстро. Концентрация растворенного кислорода в подземных водах обычно невысока, максимально ~ 10 мг/л.

Такие уровни могут быть легко уменьшены даже низкими или средними концентрациями органических веществ, возможность повторного поступления кислорода обычно невелика. Другими акцепторами электронов являются, например, сульфат, нитраты, железо и марганец, которые используются для продолжения биоразложения в анаэробных условиях. Биоразложение в наихудшем варианте происходит в метаногенных условиях. Как правило, большинство соединений на основе углеводородов

и большинство кислородсодержащих органических соединений являются относительно биоразлагаемыми в широком диапазоне условий и естественное ослабление таких шлейфов часто значительно. Хлорированные (галогенированные) соединения обычно меньше биоразлагаемы, но все больше данных показывает, что они все-таки разлагаются под действием соответствующих окислительно-восстановительных бактериальных условий.

Для некоторых загрязнителей полное биоразложение до доброкачественных продуктов происходит трудно, и могут сохраняться как исходные загрязнители, так и их промежуточные продукты разложения, оба из которых могут обладать токсичностью.

Наиболее значимыми для загрязнения подземных вод являются ароматические углеводороды и хлорированные углеводороды. Третьей наиболее значимой группой являются пестициды. Частота встречаемости 25 органических соединений, наиболее распространенных в подземных водах США и Германии, представлена на рис. 1.

Несмотря на то что некоторые соединения не встречаются часто, т. к. имеют ограниченное применение, часть из них может иметь очень низкую природную аттенюацию, в связи с чем может создавать распространенные шлейфы.

Некоторые химические группы, несмотря на широкое промышленное применение, представляют меньший риск в подземных водах в связи с высокой естественной аттенюацией. Примером таких групп являются полиароматические углеводороды (ПАУ) и полихлорированные бифенилы (ПХБ).

ПАУ являются компонентами креозотов и каменноугольной смолы, часто ассоциирующихся с коксованием угля [34]. Соединения этого класса могут быть как природного, так и антропогенного происхождения, часть из них является канцерогенами. Большинство ПАУ крайне плохо растворимы в воде и имеют выраженную тенденцию адсорбироваться на органическом матриксе почвы и седиментов, особенно ПАУ, обладающие большей молекулярной массой, например содержащий 5 колец бенз(а)-пирен. Таким образом, они не обнаруживаются в воде в значимых концентрациях. Однако, попав в подземные воды, являются очень устойчивыми к биодеградации и могут персистировать десятилетиями [35].

ПХБ являются классом стабильных соединений, содержащих бифенильное ядро (два связанных бензольных кольца) с двумя или более атомами, замещенными хлором. ПХБ производятся промышленно как сложные смеси, которые обычно содержат от 40 до 60 хлорированных бифенилов. Как и ПАУ, ПХБ плохо растворимы в воде и подвержены сорбции. ПХБ масла, истори-

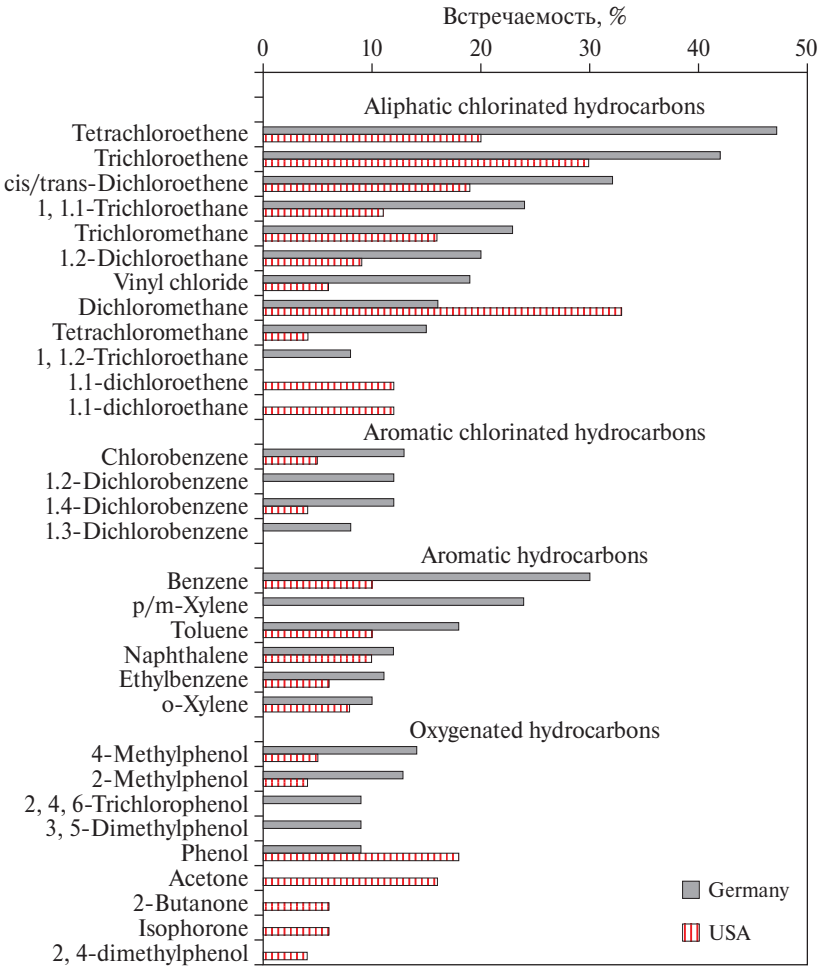


Рис. 1. Частота встречаемости (%) 25 органических соединений, наиболее распространенных в подземных водах США и Германии (при концентрациях более 1 мкг/л) [33]

чески используемые при производстве электрических трансформаторов, могут проникать глубоко в подземные воды. Растворенные ПХБ медленно поддаются биодеградации, поэтому ПХБ, как и ПАУ, могут являться причиной длительно существующего загрязнения подземных вод. Источники, распространенность, перемещение, аттенюация некоторых органических соединений в подземных водах приведены в таблице 4.

Таблица 4

Источники, распространенность, перемещение, аттенюация некоторых органических соединений в подземных водах

Название загрязнителей	Источники, распространенность	Перемещение, аттенюация
Ароматические углеводороды (Бензол, толуол, этилбензол, ксилол)	Ароматические углеводороды являются основными загрязняющими веществами, вызывающими озабоченность в связи с точечными источниками топлива и связанных с топливом загрязнений (нефти), производства, переработки и оптово-розничной продажи (автозаправочные станции) нефтепродуктов [36, 37]. Они также используются в качестве растворителей и сырья в химическом производстве. Разливы и случайные выбросы бензина, керосина и дизельного топлива — частые источники их появления в окружающей среде. В подземных водах чаще всего встречается бензол.	Ароматические углеводороды, являясь наиболее растворимыми углеводородами, попрежнему являются основным риском для подземных вод на участках, загрязненных углеводородами, так как растворенные концентрации и подвижность других алканов (разветвленных и линейных) и углеводородов ПАУ намного ниже. С начала 1990-х гг. было признано, что естественная аттенюация ароматических углеводородов имеет большое значение на большинстве участков из-за их высокой биоразлагаемости при различных условиях. При подавляющим большинстве условий возможность воздействия углеводородных шлейфов ограничена расстояниями в несколько сотен метров от исходных источников. Однако для сопутствующих более «тяжелых» компонентов, составляющих несколько процентов в составе АУ, распространения могут быть очень обширными. В [38] изображаются такие зоны протяженностью более 5 км вокруг нефтеперерабатывающих заводов около Плоешти, Румыния.
Хлорированные углеводороды (алифатические и ароматические)	Источники связаны с различными видами промышленности, где хлорированные	Многие хлорированные углеводороды могут медленно проникать на значительную

Дихорметан, трихлорметан (хлороформ), тетрахлорметан, трихлорэтан, тетрахлорэтан, винилхдлорид, дихлорбензол	углеводороды используются в качестве органических растворителей. В индустриальных странах часто связаны с размещением опасных отходов, например, это касается тетра и трихлорэтана, а также их основных метаболитов дихлорэтана и винилхлорида.	глубину, и их шлейфы могут достигать нескольких километров [39]. При аэробных условиях биодеградации трихлорэтана и дихлорэтана практически не происходит. Сорбция очень ограничена. Дисперсия также умеренна, однако давала распространение концентраций, близких к пороговым, со скоростью, на 100 % превышающей адвекцию. Однако в других случаях наблюдалась значительная биодеградация, включающая поэтапное дехлорирование, вплоть до алифатических или ароматических углеводородов. Процессы биодеградации сложны и отличаются в аэробных и анаэробных условиях.
Пестициды	Источники связаны преимущественно с применением в сельском хозяйстве, в некоторых случаях с аварийными ситуациями при производстве или хранении. Довольно часто определяются в поверхностных и подземных водах, однако концентрации ниже пороговых величин, предложенных ВОЗ, обычно находятся в диапазоне 0.1—10 мкг/л. Более высокие уровни могут встречаться при локальном загрязнении. Частые находки в подземных водах хлорорганических пестицидов свидетельствуют об их персистентности и применении в некоторых странах, несмотря на конвенцию ООН.	Мобильность и персистентность пестицидов хорошо изучены в связи со стандартом оценки. Способность пестицида загрязнять подземные воды связана с его персистентностью и сорбцией в почве. Почвы, содержащие значительное количество органических веществ и глины, абсорбируют пестициды на частицах почвы, препятствуя их поступлению в подземные воды. Коэффициент сорбции ДДТ в 20 000 раз выше, чем у алдикарба и в 1500 раз выше, чем у атразина. Это объясняет наличие находок алдикарба и атразина в подземных водах, в отличие от ДДТ. Деградация пестицидов может быть вызвана многими

Таблица 4 (окончание)

Название загрязнителей	Источники, распространенность	Перемещение, аттенюация
		процессами: на поверхности фотолизисом и гидролизом, который продолжается также в почве и грунтовых водах. Чем больше полупериод гидролиза, тем вероятнее, что пестициды попадут в подземные воды. Биодеградация наиболее активно идет в богатой микроорганизмами почве. Хлорорганические и триазиновые пестициды наиболее устойчивы к биодеградации и могут персистировать годами. Хотя мобильность некоторых хлорорганических гербицидов ограничена их гидрофобностью, их персистентность находит отражение в накоплении в жиросодержащих тканях животных, в основном за счет поступления из поверхностных вод через пищевую цепочку. Фосфорорганические пестициды быстро гидролизуются при pH выше нейтральных, теряя свою токсичность. Однако в отсутствии воды могут персистировать в течение многих месяцев [40]. Для карбаматов характерна значительная деградация [41]. Высокая растворимость в воде не обязательно коррелирует с более низкой степенью персистентности, но хорошо сорбируемые пестициды, как правило, более персистентны.

Биодеградация пестицидов связана с их молекулярной структурой, и полупериод жизни в почве может колебаться от нескольких дней до лет. При попадании в подземный водоисточник, являющийся значительно менее биологически активным, полупериод жизни может значительно увеличиваться [42, 43].

Загрязнение пестицидами. Под названием «пестициды» объединены все химические средства защиты растений (гербициды, инсектициды, фунгициды). По химическому составу пестициды разделяются на хлорорганические, фосфорорганические, ртутьорганические, мышьяксодержащие, карбаматы, производные мочевины. Современные пестициды относятся к другим группам химических веществ, поэтому описательное значение этой классификации снижается. Пестициды со временем подвергаются процессу распада (деструкции). К наиболее стойким относятся ртутьорганические (до 10 лет), хлорорганические (до 4—5 лет), мышьяксодержащие (до 2 лет) пестициды. Наименее стойкими и быстроразлагающимися являются фосфорорганические пестициды (до нескольких суток). Высокотоксичными являются мышьяксодержащие и ртутьорганические пестициды. Хлорорганические пестициды относятся к среднетоксичным, но вследствие своей стойкости наряду с мышьяксодержащими и ртутьорганическими пестицидами представляют наибольшую опасность. Хлорорганические пестициды в силу своей персистентности могут создавать долгосрочную проблему загрязнения подземных вод. Пестициды, как правило, плохо растворимы в воде.

Пестициды являются биологически активными токсичными веществами, многие из них превращаются в метаболиты, в некоторых случаях более токсичные, чем исходные вещества, при этом концентрации могут быть выше концентраций исходных веществ [3].

Новые проблемы.

Фармацевтические препараты. Все большее внимание уделяется микрополлютантам, связанным с фармацевтичес-

кими препаратами и активными компонентами ухода, выделяемыми людьми в качестве сложной смеси и попадающими в систему водоотведения [44]. Существует ряд путей попадания в подземные воды, но первично источником являются очищенные и неочищенные сточные воды. Имеются данные, что в процессе очистки сточных вод не удается полностью удалить вещества, источником которых являются фармацевтические препараты, а также они не полностью подвергаются биодеградации [45, 46]. Находки последних лет свидетельствуют, что большинство фармацевтических препаратов могут быть успешно аттенюированы в субповерхностном слое. Если поверхностные воды оказывают влияние на подземные воды, как при искусственной подпитке подземных вод, полярные фармацевтические средства, такие как клофибриновая кислота (регулятор липидов крови), карбамазепин и примидон (противоэпилептические средства), иодсодержащие рентгеноконтрастные вещества, могут мигрировать через поверхностный слой и определяться в подземных водах [47—49].

Соединения, разрушающие эндокринную систему. Большое внимание было привлечено к различным загрязнителям окружающей среды, которые действуют сходно с эстрогенами и другими половыми гормонами, в связи с этим взаимодействуют с эндокринной системой, оказывая негативные эффекты на состояние здоровья. Глобальная оценка представлений о веществах, разрушающих эндокринную систему, была опубликована в Программе по химической безопасности [50]. Более чем 70 000 химических веществ обсуждаются в связи с потенциальным разрушением эндокринной системы [51]. Эти вещества включают как синтетические вещества, производимые промышленно (чистящие средства, пестициды, пищевые добавки, противозачаточные таблетки, косметика), так и природно существующие вещества (такие как стероидные гормоны, эстрогены растительного происхождения, растительные препараты и металлы). В то время как бóльшая часть этих веществ является органической, следует отметить, что некоторые неорганические вещества, например металлы, также рассматривают как вещества, разрушающие эндокринную систему.

Стероидные половые гормоны эстрадиол, эстрон и тестостерон являются классом гормонально активных веществ, представляющих особый интерес, потому что они в естественных условиях выделяются в окружающую среду человеком и животными, а также широко используются в лекарственных средствах (в противозачаточных препаратах). Среди многочисленных химических веществ, которые рассматриваются как разрушающие

гормональную систему, многие более не используются в ряде развитых стран. Это хлорорганические пестициды (ДДТ, эндосульфан, дильдрин, токсафен) и ПХБ. Другие гормонально активные вещества, такие как различные фенольные соединения и фталаты, продолжают широко применяться по всему миру [52, 53].

ВОЗ пока не предложила регулирование по веществам, разрушающим гормональную систему, хотя некоторые хлорорганические соединения нормируются как пестициды. Присутствие этих веществ в подземных водах связано со сточными водами или проливом специфических химических веществ. Специфические процессы, применяемые при обработке сточных вод, играют ключевую роль в поступлении этих веществ в поверхностные и подземные воды [46].

Транспорт в подземные воды зависит от их гидрофобности и способности к деградации. Большинство наиболее активных веществ, таких как стероиды, гидрофобны и способны к деградации. Уровни деградации зависят от температуры, характеристик почвы и их молекулярного веса [43]. Потенциальный риск, связанный с поступлением в организм индивидуальных веществ, присутствующих в сточных водах, влияющих на подземные воды, не представляется значимым. Имеется мало данных о судьбе веществ (таких как натуральные и синтетические гормоны, пестициды) во время просачивания через почву и движения в водоисточнике, а отсутствие данных о токсичности при длительном воздействии низких концентраций делает невозможной окончательную оценку действия этих веществ в подземных водах на здоровье человека. Однако в подземных водах может содержаться множество веществ, которые аддитивно могут влиять на эндокринную систему.

В заключение надо отметить, что рассмотренные закономерности миграции и трансформации различных классов химических соединений как природного, так и антропогенного происхождения необходимо учитывать при мониторинге качества воды подземных источников водоснабжения, а также при оценке качества воды источника водоснабжения при обосновании ЗСО подземного водозабора, что будет подробнее рассмотрено в главе 10.

Список литературы

1. Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking Water Sources **(**World Health Organization (WHO)**)** / Ed. O. Schmoll, G. Howard, J. Chilton, I. Chorus. Geneva; London: IWA Publishing, 2006.

2. Guidelines for delineation of wellhead protection areas. Office of Groundwater Protection. Washington: EPA, 1987.

3. *Kolpin D. W., Barbash J. E., Gilliom R. J.* Pesticides in groundwater of the United States, 1992—1996 // Ground Water. 2000. N 38 (6). P. 858—863.

4. *Griffin R. A*. Attenuation of Pollutants Municipal Landfill Leachate by Passage Through Clay // Environment science and Technology. 1976. Vol. 10. P. 1262—1268.

5. *Freeze R. A., Cherry J. A*. Groundwater. New York: Prentice Hall, 1979.

6. *Matthess G. et al.* Der Stofftransport in Grundwasser und die Wasserschutzgeibietsrichtlinie. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1985.

7. *Helling C. S.* Pesticide mobility in Soils 111. Influence of Soil Properties // Science Society of American Journal. 1971. Vol. 35. P. 743—747.

8. *Iwata J., Westlake W. E., Gunther F. A*. Varying Persistence of Polychlorinated Biphenils in Six Californian Soils Under Laboratory Conditions // Bulletin of Environmental Contamination Toxicology. 1973. Vol. 9. P. 204—211.

9. *Griffin R. A., Au A. K., Chian E. S. K.* Mobility of Polychlorinated Biphenils and Dicambia in Soil Materials: by Soil Thin-Layer Chromatography // Proceedings 8th National Conference — Municipal and Industrial Sludge, March 19—21. Miami, Fl., 1979. P. 183—189.

10. *Bengtsson G., Enfield C. G., Lindqvist R.* Macromolecules Facilitate Transport of Trace Organics // Science of the Total Environment. 1987. Vol. 67. P. 159—169.

11. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. WHO; Geneva; Switzerland, 2017. [Электронный ресурс]. URL: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/ (дата обращения: 03.09.2021).

12. *Smedley P. L., Kinniburgh D. G*. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters // Applied Geochemistry. 2002. Vol. 17. N 5. P. 517—568.

13. Threats to the Quality of Groundwater Resources. Prevention and Control // Eds. A. Scozzari, E. Dotsika. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2016. (The Handbook of Environmental Chemistry).

14. *Smedley P. L., Kinniburgh D. G.*Source and behaviour of arsenic in natural waters. British Geological Survey. Wallingford, Oxon, 2001.

15. *Flühler H. P., Ferlin P., Selim H. M., Schulin R.* Transport of Fluoride, Bromide, and Chloride in Soil Columns and in a Soil Profile // Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft. 1985.Vol. 136. N. 2. P. 375—383.

16. *Hem J. D.* Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water:third edition // Eds. W. P. Clark, D. L. Peck. Alexandria;United States Government printing office, 1989 (U.S geological survey water-supply paper 2254).

17. World Health Organization. Selenium in Drinking-water: Background Document for development of WHO Guidelines for Drinking-wa-

ter Quality. WHO; Geneva; Switzerland, 2003. [Электронный ресурс]. URL:http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/selenium.pdf

18. *Barceloux D. G.* Selenium // Journal of Toxicology: Clinical Toxicology. 1999. Vol. 37. N 2.P. 145—172.

19. U. S. Environmental Protection Agency. Coal Combustion Waste Damage Case Assessments.USEPA; Washington; D.C., 2007. [Электронный ресурс]. URL: http://graphics8.nytimes.com/packages/pdf/national/07sludge_EPA.pdf

20. National Research Council. Irrigation-induced water quality problems. Washington; DC: National Academy Press, 1989.

21. *Sposito G*. The Chemistry of Soils. New York: Oxford University Press, 1989.

22. *Schnitzer M., Khan S. U.* Humic Substances in the Environment. New York: Marcel Dekker, Inc., 1972.

23. *Вениционов Е. В., Лепехин А. П.* Физико-химические основы моделирования миграции и трансформации тяжелых металлов в природных водах. Екатеринбург, 2002.

24. *Гольдберг В. М., Газда С.* Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984.

25. *Гольдберг В. М.* Методические рекомендации по гидрологическим исследованиям и прогнозам для их контроля за охраной подземных вод. М.: ВСЕГИНГЕО, 1980.

26. *Белоусова А. К., Гавич И. К., Лисенков А. Б., Попов Е. В.* Экологическая гидрогеология. Учебник для вузов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007.

27. *Белоусова А. П.* Качество подземных вод. Современные подходы к оценке. М.: Наука, 2001.

28. *Зекцер И. С.* Подземные воды как компонент окружающей среды. М.: Научный мир, 2001.

29. *Thurman E. M.* Organic Geochemistry of Natural Waters: Developments in Biogeochemistry. Dordrecht; Boston; Lancaster: Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, 1985.

30. *Stevenson F. J.* Structural basis of humic substances // Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions / Ed. P. J. Stevenson. 2nd ed. P. 285—302. New York: John Wiley & Sons, 1994.

31. *Хасамов Р. С., Гатитуллин Н. К., Ибрагимов Р. П., Покровский В. А.* Гидрогеологические условия нефтяных месторождений Татарстана. Казань: Фэн, 2009.

32. *Wiedemeier T. H., Rifai H. S., Newell C. J., Wilson J. T.* Natural Attenuation of Fuels and Chlorinated Solvents in the Subsurface. New York: John Wiley & Sons, 1999.

33. *Kerndorff H., Schleyer R., Milde G., Plumb R. H.* Geochemistry of groundwater pollutants at German waste disposal sites // Groundwater Contamination and Analysis at Hazardous Waste Sites / Eds S. Lesage, R. E. Jackson. New York; Basel; Hong Kong: Marcel Dekker, Inc., 1992.

34. *Johansen S. S., Hansen A. B., Mosbaek H., Arvin E.* Characterization of heteroaromatic and other organic compounds in groundwater at

creosote-contaminated sites in Denmark // Groundwater Monitoring and Remediation. 1997. N 17(2). P. 106—115.

35. *King M. W. G., Barker J. F*. Migration and natural fate of a coal tar creosote plume 1. Overview and plume development // Journal of Contaminant Hydrology. 1999. Vol. 39. N 3—4. P. 249—279.

36. *Newell C. J., Connor J. A*. Characteristics of Dissolved Hydrocarbon Plumes: Results from four studies // American Petroleum Institutetechnical transfer bulletin. 1998. P. 1—8.

37. *Newell C. J., Hopkins L. P., Bedient P. B*. (1990) A hydrogeologic database for ground-water modelling // Ground Water. N 28 (5). P. 703—714.

38. *Albu M. A., Morris L. M., Nash H., Rivett M. O.* Hydrocarbon contamination of groundwater at Ploiesti, Romania // Sustainable Groundwater Development / Eds. K. M. Hiscock, M. O. Rivett, R. M. Davison. 2002. N 193. P. 293—301.

39. *Mackay D. M., Cherry J. A*. Groundwater contamination: pump-and-treat remediation // Environmental Science & Technology. 1989. N 23 (6). P. 630—636.

40. *Graham-Bryce I. J.* The behaviour of pesticides in soil // Chemistry of Soil Processes / Eds. D. J. Greenland, M. H. B. Hayes. New York: John Wiley & Sons Ltd., 1981. P. 621—671.

41. *Williams W. M., Holden P. W., Parsons D.W., Lorber M. W*. Pesticides in Ground Water Data Base: 1988 Interim Report. US EPA; Washington; DC, 1988.

42. *Lavy T. L., Mattice J. D., Massey J. H., Skulman B. W., Senseman S. A*. Long-term in situ leaching and degradation of six herbicides aged in subsoils // The Journal of Environmental Quality. 1996. N 25. P. 1268—1279.

43. *Chilton P. J., Stuart M. E., Lawrence A. R., Gooddy D. C., Williams R. J., Johnson A. C*. Assessing pesticide pollution of groundwater: current knowledge and remaining gaps // Groundwater: Past Achievements and Future Challenges / Ed. O. T. N. Sililo. Balkema; Rotterdam, 2000. P. 17—26.

44. *Kümmerer K.* Ecotoxicological evaluation of pharmaceuticals // Pharmaceuticals in the Environment: Sources, occurrence, fate and effects. 2nd ed. Springer; Heidelberg; New York, 2004.

45. *Daughton C. G., Ternes T. A.* Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change? // Environmental Health Perspectives. 1999. Vol. 107, suppl. 6. P. 907—938.

46. *Drewes J. E., Shore L. S.* Concerns about pharmaceuticals in water reuse, groundwater recharge, and animal waste // Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Environment / Eds. Ch. Daughton, T. L. Jones-Lepp. American Chemical Society Symposium Series. 2001. N 791. P. 206—228.

47. *Heberer T., Schmidt-Bäumler K., Stan H.-J.* Occurrence and distribution of organic contaminants in the aquatic system in Berlin. Part I: Drug residues and other polar contaminants in Berlin surface and groundwater // Acta hydrochimica et hydrobiologica. 1998. Vol. 26. N 5. P. 272—278.

48. *Kuehn W., Mueller U*. Riverbank filtration — an overview // JAWA. 2000. N 92 (12). P. 60—69.

49. *Drewes J. E., Fox P., Jekel M.* Occurrence of iodinated X-ray contrast media in domestic effluents and their fate during indirect potable reuse // Journal of Environmental Science and Health Part A. 36 A (9). 2001. P. 1633—1645.

50. *Damstra T., Barlow S., Bergman A., Kavlock R., van der Kraak G*. Global Assessment of the State-of-the-Science of Endocrine Disruptors. International Programme on Chemical Safety. 2002. http://www.who.int/ipcs/publications/new_issues/endocrine_disruptors/en/index.html

51. *Bradley E. G., Zacharewski T. R.* (1998) Exoestrogens: mechanisms of action and strategies for identification and assessment // Bull Environ Contam Toxicol. N 17. P. 49—57.

52. National Research Council. Hormonally Active Agents in the Environment. Washington, DC.: National Academy Press, 1999.

53. *Lintelmann J., Katayama A., Kurihara N., Shore L., WenzelA*. Endocrine Disrupters in the Environment (IUPAC Technical Report) // Pure and Applied Chemistry. 2003. Vol. 75. N 5. P. 631—681.

Глава 6

ФАКТОРЫ, КОНТРОЛИРУЮЩИЕ РАЗМЕР И ФОРМУ ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОДОЗАБОРОВ

Размер и форма зоны санитарной охраны подземного водозабора контролируется целым комплексом природных и техногенных факторов, которые обладают синергическим эффектом. В частности, определяющую роль играют геологические условия и параметры эксплуатируемого водоносного горизонта, плановые границы фильтрационного потока и его направление, а также величина расхода скважины и возможность взаимодействия нескольких водозаборов между собой. В таблице 1 приведен перечень основных факторов, на которые необходимо обращать внимание при проведении расчетов ЗСО подземного водозабора.

Очевидно, что часть параметров из таблицы 1 *не может быть* самостоятельно получена проектировщиком в рамках отведенного ему бюджета при разработке проекта ЗСО. Поэтому камеральная работа по сбору фондовой литературы и материалов

Таблица 1

Основные факторы, определяющие размеры и геометрию ЗСО подземного водозабора

№ п.п.	Факторы (параметры)
1	Расход водозабора
2	Тип водоносного горизонта
3	Мощность водоносного горизонта
4	Коэффициент фильтрации
5	Активная пористость
6	Параметр перетекания/взаимодействие водоносных горизонтов
7	Направление и градиент потока подземных вод
8	Естественные границы фильтрационного потока
9	Взаимодействие с соседними водозаборами

предыдущих исследований в районе расположения водозабора должна предшествовать этапу расчета ЗСО. Как правило, необходимые материалы доступны в территориальных фондах геологической информации (ТФГИ) в отчетах по оценке запасов подземных вод или при проведении других специализированных работ.

Работа с параметрами из таблицы 1 имеет ряд нюансов, которые хорошо известны гидрогеологам, но не столь очевидны экологам и проектировщикам. Поэтому далее остановимся более подробно на каждом параметре.

1. Расход водозабора. Для расчетов 2-го и 3-го поясов ЗСО необходимо использовать расход подземного водозабора (Q, м/сут). Его величина обосновывается в установленном порядке путем расчета водопотребности. Размер зоны санитарной охраны 2 и 3 пояса пропорционален величине расхода (Q), т. е. чем больше расход, тем больше площадь ЗСО (рис. 1).

Анализ опыта эксплуатации подземных водозаборов показывает, что в большинстве случаев расчетная водопотребность водозабора в годовом срезе оказывается выше фактической. Часто это связано с неравномерностью режима работы водозабора в различные сезоны года, а также с другими факторами, кото-

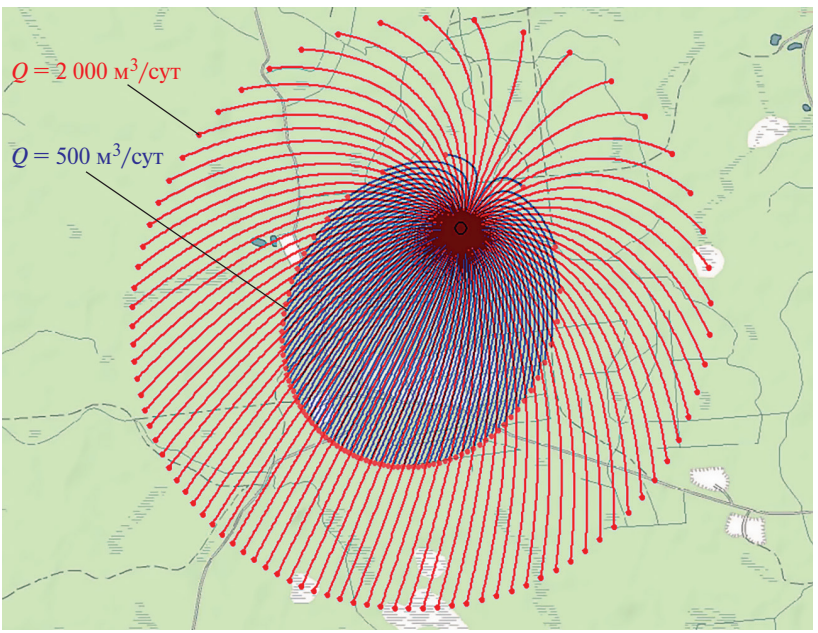


Рис. 1. Связь размера ЗСО с расходом подземного водозабора

рые не учитывались при расчете водопотребности. В этой связи представляется интересным опыт британских коллег [1], которые в расчеты закладывают величину расхода, уменьшенную на 15 % от расчетной водопотребности. Такой подход позволяет более эффективно управлять территориями и незначительно повышает риски загрязнения водозабора.

2. Тип водоносного горизонта. Гидрогеологические условия, в которых происходит эксплуатация водозабора подземных вод, могут быть различными. Выделяют несколько типов водоносных горизонтов (рис. 2).

Безнапорный водоносный горизонт — первый от поверхности горизонт, подстилаемый водоупором и ограниченный сверху свободной депрессионной поверхностью (рис. 2*а*). Близкое расположение безнапорного водоносного горизонта к дневной поверхности предопределяет высокие риски его загрязнения. Как правило, безнапорные горизонты считаются недостаточно защищенными, что влечет за собой применение к ним более строгих критериев при назначении 1-го и 2-го поясов ЗСО. Однако в случае наличия в зоне аэрации слабопроницаемых слоев (суглинков и глин) можно попробовать обосновать защищенность безнапорного горизонта и сократить размеры 1-го и 2-го поясов ЗСО.

Напорный водоносный горизонт — это горизонт, который отделен сверху и снизу водоупорами (непроницаемыми породами), а его пьезометрическая поверхность располагается выше подошвы верхнего водоупора (рис. 2*б*). Напорные горизонты являются хорошо защищенными, что позволяет сокращать 1-й и 2-й пояса ЗСО в установленном порядке. В некоторых случаях можно обосновать сокращение и 3-го пояса ЗСО за счет учета времени проникновения загрязнения через разделяющий водоупорный слой. Тема защищенности водоносных горизонтов подробно обсуждается в главе 7.

Слоистый водоносный комплекс состоит из нескольких водоносных горизонтов, разделенных слабопроницаемыми слоями. При этом между водоносными горизонтами существует гидродинамическая связь, т. е. разделяющие слои не являются абсолютными водоупорами. Если гидравлическая связь отсутствует, то каждый водоносный горизонт можно рассматривать по отдельности.

В случае если фильтр водозаборной скважины оборудован сразу на несколько водоносных слоев, в расчетах ЗСО можно рассматривать такую систему как единый водоносный горизонт с эффективной мощностью, равной сумме вскрытых водопроводящих слоев (см. ниже: Пример 1).

В случае, если фильтр водозаборной скважины оборудован только на один водоносный горизонт слоистого комплекса, то

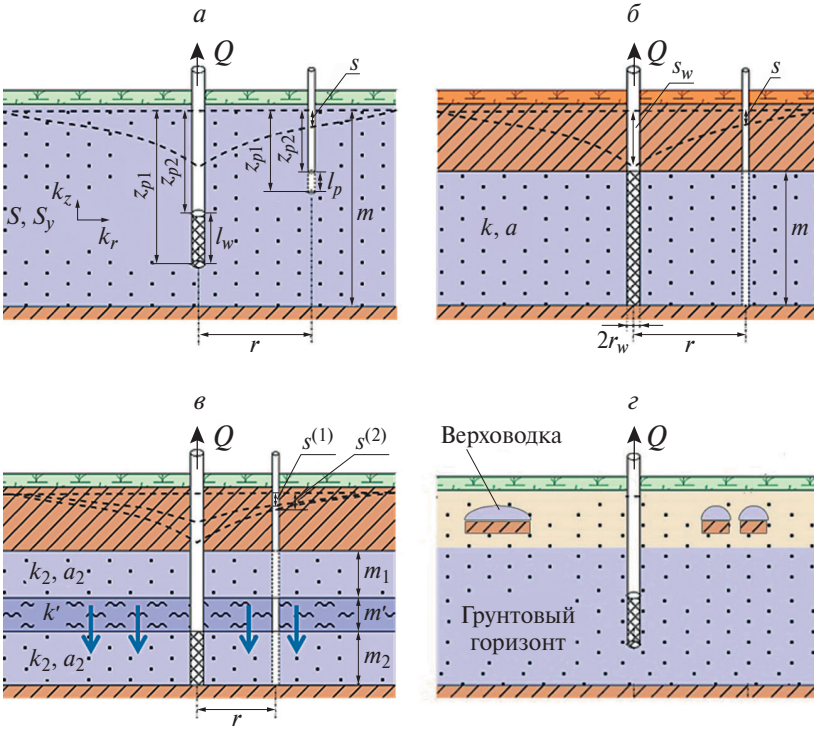


Рис. 2. Основные типы водоносных горизонтов.

а — безнапорный, *б* — напорный, *в* — слоистый, верховодка, *г* — верховодка

со временем при работе водозабора может начать проявляться эффект перетекания из смежных пластов. Дополнительное питание будет сдерживать распространение депрессионной воронки от водозабора, что в свою очередь приведет к сокращению размеров 2-го и 3-го поясов ЗСО.

Однако в некоторых случаях взаимодействие водоносных горизонтов может рассматриваться как негативный фактор. Например, когда в смежном водоносном горизонте содержится вода некондиционного качества, гидравлическая связь между горизонтами будет приводить к постепенному поступлению загрязненной воды в эксплуатируемый пласт и, как следствие, будет изменять качество водозаборной воды во времени. Таким образом, при расчете ЗСО в слоистой системе необходимо всегда оценивать риски поступления воды некондиционного качества из смежных горизонтов.

Еще один тип водоносного горизонта — верховодка. Это линза воды, которая формируется в зоне аэрации на слое слабопроницаемых пород. Как правило, верховодка носит сезонный характер и не используется для централизованного водоснабжения ввиду ограниченности своих запасов.

3. Мощность водоносного горизонта. Мощность водоносного горизонта (m, м) участвует в гидродинамических расчетах ЗСО. Для однородного безнапорного горизонта в расчетах используется только первоначально обводненная мощность горизонта, в то время как для напорного горизонта используется мощность водопроводящего слоя (рис. 3).

При прочих равных условиях увеличение мощности водоносного горизонта приводит к сокращению размеров ЗСО (рис. 4).

Однако не всегда мощность водоносного горизонта может быть однозначно определена. Часто бывает, что водозаборная скважина является несовершенной по степени вскрытия, т. е. вскрывает фильтром только верхнюю часть водоносного горизонта. В случае если полная мощность водоносного горизонта не установлена, то для расчетов рекомендуется принять вскрытую скважиной мощность горизонта, поскольку это обеспечит консерватизм в расчетах.

Рассмотрим далее пару примеров, когда скважина вскрывает несколько водопроницаемых слоев одновременно или является несовершенной по степени вскрытия.

Пример 1. Скважина оборудована фильтрами на несколько водоносных слоев, отделенных друг от друга прослоями слабопроницаемых пород. При откачке из слоистой системы суммарный расход из скважины будет формироваться пропорционально проводимости каждого из слоев, а скорость миграции загрязнения внутри каждого слоя будет определяться его коэффициентом фильтрации и активной пористостью. Таким образом, зону санитарной охраны водозабора можно представить в виде набора зон, размер которых в каждом слое будет различен. Тогда размер ЗСО водозабора будет равняться сумме проекций на горизонтальную плоскость ЗСО для каждого слоя.

Современные программные средства (аналитические и численные модели) позволяют без труда рассчитывать зоны санитарной охраны в гетерогенных слоистых системах при наличии исходных данных. Однако на практике информация о характере распределения коэффициента фильтрации и активной пористости по разрезу доступна крайне редко.

Как правило, распределение коэффициентов фильтрации по глубине в слоистой системе не известно, но имеются данные о суммарной проводимости пласта (T, м^2/сут), полученной

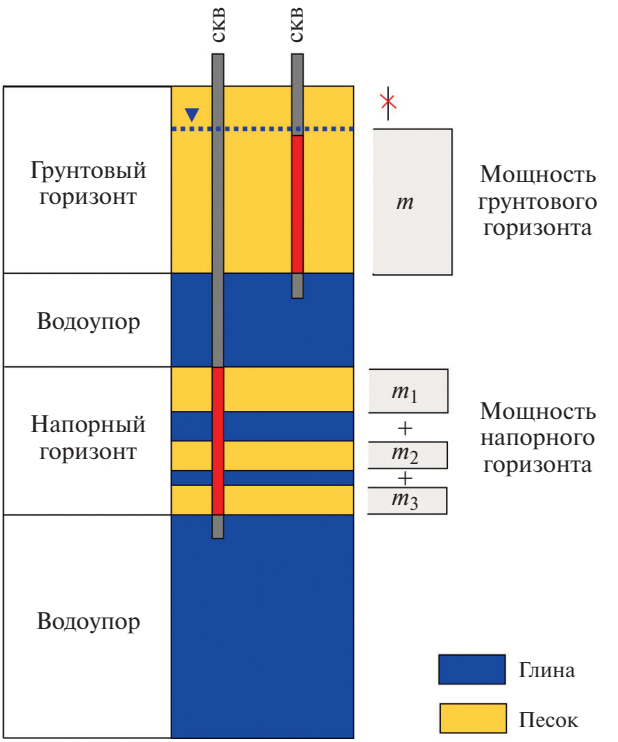


Рис. 3. Определение мощности водоносного горизонта

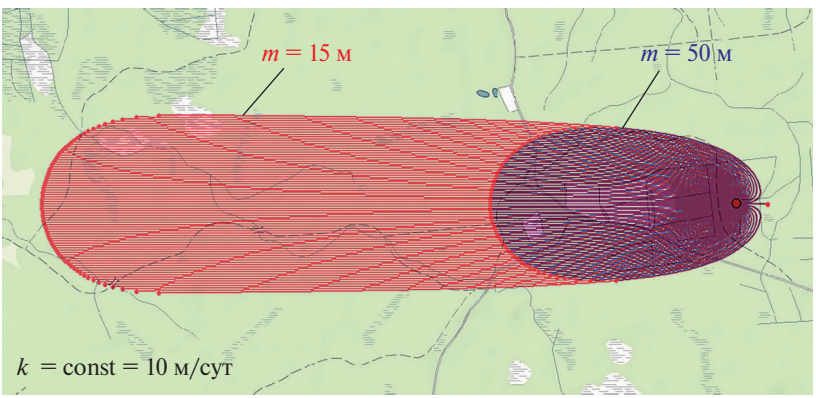


Рис. 4. Связь размера ЗСО с мощностью водоносного горизонта

в результате откачки из скважины. В таком случае рекомендуется рассчитать эффективный коэффициент фильтрации (k_e, м/сут) с учетом накопленной мощности вскрытых водопроводящих слоев ($\sum m_i$, м), и далее рассчитывать единую ЗСО для всех вскрытых слоев с использованием эффективных величин k_e и $\sum m_i$.

$$k_e = T / \sum m_i, \quad (1)$$

где T — проводимость водоносного горизонта, м^2/сут; k_e — эффективный коэффициент фильтрации для слоистой толщи, м/сут; $\sum m_i$ — суммарная мощность вскрытых скважиной водопроводящих слоев, м.

Пример 2. Скважина с открытым стволом вскрывает трещиноватый массив на глубину 100 м. Скважина является несовершенной по степени вскрытия, а нижняя граница водоносного горизонта отнесена на неизвестную глубину.

Как правило, проницаемость трещиноватых пород падает с глубиной за счет более интенсивного протекания процессов выветривания на поверхности. Поэтому за мощность водоносного горизонта следует принять мощность коры выветривания или зоны повышенной трещиноватости. Эта мощность может быть определена в результате бурения скважины и проведения скважинных или наземных геофизических исследований. Как правило, мощность экзогенной трещиноватости затухает на глубинах 100—300 м. При отсутствии данных о характере зоны трещиноватости наиболее консервативным вариантом для расчета ЗСО следует принять мощность водоносного горизонта равной глубине скважины.

4. Коэффициент фильтрации. Коэффициент фильтрации (k, м/сут) — это один из основных параметров в гидрогеологии, который линейно связывает скорость фильтрации жидкости в пористой среде с градиентом давления. Коэффициент фильтрации зависит от типа пород, а также от свойств фильтрующейся жидкости. Чем выше коэффициент фильтрации, тем выше скорость фильтрации. Эту связь обнаружил в 1856 г. французский инженер-гидравлик Анри Филибер Гаспар Дарси (закон Дарси), когда проектировал систему городских очистных сооружений с различными фильтрационными засыпками.

Коэффициент фильтрации может быть выражен через проводимость (T) и мощность водоносного горизонта (m):

$$T = k \cdot m, \quad (2)$$

где T — проводимость пласта, м^2/сут; k — коэффициент фильтрации, м/сут; m — мощность водоносного горизонта, м.

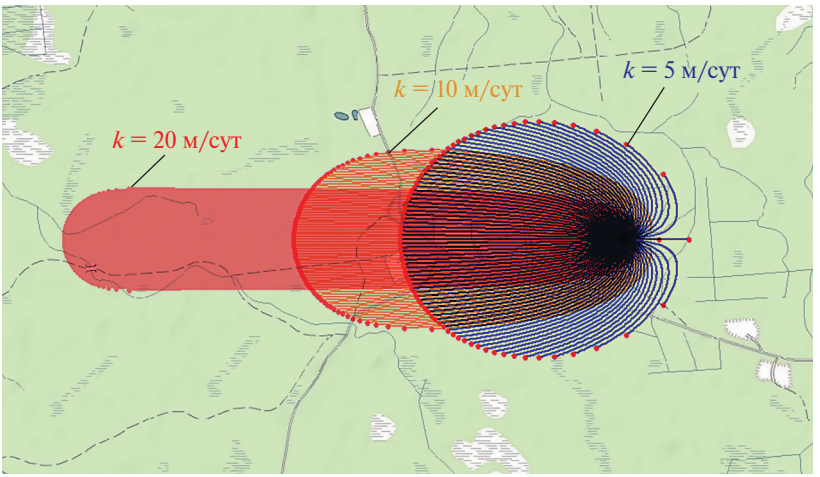


Рис. 5. Связь размера ЗСО с коэффициентом фильтрации водоносного горизонта

Увеличение коэффициента фильтрации в расчетах приводит к деформации ЗСО: ее общая ширина уменьшается, а длина наоборот вытягивается вверх по потоку подземных вод (рис. 5).

Коэффициент фильтрации может быть определен различными способами (рис. 6).

Рассмотрим основные способы в порядке уменьшения их достоверности.

Наиболее достоверным и распространенным способом является проведение опытно-фильтрационных опробований (откачек из скважин). По скорости изменения уровня воды в скважине во время откачки и величине расхода рассчитывается коэффициент фильтрации. Проведение и интерпретация результатов опытных опробований осуществляется специалистами-гидрогеологами и имеет множество нюансов. Исчерпывающий набор аналитических решений для интерпретации опытно-фильтрационных опробований можно найти в работе [2]. Особенности интерпретации откачек наиболее подробно изложены в работе [3].

Главным достоинством полевого метода является то, что по результатам откачки получается представительный коэффициент фильтрации, характеризующий довольно большой объем пород, т. к. гидродинамическое воздействие от откачки распространяется на многие десятки и сотни метров в пласте.

Опытно-фильтрационные опробования скважин являются обязательным видом работ при подготовке отчета по оценке

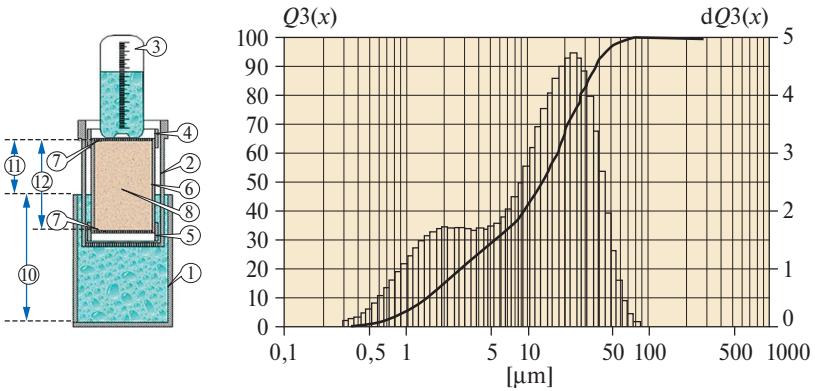


Рис. 6. Методы определения коэффициента фильтрации

запасов подземных вод и получении лицензии на водопользование. Поэтому коэффициент фильтрации по результатам откачки можно найти в отчетах по оценке запасов подземных вод, хранящихся в территориальных фондах геологической информации (ТФГИ).

Коэффициент фильтрации также может определяться лабораторным способом. Обычно для этого используют трубку Каменского, СПЕЦГЕО или схожие устройства. Суть лабораторного эксперимента идентична опыту Дарси: в стакан с открытым дном отбирается образец породы, через который затем пропускают воду, создавая при этом различные градиенты. В процессе эксперимента измеряют скорость прохождения воды через образец. Главными недостатками лабораторного метода являются трудности с отбором образцов пород ненарушенного сложения,

а также локальный масштаб опробования. Размеры опробуемых образцов не превышают 10 см, это означает, что полученный коэффициент фильтрации в образце нельзя напрямую распространить на всю толщу водоносного горизонта.

Коэффициент фильтрации может быть приближенно рассчитан **по эмпирическим формулам**, основанным на взаимосвязи коэффициента фильтрации с гранулометрическим составом пород и в некоторых случаях с пористостью. Наибольшее распространение получили эмпирические формулы Хазена, Слихтера и Козени [4]. Отметим лишь, что эмпирические формулы не являются универсальными, и должны применяться с большой осторожностью.

5. Активная пористость. Активная пористость (n_a, м^3/м^3) — это величина отношения объема пор и других пустот, по которым загрязнение может свободно передвигаться, к общему объему горной породы. Поскольку в породах существуют узкие и тупиковые поры, то общая пористость пород (n) и активная пористость (n_a) не равны. Как правило, в крупнозернистых дисперсных грунтах они стремятся друг к другу, однако по мере уменьшения размеров гранулометрической фракции расхождения становятся все более и более значимыми (рис. 7). Например, у гравия обе пористости стремятся к 0.3, в то время как для глины общая пористость (n) может быть равной 0.5, а активная (n_a) не превышать 0.1.

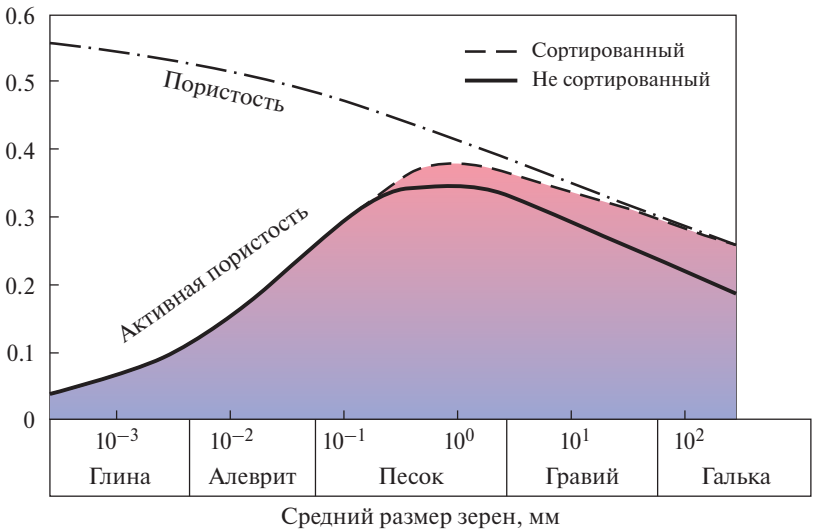


Рис. 7. Связь пористости и активной пористости

Для условий трещиноватых пород не совсем корректно говорить о пористости как таковой. В расчеты ЗСО необходимо закладывать значение пустотности — величины отношения объема раскрытых трещин и каверн к общему объему породы. Для высокодебитных водозаборов, оборудованных на трещиноватые породы, величина пустотности может находиться в диапазоне от 0.05 до 0.15.

Действительная скорость миграции загрязнения в водоносном горизонте обратно пропорциональна активной пористости:

$$u = \frac{k \cdot I}{n_a}, \tag{3}$$

где u — действительная скорость, м/сут; I — градиент потока, м/м; n_a — активная пористость, $м^3/м^3$.

Согласно уравнению (3), увеличение активной пористости приводит к замедлению скорости миграции вещества в водоносном пласте и наоборот. Это означает, что при увеличении активной пористости размеры ЗСО будут сокращаться (рис. 8).

Активная пористость не определяется при стандартных видах исследований. Поэтому в большинстве случаев для расчетов используется справочная величина. Для безнапорного водоносного горизонта за активную пористость можно принять ве-

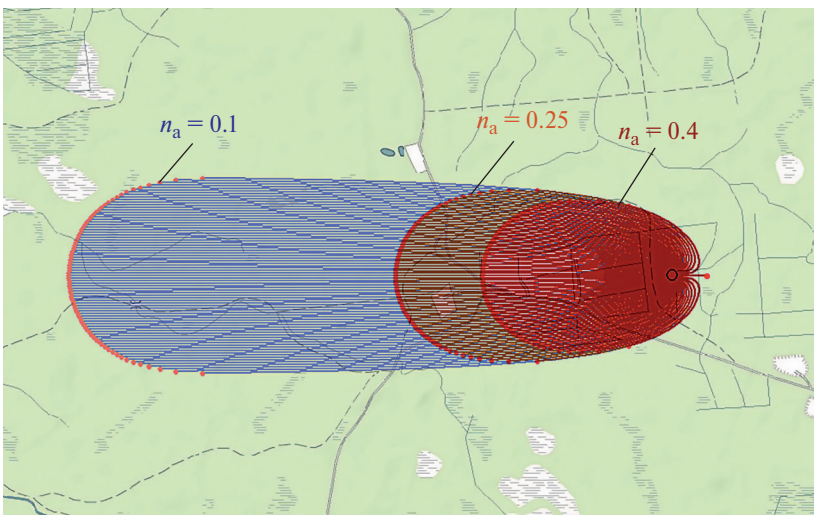
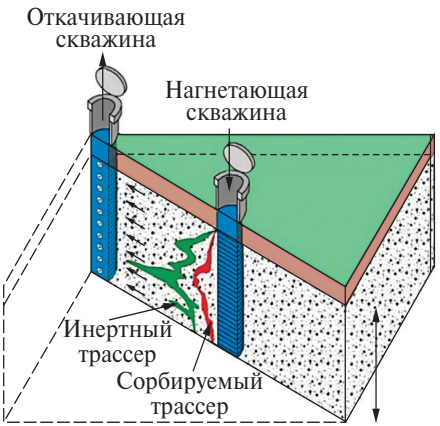


Рис. 8. Связь размеров ЗСО с активной пористостью



Полевой: запуск трассера в водоносный горизонт

Лабораторный: фильтрационная колонна

Рис. 9. Методы определения активной пористости

личину гравитационной водоотдачи, которая определяется при опытно-фильтрационных работах.

Специализированные работы по определению активной пористости могут проводится как в лаборатории, так и в поле (рис. 9).

Лабораторные работы проводятся в фильтрационной колонне. Индикатор запускается с одной стороны колонны и прослеживается его выход с противоположной. По времени прихода индикатора оценивается активная пористость.

В полевых условиях, как правило, индикатор запускается в нагнетательную скважину, а выход наблюдается в откачивающей. Методика интерпретации трассерных запусков изложена в работе [5]. Очевидно, что, так же как и в случае с коэффициентом фильтрации, полевые эксперименты обладают большим масштабом и являются наиболее репрезентативными в сравнении с лабораторными.

Справочные параметры. При отсутствии исходных данных по коэффициенту фильтрации и активной пористости для расчета ЗСО можно использовать справочную литературу. Отличительной особенностью такого подхода является высокая неопределенность параметров — диапазон изменения параметра для одной и той же литологической разности может быть очень широким. Для примера в таблицах 2, 3, 4 приведена выборка справочных параметров, согласно работе [6].

Таблица 2

Параметры для несцементированных осадочных пород

Тип пород	Коэффициент фильтрации, м/сут		Активная пористость, $м^3/м^3$	
	от	до	от	до
Гравий	25	2600	0.1	0.3
Крупнозернистый песок	0.08	520	0.15	0.3
Среднезернистый песок	0.08	40	0.15	0.32
Мелкозернистый песок	0.02	20	0.15	0.35
Супесь, лесс	1×10^{-4}	2.0	0.05	0.2
Отложенная морена	1×10^{-7}	0.2	0.05	0.2
Глина	1×10^{-6}	4×10^{-4}	0.05	0.1
Морская глина	1×10^{-7}	2×10^{-4}	0.05	0.1

Таблица 3

Параметры для сцементированных осадочных пород

Тип пород	Коэффициент фильтрации, м/сут		Активная пористость*, $м^3/м^3$	
	от	до	от	до
Карстовый, трещиноватый, рифовый известняк	0.1	1700	0.05	0.15
Известняк, доломит	1×10^{-4}	5	0.005	0.05
Песчаник	3×10^{-5}	2	0.1	0.3
Алевролит	1×10^{-6}	1×10^{-3}	0.05	0.2
Сланец	1×10^{-8}	2×10^{-4}	0.05	0.3

* С учетом объема пустот в трещинах и кавернах.

Таблица 4

Параметры для кристаллических пород

Тип пород	Коэффициент фильтрации, м/сут	
	от	до
Проницаемый базальт	0.03	1400
Трещиноватая магматическая и метаморфическая порода	6×10^{-4}	20
Выветрившийся гранит	0.2	4
Выветривания габбро	0.04	0.3
Базальт	1×10^{-6}	0.03
Неразрушенная магматическая и метаморфическая порода	2×10^{-9}	1×10^{-5}

Ввиду высокой неопределенности при использовании справочных параметров для расчета ЗСО рекомендуется руководствоваться принципом консерватизма. В частности, использовать минимальные значения активной пористости из выбранного диапазона вероятных значений, характерных для конкретной литологической разности.

6. Параметр перетекания. Параметр перетекания (B, м) — это комплексный параметр, который характеризует степень гидравлического взаимодействия смежных водоносных горизонтов (рис. 10). Параметр (B) зависит от проводимости основного водоносного пласта (T), а также коэффициента фильтрации (k') и мощности разделяющих слабопроницаемых слоев (m'). Чем меньше параметр B, тем интенсивнее происходит взаимодействие водоносных горизонтов.

Перетекание из смежных горизонтов приводит к стабилизации депрессионной воронки от работающего водозабора, и, как следствие, размеры ЗСО также перестают расти во времени (рис. 11).

Параметр перетекания определяют по результатам опытно-фильтрационных опробований водозаборных скважин. Зная его величину, на основе уравнений (4 и 5) можно оценить коэффициенты фильтрации разделяющих водоупоров.

При наличии одного питающего слоя, когда вода поступает только через слабопроницаемый слой, находящийся в кровле,

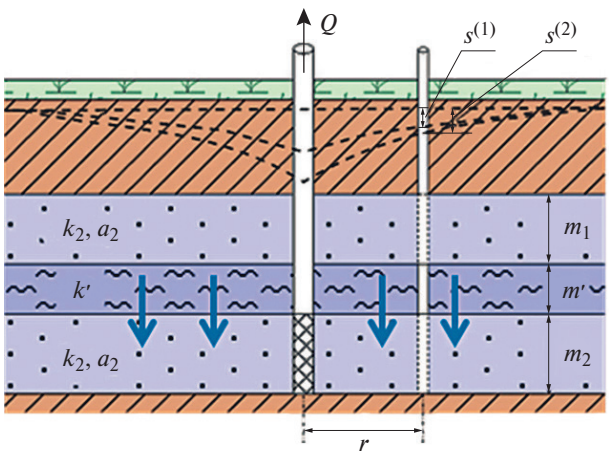


Рис. 10. Схема гидравлического взаимодействия смежных водоносных горизонтов

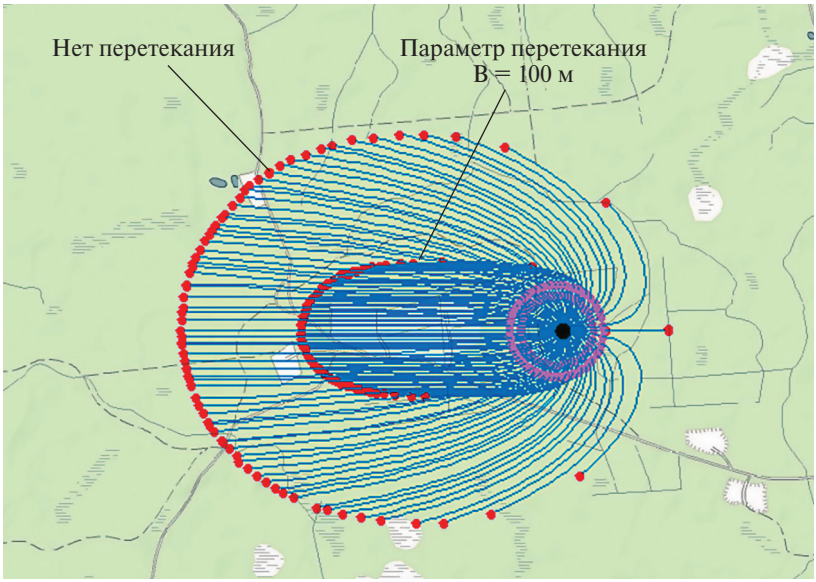


Рис. 11. Связь размера ЗСО с параметром перетекания

или только через слой, находящийся в подошве водоносного пласта:

$$B = \sqrt{\frac{T \cdot m'}{k'}} \tag{4}$$

При наличии двух питающих слоев, когда вода поступает через слабопроницаемые слои, находящиеся в кровле и подошве водоносного пласта:

$$B = \sqrt{\frac{T \cdot m' \cdot m''}{k' \cdot m'' + k'' \cdot m'}}, \tag{5}$$

где B — параметр перетекания, м; T — проводимость водоносного пласта, м²/сут; k' и k'' — коэффициенты фильтрации слабопроницаемых слоев, м/сут; m' и m''— мощности слабопроницаемых слоев, м.

При расчете ЗСО подземных водозаборов в аналитических моделях, как правило, используют параметр перетекания (B). На численных моделях перетекание задается через коэффициент фильтрации водоупорного слоя (k') и его мощность (m').

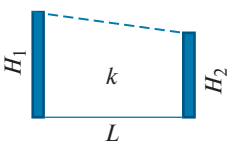
7. Направление потока подземных вод и его градиент. Подземные воды формируются и начинают свой путь при выпадении атмосферных осадков на водораздельных частях водосборных бассейнов. Финишной точкой движения подземных вод являются региональные зоны разгрузки, такие как крупные реки, озера, океан. Часть подземной воды перехватывается мелкими водотоками в зоне транзита. В аридных областях может происходить интенсивное испарение с поверхности грунтовых вод, а речные каналы, наоборот, могут питать подземные воды. Сочетание ландшафтных и климатических факторов формирует сложную структуру потока подземных вод.

Структура потока может быть показана на карте гидроизогипс — она представляет собой линии, соединяющие точки с одинаковыми абсолютными отметками поверхности подземных вод, т. е. это горизонтали поверхности подземных вод. Пример карты гидроизогипс приведен на рис. 12.

В изотропных условиях направление потока подземных вод будет перпендикулярно линиям гидроизогипс. Сгущение или разряжение гидроизогипс на карте свидетельствует об увеличении или уменьшении уклона потока подземных вод соответственно. Как правило, для равнинных территорий уклон подземных

$$I = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

градиент



Для равнины:
$I = 0.0001 - 0.001$

Для склонов:
$I = 0.005 - 0.1$

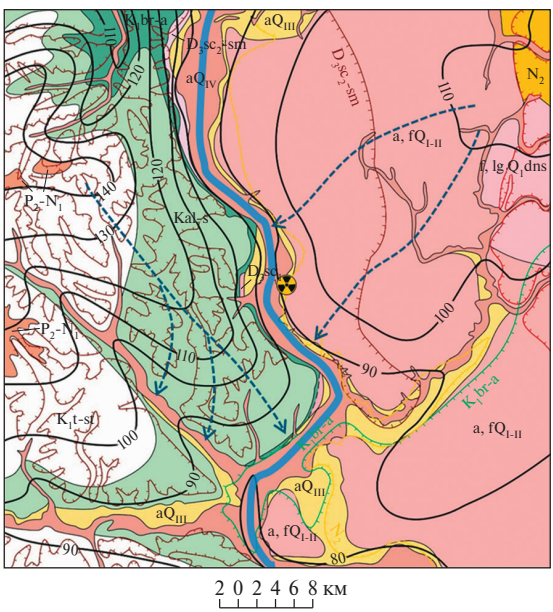


Рис. 12. Карта гидроизогипс

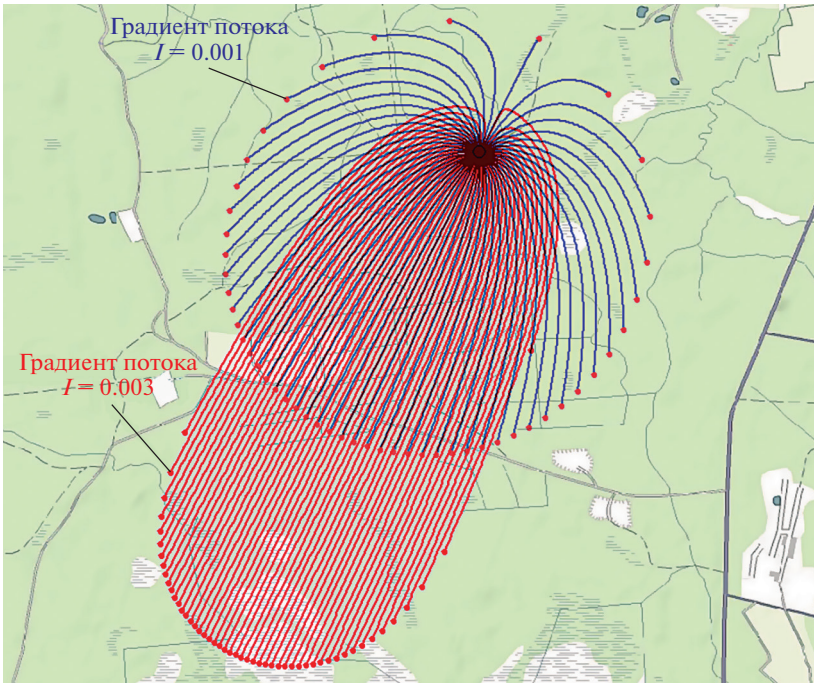


Рис. 13. Связь размера ЗСО и градиента потока подземных вод

вод составляет около 1 м на 1 км (I = 0,001), а в гористой местности градиент возрастает в десятки раз ($I \geq 0{,}01$).

Направление и уклон (градиент) потока подземных вод кардинальным образом влияют на форму и размеры зоны санитарной охраны. Так, при увеличении градиента ширина зоны санитарной охраны уменьшается, а ее длина по направлению вверх потока подземных вод увеличивается (рис. 13). При изменении направления потока зона санитарной охраны следует за ним (рис. 14).

Определить направление и градиент потока можно двумя способами.

Способ 1. По карте гидроизогипс.

На карте рядом с местом расположения проектируемого водозабора перпендикулярно гидроизогипсам рисуется линия тока. Ориентировка линии тока будет указывать на направление движения подземных вод (в сторону от большей гидроизогипсы к меньшей). Для расчета градиента потока необходимо выбрать две гидроизогипсы по линии тока и измерить расстояние между

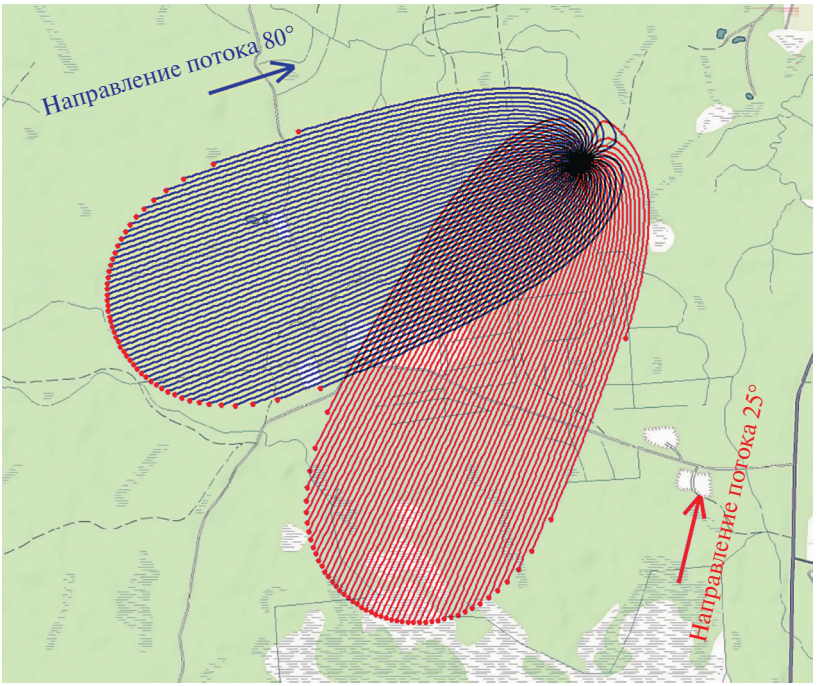


Рис. 14. Связь положения ЗСО с направлением потока подземных вод

ними. Желательно, чтобы расстояние между выбранными для расчета гидроизогипсами было соизмеримо с ожидаемыми размерами 3-го пояса ЗСО. Разница в отметках гидроизогипс, деленная на расстояние между ними по линии тока, и будет равняться градиенту (6).

$$I = (H_1 - H_2) / L, \qquad (6)$$

где I — градиент потока, м/м; H_1 и H_2 — абс. отметки уровня воды по 1-й и 2-й гидроизогипсам, м; L — расстояние между 1-й и 2-й гидроизогипсами, м.

Способ 2. Метод треугольника.

Направление и градиент потока подземных вод можно определить по уровням в трех скважинах. Для этого на карту в масштабе выносятся три наблюдательные скважины и указываются их абсолютные отметки уровня воды (рис. 15). Далее скважины соединяются между собой тремя отрезками. Каждый из отрезков делится на пропорциональные части в соответствии

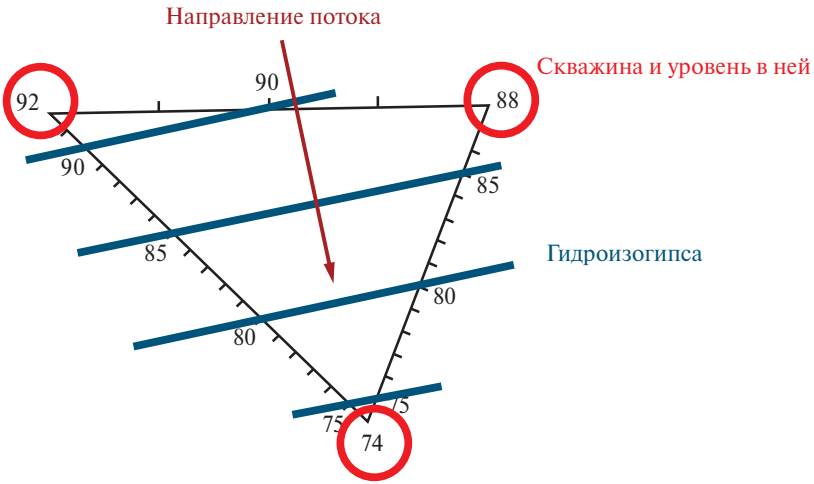


Рис. 15. Определение направления и градиента потока подземных вод по трем скважинам

с отметками уровня на его концах. Затем строятся линии гидроизогипс внутри треугольника путем соединения отсечек равных отметок на трех отрезках. Перпендикулярно гидроизогипсам проводят линию тока, которая указывает направление движения подземных вод. Уклон потока определяется по уравнению (6) так же, как и на обычной карте гидроизогипс.

При выполнении расчетов ЗСО подземного водозабора всегда необходимо обращать внимание на структуру потока подземных вод. В стандартные аналитические решения заложена предпосылка о том, что градиент потока и его направление являются постоянной величиной внутри границ 3-го пояса ЗСО, т. е. гидроизогипсы до начала работы водозабора являются прямыми параллельными линиями с постоянным шагом (рис. 16). Однако на практике гидроизогипсы могут принимать причудливую форму и изгибаться под действием естественных границ фильтрационного потока (рек, разломов и т. д.) или же под влиянием техногенных факторов (например, депрессионные воронки подземных вод в городских агломерациях). В таком случае для оценки размеров ЗСО необходимо применять уже более сложные методы расчета на аналитических элементах или численные модели. На рис. 16 приведен пример расчета ЗСО при помощи стандартных аналитических решений, а также с учетом сложной структуры потока на модели аналитических элементов в программе ANSDIMAT.

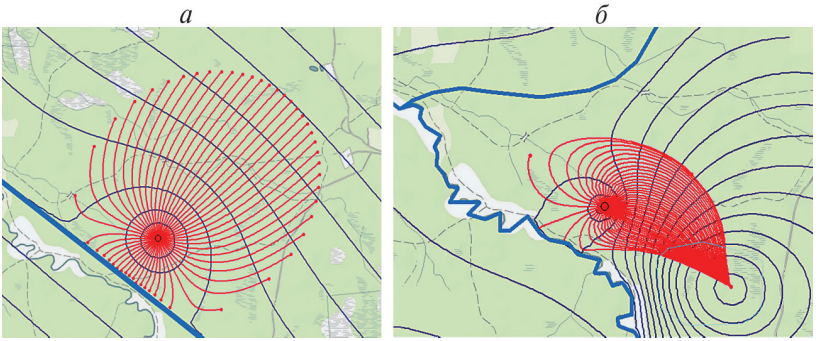


Рис. 16. Влияние структуры потока на форму 3-го пояса ЗСО

а — ЗСО в простых условиях; *б* — ЗСО с учетом сложной структуры потока подземных вод

8. Естественные границы потока подземных вод. Конфигурация естественных границ фильтрационного потока, так же как и параметры водоносного горизонта, оказывают существенное влияние на геометрию зон санитарной охраны. Под естественными границами будем понимать в первую очередь границы обеспеченного питания (поверхностные водотоки), а также непроницаемые границы.

Выделение значимых и второстепенных плановых границ фильтрационного потока в районе водозабора подземных вод часто является не тривиальной задачей, которая помимо опытного специалиста-гидрогеолога требует привлечения дополнительных материалов, а в некоторых случаях и проведения специальных исследований. Далее остановимся подробнее на различных типах естественных границ подземных вод.

● **Река.** Водозаборы подземных вод очень часто располагаются поблизости от речных долин. Это объясняется, в том числе, и тем, что хорошо водопроводящие аллювиальные отложения долин вместе с рядом расположенной границей обеспеченного питания позволяют извлекать из водоносного пласта значительно больший объем подземной воды, нежели аналогичный водозабор, расположенный на удалении от реки.

Можно выделить три значимых для расчета ЗСО варианта расположения водозабора около реки (рис. 17).

Первый вариант рассматривает случай, когда фильтр водозаборной скважины оборудован на напорный водоносный горизонт. При этом между рекой и эксплуатируемым водоносным горизонтом существует выдержанный в плане водоупорный слой,

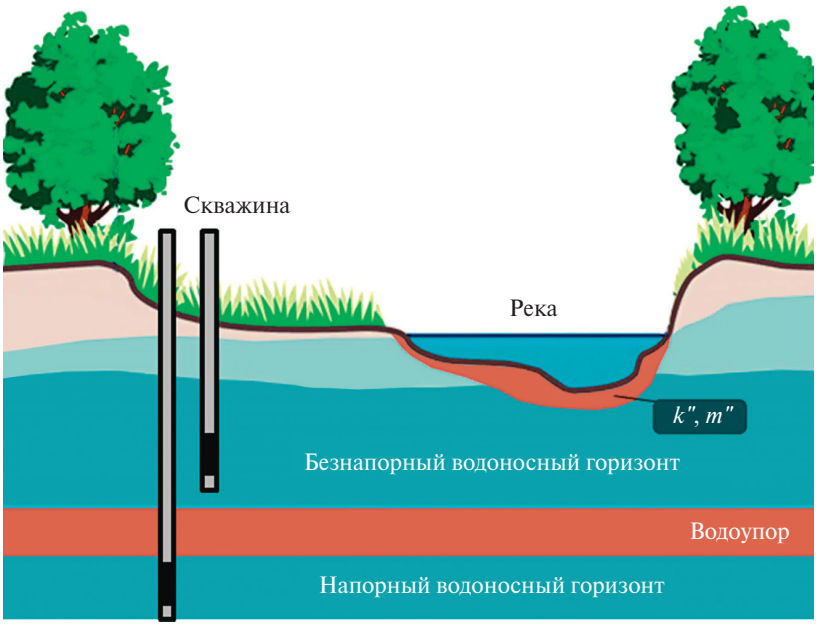


Рис. 17. Варианты эксплуатации водозабора около реки

а русло реки не прорезает водоупор. В таком варианте речные воды не имеют прямой гидравлической связи с напорными водами и соответственно загрязнение из реки не может попасть в эксплуатируемый напорный горизонт.

В отсутствии связи подземных и поверхностных вод водоносный горизонт можно рассматривать как неограниченный в плане, а реку не учитывать в расчетах ЗСО (рис. 18*а*).

Второй вариант предполагает совершенную связь подземных и поверхностных вод. Это означает, что подземные воды могут беспрепятственно разгружаться в реку или, наоборот, из реки питать водоносный горизонт. Как правило, такой случай характерен для скважин, оборудованных на первый от поверхности безнапорный водоносный горизонт, или для более глубоких скважин, когда русло реки прорезает водоупорный слой.

Работа водозабора в таких гидрогеологических условиях будет приводить к тому, что рано или поздно часть воды начнет привлекаться из речных вод. Поэтому при расчете ЗСО ее контур может замыкаться полностью на реку (рис. 18*в*).

Возможен также *третий (промежуточный) вариант*, когда между рекой и подземными водами гидравлическая связь

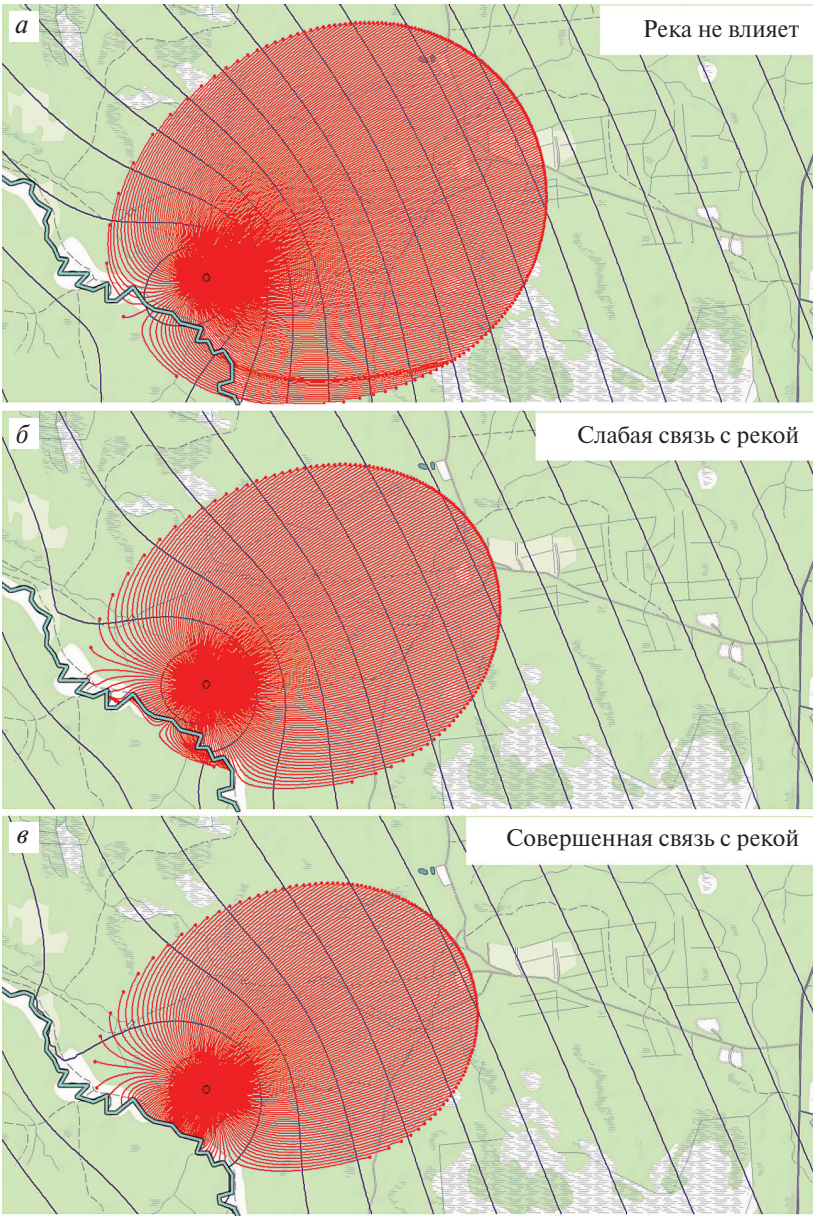


Рис. 18 *а*, *б*, *в*. Вид 3-го пояса ЗСО в зависимости от степени гидравлической связи водоносного горизонта с рекой

затруднена из-за слабопроницаемых донных отложений реки. В таком случае при работе водозабора часть воды будет привлекаться из водоносного пласта, часть из реки, а часть из водоносного пласта с другого берега реки. Тогда ЗСО будет отрисовываться как на одном берегу реки, так и на другом (рис. 18*б*).

Степень гидравлической связи реки с подземными водами на практике определяют по результатам опытно-фильтрационных откачек около реки. Также сопротивление русла реки можно определить по данным режимных наблюдений за изменениями уровня воды в реке и в подземных водах.

Необходимо отметить, что в случае замыкания 3-го пояса ЗСО на контур реки (случай на рис. 18*б*, *в*) потребуется организация ЗСО не только для подземного водозабора, но и для поверхностного. Это, как правило, влечет за собой значительное удорожание проекта ЗСО и увеличение трудозатрат на его выполнение. Оценить риск замыкания ЗСО на реку можно по условию (7), которое зависит от расхода водозабора, расстояния до реки, а также параметров водоносного горизонта.

$$Q \le \pi X_0\, kmI, \tag{7}$$

где Q — расход водозабора, м^3/сут; X_0 — расстояние до реки, м; k — коэффициент фильтрации, м/сут; m — мощность водоносного горизонта, м; I— градиент потока, м.

Если для берегового водозабора *не будет выполняться* условие (7), то 3-й пояс ЗСО замкнется на реку (рис. 19). Для достижения условия на этапе проектирования можно попробовать отодвинуть водозаборную скважину от реки или уменьшить расход водозабора.

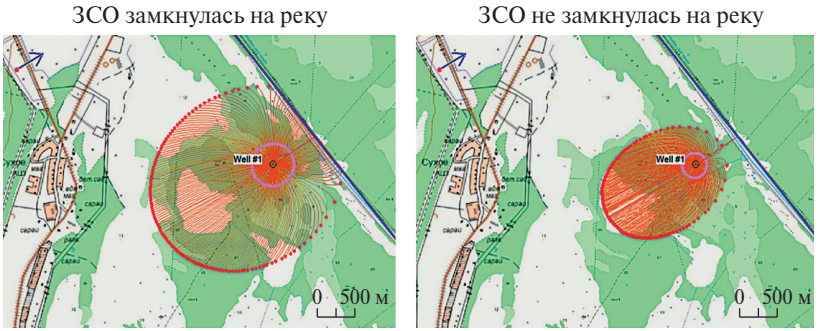


Рис. 19. Оценка возможности замыкания 3-го пояса ЗСО на реку

● **Непроницаемая граница.** Под плановой непроницаемой границей будем подразумевать естественное геологическое тело или линейный объект, который обладает низким коэффициентом фильтрации. В природе такой границей может выступать вертикальный контакт двух типов пород, например песчаников и соляного диапира, или линия регионального разлома, которая была залечена слабопроницаемыми породами. На практике с непроницаемыми границами наиболее часто имеют дело в районах распространения многолетне-мерзлых пород. В долине реки аллювиальные отложения растеплены, а по бортам долины сохраняется мерзлота. Очевидно, что мерзлота, как и любая другая непроницаемая граница, будет ограничивать распространение загрязнения, а контур ЗСО не должен уйти за непроницаемую границу (рис. 20).

На рис. 21 показана типовая форма 3-го пояса ЗСО внутри талика. Хорошо видно, что границы ЗСО не выходят за область талика, стремясь заполнить всю ее ширину.

● **Водораздел подземных вод.** В естественных условиях для первого от поверхности водоносного горизонта всегда образуется водораздельная область, расположенная на возвышении между зонами разгрузки подземных вод (рис. 22). Формирование купола объясняется поступлением в пласт инфильтрационного питания с атмосферными осадками. Сочетание величины инфильтрационного питания и расстояния между реками будет определять как саму область формирования водораздела, так и его форму.

Рис. 20. Типовое строение талика в зоне распространения многолетне-мерзлых пород

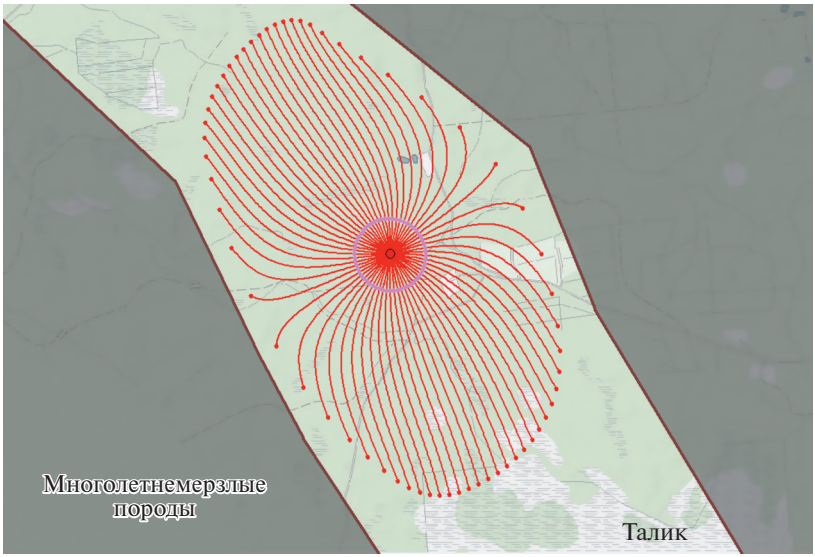


Рис. 21. Пример расчета 3-го пояса ЗСО для водозаборной скважины, расположенной в талике

На рис. 22 приведен пример, когда несколько водозаборных скважин эксплуатируют безнапорный водоносный горизонт по разные стороны от водораздела подземных вод. Очевидно, что загрязнение подземных вод с левой части водораздела никак не может попасть в скважину, расположенную в правой части

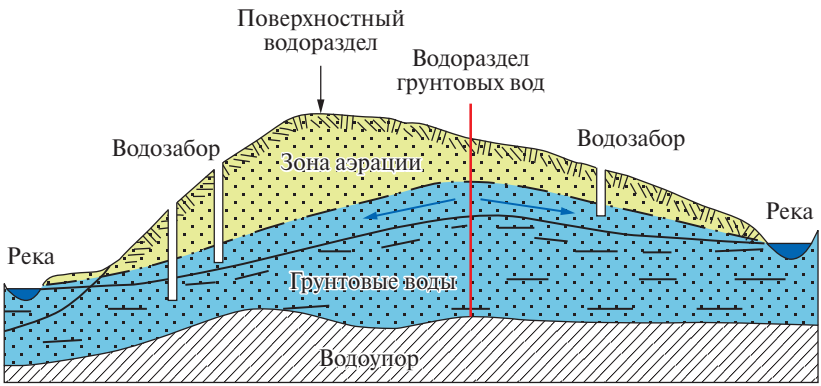


Рис. 22. Линия водораздела подземных вод в первом от поверхности водоносном горизонте

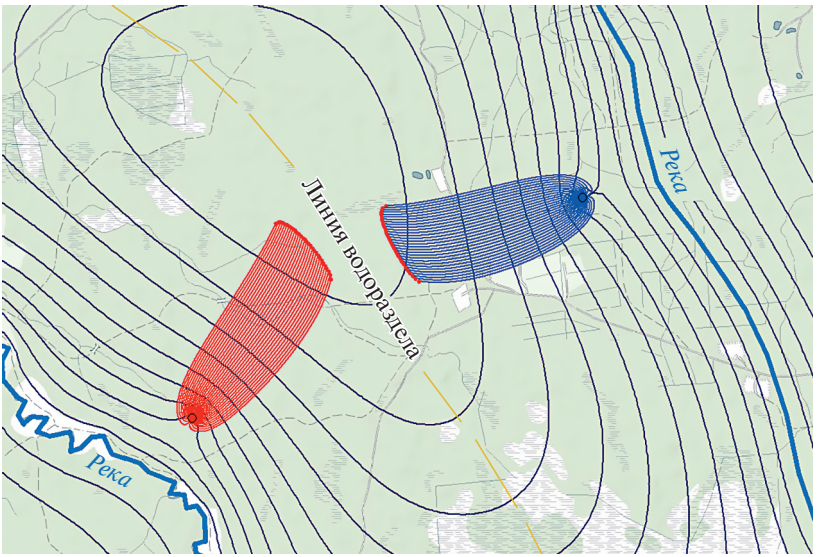


Рис. 23. Конфигурация 3-го пояса ЗСО по отношению к линии водораздела подземных вод

водораздела. Следовательно, 3-й пояс ЗСО, как правило, не может заходить за линию водораздела подземных вод. Пример учета водораздельной линии подземных вод при расчете ЗСО в безнапорном пласте показан на рис. 23.

Частным случаем является расположение водозабора непосредственно на линии водораздельной точки. Тогда область захвата подземных вод не будет контролироваться естественным потоком подземных вод, а будет зависеть только от размеров депрессионной воронки. Таким образом, расположение водозабора на водораздельной линии позволяет значительно сократить размеры ЗСО (рис. 24).

9. Взаимодействие нескольких водозаборов. Одновременная работа нескольких водозаборов подземных вод приводит к их гидродинамическому взаимодействию. Для этого совсем не обязательно, чтобы водозаборы располагались в непосредственной близости. В некоторых случаях влияние водозабора может прослеживаться на километры и даже десятки километров от самой скважины.

Система водозаборных скважин деформирует структуру потока таким образом, что это приводит к искажению первоначальной формы и размеров ЗСО. В условиях взаимодействующих водозаборов контур ЗСО каждой отдельной скважины

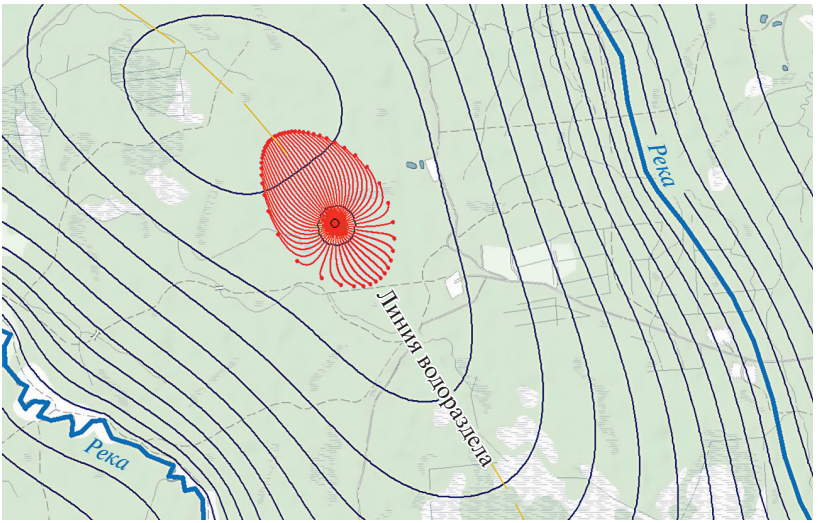


Рис. 24. Конфигурация 3-го пояса ЗСО, расположенного непосредственно на линии водораздела подземных вод

принимает весьма причудливую форму, далекую от классического эллипса (рис. 25).

Расчет взаимодействующих водозаборов и отрисовка контуров ЗСО требует дополнительной математической подготовки от специалиста или же применения специализированных программных средств. Возможно, именно по этой причине в рос-

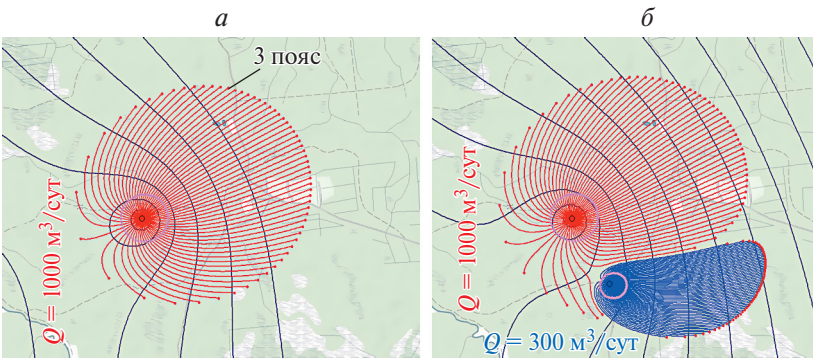


Рис. 25. Пример расчета 3-го пояса ЗСО на программе ANSDIMAT в условиях взаимодействующих водозаборов

а — одиночный водозабор; *б* — два взаимовлияющих водозабора

сийской практике разработки проектов ЗСО несправедливо пренебрегают взаимовлиянием водозаборов.

Дополнительно отметим, что наряду с некоторыми математическими трудностями при расчете взаимодействующих водозаборов также существуют трудности юридического характера, которые пока что никак не решены в российской правоприменительной практике. В частности, в случае бурения скважины новым недропользователем по соседству с уже существующим водозабором высока вероятность того, что новый водозабор изменит гидродинамическую структуру потока и деформирует уже ранее рассчитанную и утвержденную ЗСО. На данный момент этот вопрос никак не учитывается при разработке проектов ЗСО. Возможно, в будущем в нормативных документах и требованиях взаимодействующим водозаборам будет уделено большее внимание.

Влияние неопределенностей на размер ЗСО. Ранее мы подробно рассмотрели основные факторы, которые контролируют размеры и форму зоны санитарной охраны подземного водозабора. Каждый из них по отдельности может существенно влиять на ЗСО. Поэтому при разработке проекта важно как можно тщательнее обосновывать используемые для расчетов величины. Также необходимо учитывать, что при проведении расчетов проявляется синергический эффект, т. е. когда каждый отдельный фактор несущественно влияет на размеры, а в совокупности все они изменяют геометрию ЗСО кардинальным образом.

К сожалению, в разрабатываемых и утверждаемых проектах ЗСО обычно отсутствуют достоверные данные о природных условиях эксплуатации водозабора. Это связано в первую очередь, с резким дефицитом геологической информации, а также с крайне ограниченным бюджетом при выполнении работ. В сложившейся ситуации многие специалисты прибегают к использованию справочных величин параметров, опираясь на многочисленные исследования своих предшественников.

Чтобы оценить степень неопределенности при использовании справочных параметров, мы приведем пример многовариантного расчета ЗСО типового подземного водозабора методом Монте-Карло. Для этого, опираясь на справочные данные, каждому участвующему в расчетах параметру назначим наиболее вероятный диапазон значений (таблица 5). Значения расхода и мощности водоносного горизонта оставались постоянными как наиболее достоверные величины.

Результаты вероятностного многовариантного расчета приведены на рис. 26. Из него видно, что неопределенность каждого

Таблица 5

Принятые диапазоны значений параметров для расчета ЗСО

№ п/п	Параметр	Диапазон			Размерность
		Среднее	Мин.	Макс.	
1	Расход водозабора		1000		м³/сут
2	Мощность водоносного горизонта		20		м
3	Активная пористость	0.2	0.1	0.45	м³/м³
4	Поток подземных вод				
	4. 1. Градиент	0.001	0.0001	0.005	м/м
	4. 2. Направление	с запада на восток	–45°	+45°	градус
5	Коэффициент фильтрации	10	2	30	м/сут
6	Параметр перетекания	нет	нет	100	м

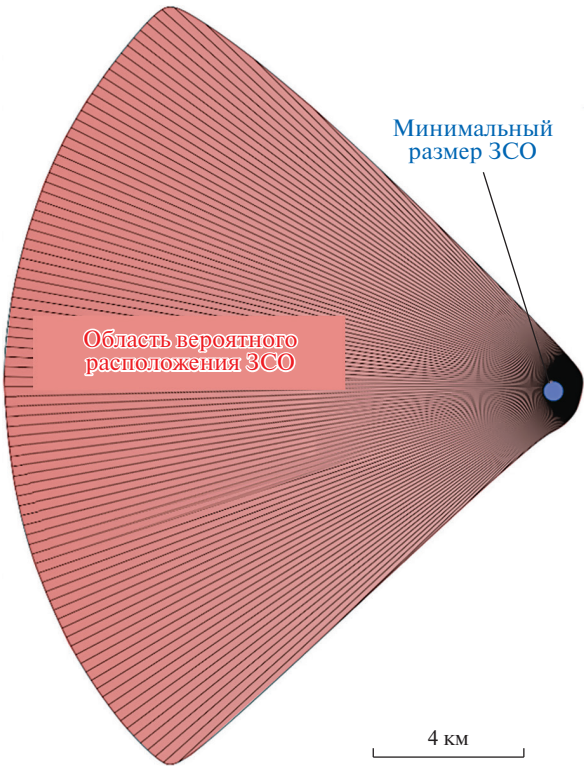


Рис. 26. Оценка зоны вероятного расположения ЗСО с учетом неопределенности используемых параметров

параметра накладывается друг на друга и приводит к резкому увеличению области вероятного расположения ЗСО. Максимальные размеры ЗСО можно ожидать при сочетании высоких коэффициентов фильтрации и высоких градиентов потока в совокупности с низкой активной пористостью пород и отсутствием перетекания между водоносными горизонтами. Минимальная по площади зона ЗСО формируется в условиях низких градиентов потока и коэффициента фильтрации в высокопористых породах. Расчетная площадь области вероятного расположения ЗСО составила $1.5 \times 10^8 м^2$, что примерно в 40 раз больше минимально возможной площади ЗСО при заданном диапазоне параметров.

Приведенные расчеты показывают, что высокая неопределенность справочных значений параметров может являться причиной ошибочного определения границ ЗСО. Поэтому всегда необходимо идти по пути уточнения параметров, обращаясь за дополнительной информацией в территориальные фонды геологической информациии и другие организации. Тем не менее даже в условиях работы с недостаточно обоснованными параметрами, как нам кажется, будет справедлив тезис о том, что лучше определить неидеальную зону санитарной охраны, чем вообще никакую.

Список литературы

1. *Carey M., Hayes P., Renner A*. Groundwater Source Protection Zones — Review of Methods. Bristol: UK Environment Agency, 2009.

2. *Синдаловский Л. Н.* Гидрогеологические расчеты с использованием программы ANSDIMAT. СПб.: Наука, 2021.

3. Опытно-фильтрационные работы / Под ред. В. М. Шестакова, Д. Н. Башкатова. М.: Недра, 1974.

4. Справочное руководство гидрогеолога. Т. 2 / Под ред. В. М. Максимова. Л.: Недра, 1979.

5. *Мироненко В. А*., *Румынин В. Г*. Опытно-миграционные работы в водоносных пластах. М.: Недра, 1986.

6. *Domenico P. A., Schwartz F. W*. Physical and Chemical Hydrogeology New York: John Wiley & Sons, 1990.

Глава 7

ЗАЩИЩЕННОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Термин **защищенность** используется для характеристики степени изолированности подземных вод от поверхностного загрязнения. Защищенность контролируется временем проникновения загрязнения с поверхности земли в грунтовый водоносный горизонт, t_0.

Нормативные документы в области санитарной охраны питьевых водозаборов дают определение защищенности. Так, к защищенным подземным водам относятся напорные и безнапорные межпластовые воды, имеющие в пределах всех поясов ЗСО сплошную водоупорную кровлю, исключающую возможность местного питания из вышележащих недостаточно защищенных водоносных горизонтов. К недостаточно защищенным подземным водам относятся: а) подземные воды первого от поверхности земли безнапорного водоносного горизонта; б) напорные и безнапорные межпластовые воды, которые в естественных условиях или в результате эксплуатации водозабора получают питание на площади ЗСО из вышележащих недостаточно защищенных водоносных горизонтов через гидрогеологические окна или проницаемые породы кровли, а также из водотоков и водоемов путем непосредственной гидравлической связи.

От степени защищенности зависят размеры ЗСО, порядок установления которых определяет законодательство. В первую очередь это касается 2-го пояса. В случае если горизонт является защищенным, размер 2-го пояса ЗСО рассчитывается гидродинамическим методом на период времени t_n, равный 100 или 200 сут. в зависимости от климатического региона. В противном случае 2-й пояс ЗСО рассчитывается на t_n, равный 400 сут.

Размер 1-го пояса ЗСО также законодательно связан со степенью защищенности горизонта. Так, для защищенного горизонта радиус 1-го пояса ЗСО устанавливается равным 30 м, а для недостаточно защищенного радиус увеличивается до 50 м. Фактически увязка 1-го пояса ЗСО с защищенностью горизонта противоречит его функциональному назначению, т. е. физическая защита оголовка скважины не зависит от наличия водо-

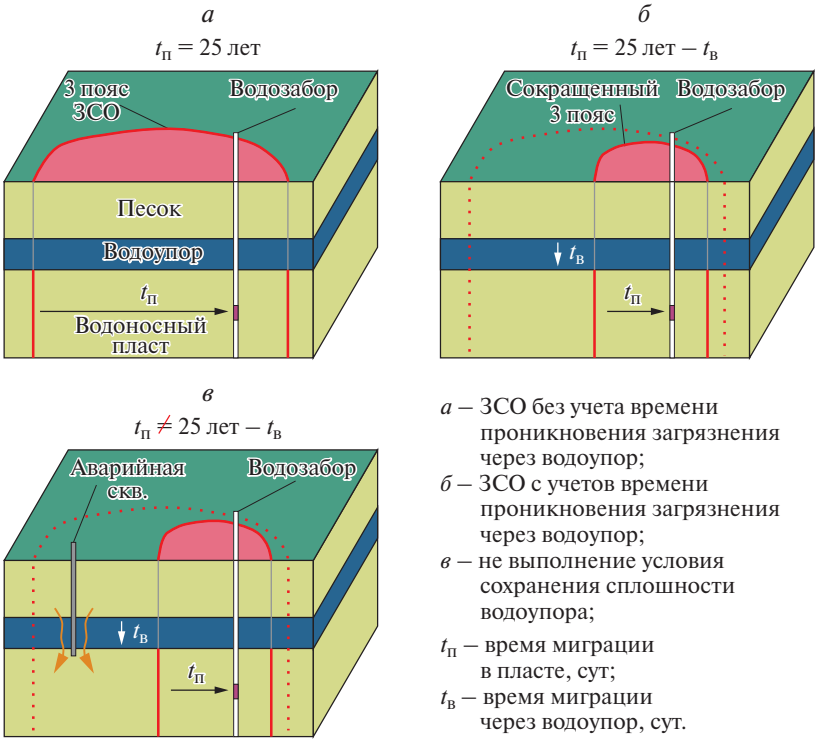
упорных слоев в разрезе, а возможность попадания загрязнения с поверхности контролируется наложенными ограничениями на использование территории внутри 2-го и 3-го поясов. Целесообразно предположить, что в случае защищенного водоносного горизонта 1-й пояс ЗСО можно сократить до размеров павильона с прилегающей территорией, необходимой для обслуживания скважины (профилактика, ремонт).

Предусмотренные мероприятия внутри поясов ЗСО указывают на то, что одной из задач при назначении 3-го пояса для напорных горизонтов является вопрос управления рисками нарушения сплошности водоупорного слоя, который отделяет эксплуатируемый водоносный горизонт от выше и ниже залегающих. Строго говоря, при таком подходе защищенность напорного водоносного горизонта **не должна** учитываться в расчетах 3-го пояса ЗСО, иными словами, всегда должен рассматриваться наиболее консервативный сценарий, когда загрязнение с поверхности прямиком попадает в эксплуатируемый водоносный горизонт без какой-либо временной задержки внутри разделяющего водоупорного слоя (рис. 1*а*).

Подход и требования законодательства к управлению рисками нарушения сплошности водоупорного слоя логичны, однако на практике они могут приводить к значительным трудностям, связанным с наложением обременений на обширные участки территории даже для условий глубоких и хорошо изолированных от поверхности водоносных горизонтов. Часто в таких случаях прибегают к сокращению расчетного времени 3-го пояса ЗСО ($t_п$) на величину, равную времени проникновения загрязнения через водоупорный слой ($t_в$) (рис. 1*б*). Расчет времени $t_в$ осуществляется по формуле (3), приведенной ниже. В случае если расчетная величина $t_в$ получается больше периода эксплуатации водозабора (25 лет), то 3-й пояс ЗСО сокращают до размеров 2-го пояса, а иногда и до 1-го. Сокращение размера 3-го пояса за счет учета времени вертикальной миграции через водоупор справедливо только в том случае, если обоснованы незначительные риски нарушения сплошности водоупорного слоя (рис. 1*в*).

В случае когда зона аэрации сложена слабопроницаемыми линзами супесей, суглинков и глин, можно провести дополнительное обоснование защищенности первого от поверхности водоносного горизонта, чтобы перевести его из категории недостаточно защищенного в защищенный.

Обоснование защищенности первого от поверхности (грунтового) водоносного горизонта. Защищенность грунтовых вод может быть оценена качественно по методике В. М. Гольдберга или количественно путем гидродинамических расчетов.



а – ЗСО без учета времени проникновения загрязнения через водоупор;
б – ЗСО с учетов времени проникновения загрязнения через водоупор;
в – не выполнение условия сохранения сплошности водоупора;
$t_п$ – время миграции в пласте, сут;
$t_в$ – время миграции через водоупор, сут.

Рис. 1. Сокращение 3-го пояса ЗСО за счет учета времени миграции через водоупор

Качественная оценка защищенности грунтовых вод по методике В. М. Гольдберга. Качественная оценка может быть проведена в виде определения суммы условных баллов, характеризующих время миграции загрязнения с поверхности до уровня грунтовых вод. В нашей стране наиболее широко известна методика оценки защищенности, предложенная В. М. Гольдбергом [1, 2] для безнапорных вод. Это оценка базируется на четырех параметрах зоны аэрации: 1) глубине залегания грунтовых вод; 2) строении и литологии пород; 3) мощности слабопроницаемых отложений в разрезе; 4) фильтрационных свойствах пород и, прежде всего, слабопроницаемых отложений.

Обоснование баллов производится исходя из времени достижения загрязняющими веществами уровня грунтовых вод. В качестве исходной единицы для оценки баллов (1 балл) В. М. Гольдберг принял приблизительное время фильтрации (t_0) через зону аэрации, сложенную хорошо проницаемыми породами (k~2м/сут)

Таблица 1

Баллы за мощность зоны аэрации

Глубина до воды, м	Баллы
< 10	1
10—20	2
20—30	3
30—40	4
> 40	5

Таблица 2

Группа пород по литологии

Группа	Тип пород	Коэффициент фильтрации, м/сут
а	Супеси, легкие суглинки	0.1—0.01
б	Смесь пород групп а и в	0.01—0.001
в	Тяжелые суглинки и глины, мерзлые породы	< 0.001

Таблица 3

Баллы за мощность слабопроницаемых пород, встреченных в зоне аэрации

Мощность, м	Литологическая группа		
	а	б	в
	Баллы		
< 2	1	1	2
2—4	2	3	4
4—6	3	4	6
6—8	4	6	8
8—10	5	7	10
10—12	6	9	12
12—14	7	10	14
14—16	8	12	18
16—18	9	13	18
18—20	10	15	20
> 20	12	18	25

мощностью 10 м. Для расчета необходимо сложить баллы, полученные за мощность зоны аэрации (таблица 1), и баллы за мощности имеющихся в разрезе слабопроницаемых пород (таблицы 2, 3). По сумме баллов выделяют шесть категорий защи-

Таблица 4

Категории защищенности грунтовых вод по сумме баллов

Категории защищенности	I	II	III	IV	V	VI
Сумма баллов	$\sum<5$	$5<\sum<10$	$10<\sum<15$	$15<\sum<20$	$20<\sum<25$	$\sum>25$

щенности грунтовых вод (таблица 4). Пример расчета приводится ниже (см. «Примеры расчета защищенности водоносного горизонта»).

Наименьшей защищенностью характеризуются условия, соответствующие категории I, наибольшей — категории VI.

Для целей организации ЗСО защищенным водоносным горизонтом рекомендуется принимать тот, который наберет в сумме 10 и более баллов, т. е. попадет в III и выше категорию по Гольдбергу.

В зарубежных странах применяются аналогичные методики по расчету защищенности первого от поверхности водоносного горизонта. Наиболее распространные из них — это методики DRASTIC, SEEPAGE, SPISP [3, 4].

Количественная оценка защищенности грунтовых вод. Время проникновения загрязнения с поверхности земли на зеркало грунтовых вод (t_0) для первого от поверхности водоносного горизонта определяется составом слагающих зону аэрации пород, ее мощностью (L), а также величиной инфильтрационного питания (рис. 2). В случае если величина инфильтрационного питания (W) не превышает коэффициент фильтрации пород зоны аэрации (k), в расчетах используется приближенное уравнение (1), если иначе, то уравнение (2) [5]. Различие уравнений связано с режимом фильтрации в зоне аэрации. При низкой интенсивности инфильтрационного питания движение влаги в зоне аэрации происходит в ненасыщенной среде и проницаемость пород ниже, чем в условиях с полным водонасыщением:

при $W < k$

$$t_0 \approx \frac{L \cdot n_a}{\sqrt[3]{W^2 \cdot k}}, \qquad (1)$$

при $W > k$

$$t_0 \approx \frac{L \cdot n_a}{k}, \qquad (2)$$

где W — величина инфильтрационного питания, м/сут; L — минимальная мощность зоны аэрации, м; n_a — активная по-

ристость, $м^3/м^3$; k — коэффициент фильтрации зоны аэрации, м/сут; t_0 — время миграции загрязнения с поверхности земли до зеркала грунтовых вод, сут.

Определение величины инфильтрационного питания (W) является нетривиальной задачей. Она зависит от множества метеорологических, геоморфологических и почвенных факторов. Для приближенной оценки инфильтрационного питания можно воспользоваться картой, приведенной на рис. 2.

Если расчетное время (t_0) окажется более 400 сут, то грунтовый водоносный горизонт можно считать защищенным для сокращения 1-го и 2-го поясов ЗСО в установленном порядке.

Оценка времени поступления загрязнения ($t_в$) через разделяющий водоупорный слой. Для целей сокращения 3-го пояса ЗСО в напорных водоносных горизонтах часто прибегают к учету в гидродинамических расчетах времени миграции загрязнения через разделяющий водоупорный слой ($t_в$). В таком случае расчетное время 3-го пояса ЗСО будет равняться периоду эксплуатации водозабора (как правило, 25 лет) за вычетом времени проникновения загрязнения через водоупор (рис. 1*б*).

Для оценки времени проникновения ($t_в$) необходимо иметь данные по геологическому строению участка и распределению напоров по глубине в основном и смежном водоносных горизонтах. В естественных природных условиях возможны 3 случая:

1 — уровень воды в эксплуатируемом горизонте устанавливается ниже, чем в смежном горизонте (рис. 3*а*). В таком варианте следует ожидать перетекания воды из верхнего горизонта в нижний, т. е. нижний горизонт потенциально уязвим;

2 — уровень воды в эксплуатируемом горизонте устанавливается выше, чем в смежном горизонте (рис. 3*б*). Такое распределение напоров обуславливает восходящее направление потока подземных вод и исключает возможность проникновения загрязнения с поверхности, т. е. $t_в \to \infty$;

3 — уровни воды в основном и смежном водоносных горизонтах устанавливаются на одних и тех же гипсометрических отметках. Чаще всего это свидетельствует о хорошей гидравлической связи двух водоносных горизонтов, т. е. предполагает, что $t_в \to 0$. В таком случае не следует рассматривать разделяющий слой в качестве водоупора до тех пор, пока не будут проведены дополнительные исследования. Эти исследования могут включать в себя проведение опытно-фильтрационного опробования в скважине, оборудованной на эксплуатируемый водоносный горизонт, с обязательным наличием дополнительной наблюдательной скважины, оборудованной на смежный горизонт.

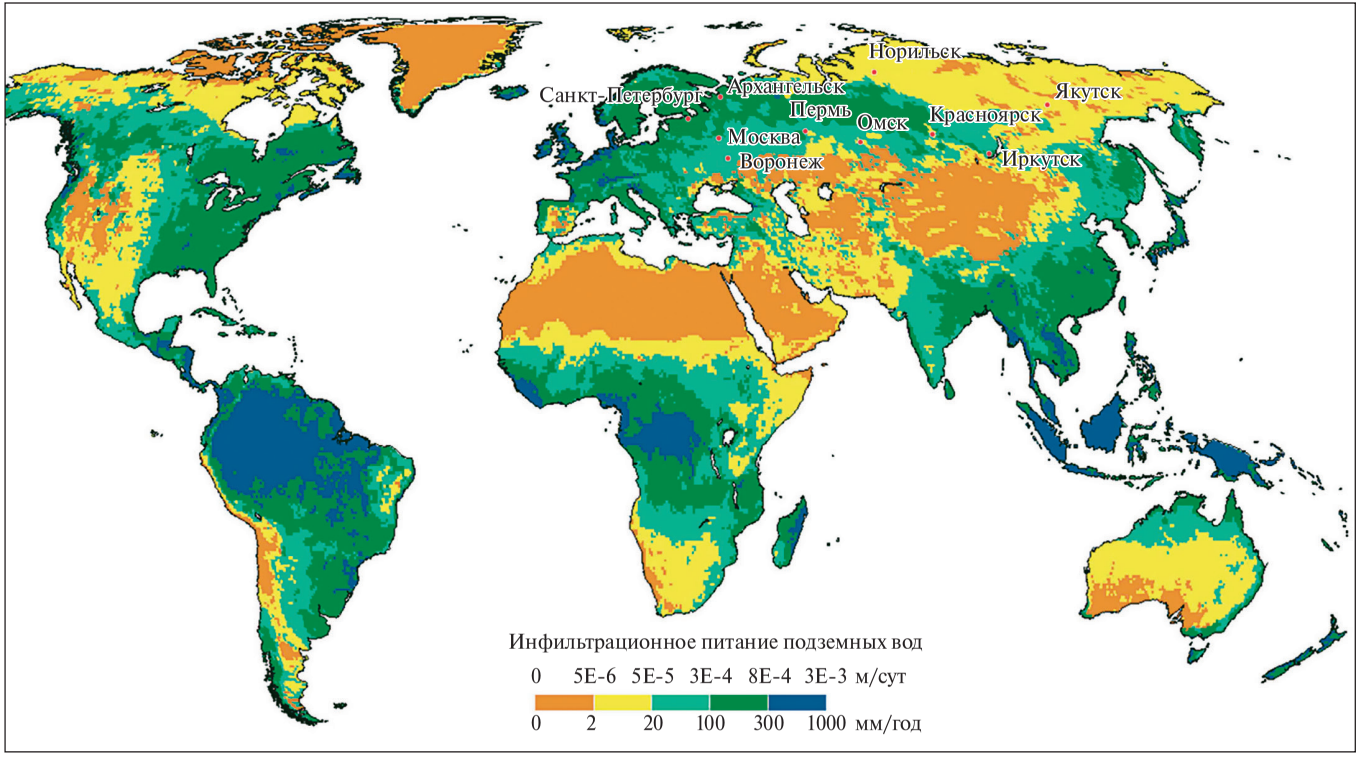


Рис. 2. Карта распределения инфильтрационного питания подземных вод (*W*)

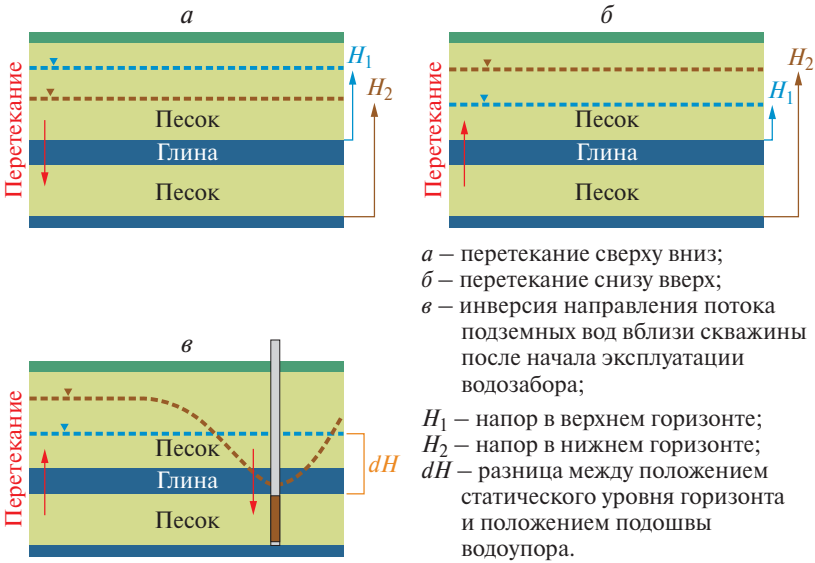


Рис. 2. Перетекание через водоупорный слой

Необходимо учитывать, что во время эксплуатации водозабора из-за формирования депрессионной воронки в разрезе может произойти инверсия направления потока подземных вод (рис. 3*в*).

При оценке запасов подземных вод для напорных горизонтов применяется правило, которое не допускает перевода напорного горизонта в безнапорный, т. е. снижения напора в эксплуатируемом водоносном горизонте ниже подошвы водоупорного слоя не должно происходить. Поэтому для наиболее консервативных оценок времени миграции загрязнения через водоупор целесообразно принять величину перепада напоров в двух смежных горизонтах (dH), равную разнице глубин до статического уровня воды в верхнем горизонте и до подошвы разделяющего водоупора (рис. 3*в*).

Расчет времени проникновения загрязнения через водоупорный слой ($t_в$) проводится по формуле (3).

$$t_в = \frac{m^2 \cdot n_a}{k \cdot dH}, \qquad (3)$$

где m — минимальная мощность водоупорного слоя, м; n_a — активная пористость водоупорного слоя, м^3/м^3; k — коэффициент

фильтрации водоупорного слоя, м/сут; *dH* — разница между отметками статического уровня в верхнем (смежном) водоносном горизонте и подошвы водоупорного слоя, м.

Рекомендуемые параметры для оценки защищенности водоносного горизонта и времени проникновения через водоупорный слой. Обоснование степени защищенности первого от поверхности водоносного горизонта требует наличия дополнительных данных о фильтрационных и миграционных свойствах пород, слагающих зону аэрации, а также величине инфильтрационного питания.

Зачастую работы по расчету зон санитарной охраны проводятся в условиях острого дефицита исходных геологических данных. В таких случаях при оценке защищенности рекомендуется использовать фильтрационные параметры из таблицы 5. Значения параметров приведены для консервативных расчетов, т. е. их использование приводит к несколько завышенным оценкам скоростей миграции, обеспечивая тем самым инженерный запас в условиях сильной неопределенности.

Для определения величины инфильтрационного питания (*W*), как правило, требуются специализированные водобалансовые исследования [6]. Также величину (*W*) можно определить по данным многолетних наблюдений за уровнями подземных вод в условиях ненарушенного режима, используя метод колебаний уровней воды (WTF) [6, 7].

Величина инфильтрационного питания, так же как и фильтрационные параметры, обладает значительной изменчивостью

Таблица 5

Рекомендуемые параметры для оценки защищенности грунтового горизонта и времени миграции через водоупор

Тип литологической разности	Коэффициент фильтрации (*k*), м/сут	Активная пористость (n_a), $м^3/м^3$
Галечники и гравий	100	0.25
Песок крупный	30	0.2
Песок	10	0.15
Песок мелкозернистый	1	0.1
Супесь	0.1	0.1
Суглинок	0.01	0.08
Глина	0.0001	0.05
Сильно трещиноватые породы	30	0.1
Трещиноватые породы	1	0.05

и зависит от множества параметров. При отсутствии специализированных исследований рекомендуется принимать в расчетах по оценке защищенности грунтовых вод величину инфильтрационного питания (*W*) с карты (рис. 2).

Примеры расчета защищенности водоносного горизонта.

Пример 1. Оценка защищенности первого от поверхности водоносного горизонта по методике В. М. Гольдберга.

Исходные данные.

Водозабор подземных вод в районе г. Нововоронеж эксплуатирует безнапорный водоносный горизонт песков. При бурении скважины уровень воды установился на глубине 14 м от поверхности земли. По архивным данным также известно, что годовая амплитуда колебаний уровня грунтовых вод для данного района составляет 1.5 м. Зона аэрации сложена песками, однако на глубине 3 м и 7 м встречаются прослои глины мощностью 2.0 м и супеси мощностью 4 м соответственно (рис. 4).

Расчет.

Шаг 1. Определяем баллы за глубину до воды по таблице 1.

Минимальная глубина до воды с учетом годовой амплитуды колебаний уровней грунтовых вод составляет (14 м—1.5 м) = = 12.5 м. Таким образом, за глубину присваивается 3 балла.

Шаг 2. Определяем группу (индекс) слабопроницаемых включений пород зоны аэрации по таблице 2.

Первый прослой глины относится к литологической группе с индексом «в», а второй прослой супесей относится к группе «б».

Шаг 3. Определяем баллы за мощность каждой литологической группы по таблице 3.

Для глин (тип «в») мощностью 2 м присваивается 4 балла, а для супесей (тип «в») мощностью 4 м присваивается также 4 балла.

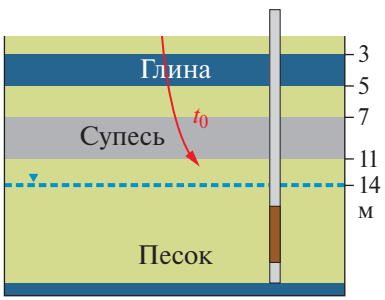


Рис. 4. Геологический разрез участка водозаборной скважины

Таблица 6

Суммирование баллов за глубину до воды

Баллы за глубину до воды	2
Баллы за 1-й слабопроницаемый слой глин	4
Баллы за 2-й слабопроницаемый слой супесей	4
Сумма баллов	10

Шаг 4. Суммирование баллов (таблица 6).

Шаг 5. Оценка категории защищенности по таблице 4. По сумме баллов рассматриваемый водоносный горизонт можно отнести к III категории защищенности по В. М. Гольдбергу. Поскольку выполняется условие, что сумма баллов ≥ 10, то водоносный горизонт может рассматриваться как защищенный при установлении 1-го и 2-го поясов ЗСО.

Пример 2. Расчет защищенности первого от поверхности водоносного горизонта.

Исходные данные.

Рассматривается аналогичная ситуация, как и в примере 1, только с другой литологией зоны аэрации (см. таблицу 7).

Расчет.

Шаг 1. Обоснование параметров. Специальных исследований по оценке инфильтрационного питания и фильтрационных свойств зоны аэрации не проводилось, поэтому примем расчетные значения на основании таблицы 5 и рисунка 3. Параметры для оценки защищенности водоносного горизонта приведены в таблице 7.

Величина инфильтрационного питания (W) по карте (рис. 3) для территории Нововоронежа была принята равной 0.0003 м/сут (100 мм/год).

Таблица 7

Параметры для оценки защищенности водоносного горизонта

Слой зоны аэрации	Мощность (L), м	Коэффициент фильтрации (k), м/сут	Активная пористость (n_a), м^3/м^3
1. Песок	3	10	0.15
2. Глина	2	0.0001	0.05
3. Песок	2	10	0.15
4. Супесь	4	0.1	0.1
5. Песок	14 – 1.5* – 11 = 1.5	10	0.15

* — учет годовой амплитуды колебаний уровня подземных вод.

Таблица 8

Расчет времени миграции загрязнения через каждый слой зоны аэрации

Слой зоны аэрации	Расчет	Время (t_0), сут
1. Песок	$3 \cdot 0.15 / \sqrt[3]{0.0003^2 \cdot 10}$	47
2. Глина	$2 \cdot 0.05 / 0.0001$	1000
3. Песок	$2 \cdot 0.15 / \sqrt[3]{0.0003^2 \cdot 10}$	31
4. Супесь	$4 \cdot 0.1 / \sqrt[3]{0.0003^2 \cdot 0.1}$	192
5. Песок	$1.5 \cdot 0.15 / \sqrt[3]{0.0003^2 \cdot 10}$	23
Сумма времен		**1293**

Шаг 2. Выбор расчетной формулы. Выбранная величина инфильтрационного питания (W) меньше коэффициента фильтрации слоя 1, 3, 4, 5. Для них используем уравнение (1). Для третьего слоя глин используем уравнение (2).

Шаг 3. Расчет времени миграции загрязнения через каждый слой зоны аэрации (таблица 8).

Шаг 4. Сопоставление расчетного времени (t_0) с критерием защищенности. Исходя из логики сокращения 2-го пояса ЗСО, можно сделать вывод, что защищенным грунтовым водоносным горизонтом может считаться тот горизонт, время миграции загрязнения через зону аэрации (t_0) которого превышает 300 сут. В нашем случае расчетное время получилось больше, что позволяет отнести рассматриваемый грунтовый водоносный горизонт к категории защищенных.

Пример 3. Расчет времени миграции загрязнения через водоупорный слой ($t_в$).

Исходные данные.

Водозабор эксплуатирует напорный водоносный горизонт, сложенный песками. Эксплуатируемый пласт перекрыт сверху выдержанной пачкой глин мощностью 20 м (рис. 5). При бурении скважины было отмечено, что уровень воды в верхнем горизонте установился на глубине 3 м от поверхности, а в нижнем горизонте — на глубине 10 м. По архивным данным также известно, что годовая амплитуда колебаний уровня первого от поверхности горизонта составляет 1 м.

Расчет.

Шаг 1. Обоснование параметров. Специальных исследований по определению коэффициента фильтрации не проводилось. Поэтому для расчетов приняты значения параметров из таблицы 5.

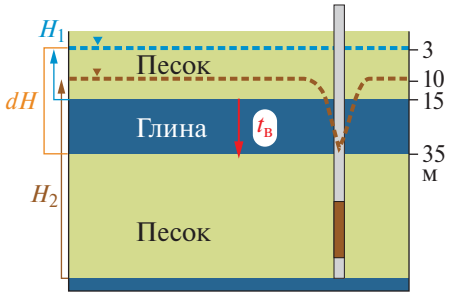


Рис. 5. Геологический разрез участка водозаборной скважины

H_1 — максимальный статический уровень грунтового горизонта, м; H_2 — уровень напорного горизонта, м; dH — расстояние от максимального положения уровня грунтовых вод до кровли водоупорного слоя, м

Шаг 2. Расчет времени миграции через водоупорный слой по формуле (10).

Шаг 3. Оценка времени миграции загрязнения в водоносном пласте ($t_п$) для 3 пояса ЗСО. Для расчета 3-го пояса ЗСО используют время (t_n), равное проектному времени эксплуатации водозабора за вычетом времени миграции загрязнения через водоупор ($t_в$). В нашем случае проектный срок эксплуатации водозабора составляет 9125 сут. (25 лет), значит, для расчета 3-го пояса ЗСО нужно использовать время t_n = 9125—6452 = 2673 сут.

Таблица 9

Расчет времени миграции через водоупорный слой

Слой водоупора	Мощность (m), м	Коэфф. фильтрации (k), м/сут	Активная пористость (n_a), м³/м³	Расстояние от стат. уровня до кровли водоупора (dH), м	Расчет	Время просачивания ($t_в$), сут
1. Глина	20	0.0001	0.05	(35 – 3 – 1*) = 31	$\frac{20^2 \cdot 0.05}{0.0001 \cdot 31}$	**6 452**

* Учет годовой амплитуды колебаний уровня подземных вод.

Список литературы

1. *Гольдберг В. М.* Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Л., 1987.

2. *Гольдберг В. М., Газда С.* Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984.

3. *Anderson L. S., Gosk E.* Applicability of Vulnerability Maps // Environmental Geology and Water Sciences. Vol. 13. N 1. New York, 1989. P. 39—43.

4. *Youn Jong Kim, Se-Yeong Hamm.* Assessment of the potential for groundwater contamination using the DRASTIC/EGIS, Cheongju area South Korea // Hydrogeology journal. 1999. V 7. N 2. April.

5. *Бочевер Ф. М., Орадовская А. Е.* Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнений. М.: Недра, 1972.

6. *Healy R. W., Scanlon B. R.* Estimating Groundwater Recharge. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2018.

7. *Meinzer O.* The occurrence of groundwater in the United States with a discussion of principles. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1923.

8. *Döll P., Fiedler K.* Global-scale modeling of groundwater recharge // Hydrology and Earth System Sciences. 2008. Vol. 12. N 3. P. 863—885.

Глава 8

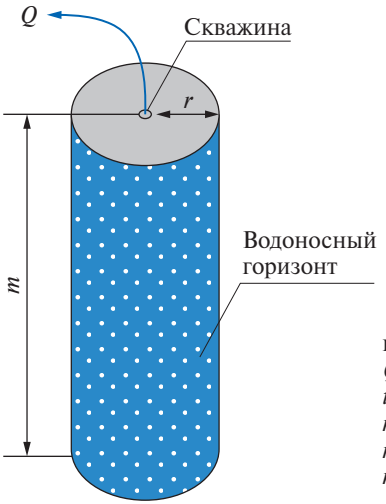
МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ПОДЗЕМНОГО ВОДОЗАБОРА

Расчет 2-го и 3-го поясов зон санитарной охраны подземного водозабора осуществляется гидродинамическими методами. Основоположниками гидродинамического метода расчета ЗСО можно считать Дж. Бэра и М. Джейкобса, которые в 1965 г. опубликовали в журнале Hydrology решение задачи для нагнетательной скважины в напорном неограниченном пласте [1]. В СССР публикации по расчету ЗСО также стали появляться в конце 60-х гг. XX в. В качестве одной из первых таких публикаций можно отметить монографию Е. Л. Минкина в 1967 г. [2]. Коллектив авторов В. М. Гольдберг, Ф. М. Бочевер, А. Е. Орадовская, Н. Н. Лапшин активно работали в период 70—80-х гг. прошлого столетия над проблемами охраны качества подземных вод и внесли значительный вклад в развитие данного направления. Этими авторами был опубликован ряд монографий [3, 4] и подготовлены рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2-го и 3-го поясов зон санитарной охраны подземных водозаборов [5]. Упомянутые монографии и рекомендации не потеряли своей актуальности и по сей день и активно используются гидрогеологами в работе. Одной из свежих публикаций, где рассмотрены различные аспекты расчета ЗСО, теория и методы изучения загрязнения подземных вод, является учебник В. Г. Румынина [6].

Гидродинамический расчет 2-го и 3-го поясов ЗСО может быть проведен тремя различными методами: объемным, аналитическим и графоаналитическим. Рассмотрим основные преимущества и недостатки указанных методов.

Объемный метод.

Наиболее простым и распространенным методом расчета ЗСО является объемный метод. Он основан на уравнении баланса (рис. 1). Так, если объем откачанной воды за время эксплуатации водозабора приравнять к объему цилиндра вокруг скважины, то



$$Q \cdot t = n \cdot \pi \cdot r^2 \cdot m \qquad (1)$$

Объем откаченной воды — Объем цилиндра

$$r = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{n \cdot \pi \cdot m}} \qquad (2)$$

где
Q – расход скважины, м^3/сут
t – время работы водозабора, сут
n – активная пористость, м^3/м^3
m – мощность водоносного горизонта, м
r – длина ЗСО, м

Рис. 1. Схема к расчету ЗСО объемным методом

из записанного равенства можно легко выразить радиус цилиндра, который и будет отвечать размеру ЗСО — уравнения (1, 2).

Пример 1. Проектируется водозаборная скважина с заявленной водопотребностью (Q) 1000 м^3/сут. Она эксплуатирует водоносный горизонт мощностью (m) 10 м. Величина активной пористости (n) в горизонте составляет 15 %. Для расчета 2-го пояса ЗСО объемным методом примем время (t), равное 400 сут, а для 3-го пояса ЗСО 9125 сут. Подставим исходные данные в уравнение (2).

Для 2-го пояса:

$$R_2 = \sqrt{\frac{1000\,\frac{\text{м}^3}{\text{сут}} \cdot 400\text{сут}}{0.15 \cdot 3.14 \cdot 10\,\text{м}}} = 291\,\text{м}$$

Для 3-го пояса:

$$R_3 = \sqrt{\frac{1000\,\frac{\text{м}^3}{\text{сут}} \cdot 9125\text{сут}}{0.15 \cdot 3.14 \cdot 10\,\text{м}}} = 1392\,\text{м}$$

Поскольку объемный метод не учитывает естественный градиент потока, ЗСО будет иметь форму круга, т. е. длина равна

Таблица 1

Результаты расчета 2-го и 3-го поясов ЗСО объемным методом

	Время, сут	Радиус (R), м	Длина ($2R$), м	Ширина ($2d$), м
2-й пояс ЗСО	400	291	582	582
3-й пояс ЗСО	9125	1392	2784	2784

ширине. Длина 2-го и 3-го поясов ЗСО ($2R$) составит 582 и 2784 м соответственно (таблица 1).

Очевидны преимущества такого решения — это простота в использовании и минимальный набор необходимых для расчета параметров (всего три параметра: расход, активная пористость и мощность водоносного горизонта). В условиях острого дефицита исходных геологических данных, а также при отсутствии специальной подготовки, объемный метод может показаться наиболее привлекательным для использования в расчетах.

Однако при использовании объемного метода следует учитывать его недостатки и ограничения. Так, объемный метод можно использовать только для случаев, когда естественным уклоном потока подземных вод можно пренебречь. В типовых природных условиях данная предпосылка выполняется крайне редко, поэтому зоны санитарной охраны обычно имеют вытянутую форму в виде эллипса, а не форму круга. Исключение могут составлять крупные водозаборы со сформированной обширной в плане и по глубине депрессионной воронкой. Чем больше депрессионная воронка, тем меньшее влияние на форму ЗСО оказывает градиент потока. Кроме того, балансовый метод не учитывает тип водоносного горизонта (напорный/безнапорный/с перетеканием), влияние фильтрационных границ потока, инфильтрационное питание и многое другое.

Таким образом, несмотря на свою популярность, объемный метод расчета ЗСО имеет существенные ограничения. В большинстве случаев его использование не может быть оправданным и, как правило, приводит к значительным отклонениям от истинного размера ЗСО.

Аналитический метод.

Аналитический подход заключается в использовании таких аналитических решений, которые одновременно могут увязать в себе функцию тока, уравнения линий тока и распределение скоростей фильтрации. Поиск аналитических решений для различных гидрогеологических условий осуществлялся рядом авторов [1—4]. В рекомендациях ВНИИ ВОДГЕО по гидрогеоло-

гическим расчетам[1] для определения границ 2-го и 3-го поясов зон санитарной охраны приведен целый набор аналитических решений для разных гидрогеологических условий [5]. В частности, разработаны решения для одиночных и групповых водозаборов, для береговых водозаборов и, напротив, удаленных от реки на значительное расстояние.

Рассмотрим наиболее востребованное аналитическое решение — это схема одиночного водозабора в напорном однородном неограниченном в плане водоносном горизонте.

Зададимся некоторым расходом скважины (Q) и градиентом естественного потока подземных вод до начала эксплуатации водозабора (I). Работа водозабора формирует депрессионную воронку, тем самым изменяет естественную структуру потока подземных вод. По этой причине часть линий тока начинает «притягиваться» к водозабору, и в конечном счете замыкается на него — образуется внутренняя область. Другая часть линий тока «проскакивает» мимо водозабора, формируя внешнюю область (рис. 2). В фильтрационном потоке можно найти нейтральную линию, которая разделяет внутреннюю область захвата водозабора и внешнюю. Нейтральная линия может быть описана положением точки стагнации, отнесенной от водозабора вниз по потоку подземных вод на некоторое расстояние (X_L), а также шириной области захвата (Y_L). По направлению вверх по потоку подземных вод область захвата тянется вплоть до водораздельной линии тока, или границы выклинивания водоносного пласта. Положение точки стагнации (X_L) и ширину области захвата (Y_L) можно оценить по уравнению (3).

$$Y_L = \frac{Q}{kIm};\ X_L = \frac{Q}{2\pi kIm}, \qquad (3)$$

где Y_L — ширина зоны захвата водозабора, м; X_L — удаление точки стагнации от водозабора по направлению вниз по потоку подземных вод, м; Q — расход водозабора, м; k — коэффициент фильтрации водоносного горизонта, м/сут; I — градиент потока подземных вод, м/м; m — мощность водоносного горизонта, м.

Очевидно, что загрязнение, которое просочилось в подземные воды во внутренней области (в зоне захвата), рано или поздно придет в точку водозабора. Как правило, 2-й и 3-й пояса ЗСО подземного водозабора рассчитываются на фиксирован-

[1] Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2-го и 3-го поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1983.

ные времена, поэтому пояса ЗСО будут вложены внутрь зоны захвата (рис. 2). Форма и размеры зоны санитарной охраны могут быть охарактеризованы 3 параметрами: R — длина ЗСО от водозабора вверх по потоку, r — длина ЗСО от водозабора вниз по потоку, d — половина ширины ЗСО (рис. 2).

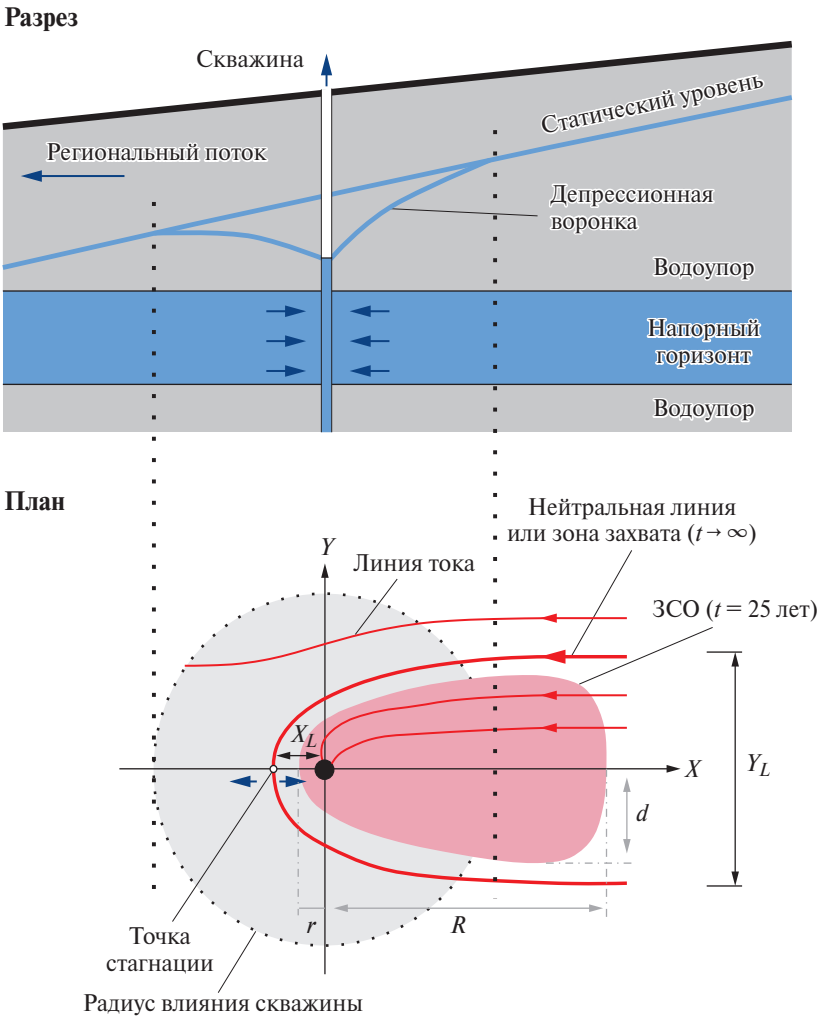


Рис. 2. Структура потока подземных вод при работе водозабора в напорном неограниченном пласте и его зона санитарной охраны

Для расчета длины большого радиуса ЗСО (R) и малого (r) можно воспользоваться выражениями (3) и (4). Уравнения даны в безразмерном виде.

$$\bar{t} = \overline{R} - ln(1 + \overline{R}) \tag{4}$$

$$\bar{t} = -\left[\ln\left(1 - \bar{\mathrm{r}}\right) + \bar{\mathrm{r}}\right], \tag{5}$$

где $\bar{t} = \dfrac{kIt}{nX_L}$, $\overline{\mathrm{R}} = \dfrac{\mathrm{R}}{X_L}$, $\bar{\mathrm{r}} = \dfrac{\mathrm{r}}{X_L}$, k — коэффициент фильтрации водоносного горизонта, м/сут; I — градиент потока подземных вод, м/м; t — время для расчета ЗСО (обычно 400 или 9125 сут), сут; n — активная пористость, м^3/м^3; R и r — расстояние вверх и вниз по потоку соответственно, м; X_L — расстояние от скважины вниз по потоку до точки стагнации, м.

Уравнения (4) и (5) можно записать следующим образом (6) и (7).

$$t = \left[\frac{R}{X_L} - ln\left(1 + \frac{R}{X_L}\right)\right]\frac{nX_L}{kI} \tag{6}$$

$$t = -\left[ln\left(1 - \frac{r}{X_L}\right) + \frac{r}{X_L}\right]\frac{nX_L}{kI} \tag{7}$$

Из структуры уравнений (6) и (7) хорошо видно, что искомые значения R и r не могут быть выражены в явном виде, т. е. для решения требуется итерационный подбор. Для того чтобы итерационно решить уравнения (6) и (7), необходимо выполнить следующие шаги.

Шаг 1. Расчет значения X_L по уравнению (3).

Шаг 2. Обоснование значений активной пористости (n), коэффициента фильтрации (k), градиента потока (I).

Шаг 3. При фиксированных значениях X_L, n, k, I подбираются такие значения R и r в уравнениях (6) и (7), чтобы время t соответствовало 9125 сут (25 лет) для случая 3-го пояса ЗСО и от 100 до 400 сут для 2-го пояса ЗСО. Как только в процессе подбора достигается нужное время, это означает, что была подобрана искомая величина R и r.

Подбор значений можно осуществлять как вручную, так и автоматически, если использовать стандартные встроенные функции MSExcel (вкладка Данные—Анализ «Что если»—Подбор параметров).

Длина зоны санитарной охраны (L) может быть определена из выражения (7), а приближенное значение половины ширины (d) из выражения (9).

$$L = R + r \tag{8}$$

$$d = \frac{2Qt}{\pi mnL} \tag{9}$$

Пример 2. Проектируется водозаборная скважина с дебитом (Q) 1000 м³/сут. Она эксплуатирует водоносный горизонт мощностью (m) 10 м. Величина активной пористости (n) в горизонте составляет 15 %, коэффициент фильтрации (k) 25 м/сут, градиент потока подземных вод (I) 0.001 м/м. Для расчета 2-го пояса ЗСО примем время (t), равное 400 сут, а для 3-го пояса ЗСО — 9125 сут.

Шаг 1. Определим положение точки стагнации (X_L) по уравнению (3).

$$X_L = \frac{1000}{2 \cdot 3.14 \cdot 25 \cdot 0.001 \cdot 10} = 636.94$$

Шаг 2. Примем следующие исходные данные в качестве расчетных параметров: Q = 1000 м³/сут, m = 10 м, n = 0.15, k = 25 м/сут, I = 0.001 м/м, t = 400 и 9125 сут.

Шаг 3. Для определения длинного радиуса ЗСО (R) подставляем исходные данные в выражение (6).

$$t = \left[\frac{R}{636.94} - ln\left(1 + \frac{R}{636.94}\right)\right]\frac{0.15 \cdot 636.94}{25 \cdot 0.001}$$

Подбираем в MSExcel значение (R) до тех пор, пока t не станет равным 400 сут для 2-го пояса ЗСО и 9125 сут для 3-го пояса ЗСО. При R_2 = **337.5 м** получаем t = 400 сут, а при R_3 = **2545.5 м** получаем t = 9125 сут.

В MSExcel функция натурального логарифма может быть записана как =LN (аргумент).

Для определения короткого радиуса ЗСО (r) подставляем исходные данные в выражение (6).

$$t = -\left[ln\left(1 - \frac{r}{636.94}\right) + \frac{r}{636.94}\right]\frac{0.15 \cdot 636.94}{25 \cdot 0.001}$$

Подбираем r до тех пор, пока t не станет 400 сут в случае 2-го пояса ЗСО, и 9125 сут для 3-го пояса. При r_2 = **248.7** получаем t = 400 сут, а при r_3 = **614.66** получаем t = 9125 сут.

Шаг 4. Далее определяем длину (L) 2-го и 3-го поясов ЗСО по выражению (8).

Для 2-го пояса:

$$L_2 = 337.5 + 248.7 = \mathbf{586.2\ м}$$

Для 3-го пояса:

$$L_3 = 2545.5 + 614.66 = \mathbf{3160.16\ м}$$

Шаг 5. Оценку ширины ($2d$) 2-го и 3-го поясов ЗСО проводим по выражению (9).

Для 2-го пояса:

$$d_2 = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 400}{3.14 \cdot 10 \cdot 0.15 \cdot 586.2} = 289.75;\ 2d_2 = \mathbf{579.5}\ \text{м}$$

Для 3-го пояса:

$$d_3 = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 9125}{3.14 \cdot 10 \cdot 0.15 \cdot 3160.16} = 1226.1;\ 2d_3 = \mathbf{2452.2}\ \text{м}$$

Шаг 6. Сориентируем контур ЗСО в пространстве таким образом, чтобы длинный радиус (R) эллипса располагался от скважины вверх по направлению потока подземных вод, а малый радиус (r) снизу по потоку (рис. 2).

Итоговые результаты расчета приведены в таблице 2.

Неоспоримым преимуществом аналитического метода является учет параметров, которые контролируют геометрию ЗСО. В частности, представленное выше решение учитывает филь-

Таблица 2

Результаты расчета 2-го и 3-го поясов ЗСО аналитическим методом

Тип пояса ЗСО	Время, сут	Радиус вверх по потоку (R), м	Радиус вниз по потоку (r), м	Длина ($L = R + r$), м	Ширина ($2d$), м
2-й пояс	400	337.5	248.7	586.2	579.5
3-й пояс	9125	2545.5	614.66	3160.16	2452.2

трационный поток подземных вод, его направление, а также коэффициент фильтрации водоносного горизонта. Различия в геометрии 3-го пояса ЗСО при расчете объемным и аналитическим методами при идентичном наборе параметров приведены на рис. 3. Из него хорошо видно, что учет потока подземных вод, даже незначительного по своей величине, оказывает существенное влияние на геометрию ЗСО.

К сожалению, вывод аналитических решений возможен не для всех комбинаций природных условий, набор решений существенно ограничен. Иногда использование аналитического решения требует чрезмерного упрощения существующих природных условий. Например, направление потока в аналитических решениях задается вектором в одном направлении, т. е. поток не может менять свое естественное направление в плане. Также аналитические решения не позволяют учитывать сложную геометрию рек, влияние инфильтрационного питания, плановую

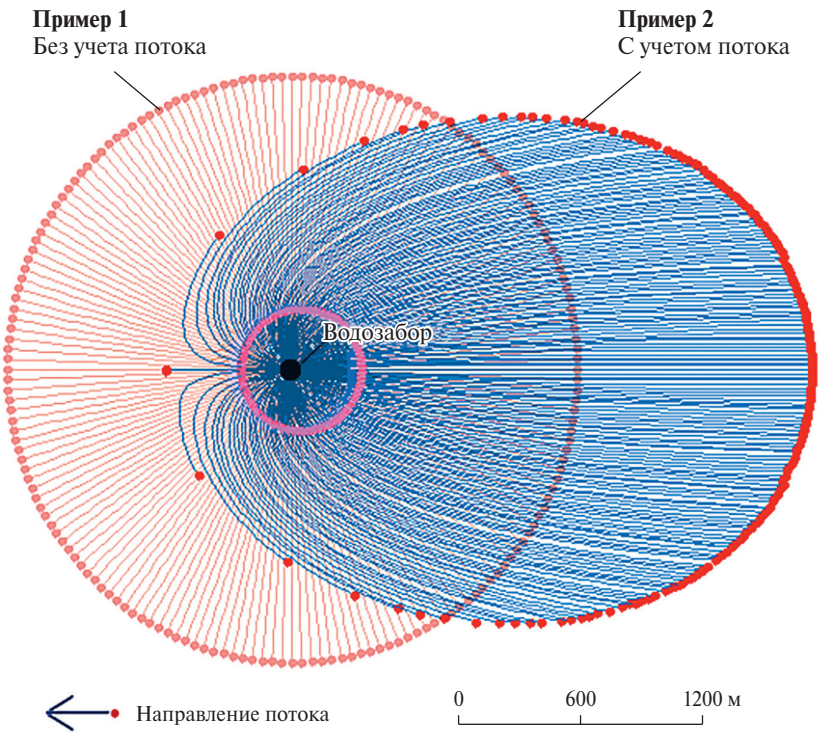


Рис. 3. Сопоставление размеров 3-го пояса ЗСО при расчете объемным и аналитическим способами

неоднородность и многое другое. Кроме того, изложенные в Рекомендациях ВОДГЕО[2] аналитические решения часто приведены с опечатками, что значительно затрудняет их широкое использование на практике.

В том случае, когда природные условия эксплуатации водозабора невозможно схематизировать (упростить) до условий, в которых корректно работают аналитические решения, рекомендуется использовать графоаналитический метод. А интеграция графоаналитического метода с расчетными компьютерными кодами делает его, пожалуй, наиболее перспективным и востребованным на практике.

Графоаналитический метод.

Расчет ЗСО подземного водозабора графоаналитическим методом сводится к двум последовательным этапам.

Этап 1 — подготовка карты гидроизогипс с учетом гидродинамического влияния проектируемого водозабора.

Этап 2 — расчет времени миграции частиц по линиям тока. Общая логика построений отражена на рис. 4. Остановимся более подробно на каждом из этапов расчета графоаналитическим методом.

Этап 1. Создание карты гидроизогипс с учетом гидродинамического влияния водозабора.

На первом шаге строится карта гидроизогипс в естественных условиях, т. е. до момента включения водозабора подземных вод. Она может быть получена по данным фактических замеров уровней подземных вод или путем расчета напоров на гидродинамической модели.

На следующем шаге рассчитывается карта понижений от работы проектируемого водозабора. В основу такого расчета могут быть заложены как аналитические, так и численные решения.

На третьем шаге строится результирующая карта гидроизогипс с учетом гидродинамического влияния водозабора (рис. 5*в*). Для этого в каждой точке пространства складываются напоры с карты гидроизогипс до начала работы водозабора (рис. 5*а*), а также рассчитанные понижения от проектируемого водозабора (рис. 5*б*).

Этап 2. Расчет времени добегания частиц.

Результирующая карта гидроизогипс с учетом влияния водозабора служит основой для отрисовки линий тока. Линии тока

---

[2] Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2-го и 3-го поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения.

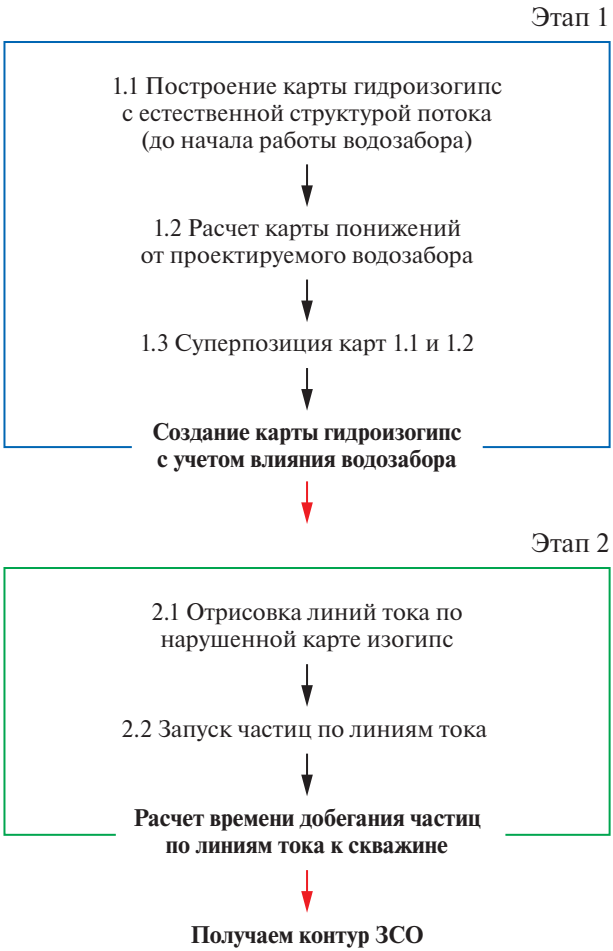


Рис. 4. Этапы расчета ЗСО графоаналитическим методом

подземных вод для изотропных условий проводятся перпендикулярно линиям гидроизогипс (рис. 5*в*). Для каждой выделенной линии тока рассчитывается скорость движения частиц по формуле (10):

$$v = \frac{1}{n} k \frac{H_2 - H_1}{l}, \qquad (10)$$

где H_1, H_2 — расчетный напор в точках 1 и 2, находящихся на расстоянии l друг от друга, м;

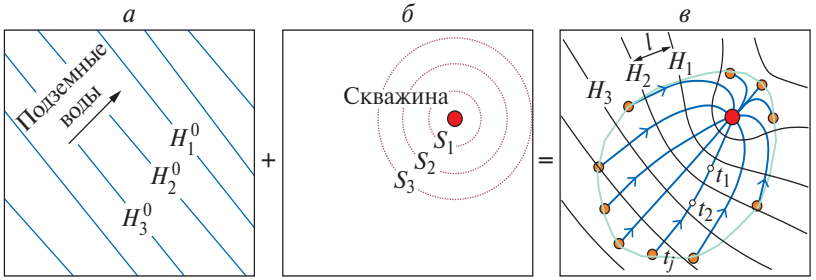


Рис. 5. Принцип расчета ЗСО подземного водозабора графоаналитическим методом

а — карта гидроизогипс до начала работы водозабора; *б* — расчетная карта понижений проектируемого водозабора; *в* — результирующая карта гидроизогипс с учетом гидродинамического влияния водозабора. На карте синими линиями отмечены линии тока; серыми линиями — гидроизогипсы; оранжевые точки — конечные точки ЗСО

k — коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сут;

l — расстояние между двумя точками (1 и 2), в которых определяется напор, м;

n — активная пористость;

v — действительная скорость фильтрации, м/сут.

На основании полученных скоростей движения можно определить расстояние, на которое должна быть удалена частица от водозабора по каждой линии тока, чтобы время ее добегания составляло 9125 сут (для случая 3-го пояса ЗСО).

$$t = \sum_{i=1}^{j} \Delta t_i = \sum_{i=1}^{j} \frac{l_i}{v_i}, \qquad (11)$$

где j — количество интервалов, сумма которых равна длине траектории перемещения частицы за время t; l_i — длина i-го интервала, м; t — время прохождения частицы от произвольной точки до водозабора, сут; t_i — время прохождения частицы от произвольной точки до окончания i-го интервала, сут; $\Delta t = t_i - t_{i-1}$ — время прохождения частицей одного i-го интервала, сут; v_i — действительная скорость фильтрации для i-го интервала, м/сут.

Соединив между собой конечные точки по всем линиям тока, получаем замкнутый контур ЗСО (см. рис. 5*в*).

Современные возможности расчета ЗСО. Использование графоаналитического метода в середине прошлого века сопровождалось массой ручных построений и расчетов. Поэтому метод

применялся только для сложных гидрогеологических условий, где другие методы (объемный и аналитический) не подходили. Сегодня такие расчеты понижений от водозабора, построение сетки движения подземных вод, расчет скоростей миграции превратились для многих в повседневную рутину и могут быть сведены к нажатию нескольких кнопок на компьютере в специализированных программных комплексах. Рассмотрим на примере программы ANSDIMAT основные возможности по расчету ЗСО.

Программа ANSDIMAT была разработана в Институте геоэкологии РАН [7]. Автором-разработчиком программы является Л. Н. Синдаловский. Программа предназначена для гидродинамических расчетов скважинных систем [8]. Модуль AmWells программы ANSDIMAT использует **графоаналитический метод** для расчета ЗСО подземных водозаборов. Программа прошла процедуру валидации [9] и получила положительное экспертное заключение от ФГБУ «НИИ ЭЧ и ГОС им. А. Н. Сысина», ныне ФГБУ «ЦСП» ФМБА России [10]. Сайт программы http://ansdimat.com/ru/.

Программа ANSDIMAT при расчете ЗСО позволяет учитывать взаимовлияние нескольких водозаборов, влияние плановых границ (река, непроницаемая граница), фильтрационную неоднородность, инфильтрационное питание и мн. др. По результатам расчета программа автоматически формирует отчет. Пример интерфейса программы и основной функционал показан на рис. 6, 7, 8.

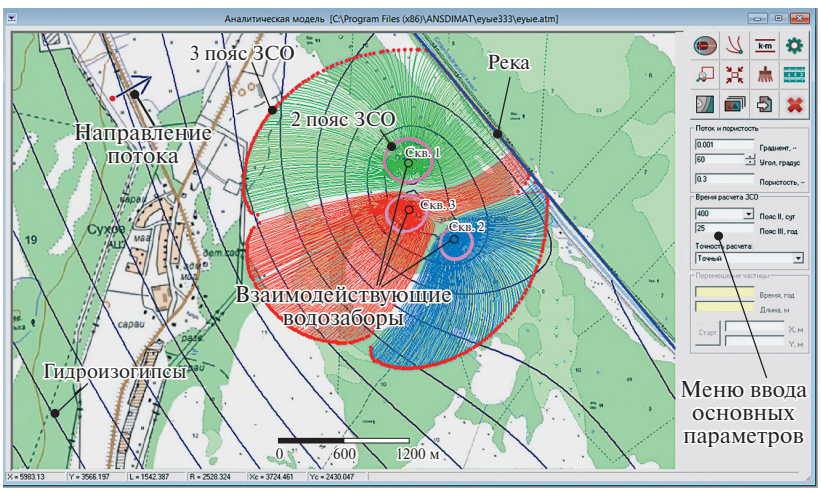


Рис. 6. Аналитическое моделирование ЗСО в программе ANSDIMAT

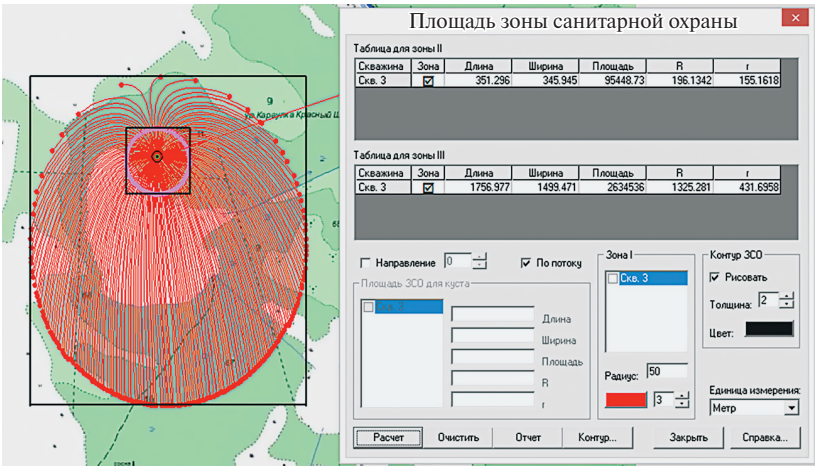


Рис. 7. Меню программы для расчета ЗСО и формирования автоматического отчета

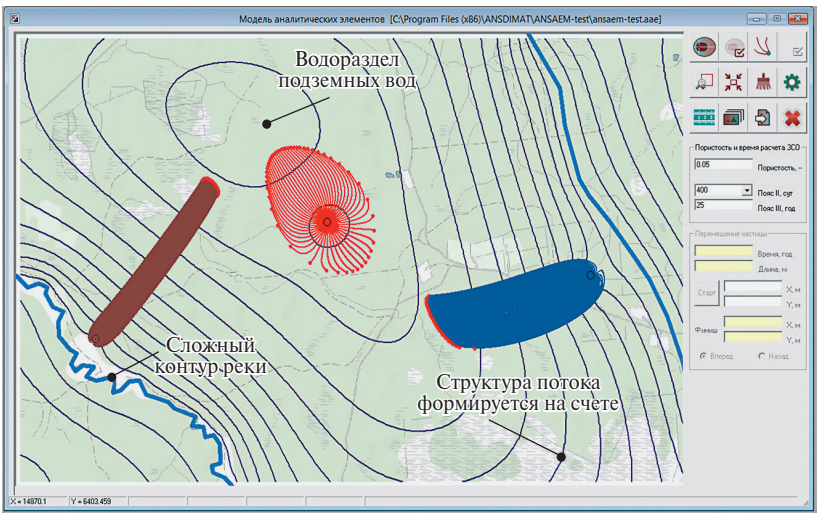


Рис. 8. Моделирование ЗСО методом аналитических элементов в программе ANSDIMAT

Таблица 3

Сопоставление расчета ЗСО различными способами моделирования

Способ моделирования	Преимущества	Недостатки
Простые аналитические решения	— не требует специальных знаний для использования; — учитывает взаимовлияние нескольких водозаборов, взаимосвязь водоносных горизонтов, границы фильтрационного потока; — решение всегда сходится.	— ограниченность типовых условий; — естественное направление потока подземных вод и его градиент задается пользователем. Они являются константой по всей площади модели; — реки и непроницаемые границы — это прямые линии бесконечной протяженности; — отсутствует инфильтрационное питание; — нет возможности задать плановую неоднородность.
Моделирование методом аналитических элементов	— реки и непроницаемые границы могут быть произвольной формы; — естественная структура потока формируется на счете с учетом геометрии границ, величины питания, фильтрационных параметров; — возможно задать плановую неоднородность.	— требует базовых навыков гидрогеологического моделирования; — однослойная модель; — требует большего количества параметров для расчета; — может не сойтись на счете.

Расчет ЗСО в программе ANSDIMAT может проходить при помощи простых аналитических решений [8] или с использованием модели аналитических элементов [11—13].

Аналитическое решение заключается в создании упрощенных гидродинамических моделей, в основу которых положено решение известных уравнений фильтрации (решение Тейса, Менча и др.) и принцип суперпозиции. При этом естественное поле напоров подземных вод формируется пользователем принудительно путем задания градиента потока и его направления.

Модель аналитических элементов рассчитывает с помощью специальных алгоритмов сетку движения подземных вод в однослойном напорном или безнапорном планово-неоднородном водоносном пласте с произвольным набором граничных условий.

В таком случае структура потока подземных вод формируется на счете в зависимости от расположения границ фильтрационного потока, величины инфильтрационного питания, фильтрационных параметров водоносного горизонта и производительности водозаборов.

Сопоставление двух способов моделирования для расчета ЗСО приведено в таблице 3.

Программа ANSDIMAT сегодня является своего рода стандартом отрасли в России и странах СНГ для расчета ЗСО подземных водозаборов.

В качестве альтернативы программе ANSDIMAT можно отметить некоторые другие коды. Например, код ZONE разработан ОАО «НИИ ВОДГЕО». Он позволяет рассчитывать ЗСО подземных водозаборов для простых условий. Продвинутые коды для численного гидрогеологического моделирования также могут быть использованы для расчета ЗСО. Например, связка модулей MODFLOW и MODPATH, разработанная геологической службой США, может применяться для расчета ЗСО в сложных гидрогеологических условиях.

Отдельно отметим, что использование в проекте любого программного кода для расчета ЗСО должно быть подтверждено протоколами тестирования или верификационным отчетом.

Список литературы

1. *Bear J., Jacobs M.* On the movement of waterbodies injected into aquifers // Journal of Hydrology. 1965. Vol. 3. P. 37—57.

2. *Минкин Е. Л.* Гидрогеологические расчеты для выделения зон санитарной охраны водозаборов подземных вод. М.: Недра, 1967.

3. *Гольдберг В. М.* Гидрогеологические прогнозы качества подземных вод на водозаборах. М.: Недра, 1976.

4. *Орадовская А. Е., Лапшин Н. Н.* Санитарная охрана водозаборов подземных вод. М.: Недра, 1987.

5. Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2 и 3 поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1983.

6. *Румынин В. Г.* Теория и методы изучения загрязнения подземных вод. Учебник для вузов. СПб.: Наука, 2020.

7. Официальный сайт программы ANSDIMAT. [Электронный ресурс]. URL: http://ansdimat.com/ru

8. *Синдаловский Л. Н.* Гидрогеологические расчеты с использованием программы ANSDIMAT. СПб.: Наука, 2021.

9. Результаты тестирования программного комплекса AmWells. М.: ИГЭ РАН, 2014.

10. Экспертное заключение НИИ ЭЧ и ГОС Министерства здравоохранения РФ о соответствии программного комплекса по расчету 2-го и 3-го поясов зон санитарной охраны водозаборов подземных вод (AMWELLS) требованиям законодательства в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия человека. [Электронный ресурс]. URL: http://ansdimat.com/download/Exp_zakl_Sysin.pdf

11. *Haitjema H. M.* Analytic element modeling of groundwater flow. San Diego: Academic Press, 1995.

12. *Strack O. D. L.* Analytical groundwater mechanics. Cambridge University Press, 2017.

13. *Bandilla K.*, *Suribhatla R.*, *Janković I.* Split. Win32 computer program for analytic-based modeling of single-layer groundwater flow in heterogeneous aquifers with particle tracking, capture-zone delineation, and parameter estimation. Version 3.0. Department of Civil, Structural and Environmental Engineering University at Buffalo. 2005.

Глава 9

ПОДХОДЫ К СОКРАЩЕНИЮ ПОЯСОВ ЗСО

Сокращение размеров ЗСО подземного водозабора в ряде случаев обусловлено условиями землепользования и может являться необходимым условием для обеспечения централизованного питьевого водоснабжения. Однако размеры ЗСО не должны сокращаться необоснованно, поскольку это может привести к нанесению серьезного ущерба жизни и здоровью населения. Можно выделить три основных подхода для сокращения размеров ЗСО: учесть защищенность подземных вод, уточнить параметры водоносного горизонта или изменить режим работы водозабора. Эти подходы могут применяться как выборочно, так и совместно.

Остановимся более подробно на возможных способах сокращения ЗСО.

Алгоритм сокращения размеров ЗСО для защищенных подземных вод прописан в нормативных документах и в рекомендациях. Так, если водозаборная скважина эксплуатирует защищенный водоносный горизонт, то размер 1-го пояса ЗСО может быть сокращен с 50 м до 30 м, а расчетное время 2-го пояса ЗСО с 400 сут до 100 или 200 сут, в зависимости от климатических условий.

Отметим, что к защищенным подземным водам относятся напорные и безнапорные межпластовые воды, имеющие в пределах всех поясов ЗСО сплошную водоупорную кровлю, исключающую возможность местного питания из вышележащих недостаточно защищенных водоносных горизонтов. Однако даже в том случае, если водозабор эксплуатирует первый от поверхности водоносный горизонт, защищенность подземных вод может быть обоснована. Подробное описание методики В. М. Гольдберга расчета защищенности грунтовых вод с примерами, а также количественного подхода приведено в главе 7.

Применительно к 1-му поясу ЗСО можно добавить, что, если схема водоподготовки включает индикацию загрязнения в реальном времени (биологическую) с использованием универсального

метода снижения загрязнения (блок порошкового активированного угля — ПАУ), что является высоконадежным и эффективным решением при кратковременном значимом загрязнении, либо какие-то другие решения, обеспечивающие защиту от загрязнения химического и биологического, может быть предусмотрено значительное сокращение ЗСО 1-го пояса. По международной практике предельные значения ЗСО 1-го пояса при благоприятных условиях 10—15 м, при более консервативном подходе сокращение не более, чем в 2 раза от ранее установленных.

Также считаем, что в тех случаях, когда скважина размещена внутри пищевых предприятий, общественных зданий, в специально оборудованном, изолированном помещении, исключающем пребывание посторонних лиц, при этом здания и помещения оборудованы централизованной системой канализации с отведением сточных вод в систему бытовой и/или производственной канализации, с выпусками, расположенными за пределами 1-го и 2-го поясов ЗСО, возможно изменение границ и размеров пояса в сторону его сокращения до размеров и границ закрытого помещения.

В некоторых случаях, для глубоких напорных пластов, изолированных от смежных горизонтов надежными водоупорными породами, при обосновании отсутствия рисков нарушения сплошности водоупора, допустимо проводить сокращение 3-го пояса ЗСО с учетом времени миграции потенциального загрязнения через разделяющий слой ($t_в$). Подробное описание методики и пример расчета приведены в главе 7.

Поскольку размеры 2-го и 3-го поясов подземного водозабора устанавливаются гидродинамическими расчетами, то очевидно, что их геометрия определяется параметрами, заложенными в расчет (см. главу 6). Поэтому альтернативным подходом к сокращению размеров ЗСО может быть более углубленное обоснование в проекте исходных параметров. Как правило, специалисты при разработке проекта ЗСО испытывают резкий дефицит исходной информации и вынуждены использовать в своей работе справочную информацию или данные по объекту-аналогу. В качестве мероприятий по обоснованию параметров для расчета ЗСО можно порекомендовать следующие:

— камеральные работы по поиску в геологических фондах и архиве недропользователя отчета, по оценке запасов подземных вод. Как правило, в таких отчетах приводится исчерпывающая информация о геологическом разрезе, структуре потока подземных вод и фильтрационных свойствах пласта;

— полевые работы по уточнению фильтрационных параметров. Как правило, такие работы предполагают проведение

опытно-фильтрационных опробований на существующей скважине для последующей интерпретации данных и расчета коэффициента фильтрации пласта. При отсутствии геологической колонки скважины для уточнения разреза проводят геофизические исследования в стволе скважины или бурят дублирующую инженерно-геологическую скважину;

— полевые работы по уточнению направления и градиента потока подземных вод. Для этого необходимо найти на местности и провести замеры уровней воды как минимум в трех наблюдательных скважинах, оборудованных на эксплуатируемый горизонт. Далее методом треугольника определить градиент и направление потока подземных вод (подробнее см. главу 6);

— лабораторные работы по определению активной пористости водоносного горизонта. Данные работы относятся к специальным видам работ и могут быть выполнены в научных и исследовательских организациях.

Однако необходимо учитывать тот факт, что проведение дополнительных изысканий на объекте не гарантирует на 100 % сокращение размеров ЗСО, поскольку уточненное значение параметра может привести, наоборот, к увеличению размера зоны санитарной охраны. Влияние расчетных параметров на размер и геометрию ЗСО подземного водозабора охарактеризовано в таблице 1 и на рис. 1.

Размер 2-го и 3-го поясов ЗСО также зависит от расхода подземного водозабора (рис. 1). При расчете ЗСО используется заявленная водопотребность (расход), которая была обоснована проектировщиками исходя из площади сооружения, количества человек, графика их прибывания, полива территории и многих других факторов. В том случае когда требуется сокращение

Таблица 1

Параметры и их воздействие на размер ЗСО подземного водозабора

	Параметр	Воздействие на ЗСО
1	Увеличение (↑) мощности водоносного горизонта	Приводит к сокращению (↓) ЗСО
2	Увеличение (↑) активной пористости	Приводит к сокращению (↓) ЗСО
3	Увеличение (↑) коэффициента фильтрации	Приводит к вытягиванию (→) ЗСО
4	Увеличение (↑) градиента потока	Приводит к вытягиванию (→) ЗСО
5	Изменение направления потока	Приводит к повороту ЗСО
6	Увеличение (↑) параметра перетекания	Приводит к увеличению (↑) ЗСО

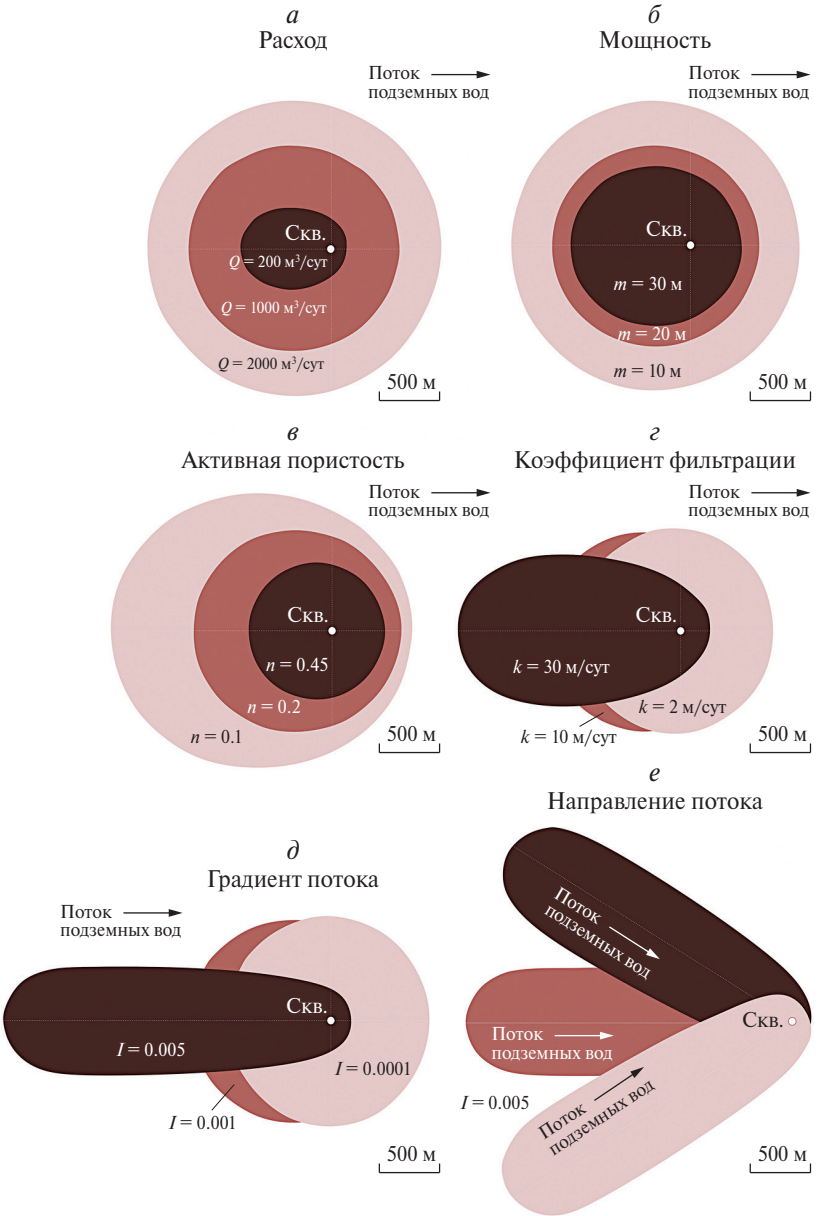


Рис. 1. Влияние расчетных параметров на размер и геометрию ЗСО подземного водозабора

размеров проектируемого ЗСО, рекомендуется провести анализ статей водопотребления и оценить возможность их минимизации. При переоценке ЗСО допустимо в качестве расхода использовать величину, определенную по опыту длительной эксплуатации.

Далее приведем несколько типовых примеров сокращения поясов ЗСО.

Пример 1. Сокращение 1-го пояса ЗСО путем обоснования защищенности горизонта.

Водозаборная скважина была пробурена в 35 м от границы земельного участка недропользователя. Скважина эксплуатирует первый от поверхности (безнапорный) водоносный горизонт. Глубина до статического уровня воды составляет 14 м, а годовая амплитуда не превышает 1.5 м. Водоносный горизонт сложен песками. В зоне аэрации присутствуют слабопроницаемые прослои глин (см. таблицу 2).

При разработке проекта ЗСО выяснилось, что 1-й пояс ЗСО не может быть организован на территории недропользователя, поскольку для безнапорного горизонта его радиус назначается

Таблица 2

Состав зоны аэрации и расчет времени миграции в каждом слое

Слой зоны аэрации	Мощность (L), м	Коэффициент фильтрации (k), м/сут	Активная пористость (n_a), м³/м³	Расчет	Время (t_0), сут
1. Песок	3	10	0.15	$3 \cdot 0.15 / \sqrt[3]{0.0003^2 \cdot 10}$	47
2. Глина	2	0.0001	0.05	$2 \cdot 0.05/0.0001$	1000
3. Песок	2	10	0.15	$2 \cdot 0.15 / \sqrt[3]{0.0003^2 \cdot 10}$	31
4. Супесь	4	0.1	0.1	$4 \cdot 0.1 / \sqrt[3]{0.0003^2 \cdot 0.1}$	192
5. Песок	14 – 1.5* – 11 = 1.5	10	0.15	$1.5 \cdot 0.15 / \sqrt[3]{0.0003^2 \cdot 10}$	23
Сумма времен					**1293**

* Учет годовой амплитуды колебаний уровня подземных вод.

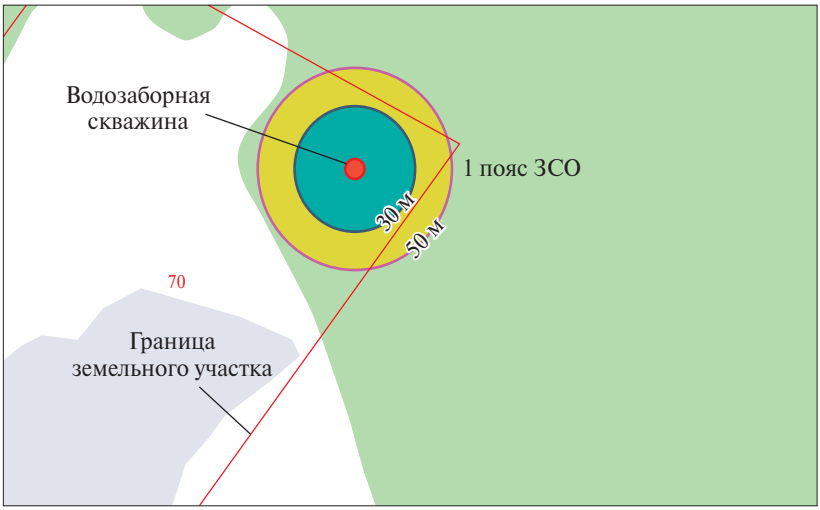


Рис. 2. Размеры 1-го пояса ЗСО с учетом (30 м) и без учета (50 м) защищенности водоносного горизонта

равным 50 м, а расстояние от скважины до границы участка составляет всего лишь 35 м. В таких условиях пояс строгой охраны выходил бы за границы земельного участка недропользователя.

Было принято решение рассмотреть степень защищенности безнапорного горизонта ввиду того, что по данным бурения в зоне аэрации встречаются слабопроницаемые прослои глин (см. таблицу 2).

Для расчета защищенности использовались уравнения (1) и (2) из главы 7 и рекомендуемые параметры для разных литологических разностей из таблицы 5 главы 7.

Результаты расчета показывают, что время миграции инертного загрязнителя через зону аэрации составляет 1293 сут. Поскольку расчетное время более 400 сут, то грунтовый водоносный горизонт можно считать защищенным и сократить 1-й пояс с 50 м до 30 м (рис. 2).

Пример 2. Сокращение размеров ЗСО за счет проведения дополнительных исследований.

Подземный водозабор оборудован вблизи реки на аллювиальные отложения (безнапорный водоносный горизонт). Расстояние от водозабора до реки составляет 70 м. Коэффициент фильтрации вмещающих пород составил 30 м/сут, мощность вмещающих пород 15 м, а активная пористость 0.25. Поток под-

земных вод направлен к реке с градиентом 0.001 м/м. Обосновано проектное водопотребление 130 м³/сут.

Во время разработки проекта выяснилось, что 3-й пояс ЗСО замыкается на реку. Данный вывод вытекает из простой проверки на соотношение параметров по условию (1):

$$\begin{cases} Q \le \pi X_0 kmI - \text{ЗСО не замыкает на реку} \\ Q > \pi X_0 kmI - \text{ЗСО замыкает на реку} \end{cases}, \quad (1)$$

где Q — расход водозабора, м³/сут; X_0 — расстояние до реки, м; k — коэффициент фильтрации, м/сут; m — мощность водоносного горизонта, м; I — градиент потока, м.

Для условий нашей задачи получаем: 3.14 × 70 м × × 30 м/сут × 15 м × 0.001 м/м = 98.9 м³/сут. Поскольку расчетная величина оказалась меньше расхода водозабора, то можно с уверенностью утверждать, что 3-й пояс ЗСО замкнется на поверхностный водоток.

В таком случае, согласно действующему законодательству, необходимо организовать пояса ЗСО не только для подземного водозабора, но и для поверхностного водотока. Быстрый анализ ситуации показал, что во 2-й и 3-й пояс ЗСО поверхностного водотока будут попадать промышленные объекты, которые не должны в них располагаться.

Для обоснования сокращения 3-го пояса ЗСО были выполнены дополнительные изыскания, которые включали в себя бурение двух наблюдательных пьезометров по направлению от скважины к реке, а также проведение опытно-фильтрационных работ. По результатам интерпретации откачек был уточнен коэффициент фильтрации аллювиальных отложений, который составил 35 м. В пробуренных пьезометрах были измерены статические уровни воды, что позволило рассчитать фактический градиент потока подземных вод от скважины по направлению к реке. Было установлено, что фактический градиент естественного потока составляет 0.003 м/м.

Проведем повторную оценку по формуле (1), но уже с уточненными параметрами:

$$3.14 \times 70 \text{ м} \times 35 \text{ м/сут} \times 15 \text{ м} \times 0.003 \text{ м/м} = 346.19 \text{ м}^3\text{/сут}$$

Рассчитанная величина оказывается больше заявленной водопотребности. Это означает, что 3-й пояс ЗСО с уточненными параметрами не будет замыкаться на поверхностный водоток и можно ограничиться ЗСО только для подземного водозабора.

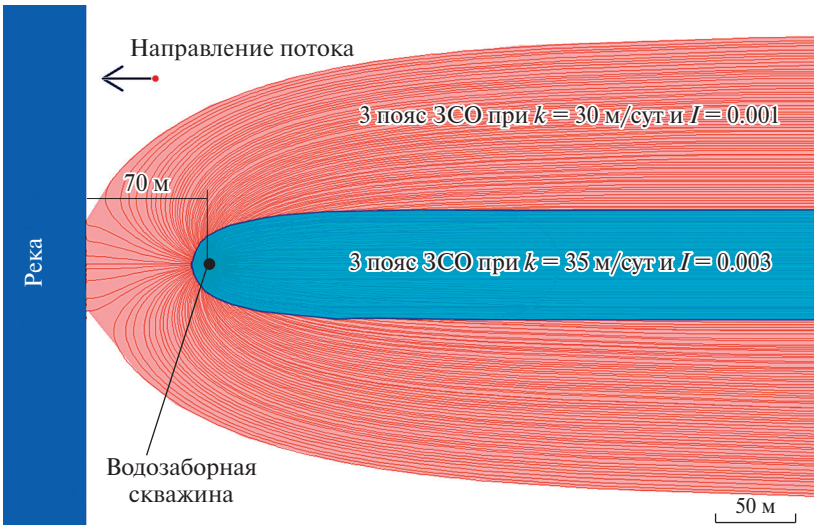


Рис. 3. Сокращение размера 3-го пояса ЗСО около реки

Границы 3-го пояса ЗСО для первоначального варианта и с уточненными параметрами приведены на рис. 3.

Пример 3. Сокращение размеров ЗСО за счет учета дополнительных природных факторов.

Пригородный водозабор подземных вод эксплуатирует напорный водоносный горизонт мощностью 10 м. Для водозабора был разработан и утвержден проект ЗСО. Разработчики проекта использовали объемный метод (см. главу 8) при расчете ЗСО. Использовались следующие параметры: расход 1000 м^3/сут, активная пористость 0.3, мощность горизонта 10 м. Утвержденные границы 3-го пояса ЗСО в виде окружности представлены на рис. 4.

В рамках государственной программы областная администрация осуществляла поиск подходящего места для строительства полигона твердых бытовых отходов (ТБО). Проведенные исследования показали, что оптимальным местом с точки зрения геологической защищенности, а также существующей инфраструктуры является участок, отмеченный на рис. 4. Однако в ходе проведения предпроектных работ оказалось, что площадка под полигон ТБО располагается в 3-м поясе ЗСО подземного водозабора. Было принято решение рассмотреть возможность сокращения 3-го пояса ЗСО таким образом, чтобы площадка полигона ТБО не попадала в его границы.

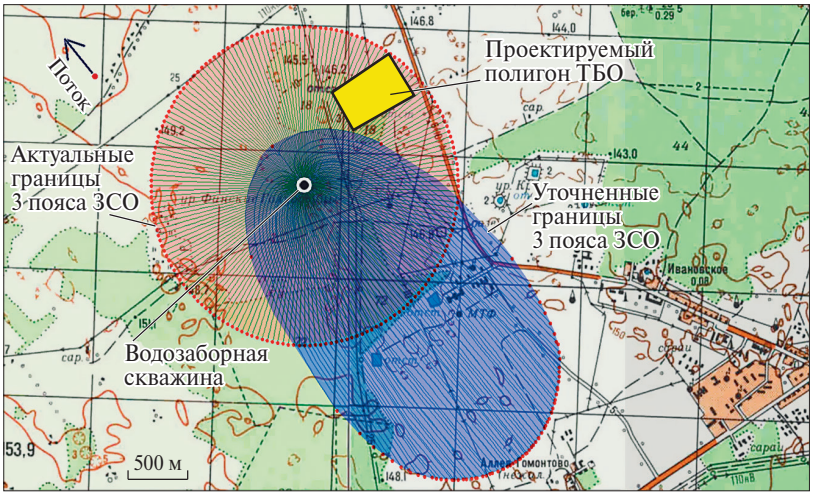


Рис. 4. Пример сокращения 3-го пояса ЗСО путем учета направления естественного потока подземных вод

Анализ гидрогеологических условий и материалов утвержденного ранее проекта показал, что площадка полигона ТБО располагается ниже по потоку подземных вод от водозабора, а проведенные ранее расчеты размеров ЗСО были сделаны по упрощенной схеме без учета градиента и направления потока грунтовых вод.

Уточняющие расчеты были проведены аналитическим методом (см. главу 8). По карте гидроизогипс определялось направление потока и градиент подземных вод (0.001 м/м). Также в расчетах использовалось значение коэффициента фильтрации (25 м/сут), которое было взято из отчета по оценке запасов эксплуатируемого водозабора.

Результаты уточняющих расчетов представлены на рис. 4. Хорошо видно, что учет структуры естественного потока подземных вод и фильтрационных свойств водоносного горизонта позволил более достоверно установить расположение 3-го пояса ЗСО в пространстве. При этом площадка проектируемого полигона ТБО перестала попадать в 3-й пояс ЗСО.

Глава 10

ПОЯСА ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ. НАЗНАЧЕНИЕ И ОГРАНИЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В соответствии с законом о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения[1] (ст. 18) зоны санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения устанавливаются, изменяются, прекращают существование по решению органа исполнительной власти субъекта Российской Федерации. Разрабатываются проекты зон санитарной охраны подземных водоисточников на основе гидрогеологических данных и рекомендаций [1, 2, 3]. При этом решения об установлении, изменении зоны санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения принимаются при наличии санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии границ таких зон и ограничений использования земельных участков в границах таких зон санитарным правилам [4, 5]. Положение о зонах санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения утверждается правительством Российской Федерации.

В соответствии с Водным кодексом[2] для водных объектов, используемых для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, устанавливаются зоны санитарной охраны в соответствии с законодательством о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения [6, 7]. В зонах санитарной охраны источников питьевого водоснабжения осуществление деятельности и отведение территории для жилищного строительства, строительства промышленных объектов и объектов сельскохозяйственного назначения запрещаются или ограничиваются в случае и в порядке, которые установлены санитарными пра-

---

[1] Федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

[2] Федеральный закон от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ «Водный кодекс Российской Федерации».

вилами и нормами в соответствии с законодательством о санитарно-эпидемиологическом благополучии.

Серьезной проблемой является наличие на территориях ЗСО объектов, уже введенных в эксплуатацию [8—11]. Сброс сточных и/или дренажных вод в водные объекты, расположенные в границах 2-го и 3-го поясов зон санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, хозяйственными или иными объектами, которые были введены в эксплуатацию или разрешение на строительство которых было выдано до введения в действие Водного кодекса Российской Федерации, допускается с соблюдением санитарных правил и норм в соответствии с законом о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения[3] [12, 13].

В соответствии с Земельным кодексом РФ (ст. 106),[4] Законом о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения (ст. 18) установление, изменение, прекращение существования зон с особыми условиями использования территорий регулируется вводимым постановлением Правительства РФ.

Рассматриваемый в настоящее время **проект Постановления** Правительства Российской Федерации «Об утверждении Положения о зонах санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также устанавливаемых в случаях, предусмотренных Водным кодексом Российской Федерации, в отношении подземных водных объектов зонах специальной охраны» регламентирует:

1) порядок подготовки и принятия решений об установлении, изменении, о прекращении существования указанных зон;

2) исчерпывающий перечень объектов, территорий, в связи с размещением которых или в целях защиты и сохранения которых устанавливается зона с особыми условиями использования территории, или критерии таких объектов, виды территорий;

3) срок, на который устанавливаются указанные зоны, за исключением случаев установления зон бессрочно;

4) требования к предельным размерам указанных зон и/или правила определения размеров зон, за исключением случаев, если требования к таким предельным размерам и/или правилам определения размеров зон установлены федеральным законом;

5) порядок обозначения границы зоны с особыми условиями использования территории и/или местоположения объекта,

---

[3] Федеральный закон от 3 июня 2006 г. № 73-ФЗ «О введении в действие Водного кодекса Российской Федерации».

[4] Федеральный закон от 25 октября 2001 г. № 136-ФЗ «Земельный Кодекс Российской Федерации».

в связи с размещением которого устанавливается зона с особыми условиями использования территории, на местности;

6) перечень ограничений использования земельных участков, которые могут быть установлены в границах указанных зон, за исключением случаев, если перечень этих ограничений установлен федеральным законом, а также перечень ограничений хозяйственной и иной деятельности, которые могут быть установлены на водном объекте в случае, если в границы зоны с особыми условиями использования территории включается акватория водного объекта, ее часть. Данным положением могут быть установлены разные перечни таких ограничений в зависимости от видов или характеристик объектов и/или территорий, в отношении которых устанавливаются зоны с особыми условиями использования территорий;

7) правила определения размеров территорий в случае, если в границах зоны с особыми условиями использования территории могут выделяться две или более территории, в отношении которых устанавливаются различные ограничения использования земельных участков, в том числе для достижения различных целей установления такой зоны, предусмотренных пунктом 1 статьи 104 настоящего Федерального закона (далее также — подзоны), а также перечень ограничений использования земельных участков, водных объектов, которые могут быть установлены в границах указанных территорий (за исключением случаев, если перечень этих ограничений в отношении каждой территории установлен федеральным законом);

8) информация о возможности или невозможности установления отдельных ограничений использования земельных участков, водных объектов, их частей при установлении зоны с особыми условиями использования территории, ее подзон из перечней ограничений, предусмотренных пунктами 6 и 7, в зависимости от характеристик объектов или территорий, в отношении которых устанавливается зона с особыми условиями использования территории;

9) федеральные органы исполнительной власти, уполномоченные на принятие решений об установлении, изменении, о прекращении существования зоны с особыми условиями использования территории, за исключением случаев, если федеральным законом принятие указанных решений отнесено к полномочиям органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления;

10) сведения о праве иных лиц, не являющихся правообладателями зданий, сооружений, в связи с размещением которых устанавливается зона с особыми условиями использования тер-

ритории, застройщиками, обеспечивающими строительство, реконструкцию таких зданий, сооружений, обратиться с заявлением об установлении, изменении или о прекращении существования зоны с особыми условиями использования территории;

11) исчерпывающий перечень документов, представляемых для принятия решений об установлении, изменении, прекращении существования зоны с особыми условиями использования территории, способы их представления, а в случае подачи данных документов в форме электронных документов — требования к формату электронных документов;

12) случаи, при которых требуется изменение зоны с особыми условиями использования территории, а также при необходимости случаи, при которых требуется изменение зоны с особыми условиями использования территории, установленной в отношении планируемого строительства, реконструкции объекта капитального строительства, после ввода такого объекта капитального строительства в эксплуатацию по итогам оценки фактического воздействия такого объекта, сроки обращения правообладателя такого объекта в уполномоченные органы с заявлением об изменении зоны;

13) основания прекращения существования зоны с особыми условиями использования территории. Указанным положением может быть предусмотрено прекращение существования зоны с особыми условиями использования территории одновременно с прекращением существования объекта, в отношении которого установлена такая зона;

14) исчерпывающий перечень оснований для отказа в принятии решений об установлении, изменении, о прекращении существования зоны с особыми условиями использования территории.

При определении перечня ограничений использования земельных участков, которые могут быть установлены в границах зоны с особыми условиями использования территории, должен устанавливаться исчерпывающий перечень видов зданий, сооружений, их разрешенного использования (назначения), и/или требования к параметрам зданий, сооружений, размещение которых допускается или запрещается в границах указанной зоны, и/или требования к зданиям, сооружениям, размещение которых допускается в границах указанной зоны, исходя из оценки их влияния на объект, территорию, в целях охраны которых установлена указанная зона, или из оценки влияния объекта, территории, в целях охраны которых установлена указанная зона, на размещаемые здания, сооружения при условии, что оценка соответствия данным требованиям может являться предметом экспертизы проектной документации.

Требовать согласования размещения зданий, сооружений или осуществления иных видов деятельности в границах зоны с особыми условиями использования территории не допускается.

Порядок установления, пересмотра, прекращения действия ЗСО в соответствии с **проектом** постановления правительства, утверждающим «Положение о зонах санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также устанавливаемых в случаях, предусмотренных Водным кодексом Российской Федерации в отношении подземных водных объектов зонах специальной охраны»: застройщики объектов капитального строительства, водозаборных и водопроводных сооружений на водных объектах, в отношении которых подлежат установлению и изменению зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны до обращения в уполномоченные органы государственной власти, органы местного самоуправления, с заявлением о выдаче разрешения на строительство обязаны обратиться в уполномоченный орган исполнительной власти субъекта Российской Федерации с заявлением об установлении или изменении зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны с приложением указанных в Положении документов. Уполномоченный орган исполнительной власти субъекта Российской Федерации, принявший решение об установлении, изменении зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны, в течение двух рабочих дней со дня принятия указанного решения направляет его копию в орган государственной власти, орган местного самоуправления, организацию, уполномоченные в соответствии с Градостроительным кодексом Российской Федерации на выдачу разрешений на строительство. С момента введения Положения в случае, если для строительства, реконструкции объекта капитального строительства, водозаборных и водопроводных сооружений на водных объектах, в отношении которых подлежат установлению и изменению зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны, не требуется выдача разрешения на строительство, застройщик в срок не позднее пяти рабочих дней со дня утверждения проектной документации на строительство, реконструкцию такого объекта обязан обратиться с заявлением об установлении или изменении таких зон с приложением документов, предусмотренных Положением, в уполномоченный орган исполнительной власти субъекта Российской Федерации.

Зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны устанавливаются, изменяются, прекращают существование по решению органа исполнительной власти субъекта Российской Федерации (далее — уполномоченный орган). При этом решения

об установлении, изменении зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны принимаются при наличии санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии границ таких зон и ограничений использования земельных участков в границах таких зон санитарным правилам.

Решение об установлении, изменении, прекращении существования границ зон санитарной охраны, зон специальной охраны принимается органом исполнительной власти субъекта Российской Федерации, на территории которого расположен источник питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения. При этом учет мнения органов исполнительной власти иных субъектов Российской Федерации, на территории которых частично расположена зона санитарной охраны или зона специальной охраны, обеспечивается путем согласования решения об установлении, изменении, прекращении существования границ зон санитарной охраны, зон специальной охраны органами исполнительной власти иных субъектов Российской Федерации, на территории которых частично расположена зона санитарной охраны или зона специальной охраны.

Порядок подготовки и принятия решения об установлении, изменении, прекращении существования зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны включает:

— подачу заявления правообладателем объектов капитального строительства, водозаборных и водопроводных сооружений на водных объектах, в связи с размещением которых устанавливается зона с особыми условиями использования территории и/или акватории; иным лицом, если обязанность владения/эксплуатации указанных зданий, сооружений, территорий, объектов предусмотрена подтверждающими документами; а также застройщиком, обеспечивающим строительство, реконструкцию таких зданий, сооружений, в уполномоченный орган;

— предоставление проекта зоны санитарной охраны или проекта зоны специальной охраны, разработанного в соответствии с требованиями действующего законодательства, содержащего сведения, предусмотренные Положением;

— предоставление санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии границ зон санитарной охраны, зон специальной охраны и ограничений использования земельных участков в границах таких зон санитарным правилам.

Уполномоченный орган в срок не более 20 рабочих дней со дня поступления одного из заявлений принимает решение об установлении зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны, ее изменении или прекращении ее существования и направляет заявителю принятое решение либо уведомление об

отказе в принятии соответствующего решения с мотивированным обоснованием.

Застройщик, обеспечивающий строительство, реконструкцию зданий, сооружений, в связи с размещением которых устанавливается зона с особыми условиями использования территории, вправе обратиться с заявлением об установлении, изменении, прекращении существования зоны, с приложением предусмотренных Положением документов и сведений.

Лица, не являющиеся правообладателями зданий, сооружений, в связи с размещением которых устанавливается зона с особыми условиями использования территории, не вправе обратиться с заявлением об установлении, изменении, прекращении существования зоны.

Копии решения об установлении, изменении, прекращении существования зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны направляются уполномоченным органом в федеральный орган исполнительной власти, уполномоченный Правительством Российской Федерации на осуществление государственного кадастрового учета, государственной регистрации прав, ведение Единого государственного реестра недвижимости и представление сведений, содержащихся в Едином государственном реестре недвижимости, в течение 5 рабочих дней со дня принятия решения.

Зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны и ограничения использования земельных участков, расположенных в их границах, считаются установленными со дня внесения сведений о таких зонах в Единый государственный реестр недвижимости.

Перечень и критерии определения объектов, в связи с размещением которых устанавливается зона санитарной охраны. Зоны санитарной охраны устанавливаются в отношении действующих, планируемых к строительству, реконструируемых источников водоснабжения, оборудованных на поверхностных и/или подземных водных объектах и используемых для питьевых и хозяйственно-бытовых целей, а также в отношении действующих, планируемых к строительству, реконструируемых водозаборных и водопроводных сооружений, входящих в состав централизованной системы водоснабжения, используемой для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения.

Зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны устанавливаются на срок использования водного объекта в качестве источника питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения и системы централизованного водоснабжения.

Правила определения размеров зон. Размер зон санитарной охраны, зон специальной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения (далее — водоисточники) определяется исходя из следующих критериев (факторов):

— дальность и продолжительность распространения загрязнения, которые зависят от вида источника водоснабжения (поверхностный или подземный);

— гидрогеологических или гидрологических условий.

В состав зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны водоисточника входят 3 пояса.

Участок 1-го пояса включает территорию и/или акваторию расположения водозаборных сооружений, площадок расположения водопроводных сооружений и предназначен для защиты места водозабора и водопроводных сооружений от случайного или умышленного прямого загрязнения и повреждения.

Размер территории и/или акватории 2-го пояса определяется расчетами, учитывающими время продвижения загрязнения воды до места водозабора или возможность его разбавления и самоочищения.

Размер 2-го пояса устанавливается по результатам расчетов продвижения микробного загрязнения с потоком вод к водозабору (для подземных водоисточников) или с учетом природных, климатических и гидрологических условий, влияющих на процессы микробного самоочищения водоема (для поверхностных водоисточников). Для эффективной защиты источника водоснабжения от микробного загрязнения расчетное время продвижения загрязнения с водами от границ 2-го пояса до водозабора должно быть достаточным для утраты жизнеспособности и вирулентности патогенных микроорганизмов. Определение границы 2-го пояса зависит от средней скорости течения водотока. Размер 2-го пояса должен обеспечивать эпидемическую безопасность водоисточника.

Размер 3-го пояса устанавливается по результатам расчетов продвижения химического загрязнения воды от границ 3-го пояса до водозабора, которое должно быть не менее принятой проектной продолжительности эксплуатации водозабора (для подземных водоисточников) или обеспечивать разбавление химического загрязнения до значений, нормируемых для поверхностных водоемов. Размер 3-го пояса обеспечивает санитарно-химическую безопасность водоисточника.

Особенности режима зоны санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения и его установление с учетом географических, экологических, экономических факторов, а также санитарно-эпидемиологической

обстановки и факторов среды обитания устанавливаются в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями, предъявляемыми к организации и санитарному режиму на отдельных территориях и/или акваториях зон санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения.

Определение предельных размеров зоны санитарной охраны подземного источника. Граница 1-го пояса устанавливается на расстоянии не менее 30 метров от водозаборного сооружения — при использовании защищенных подземных вод и на расстоянии не менее 50 метров — для всех остальных источников подземных вод [14—16]. При наличии на водозаборе группы скважин, которые располагаются друг от друга на расстоянии, не превышающем размер 1-го пояса каждой скважины, устанавливается единая территория 1-го пояса зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны от крайних скважин.

Размер территории 1-го пояса зоны санитарной охраны может быть сокращен или увеличен по результатам гидрогеологического обоснования, учитывающего размеры депрессионной воронки вокруг скважины и условий потенциального загрязнения [15].

Размер территории с ее границами 2-го и 3-го поясов зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны определяется по результатам гидрогеологических и гидродинамических обследований и расчетов в соответствии с критериями определения объектов, а также действующими методиками.

Определение предельных границ территории 1-го пояса зоны санитарной охраны водопроводных сооружений, входящих в состав централизованной системы водоснабжения, непосредственно используемых для водоснабжения (далее — водопроводные сооружения).

Зона санитарной охраны водопроводных сооружений, в том числе расположенных вне территории водозабора, представлена 1-м поясом (строгого режима). Граница территории 1-го пояса зоны санитарной охраны водопроводных сооружений принимается на расстоянии:

— от стен запасных и регулирующих емкостей, фильтров и контактных осветлителей, станции обеззараживания не менее 30 м;

— от водонапорных башен не менее 10 м;

— от остальных помещений (отстойники, реагентное хозяйство, склад хлора, насосные станции, аммонизационные, углевальные установки) не менее 15 м.

При принятии решения федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным на осуществление федерального государственного санитарно-эпидемиологического надзора, о вы-

даче санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии границ зон санитарной охраны и ограничений использования земельных участков в границах таких зон санитарным правилам, с учетом оценки надежности, защищенности и конструктивных особенностей, зона санитарной охраны для отдельно стоящих водонапорных башен может не устанавливаться, а для водопроводных сооружений, расположенных на территории объекта, указанные размеры территории 1-го пояса таких зон водопроводных сооружений допускается сокращать, но не менее чем до 10 м.

Особые условия использования земельных участков и участков акватории водных объектов в границах зон санитарной охраны, зон специальной охраны (перечень запретов, ограничений и специальных режимов). В каждом поясе зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны для осуществления хозяйственной и иной деятельности с целью защиты жизни и здоровья граждан, охраны окружающей среды, в том числе предотвращения загрязнения, засорения, заиления водных объектов, направленные на предупреждение ухудшения качества воды, устанавливаются особые условия, включающие запреты, ограничения и требования к режиму использования земельных участков и участков акватории водных объектов в границах зон санитарной охраны, зон специальной охраны [17—19].

1. Особые условия использования участков на территории 1-го пояса зон санитарной охраны, зон специальной охраны подземных источников водоснабжения.

1. 1. На территории 1-го пояса зон санитарной охраны, зон специальной охраны подземных источников водоснабжения (в том числе водопроводных сооружений) запрещается:

а) наличие и посадка высокоствольных деревьев;

б) использование территории и строительство, не имеющие непосредственного отношения к эксплуатации, реконструкции и расширению водопроводных сооружений, в том числе прокладка трубопроводов различного назначения, размещение жилых и хозяйственно-бытовых зданий, проживание людей;

в) применение пестицидов, органических и минеральных удобрений и агрохимикатов.

1. 2. На территории 1-го пояса зон санитарной охраны, зон специальной охраны подземных источников водоснабжения устанавливаются следующие требования к режиму использования территории:

а) территория должна быть спланирована для отвода поверхностного стока за ее пределы, озеленена, ограждена и обеспечена охраной. Дорожки к сооружениям должны иметь твердое покрытие;

б) здания оборудуются канализацией с отведением сточных вод в ближайшую систему бытовой или производственной канализации или на местные станции очистных сооружений, расположенные за пределами 1-го пояса зон санитарной охраны, зон специальной охраны с учетом санитарного режима. В исключительных случаях при отсутствии канализации устраиваются водонепроницаемые приемники нечистот и жидких бытовых отходов, расположенные в местах, исключающих загрязнение территории 1-го пояса при их вывозе;

в) водопроводные сооружения оборудуются с учетом предотвращения возможности загрязнения питьевой воды через оголовки и устья скважин, люки и переливные трубы резервуаров и устройства заливки насосов;

г) водозаборы оборудуются аппаратурой для систематического контроля соответствия фактического дебита при эксплуатации водопровода проектной производительности, предусмотренной при его проектировании и обосновании границ зон санитарной охраны, зон специальной охраны;

д) допускается проведение реконструкции существующих объектов, в том числе линейных.

Особые условия использования участков на территории 2-го пояса зон санитарной охраны, зон специальной охраны подземных источников водоснабжения.

На территории 2-го пояса зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения, зон специальной охраны запрещается:

а) размещение складов горюче-смазочных и взрывчатых материалов, химических веществ в любом агрегатном состоянии, агрохимикатов и пестицидов, производств по обработке и протравливанию семян, накопителей промышленных стоков, шламохранилищ, объектов захоронения отходов производства и потребления, пунктов захоронения радиоактивных отходов, кладбищ, скотомогильников, полей ассенизации, полей фильтрации, земледельческих полей орошения, полей подземной фильтрации, навозохранилищ, силосных траншей, лагун для хранения навоза, животноводческих и птицеводческих предприятий с содержанием животных и птиц, тепличных и парниковых хозяйств, объектов капитального строительства, не оборудованных системами водоотведения, исключающих инфильтрацию сточных вод и создающих угрозу биологического и химического загрязнения почвы и подземных вод;

б) применение пестицидов, органических и минеральных удобрений и агрохимикатов;

в) сброс в подземные водные объекты сточных вод и вод, образующихся в результате деятельности объектов, которые загряз-

няют воды веществами и/или микроорганизмами, радиоактивными веществами и могут менять физические характеристики воды;

г) подземное накопление и захоронение отходов производства и потребления, разведка и добыча полезных ископаемых, за исключением бурения дополнительных скважин с целью разведки для нового бурения и эксплуатации скважин, проектируемых для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения.

На территории 2-го пояса зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения, зон специальной охраны устанавливаются следующие ограничительные мероприятия:

а) не допускается размещение скважин, представляющих опасность в части угрозы загрязнения водоносных горизонтов. Допускается бурение дополнительных скважин с целью разведки для нового бурения и эксплуатации скважин, проектируемых для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения;

б) не допускаются сплошные рубки леса, выполняющего функции защиты природных и иных объектов, за исключением рубок, проводимых в целях ухода за лесными насаждениями; рубок в случаях, если выборочные рубки не обеспечивают замену лесных насаждений, утрачивающих свои средообразующие, водоохранные, санитарно-гигиенические, оздоровительные и иные полезные функции, на лесные насаждения, обеспечивающие сохранение целевого назначения защитных лесов и выполняемых ими полезных функций; и сплошных рубок, в целях осуществления геологического изучения недр, разведки и добычи полезных ископаемых для организации питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения; использования водохранилищ и иных искусственных водных объектов, а также гидротехнических сооружений, морских портов, морских терминалов, речных портов, причалов; строительства, реконструкции, эксплуатации линий электропередачи, линий связи, дорог, трубопроводов и других линейных объектов, а также сооружений, являющихся неотъемлемой технологической частью указанных объектов.

На территории 2-го пояса зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения, зон специальной охраны для правообладателей объектов и участков устанавливаются следующие требования к режиму использования территории:

а) выполнение мероприятий по восстановлению или тампонированию старых, бездействующих, дефектных и/или неправильно эксплуатируемых скважин, представляющих опасность в части возможности загрязнения водоносных горизонтов;

б) выполнение мероприятий по санитарной охране поверхностных вод, имеющих непосредственную гидрологическую

связь с используемым водоносным горизонтом, в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями к охране поверхностных вод;

в) выполнение мероприятий по санитарному благоустройству территории и объектов (оборудование канализацией, устройство водонепроницаемых выгребов, организация отвода поверхностного стока);

г) поглощающие скважины на глубокие водоносные горизонты, залегающие ниже эксплуатационного, оборудуются дополнительными обсадными колоннами, перекрывающими продуктивные и питающие их горизонты, конструкция которых исключает загрязнение подземных вод.

Особые условия использования участков на территории 3-го пояса зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения, зон специальной охраны.

На территории 3-го пояса зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения, зон специальной охраны запрещается:

а) расположение объектов захоронения отходов производства и потребления, пунктов захоронения радиоактивных отходов;

б) сброс в подземные водные объекты сточных вод и вод, образующихся в результате деятельности объектов, которые загрязняют воды веществами и/или микроорганизмами, радиоактивными веществами и могут менять физические характеристики воды;

в) подземное накопление и захоронение отходов производства и потребления, разведка и добыча полезных ископаемых, за исключением бурения дополнительных скважин с целью разведки для нового бурения и эксплуатации скважин, проектируемых для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения.

На территории 3-го пояса зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения, зон специальной охраны устанавливаются следующие ограничительные мероприятия:

а) не допускается размещение складов горюче-смазочных и взрывчатых материалов, химических веществ в любом агрегатном состоянии, агрохимикатов и пестицидов, производств по обработке и протравливанию семян, накопителей промышленных стоков, шламохранилищ, тепличных и парниковых хозяйств, объектов капитального строительства, не оборудованных системами водоотведения, исключающих инфильтрацию сточных вод и создающих угрозу химического загрязнения почвы и подземных вод. Допускается размещение указанных объектов и других объектов, обусловливающих опасность химическо-

го загрязнения подземных вод, только при использовании защищенных подземных вод при условии выполнения специальных мероприятий по защите водоносного горизонта от загрязнения с учетом сведений о защищенности водоносного горизонта, полученных от федерального органа исполнительной власти, осуществляющего функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в сфере недропользования;

б) не допускается размещение скважин, представляющих опасность в части угрозы загрязнения водоносных горизонтов. Допускается бурение дополнительных скважин с целью разведки для нового бурения и эксплуатации скважин, проектируемых для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения.

На территории 3-го пояса зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения, зон специальной охраны для правообладателей объектов и участков устанавливаются следующие требования к режиму использования территории:

а) выполнение мероприятий по восстановлению или тампонированию старых, бездействующих, дефектных и/или неправильно эксплуатируемых скважин, представляющих опасность в части возможности загрязнения водоносных горизонтов;

б) выполнение мероприятий по санитарной охране поверхностных вод, имеющих непосредственную гидрологическую связь с используемым водоносным горизонтом, в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями к охране поверхностных вод;

в) поглощающие скважины на глубокие водоносные горизонты, залегающие ниже эксплуатационного, должны быть оборудованы дополнительными обсадными колоннами, перекрывающими продуктивные и питающие их горизонты, а их конструкция должна исключать загрязнение подземных вод.

К заявлению об установлении или изменении зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны прилагаются:

а) проект зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны;

б) санитарно-эпидемиологическое заключение о соответствии границ таких зон и ограничений использования земельных участков в границах таких зон санитарным правилам (выданное по проекту зоны санитарной охраны);

в) документ, подтверждающий полномочия лица, подписавшего заявление, документ, подтверждающий полномочия лица на осуществление действий от имени заявителя;

г) копия решения об установлении зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны в случае ее изменения.

К заявлению о прекращении существования зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны прилагаются:

а) документ, подтверждающий прекращение права пользования поверхностным или подземным водным объектом по основаниям и в порядке, предусмотренном действующим законодательством;

б) документ, подтверждающий ликвидацию водозаборных и водопроводных сооружений, скважины, источника питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, выполненную в установленном законодательством порядке;

в) копия решения об установлении (изменении) зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны;

г) документ, подтверждающий изменение вида разрешенного использования или назначения такого объекта, предусматривающий прекращение существование зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны.

Положение определяет **требования к составу проекта ЗСО**.

Проект зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны содержит:

а) определение границ 1-, 2- и 3-го поясов зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны с соответствующим обоснованием и указанием размеров по конкретному направлению румбов: север, северо-восток, восток, юго-восток, юг, юго-запад, запад, северо-запад;

б) план мероприятий по улучшению санитарного состояния территории зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны и предупреждению загрязнения источника с указанием сроков выполнения и ответственных организаций, индивидуальных предпринимателей, с определением источников финансирования;

в) при подземном источнике — гидрогеологическую характеристику используемого водоносного горизонта, данные о защищенности источника, данные о наличии и характере перекрывающих его слоев и степени их водонепроницаемости, данные о зоне питания и соответствия дебита источника намечаемому водоотбору, а также условия дренирования водоносного пласта, статический и динамический уровень воды;

г) схему водопровода с указанием уровня водопотребления на расчетную перспективу;

д) сведения о наличии недействующих скважин, поглощающих воронок, провалов, подсосов из других горизонтов;

е) данные, характеризующие взаимовлияние подземного источника и поверхностного водоема при наличии гидравлической связи между ними;

ж) срок эксплуатации водозабора;

з) данные о перспективах строительства в границах 1-, 2- и 3-го поясов зоны санитарной охраны источника питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения в соответствии с документами территориального планирования, градостроительного зонирования и документами по планировке территории;

и) правила и режим хозяйственного использования территорий, входящих в зону санитарной охраны, зону специальной охраны;

к) результаты лабораторных исследований качества воды поверхностных и подземных источников водоснабжения в объеме, предусмотренном действующими санитарными нормами и правилами к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения за последний год;

л) ситуационный план с проектируемыми границами 2-го и 3-го поясов зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны и нанесением мест водозаборов и площадок водопроводных сооружений, источника водоснабжения и бассейна его питания (с притоками) в масштабе: при поверхностном источнике водоснабжения — 1:50000—1:100000, при подземном — 1:10000—1:25000;

м) гидрогеологические профили по характерным направлениям в пределах области питания водозабора — при подземном источнике водоснабжения;

н) план 1-го пояса зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны в масштабе 1:500—1:1000;

о) план 2-го и 3-го поясов зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны в масштабе 1:10000—1:25000 — при подземном источнике с нанесением всех расположенных на данной территории объектов;

п) сведения, формирующиеся в соответствии с установленным законодательством о границах зон санитарной охраны, зон специальной охраны (наименования административно-территориальных единиц и графическое описание местоположения границ зон санитарной охраны, зон специальной охраны, включая перечень координат характерных точек в системе координат, установленной для ведения Единого государственного реестра недвижимости, подготовленные в электронном виде в соответствии с формой и требованиями, установленными федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере ведения Единого государственного реестра недвижимости, осуществления государственного кадастрового учета недвижимого имущества, государственной реги-

страции прав на недвижимое имущество и сделок с ним, предоставление сведений, содержащихся в Едином государственном реестре недвижимости);

р) перечень запретов, ограничений и специального режима использования земельных участков, расположенных в границах зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны, в соответствии с Положением;

с) документы на право пользования водным объектом (источником водоснабжения) и/или водозаборным сооружением, а также земельным участком, где размещены данные объекты и сооружения (при наличии);

т) копию лицензии на право пользования недрами (для подземных источников водоснабжения) (при наличии);

у) копию положительного заключения государственной экспертизы запасов подземных вод (либо экспертизы результатов специальных изысканий) на месторождениях питьевых подземных вод с водопотребностью свыше 100 м^3 в сутки. В случае подземных источников водоснабжения расчеты поясов зоны санитарной охраны могут проводиться только после получения гидрогеологических параметров в результате проведения обосновывающих их исследований;

ф) сведения о правообладателе здания, сооружения, застройщике, об органе государственной власти субъекта Российской Федерации или органе местного самоуправления, обязанных возместить убытки, причиненные в связи с установлением, изменением зоны санитарной охраны, зон специальной охраны в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации.

Разработка проектов зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны и рассмотрение таких проектов, содержащих сведения, отнесенные к государственной тайне, осуществляются в порядке, установленном законодательством о государственной тайне.

В случае ликвидации (в том числе сноса) объекта, изменения вида разрешенного использования или назначения такого объекта, предусматривающих прекращение существования зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны, правообладатель объекта обязан в срок не более одного месяца со дня наступления указанных обстоятельств представить в уполномоченный орган заявление о прекращении существования зоны с приложением ранее указанных документов.

Установленные границы зон санитарной охраны и составляющих ее поясов могут быть пересмотрены в случае возникших или предстоящих изменений эксплуатации источников водоснабжения (в том числе производительности водозаборов под-

земных вод) или местных санитарных условий по заключениям уполномоченных организаций. Проектирование и утверждение новых границ зон санитарной охраны должны производиться в том же порядке, что и первоначальных.

Не допускается требовать согласования размещения зданий, сооружений или осуществления иных видов деятельности в границах зон санитарной охраны, зон специальной охраны.

При пересечении границ зон санитарной охраны, зон специальной охраны с другими зонами с особыми условиями использования территорий действуют все ограничения использования земельных участков, установленные для каждой из таких зон, за исключением ограничений, препятствующих эксплуатации, обслуживанию и ремонту здания, сооружения, в связи с размещением которых установлены зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны.

Порядок обозначения границ зон санитарной охраны на местности. Территория 1-го пояса зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны обозначается на местности путем ограждения. Акватория 1-го пояса зоны санитарной охраны поверхностного источника питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения обозначается на местности путем ограждения буями. Ограждение границ 1-го пояса осуществляется правообладателем объекта, в отношении которого установлена зона санитарной охраны, зоны специальной охраны.

Границы территории 2-го пояса зоны санитарной охраны поверхностных источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения обозначаются на местности специальными опознавательными знаками на пересечении дорог и пешеходных троп на высоте от 1.5 до 4 м от поверхности земли в пределах прямой видимости за исключением случаев, если правообладателем земельного участка не обеспечен доступ для размещения таких знаков.

На специальных опознавательных знаках должна содержаться надпись: «Зона санитарной охраны» и графическое изображение источника водоснабжения. Знак «Зона санитарной охраны» выполняется в виде изображения на белом фоне определенной геометрической формы с использованием различных цветов, графических символов (цветографическое изображение) и представляет собой круг с каймой красного цвета, ширина которой должна быть не менее 40 мм. Диаметр круга должен составлять не менее 345 мм, включая кайму. В центре круга размещается графическое изображение зоны санитарной охраны красного цвета и источника водоснабжения с водозаборным сооружением голубого цвета. Графические и цветовые требования к знаку

«Зона санитарной охраны» указаны в Приложении № 3 к настоящему Положению.

Первый пояс. Зоны санитарной охраны подземного водоисточника. Оценка защищенности и обоснование сокращения границ и размеров 1-го пояса зоны санитарной охраны.

1-й пояс включает территорию расположения водозаборов, площадок всех водозаборных сооружений и водопроводящего канала. Его назначение — защита места водозабора и водозаборных сооружений от случайного или умышленного загрязнения и повреждения.[5] Зона санитарной охраны водопроводных сооружений, входящих в состав централизованной системы водоснабжения, непосредственно используемых для водоснабжения (далее — водопроводные сооружения), в том числе расположенных вне территории водозабора, представлена 1-м поясом (строгого режима). Граница территории 1-го пояса зоны санитарной охраны водопроводных сооружений принимается на расстоянии:

— от стен запасных и регулирующих емкостей, фильтров и контактных осветлителей, станции обеззараживания — 30 м;

— от водонапорных башен — 10 м;

— от остальных помещений (отстойники, реагентное хозяйство, склад хлора, насосные станции, аммонизационные, углевальные установки) — 15 м.

При принятии решения федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным на осуществление федерального государственного санитарно-эпидемиологического надзора, о выдаче санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии границ зон санитарной охраны и ограничений использования земельных участков в границах таких зон санитарным правилам, с учетом оценки надежности, защищенности и конструктивных особенностей, зона санитарной охраны для отдельно стоящих водонапорных башен может не устанавливаться, а для водопроводных сооружений, расположенных на территории объекта, указанные размеры территории 1-го пояса таких зон водопроводных сооружений допускается сокращать, но не менее чем до 10 метров.

Проект Положения не регулирует требования к условиям размещения водоводов и санитарно-защитной полосе водоводов, имеющих принципиальное значение для предотвращения вторичного загрязнения питьевой воды. СанПиН 2.1.3684-21 (п. 105) вводит ограничение на нахождение источников загряз-

---

[5] СанПиН 2.1.4.1110-02 Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения.

нения ближе 10 м для водоводов от водовода по обе его стороны и не менее 20 м при диаметре водоводов более 1000 мм и прокладку водоводов по заведомо загрязненным территориям (по территории свалок, полей фильтрации, полей орошения, кладбищ, скотомогильников, а также прокладка магистральных водоводов по территории промышленных и сельскохозяйственных предприятий). При этом в СанПиН 2.1.3684-21 отсутствует важное положение, присутствующее в СанПиН 2.1.4.1110-02, о том, что при наличии грунтовых вод санитарно-защитная полоса устанавливается шириной 50 м. Также в СанПиН 2.1.3684-21, в отличие от СанПиНа 2.1.4.1110-02, не прописана возможность сокращения санитарно-защитной полосы, проходящей по застроенной территории, при наличии санитарно-эпидемиологического заключения.

Проект Положения не рассматривает установление ЗСО для инфильтрационного водозабора подземных вод. В СанПиН 2.1.4.1110-02 для водозаборов при искусственном пополнении запасов подземных вод граница 1-го пояса устанавливалась как для подземного недостаточно защищенного источника водоснабжения на расстоянии не менее 50 м от водозабора и не менее 100 м от инфильтрационных сооружений (бассейнов, каналов и др.). В границы 1-го пояса инфильтрационных водозаборов подземных вод включалась прибрежная территория между водозабором и поверхностным водоемом, если расстояние между ними менее 150 м. При этом для инфильтрационного водозабора подземных вод необходимо устанавливать 2-й и 3-й пояса ЗСО и для поверхностного водоема, питающего его.

В соответствии с проектом Положения 1-й пояс ЗСО предназначен для защиты места водозабора и водопроводных сооружений от случайного или умышленного прямого загрязнения и повреждения, граница 1-го пояса устанавливается на расстоянии не менее 30 м от водозаборного сооружения — при использовании защищенных подземных вод и на расстоянии не менее 50 м — для всех остальных источников подземных вод. Как и в СанПиН 2.1.4.1110-02 в проекте Положения предусмотрена возможность изменения границ 1-го пояса, однако в проекте Положения предусматривается возможность как сокращения, так и увеличения размеров 1-го пояса (при этом нет указания на то, что это может быть выполнено только для защищенных подземных вод) по результатам гидрогеологического обоснования, учитывающего размеры депрессионной воронки вокруг скважины и условий потенциального загрязнения. Таким образом, в отличие от СанПиНа 2.1.4.1110-02, возможность сокращения 1-го пояса не ограничивается только защищенными подземными

водами. Применительно к установлению ЗСО водопроводных сооружений, расположенных вне территории водозабора, проект Положения, как и СанПиН 2.1.4.1110-02, предусматривает на этапе санитарно-эпидемиологической экспертизы возможность того, что с учетом оценки надежности, защищенности и конструктивных особенностей зона санитарной охраны для отдельно стоящих водонапорных башен может не устанавливаться, а для водопроводных сооружений, расположенных на территории объекта, указанные размеры территории 1-го пояса таких зон водопроводных сооружений допускается сокращать, но не более чем до 10 м. Хотелось бы подчеркнуть, что сами водопроводные сооружения и водопроводящий канал также являются факторами риска подземных вод, так как их создание, как правило, приводит к нарушению целостности водоупорных слоев, что может создать условия для проникновения загрязнения через неплотности обсадных труб.

Рассмотрим, как решаются вопросы установления 1-го пояса санитарной охраны в законодательстве других стран.

В соответствии с санитарным законодательством Республики Беларусь, а именно Санитарными нормами и правилами,[6] 1-й пояс ЗСО источников и централизованных систем питьевого водоснабжения — пояс ЗСО, предназначенный для защиты водозабора, участков расположения водопроводных сооружений и водоводов от повреждения, а источника — от загрязнения. Границы 1-го пояса ЗСО водозабора подземных вод должны устанавливаться от источника, водозабора на расстоянии не менее: 30 м — при использовании защищенных подземных вод, 50 м — при использовании недостаточно защищенных подземных вод. Для водозаборов из защищенных подземных вод, расположенных в пределах территории объекта, исключающего возможность загрязнения почвы и подземных вод, расстояние от водозабора до границы 1-го пояса ЗСО допускается уменьшать до 15 м при наличии гидрогеологического обоснования, содержащего благоприятный прогноз соответствия качества воды требованиям безопасности в течение расчетного срока эксплуатации водозабора, по результатам положительной государственной санитарно-гигиенической экспертизы. Интересно, что в предыдущей редакции этого докмента[7] предусматривались

---

[6] СанПиН «Требования к организации зон санитарной охраны источников и централизованных систем питьевого водоснабжения», утвержденные Постановлением Министерства Республики Беларусь № 142 от 30 декабря 2016 г.

[7] 10-113 РБ-99 «Требования к организации зон санитарной охраны и систем централизованного питьевого водоснабжения».

границы ЗСО 1-го пояса 30 м для защищенных и 50 м для недостаточно защищенных источников водоснабжения, при этом для некоторых водозаборов, расположенных на территории объекта, исключающего вероятность попадания загрязнения в почву и подземные воды, а также для водозаборов, находящихся в благоприятных санитарно-технических и гидрологических условиях, допустимо сокращение 1-го пояса в 2 раза, до 15 и 25 м соответственно, при условии согласования с местной санитарно-эпидемиологической службой. Таким образом, в нормативном документе предусматривалось обоснованное сокращение ЗСО 1-го пояса как для защищенных, так и незащищенных источников водоснабжения.

В соответствии с законодательством Республики Казахстан, а именно Санитарными правилами,[8] для водозаборов при искусственном пополнении запасов подземных вод граница 1-го пояса устанавливается, как для подземного, недостаточно защищенного источника водоснабжения, на расстоянии не менее 50 м от водозабора и не менее 100 м от инфильтрационных сооружений (бассейнов, каналов и др.).

При необходимости допускается сокращение ширины санитарно-защитной полосы для водоводов, проходящих по застроенной территории, при положительном санитарно-эпидемиологическом заключении территориального подразделения ведомства государственного органа в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

В предыдущей редакции документа[9] предусматривалось, что границы 1-го пояса ЗСО подземного источника водоснабжения должны устанавливаться от одиночного водозабора (скважина, шахтный колодец, каптаж) или от крайних водозаборных сооружений группового водозабора на расстоянии 30 м — при использовании защищенных подземных вод, 50 м — недостаточно защищенных подземных вод.

Таким образом, в санитарных правилах РК вопрос сокращения 1-го пояса ЗСО подземных водоисточников традиционно не рассматривается. Мы видим разные подходы к сокраще-

---

[8] СП «Санитарно-эпидемиологические требования к водоисточникам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов», утвержденные приказом министра национальной экономики Республики Казахстан № 10774 от 22 апреля 2015 г.

[9] СанПиН «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию зон санитарной охраны источников водоснабжения водопроводов хозяйственно-питьевого водоснабжения», утвержденные приказом Министра здравоохранения Республики Казахстан № 63 от 18 февраля 2005 г.

нию 1-го пояса в странах ЕврАЭС, не противоречащие мировой практике.

Как мы отмечали ранее в главе 3 (см. с. 33), арбитражный (экспертный) подход к определению границ 1-го пояса ЗСО дает значительный разброс минимальных значений ЗСО в различных странах (10—300 м). Метод фиксированного радиуса является арбитражным методом [12], основанным на предыдущем опыте контроля распространения загрязнения и преимущественно соображениях нетехнического характера, может как преувеличивать, так и преуменьшать вероятность загрязнения. При этом используются различные критерии, позволяющие выбрать минимальное значение, среди которых присутствуют расстояние от источников загрязнения и восприимчивость к загрязнению. В российской практике в качестве такого показателя используется защищенность водоносного горизонта. Необходимо обратить внимание на то, что геологически защищенный горизонт может вести себя по-разному, в зависимости от глубины залегания [4]. Находясь на глубине 10 м, ведет себя как незащищенный, на глубине 10—30 м может вести себя и как защищенный, и как незащищенный, только на глубине более 30 м — как защищенный. В связи с этим, по-видимому, надо с осторожностью подходить к обоснованности сокращения 1-го пояса ЗСО для первого от поверхности водоносного горизонта.

Наряду с критерием защищенности подземного водоисточника российское законодательство, как и законодательство ряда других стран, учитывает отсутствие источников загрязнения почвы и подземных вод. В связи с этим принципиальное значение имеет ограничение использования земельных участков в границах зон санитарной охраны.

В соответствии с **проектом Положения** размер территории с ее границами 2-го и 3-го поясов зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны определяются по результатам гидрогеологических и гидродинамических обследований и расчетов в соответствии с критериями определения объектов: дальность и продолжительность распространения загрязнения, которые зависят от вида источника водоснабжения; характер загрязнения (микробное или химическое); степень естественной защищенности водоносных горизонтов от поверхностного загрязнения (для подземного источника); гидрогеологические или гидрологические условия, а также действующими методиками. Размер 2-го пояса должен обеспечивать эпидемическую безопасность водоисточника.

Размер 2-го пояса устанавливается по результатам расчетов продвижения микробного загрязнения с потоком вод к водо-

забору (для подземных водоисточников) и зависит от средней скорости водотока. Для эффективной защиты источника водоснабжения от микробного загрязнения расчетное время продвижения загрязнения с водами от границ 2-го пояса до водозабора должно быть достаточным для утраты жизнеспособности и вирулентности патогенных микроорганизмов. Как мы отмечали в главе 4, время выживания микроорганизмов при низких температурах весьма велико, особенно для спорообразующих бактерий (до 300—400 дней), вирусов (до 300—500 дней), простейших (до 200—400 дней). В этом **проект Положения** отличается от СанПиНа 2.1.4.1110-02, в соответствии с которым основными параметрами, определяющими расстояние от границ 2-го пояса ЗСО до водозабора, является время продвижения микробного загрязнения с потоком подземных вод к водозабору (Тм), которое составляет для 1,11 климатических районов для недостаточно защищенных подземных вод 400 суток, для защищенных подземных вод 200 суток.

В соответствии с **проектом Положения** размер 3-го пояса устанавливается по результатам расчетов продвижения химического загрязнения воды от границ 3-го пояса до водозабора, которое должно быть не менее принятой проектной продолжительности эксплуатации водозабора (для подземных водоисточников) или обеспечивать разбавление химического загрязнения до значений, нормируемых для поверхностных водоемов. Размер 3-го пояса обеспечивает санитарно-химическую безопасность водоисточника. Это вполне соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1110-02, в соответствии с которым граница 3-го пояса ЗСО, предназначенного для защиты водоносного пласта от химических загрязнений, также определяется гидродинамическими расчетами. При этом в соответствии с СанПиН 2.1.4.1110-02 следует исходить из того, что время движения химического загрязнения к водозабору должно быть больше расчетного Тх. Тх принимается как срок эксплуатации водозабора (обычный срок эксплуатации водозабора — 25—50 лет). Если запасы подземных вод обеспечивают неограниченный срок эксплуатации водозабора, 3-й пояс должен обеспечить соответственно более длительное сохранение качества подземных вод.

При сопоставлении требований к проектным материалам СанПиН 2.1.4.1110-02 и **проекта Положения** надо отметить следующее.

В основном названы части проекта, которые и ранее требовались в качестве неотъемлемых составляющих проекта, для которых только изменилась редакция (определение границ 1-, 2- и 3-го поясов зоны санитарной охраны; план мероприятий

по улучшению санитарного состояния территории зоны санитарной охраны; гидрогеологические данные; данные, характеризующие взаимовлияние подземного источника и поверхностного водоема; данные о перспективах строительства в границах 1-, 2- и 3-го поясов зоны санитарной охраны; правила и режим хозяйственного использования территорий; результаты лабораторных исследований качества воды подземных источников за последний год; ситуационный план с проектируемыми границами 2-го и 3-го поясов зоны санитарной охраны и нанесением мест водозаборов и площадок водопроводных сооружений в масштабе 1:10 000—1:25 000; гидрогеологические профили по характерным направлениям в пределах области питания водозабора; план 1-го пояса зоны санитарной охраны в масштабе 1:500—1:1000; план 2-го и 3-го поясов зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны в масштабе 1:10000—1:25 000; перечень запретов, ограничений и специального режима использования земельных участков и участков акватории, расположенных в границах зоны санитарной охраны).

При этом для подземного водоисточника приводятся данные о гидрогеологической характеристике используемого водоносного горизонта, данные о защищенности источника, данные о наличии и характере перекрывающих его слоев и степени их водонепроницаемости, данные о зоне питания и соответствия дебита источника намечаемому водоотбору, а также условия дренирования водоносного пласта, статический и динамический уровень воды. В **проекте Положения** подчеркивается, что расчеты поясов зоны санитарной охраны могут проводиться только после получения гидрогеологических параметров в результате проведения обосновывающих их исследований.

Появились также новые требования к составу проекта: схема водопровода с указанием уровня водопотребления на расчетную перспективу; сведения о наличии недействующих скважин, поглощающих воронок, провалов, подсосов из других горизонтов; срок эксплуатации водозабора; сведения, формирующиеся в соответствии с установленным законодательством о границах зон санитарной охраны, зон специальной охраны, включая перечень координат характерных точек в системе координат, установленной для ведения Единого государственного реестра недвижимости, подготовленные в электронном виде; документы на право пользования водным объектом (источником водоснабжения) и/или водозаборным сооружением, а также земельным участком, где размещены данные объекты и сооружения; копия лицензии на право пользования недрами; копия положительного заключения государственной экспертизы запасов подземных вод (либо

экспертизы результатов специальных изысканий); сведения о правообладателе здания, сооружения, застройщике, об органе государственной власти субъекта Российской Федерации или органе местного самоуправления, обязанных возместить убытки, причиненные в связи с установлением, изменением зоны санитарной охраны. Новые требования к составу проекта прежде всего отражают изменения законодательства РФ, о которых мы писали ранее, кроме того, они увеличивают документальную обоснованность установления границ и режима зон санитарной охраны.

Отдельно хотелось бы остановиться на двух требованиях к составу проекта, которые традиционно вызывали наибольшее количество вопросов. Первое требование касается лабораторных исследований качества воды водоисточника, в редакции **проекта Положения** — «результатов лабораторных исследований качества воды подземных источников водоснабжения в объеме, предусмотренном действующими санитарными нормами и правилами к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения за последний год».

Требования к качеству воды подземных водоисточников, используемых в целях централизованного питьевого водоснабжения, а также к объему исследования качества воды водоисточников определены СанПиН 2.1.3684-21.[10]

Санитарно-эпидемиологические требования к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению[11] в разделе 111 «Нормативы качества и безопасности воды» представлены в таблице 3. 1 «Органолептические показатели качества различных видов вод, кроме технической воды», в таблице 3. 3 «Обобщенные показатели различных видов вод, кроме технической воды», в таблице 3. 7 «Санитарно-микробиологические и паразитологические показатели безопасности воды поверхностных водных объектов», в таблице 3. 12 «Показатели радиационной безопасности воды», в таблице 3. 13 «Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде питьевых систем централизованного, в том числе горячего, и нецентрализован-

---

[10] СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

[11] СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

ного водоснабжения, воде подземных и поверхностных водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, воде плавательных бассейнов, аквапарков», в таблице 3. 14 «Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде питьевых систем централизованного, в том числе горячего, и нецентрализованного водоснабжения, воде подземных и поверхностных водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, воде плавательных бассейнов, аквапарков».

В соответствии с приложениями СП 2.1.3684-21 определена минимальная кратность и предложены основания для включения в оценку ряда специфических загрязнителей и веществ, часто встречающихся в природных водах в значимых концентрациях.

Минимальное количество исследуемых проб воды в зависимости от вида источника водоснабжения, позволяющее обеспечить равномерность получения информации о качестве воды в течение года, принимается: для подземных источников — 4 пробы в год, отбираемых в каждый сезон (весенний, летний, осенний, зимний).

При необходимости получения дополнительной информации о химическом составе воды и динамике концентраций, присутствующих в ней веществ, количество исследуемых проб воды и их периодичность могут быть увеличены.

При проведении расширенных исследований применяются универсальные физико-химические методы исследования водных сред, позволяющие получить дополнительную информацию о химическом составе воды.

В перечень контролируемых показателей из базы данных расширенных исследований должны быть включены:

— вещества 1-го и 2-го класса опасности, концентрации которых в воде источника водоснабжения составляют 0.1 и более долей от ПДК;

— вещества 3-го и 4-го классов опасности, нормируемые по санитарно-токсикологическому признаку вредности, концентрации которых в воде источника водоснабжения составляют 0.5 и более долей от ПДК.

Количество и периодичность отбора проб воды для лабораторных исследований в местах водозабора устанавливаются с учетом таблицы 1.

Приоритетные показатели специфических загрязнителей в подземных водоисточниках в зоне влияния различных объектов хозяйственной деятельности приведены в Приложении 6 к СП 2.1.3684-21 (Таблица 2).

Таблица 1

Установление количества и периодичности отбора проб воды для лабораторных исследований в местах водозабора

Виды показателей	Количество проб в течение одного года, не менее:	
	для подземных источников:	для поверхностных источников:
Микробиологические	4 (по сезонам года)	12 (ежемесячно)
Паразитологические	не проводятся	12 (ежемесячно)
Органолептические	4 (по сезонам года)	12 (ежемесячно)
Обобщенные показатели	4 (по сезонам года)	12 (ежемесячно)
Неорганические и органические вещества	1	4 (по сезонам года)
Радиологические	1	1

Таблица 2

Правила выбора приоритетных показателей воды в подземных водоисточниках в зонах влияния различных объектов хозяйственной деятельности при проведении лабораторных исследований в рамках производственного контроля

Объекты хозяйственной деятельности	Загрязняющие вещества, обнаруженные в подземных водоисточниках в концентрациях, превышающих гигиенические нормативы
Нефтебазы	Нефтепродукты, синтетические поверхностно-активные вещества, фенолы, железо, бром, аммоний, марганец
Нефтеперерабатывающие предприятия	Нефтепродукты, фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества, свинец, хлориды, сульфаты, химическое потребление кислорода, формальдегид, аммоний, нитраты, толуол, этилбензол, ксилол
Аэропорты	Нефтепродукты, фенолы
Нефтяные месторождения	Нефтепродукты, хлориды, фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества, ртуть, марганец, железо

Таблица 2 (окончание)

Объекты хозяйственной деятельности	Загрязняющие вещества, обнаруженные в подземных водоисточниках в концентрациях, превышающих гигиенические нормативы
Полигоны твердых коммунальных отходов	Нефтепродукты, фенолы, аммоний, железо, кадмий, акриламид, стирол, хлориды, синтетические поверхностно-активные вещества, свинец, марганец
Полигоны промышленных отходов	Нефтепродукты, фенолы, железо, кадмий, свинец, ртуть, сурьма, аммоний, никель, хром, бензол
Предприятия органического синтеза	Нефтепродукты, бензол, формальдегид, этилбензол, моноэтаноламин, кадмий, свинец, хлороформ, никель, ртуть, хром, поверхностно-активные вещества, кобальт, мышьяк, марганец, бром, бор, аммоний, цинк, медь
Городские канализационные очистные сооружения	Нефтепродукты, фенолы, железо, аммоний, нитриты, нитраты, бром, синтетические поверхностно-активные вещества
Сельскохозяйственные предприятия	Пестициды, аммиак, нефтепродукты, фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества, нитриты, нитраты, минерализация, хлориды
Нефте- и газопроводы	Нефтепродукты, синтетические поверхностно-активные вещества
Пруды-отстойники	Нефтепродукты, железо, минерализация, синтетические поверхностно-активные вещества, бром, бор, аммоний
Поля орошения	Нефтепродукты, фенолы, аммоний, минерализация, нитраты, нитриты, хлориды
Предприятия теплоэнергетики	Нефтепродукты, фенолы, хлориды, сульфаты, синтетические поверхностно-активные вещества, аммоний, никель, свинец, марганец, железо, алюминий, вольфрам
Рудообогатительные и металлургические предприятия	Ксантогенаты, марганец, железо, барий, сульфаты, минерализация, никель, стронций, титан, фтор, алюминий, мышьяк, цинк, свинец, медь, молибден, цианиды, роданиды

Природные показатели и компоненты природного происхождения с высокой вероятностью обнаружения повышенных концентраций в подземных водах приведены в Приложении 7 к СП 2.1.3684-21 (таблица 3).

Таблица 3

Приоритетные показатели и компоненты природного происхождения с высокой вероятностью обнаружения повышенных концентраций в подземных водах

Показатели и компоненты	Геохимические особенности водоносных пород	Состав подземных вод
Обобщенные показатели		
Минерализация (сухой остаток)	Терригенные отложения морского генезиса	Хлоридный натриевый Сульфатный натриевый
	Карбонатные загипсованные отложения	Сульфатный; гидрокарбонатно-сульфатный
Общая жесткость	Карбонатные загипсованные отложения	Сульфатный; гидрокарбонатно-сульфатный
Окисляемость перманганатная	Терригенные отложения с повышенным содержанием органических веществ	Бескислородные железо-марганецсодержащие воды различного состава
Химические вещества, нормируемые по санитарно-токсикологическому признаку вредности		
Алюминий	Кристаллические щелочные породы	Гидрокарбонатно-натриевый со слабощелочной реакцией
Барий	Карбонатные, терригенные породы	Гидрокарбонатный кальциево-магниевый с околонейтральной реакцией среды
Бериллий	Бериллийсодержащие породы металлогенических провинций	Гидрокарбонатный смешанного катионного состава с повышенным содержанием фтора
Бор	Карбонатные и терригенные породы	Натриевый различного анионного состава с высоким отношением Na/Ca
Бром	Терригенные отложения морского происхождения	Хлоридный натриевый
Кремний	Терригенные отложения гумидной зоны	Гидрокарбонатный натриевый с высоким содержанием органических веществ
Литий	Карбонатные породы	Гидрокарбонатный кальциевый

Таблица 3 (окончание)

Показатели и компоненты	Геохимические особенности водоносных пород	Состав подземных вод
Мышьяк	Мышьяксодержащие породы металлогенических провинций	Гидрокарбонатный натриевый с высоким отношением Na/Ca
Ртуть	Ртутьсодержащие породы металлогенических провинций	Гидрокарбонатный смешанного катионного состава с повышенным содержанием органических веществ
Селен	Кислые кристаллические породы с сульфидной минерализацией	Гидрокарбонатный, сульфатный кальциевый с высоким значением pH
Стронций	Карбонатные породы с целестиновой минерализацией	Гидрокарбонатный, сульфатный кальциевый
Фтор	Карбонатные породы с флюоритовой минерализацией, кислые кристаллические породы	Гидрокарбонатный натриевый с высоким отношением Na/Ca
Химические вещества, нормируемые по органолептическому признаку вредности		
Железо	Карбонатные, терригенные породы с высоким содержанием органических веществ; терригенные, кристаллические породы с сульфидной минерализацией	Гидрокарбонатный кальциевый с низким значением pH и околонейтральной реакцией, сульфатный, сульфатно-гидрокарбонатный кальциевый с низким значением Ph и околонейтральной реакцией среды
Марганец	Терригенные породы с высоким содержанием органических веществ	Гидрокарбонатный кальциевый с низким значением Ph и околонейтральной реакцией

Действующими санитарно-эпидемиологическими требованиями к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению (п. 85) критерием соответствия качества воды гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям устанавли-

вается отсутствие превышения уровней гигиенических нормативов органолептических, обобщенных показателей, неорганических и органических веществ более, чем на величину ошибки метода определения показателей.

Ранее действовавшими требованиями к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения[12] и гигиеническими нормативами, устанавливающими предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, предписывалась обязательная оценка групп суммации для веществ 1-го и 2-го класса опасности,[13] однако в рамках государственного санитарно-эпидемиологического надзора, СГМ, производственного контроля она применялась редко. Вместе с тем при оценке качества воды водоисточника, выборе водоисточника, установлении зон санитарной охраны, т. е. долгосрочных оценках, этот подход реализовывался в полной мере. Более того, в некоторых научных работах [4, 5, 7] было предложено учитывать при оценке безвредности химического состава воды и вещества 3-го класса опасности, имеющие санитарно-токсикологический показатель вредности с учетом компонента, преобладающего по количеству и опасности, а также установления их сравнительной значимости для здоровья населения. В настоящее время единственный документ, содержащий требования к выбору водоисточника, регламентирующий оценку групп суммации ГОСТ,[14] содержит требования по оценке суммации для веществ 1-го и 2-го классов опасности, однако в соответствии с федеральным законом о техническом регулировании[15] носит рекомендательный характер.

Санитарно-эпидемиологическими требованиями к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению (п. 90) при несоответствии гигиеническим нормативам качества воды водных объектов, используемых для целей питьевого водоснабжения населения, регламентируется только необходимость водо-

---

[12] 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».

[13] ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

[14] ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора».

[15] П. 3, ст. 4 Федерального закона № 184-ФЗ от 27 декабря 2002 г. «О техническом регулировании».

подготовки, обеспечивающей качество и безопасность питьевой воды в распределительной сети в соответствии с гигиеническими нормативами.

При проведении санитарно-эпидемиологической экспертизы материалов о возможности использования водных объектов как источников питьевого водоснабжения при установлении ЗСО в обязательном порядке представляются результаты лабораторных исследований воды из обследуемых источников. При этом в ряде случаев при отсутствии превышений ПДК по отдельным веществам, нормируемым по санитарно-токсикологическим показателям, обладающим как общетоксическим, так и канцерогенным воздействием, показатели суммации для веществ 1-го и 2-го класса, обладающих однонаправленным действием, были более 1, что до выхода новых санитарных правил являлось основанием для дополнительного обоснования возможности эксплуатации водного объекта или принятых технологических решений по водоочистке. По нашему мнению, выбор подземного водоисточника, качество воды которого определяет технологию водоподготовки, осуществляемую на долгосрочную перспективу, связанную с возможным ухудшением качества воды в период эксплуатации, требует не просто оценки концентраций по ПДК и ОДУ, но и применения в качестве первого шага суммарной оценки согласно ГОСТу о гигиенических требованиях и правилах выбора источника централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения,[16] а в качестве второго шага оценки риска для здоровья населения.[17]

Данный подход, по нашему мнению, может быть распространен и на экспертную оценку проектов зон санитарной охраны, в частности подземных водоисточников, устанавливаемых на весь период эксплуатации водозабора. Расчет канцерогенного и неканцерогенного риска закреплен СанПиН 1.2.3685-21 (п. 68) применительно к установлению, изменению или ликвидации СЗЗ, целесообразно применять его и для другого вида зон с особыми условиями использования территорий, основным назначением которых является обеспечение санитарно-эпидемиологических требований, а именно ЗСО.

Вместе с показателями качества воды предстоит анализировать схему водоподготовки, являющуюся составной частью

---

[16] ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора (взамен ГОСТ 17.1.3.03-77).

[17] Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

проекта. К сожалению, схема водоподготовки даст только качественную оценку наличия (отсутствия) блоков, которые могут повлиять на показатели качества воды водоисточников, например, присутствие в воде бора и бериллия, но не позволят в полной мере дать оценку барьерной функции водоочистных сооружений (ВОС).

Второй вопрос, который традиционно сложен при экспертизе проекта ЗСО, определен проектом Положения как «план мероприятий по улучшению санитарного состояния территории зоны санитарной охраны, зоны специальной охраны и предупреждению загрязнения источника с указанием сроков выполнения и ответственных организаций, индивидуальных предпринимателей, с определением источников финансирования». Несомненно, проектная организация может квалифицированно разработать план мероприятий и определить ответственные организации, но вот согласование сроков исполнения мероприятий, определение источников финансирования является сложной задачей. А ведь именно этот пункт будет определять ответственные за возникшие правонарушения организации, ИП в связи с наличием объектов или видов деятельности, подпадающих под запретительный режим для данного вида пояса ЗСО с момента установления ЗСО.

При сопоставлении ограничений использования территории в границах 1-, 2- и 3-го поясов ЗСО подземных водозаборов в **проекте Положения** и **СанПиН 2.1.4.1110-02** надо отметить, что при близкой трактовке ограничительных мероприятий **проект Положения**, по существу, содержит исчерпывающий перечень объектов и видов деятельности, которые запрещены на территории соответствующих поясов ЗСО.

Список литературы

1. *Гольдберг В. М., Газда С.* Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984.

2. *Бочевер Ф. М., Орадовская А. Е.* Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнений. М.: Недра, 1972.

3. Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2 и 3 поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1983.

4. *Горбанев С. А., Никуленков А. М., Еремин Г. Б., Башкетова Н. С., Бадаева Е. А., Ломтев А. Ю.* Проблемы проектирования и санитарно-эпидемиологической экспертизы проектов зон санитарной охраны

подземных источников водоснабжения // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 12. С. 1152—1156.

5. *Еремин Г. Б., Бадаева Е. А., Носков С. Н., Башкетова Н. С., Фридман К. Б., Карелин А. О., Мозжухина Н. А*. Современные проблемы применения санитарных правил и норм организации зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 12. С. 1157—1161.

6. *Башкетова Н. С., Выучейская Д. С., Сладкова Ю. Н., Еремин Г. Б., Фридман К. Б.* Регулирование качества питьевой воды. Сравнение национальных и международных стандартов // Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2018. Т. 13. № 3. С. 1136—1148.

7. *Еремин Г. Б., Выучейская Д. С*. Питьевая вода подземных источников и обеспечение ее гигиенической безопасности // Современные проблемы оценки, прогноза и управления экологическими рисками здоровью населения и окружающей среды, пути их рационального решения. Мат-лы III Междунар. форума Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды. 2018. С. 106—109.

8. *Карелин А. О., Ломтев А. Ю., Еремин Г. Б., Мозжухина Н. А., Фридман К. Б., Горбанев С. А*. О практике применения санитарных правил и норм о гигиенических требованиях к источникам нецентрализованного водоснабжения // Современные методологические проблемы изучения, оценки и регламентирования факторов окружающей среды, влияющих на здоровье человека. Материалы Международного форума Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды, посвященного 85-летию ФГБУ «НИИ ЭЧ и ГОС им. А. Н. Сысина» Минздрава России. В 2-х ч. 2016. С. 277—279.

9. *Ломтев А. Ю., Карелин А. О., Еремин Г. Б., Мозжухина Н. А., Фридман К. Б., Горбанев С. А*. Современные проблемы применения законодательства о зонах санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения в Российской Федерации // Там же. С. 18—22.

10. *Ломтев А. Ю., Еремин Г. Б., Мозжухина Н. А., Наумов И. А*. Обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия при использовании источников минеральных вод // Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2016. № 2 (11). С. 484—486.

11. *Ганичев П. А., Мясников И. О*. К вопросу экспертизы проектов зон санитарной охраны подземных источников водоснабжения // Анализ риска здоровью-2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью Rise-2020 и круглым столом по безопасности питания. Мат-лы X Всероссийской науч.-практ. конф. с международным участием. В 2-х т. / Под ред. А. Ю. Поповой, Н. В. Зайцевой. 2020. С. 136—141.

12. *Ганичев П. А*. Обеспечение гигиенической и экологической безопасности подземных водных ресурсов // Тезисы докладов XVIII Все-

российской конференции-конкурсе студентов и аспирантов. Санкт-Петербургский Горный университет. СПб., 2020. С. 362—363.

13. *Еремин Г. Б., Ломтев А. Ю., Карелин А. О. и др.* Организационные и методические основы разработки и санитарно-эпидемиологической экспертизы проектов санитарно-защитных зон предприятий, зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения. СПб.: Изд-во СЗГМУ им. И. И. Мечникова, 2014.

14. *Борисова Д. С., Ломтев А. Ю., Еремин Г. Б., Мозжухина Н. А., Ганичев П. А., Мясников И. О., Метелица Н. Д.* Формирование системы охраны подземных источников водоснабжения в Российской Федерации // Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2020. № 1 (15). С. 330—342.

15. *Еремин Г. Б., Мозжухина Н. А., Никуленков А. М., Ломтев А. Ю., Носков С. Н., Ганичев П. А.* Первый пояс зоны санитарной охраны подземного водоисточника. Оценка защищенности и обоснование сокращения границ и размеров первого пояса зоны санитарной охраны // Там же. С. 349—365.

16. *Никуленков А. М., Еремин Г. Б., Носков С. Н., Мозжухина Н. А., Вилькина М. В.* Проблемы обоснования зон санитарной охраны подземных водозаборов: анализ основных геологических факторов // Гигиена и санитария-2021. Т. 100. № 8. С. 762—768.

17. *Борисова Д. С., Еремин Г. Б., Никуленков А. М., Мозжухина Н. А.* Анализ международного законодательства в области обеспечения защиты подземных источников водоснабжения (обзор литературы) // Там же. С. 797—802.

18. Guidelines for delineation of wellhead protection areas: Office of Groundwater Protection. U.S. EPA.; Washington: EPA, 1987.

19. *Chave P., Howard G., Schijven J., Appleyard S., Fladerer F., Schimon W.* Groundwater protection zones // Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking Water Sources / World Health Organization (WHO) / Ed. O. Schmoll, G. Howard, J. Chilton, I. Chorus. London: IWA Publishing, 2006. P. 465—492.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие законодательства определяет порядок установления, изменения, прекращения существования ЗСО подземных водозаборов как зон с особыми условиями использования территорий. Большую роль в этом будет играть принятие постановления Правительства Российской Федерации об утверждении Положения о зонах санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также устанавливаемых в случаях, предусмотренных Водным кодексом Российской Федерации, в отношении подземных водных объектов зонах специальной охраны. Проект документа прошел обсуждение и представлен в 10-й главе, однако несомненно в него могут быть внесены определенные дополнения и изменения. Крайне важной является гармонизация нормативно-правовых актов, регулирующих охрану подземных вод, в том числе установление, изменение, прекращение существования ЗСО подземных водозаборов, а именно постановления Правительства и санитарно-эпидемиологических норм о зонах санитарной охраны источников водоснабжения, других санитарных норм, регулирующих требования к ЗСО источников водоснабжения и водоводов питьевого назначения, принятых для реализации Закона о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения. Хотелось бы избежать сложного переходного периода, связанного с применением различных норм и требований, содержащихся в проекте постановления Правительства и в санитарных нормах, по отношению к одному объекту регулирования.

Представляется важной реализация на законодательном уровне такого эффективного средства непрерывного обеспечения безопасности питьевого водоснабжения, каким является использование метода интегральной оценки риска и управления риском, охватывающего все этапы водоснабжения от водозабора до потребления воды. При этом, базируясь на международном опыте, можно утверждать, что акцент может быть сделан не только на ограничении землепользования, но и на управлении рисками.

Повышение качества проектирования и экспертизы проектов ЗСО подземных водозаборов требует разработки и утверждения Роспотребнадзором Руководства по установлению и сокращению ЗСО с учетом различных гидрогеологических условий, критериев и методов. Настоящая монография может не только выполнять роль актуального справочного пособия, но и явиться основой для создания Руководства, позволяющего реализовать положения законодательных актов, обеспечить оптимальное управление и сохранение водного ресурса, гарантировать его доступность в будущем.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Еремин Геннадий Борисович, канд. мед. наук, заслуженный врач РФ, ведущий научный сотрудник, руководитель отдела анализа рисков здоровью населения ФБУН СЗНЦ гигиены и общественного здоровья.

Никуленков Антон Михайлович, канд. геол.-мин. наук, заведующий лабораторией экспериментальной гидрогеологии Санкт-Петербургского отделения Института геоэкологии РАН им. Е. М. Сергеева.

Борисова Дарья Сергеевна, мл. науч. сотр. отдела анализа рисков здоровью населения ФБУН СЗНЦ гигиены и общественного здоровья.

Мозжухина Наталья Александровна, канд. мед. наук, доцент кафедры профилактической медицины ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И. И. Мечникова.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Введение *(А. М. Никуленков, Г. Б. Еремин, Н. А. Мозжухина)* 5

Глава 1. Формирование системы охраны подземных источников водоснабжения в Российской Федерации *(Г. Б. Еремин, Д. С. Борисова, Н. А. Мозжухина)* 10

Глава 2. Современная система обеспечения санитарно-эпидемиологической безопасности питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения *(Г. Б. Еремин, Д. С. Борисова, Н. А. Мозжухина, А. М. Никуленков)* 23

Глава 3. Международное законодательство в области обеспечения защиты подземных источников водоснабжения *(Г. Б. Еремин, Д. С. Борисова, Н. А. Мозжухина)* 30

Глава 4. Миграция патогенных микроорганизмов из источников загрязнения в зонах санитарной охраны подземных источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения *(Г. Б. Еремин, Д. С. Борисова, Н. А. Мозжухина)* 48

Глава 5. Миграция и трансформация химических загрязнителей в подземных водах *(Н. А. Мозжухина)* 62

Глава 6. Факторы, контролирующие размер и форму зон санитарной охраны подземных водозаборов *(А. М. Никуленков)* 86

Глава 7. Защищенность подземных вод *(А. М. Никуленков)* 116

Глава 8. Методы расчета зон санитарной охраны подземного водозабора *(А. М. Никуленков)* 130

Глава 9. Подходы к сокращению поясов ЗСО *(А. М. Никуленков, Г. Б. Еремин)* 147

Глава 10. Пояса зон санитарной охраны. Назначение и ограничения деятельности *(Н. А. Мозжухина, Г. Б. Еремин, А. М. Никуленков)* 156

Заключение 192

Сведения об авторах 194

Научное издание

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТЬЕВОГО И ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ. ЗОНЫ САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ

Редактор издательства *Н. М. Пак*
Художник
Компьютерная верстка *А. Л. Селяниновой*
Корректор *А. К. Рудзик*

Подписано к печати 00.00.2022
Формат 60 × 90 $^{1}/_{16}$. Гарнитура Таймс
Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,5. Уч.-изд. л. 12,5
Тираж 000 экз. Тип. зак.

ФГБУ Издательство «Наука»
117997, Москва, Профсоюзная ул., 90

Отдел издательских проектов
199034, Санкт-Петербург, 9-я линия В. О., 12/28

E-mail: info@naukaran.com
https://naukapublishers.ru
https://naukabooks.ru

ФГБУ Издательство «Наука»
(Типография «Наука»)
121099, Москва, Шубинский пер., 6

ISBN 978-5-02-040491-5