

Горбанев С.А.¹, Никуленков А.М.², Еремин Г.Б.¹, Башкетова Н.С.⁴, Бадаева Е.А.¹, Ломтев А.Ю.³

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЕКТОВ ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург;

²Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии РАН им. Е.М. Сергеева, 199004, Санкт-Петербург;

³Институт проектирования, экологии и гигиены, 197022, Санкт-Петербург;

⁴ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова», 191015, Санкт-Петербург

Введение. Одной из важнейших задач в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации является обеспечение его доброкачественной питьевой водой, безопасной в эпидемиологическом отношении и безвредной по химическому составу. Решающую роль в обеспечении гигиенической безопасности водоснабжения в Российской Федерации играют зоны санитарной охраны (ЗСО), основной целью создания которых является санитарная охрана источников, водопроводных сооружений и водоводов, а также территорий, на которых они расположены, от негативного антропогенного воздействия. Цель исследования – проанализировать наиболее распространённые ошибки в проектировании, выявляемые при экспертизе проектов зон санитарной охраны подземных водозаборов.

Материал и методы. Нормативно-правовые акты, регулирующие отношения в сфере проектирования и установления ЗСО, проекты ЗСО, литературные источники. Методологическую основу исследования составил комплекс общенаучных методов изучения общественных отношений, возникающих в области обеспечения гигиенической безопасности источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения: аналитический, системно-структурный, сравнительный.

Результаты. Показано, что на практике существует высокая неопределённость параметров, необходимых для расчёта размеров ЗСО, приводящая к тому, что расчётные размеры и границы ЗСО часто имеют весьма приближённые очертания. Одним из путей увеличения достоверности получаемых результатов является необходимость учёта минимального перечня параметров, используемых при расчётах, и проведение дополнительных исследований, а также повышение требований к качеству и составу проектной документации.

Обсуждение. Авторами предложены виды дополнительных исследований для уточнения параметров расчёта ЗСО, а также сформулированы требования к текстовой и графической части проекта.

Ключевые слова: зона санитарной охраны (ЗСО); пояса зон санитарной охраны; гидродинамические расчёты; ручной расчёт; программные комплексы; расход водозабора; коэффициент фильтрации водоносного горизонта; градиент потока и его направление; активная пористость; мощность водоносного горизонта; состав проекта; географические информационные технологии.

Для цитирования: 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; 97(12): 1152-1156. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1152-1156>

Для корреспонденции: Еремин Геннадий Борисович, канд. мед. наук, зав. отделом анализа рисков здоровью населения ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья». E-mail: yeremin45@yandex.ru

Gorbanev S.A.¹, Nikulenkov A.M.², Yeregin G.B.¹, Bashketova N.S.⁴, Badaeva E.A.¹, Lomtev A.Yu.³

PROBLEMS OF DESIGNING AND SANITARY-EPIDEMIOLOGIC EXPERTIZE OF PROJECTS OF SANITARY PROTECTION ZONES OF UNDERGROUND WATER SUPPLY SOURCES

¹North-West Public Health Research Center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation;

²E.M. Sergeev Institute of Environmental Geoscience Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, 199004, Russian Federation;

³Limited Liability Company «Institute of Design, Ecology, and hygiene», Saint-Petersburg, 197022, Russian Federation;

⁴I.I. Mechnikov North-West State Medical University, St. Petersburg, 191015, Russian Federation

Introduction. One of the main tasks in the area of public health in Russia is the adequate quality of drinking water supply, i.e. its sound chemical composition and epidemiological safety. The latter is provided among others, by proper wellhead protection activities which aim to ensure sanitary protection of water intakes, water supply and distribution facilities and sites of their location from anthropogenic influence.

The aim of the study. The analysis of most common errors revealed during the expertize of wellhead protection (WHP) plans for groundwater intakes.

Material and Methods. laws and regulations related to wellhead protection plan development, particular WHP plans, related technical papers. The study is methodologically based on common scientific approaches to investigate social interactions in the field of drinking and domestic water supply such as analytical, comparative, structured system analysis.

Results. It is shown that a great deal of uncertainty exists in practical assessment of parameters necessary to estimate wellhead protection area that makes wellhead protection area delineation rather approximate. To enhance the reliability of estimates it is necessary to account for a minimal set of estimation indices and increase the requirements to the quality and scope of project documentation.

Conclusion. Authors set forth a complex of additional investigations to refine parameter estimates for wellhead protection plan development, and several new requirements for the project design regarding both the textual part and graphics. Some recommendations to amend current regulations related to wellhead protection are also suggested.

Key words: wellhead protection (WHP) area; WHP area zones; hydraulic calculations (estimates); manual calculation; software; water intake flow rate; hydraulic conductivity; flow gradient and direction; active porosity; aquifer thickness; the scope of the project; geographic information system.

For citation: Gorbanev S.A., Nikulenkov A.M., Yeregin G.B., Bashketova N.S., Badaeva E. A., Lomtev A.Yu. Problems of designing and sanitary-epidemiologic expertise of projects of sanitary protection zones of underground water supply sources. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2018; 97(12): 1152-1156. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1152-1156>

For correspondence: Gennady B. Eremin, MD, Ph.D., Head of the Department of health risk analysis of the North-West Public Health Research Center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation. E-mail: yeregin45@yandex.ru

Information about the authors:

Gorbanev S.A., <https://orcid.org/0000-0002-5840-4185>; Nikulenkov A.M., <https://orcid.org/0000-0001-5498-076X>; Yeregin G.B., <http://orcid.org/0000-0002-1629-5435>; Bashketova N.S., <http://orcid.org/0000-0003-3609-0274>; Badaeva E.A., <https://orcid.org/0000-0002-0398-854X>; Lomtev A.Yu, <http://orcid.org/0000-0003-3183-2582>.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Received: 05 September 2018

Accepted: 20 December 2018

Введение

Одной из важнейших задач в сфере создания санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации является обеспечение его доброкачественной питьевой водой, безопасной в эпидемиологическом отношении и безвредной по химическому составу. Поэтому проблема предупреждения нарушения здоровья граждан при использовании питьевых вод надлежащего качества всегда является актуальной [1]. Решающую роль в обеспечении гигиенической безопасности водоснабжения в Российской Федерации играют зоны санитарной охраны (ЗСО), основной целью создания которых является санитарная охрана источников, водопроводных сооружений и водоводов, а также территорий, на которых они расположены, от негативного антропогенного воздействия [2].

На практике при расчёте ЗСО проектные организации сталкиваются с острым дефицитом исходной информации. Порой, кроме расхода водозабора и его конструкции о ЗСО больше ничего не известно. В таких случаях прибегают к методу аналогий, используя фондовую информацию и справочную литературу. Однако необходимо учитывать, что размеры ЗСО очень изменчивы в зависимости от задаваемых параметров и могут увеличиваться или сокращаться в несколько раз при незначительной корректировке всего лишь одного из них [3–5].

Материал и методы

Нормативно-правовые акты, регулирующие отношения в сфере проектирования и установления ЗСО, проекты ЗСО, литературные источники. Методологическую основу исследования составил комплекс общенаучных методов изучения общественных отношений, возникающих в области обеспечения гигиенической безопасности источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения: аналитический, системно-структурный, сравнительный.

Результаты

Корректное проектирование ЗСО является чрезвычайно важным, так как определение их размеров и границ затрагивает имущественные вопросы в связи с выведением значительного количества земель из хозяйственного оборота, с одной стороны, и необходимостью обоснованных размеров в целях безопасности питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, – с другой. В основе проектиро-

вания ЗСО подземных водозаборов лежат гидродинамические расчёты¹ [6–9]. Суть подобных расчётов сводится к оценке расстояния, на которое необходимо удалить от скважины источник потенциального загрязнения, чтобы его ореол не достиг водозабора и не изменил качество потребляемой воды за время эксплуатации источника водоснабжения (в случае химического загрязнения) или за время полной аннигиляции агента (в случае бактериального загрязнения).

Расчёты ЗСО подземных водозаборов могут проводиться ручным методом, а также с применением различных программных продуктов. Ручные аналитические расчёты на практике связаны с рядом объективных ограничений и трудностей. Например, уравнения, изложенные в рекомендациях по гидрогеологическим расчётам для определения границ 2 и 3 поясов ЗСО подземных источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, представлены для ограниченного набора типовых гидрогеологических условий и часто не могут быть применены к реальным условиям². Также эти зависимости не позволяют учесть взаимовлияние действующих водозаборов друг на друга, перетекания между водоносными горизонтами и некоторые другие эффекты. Более того, часть представленных в рекомендациях уравнений содержит опечатки, что делает невозможным использование этих уравнений. По этой причине в современной практике подготовки проектов ЗСО подземных водозаборов всё более широкое распространение получают расчёты, выполняемые на программных комплексах. Такой подход не только снимает проблему ограниченности ручных расчётов, но и гарантирует математическую строгость и точность решения задачи, исключая человеческий фактор.

Существующие программные комплексы по принципу расчёта можно разделить на численные и аналитические. К численным можно отнести, например, такие зарубежные комплексы, как MODFLOW [10, 11], FEFLOW [12] и др. Эти комплексы обладают широким функционалом, однако требуют для своего использования привлечения высококвалифицированных специалистов, а также большого количества исходных данных для расчётов. Как правило, численные программные комплексы используются для

¹ СанПиН 2.1.4.1110–02. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения.

² Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2 и 3 поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1983.

Основные параметры, используемые для расчета ЗСО подземного водозабора, а также методы их определения

Параметр	Как определяется?	Где можно получить информацию?
Расход скважины, Q (м ³ /сут)	Задаётся в проекте	В проекте указывается заявленная водопотребность
Мощность водоносного горизонта, m (м)	Бурением скважины	В паспорте скважины или в отчёте по оценке запасов
Коэффициент фильтрации, k (м/сут)	Откачками из скважин	Можно найти в отчёте по оценке запасов подземных вод, если оценка запасов проводилась для этого водозабора
Уклон потока и его направление, I (м/м)	По трём скважинам или по карте гидроизогипс	В гидрогеологических картах; в данных инженерных изысканий
Активная пористость, n (м ³ /м ³)	В лаборатории или в фильтрационных колонках	В специализированных исследованиях или данных в справочной литературе

расчётов на чрезвычайно сложных и особо ответственных объектах.

К аналитическим программам можно отнести такие российские программные комплексы, как ANSDIMAT (модуль AmWELLS)³ и Zone⁴. Аналитические программы отличаются простотой в освоении и их дальнейшем использовании, а также выдачей математически точного результата. Для расчёта ЗСО подземных водозаборов наиболее распространена и востребована на российском рынке программа ANSDIMAT (модуль AmWELLS) [13], которая имеет положительное экспертное заключение ФГБЦ «ЦСП» Минздрава России, и опробована на практике в более чем 500 проектных, экологических и научных организациях.

Очевидно, что для гидродинамических расчётов ЗСО подземных водозаборов требуются исходные параметры. Так, минимальный набор включает 5 параметров (см. таблицу).

Если водоносный горизонт имеет гидравлическую связь с поверхностным водотоком или со смежными водоносными горизонтами, то в гидродинамических расчётах необходимо привлекать дополнительные параметры, отвечающие за взаимосвязь объектов «параметр перетекания» или «параметр сопротивления» русла реки [14].

Активная пористость – наименее достоверный параметр, который крайне редко определяется по месту. Более того, активная пористость может изменяться в зависимости от типа загрязняющего вещества [15]. Значение

пористости обратно-пропорционально размеру ЗСО. Так, в справочной литературе, например, для песков и песчаников указывается диапазон пористости от 0,1 до 0,48 м³/м³ [16–19]. Это означает, что проектировщик, при прочих равных условиях, выбрав один или другой предел значения пористости, получит размеры ЗСО, различающиеся почти в 5 раз (рис. 1).

Ещё один параметр, который определяет конфигурацию ЗСО – это уклон потока подземных вод и его направление. В значительном количестве случаев в проектах ЗСО этот параметр вообще не рассматривается, его величиной пренебрегают из-за отсутствия исходных данных. В некоторых случаях, когда градиент естественного потока подземных вод очень маленький ($< 0,0001$ м/м) либо расход водозаборной скважины очень большой, естественным потоком можно пренебречь и провести расчёт по упрощённой формуле, что допускается рекомендациями ВОДГЕО. Однако перед тем как переходить к упрощённым расчётам, сначала необходимо доказать, что естественным потоком подземных вод можно пренебречь. По опыту авторов статьи, таких случаев, когда потоком подземных вод можно пренебречь, в природе встречается не более 5–10% от общего количества водозаборов. Пример расчёта ЗСО подземного водозабора, при прочих равных условиях, с учётом и без учета градиента потока подземных вод представлен на рис. 2.

Очевидно, что конфигурация ЗСО для рассмотренных случаев (см. рис. 1 и 2) значительно отличается.

Приведённые примеры дают представление о том, в каком масштабе выполняются проекты, в которых грани-

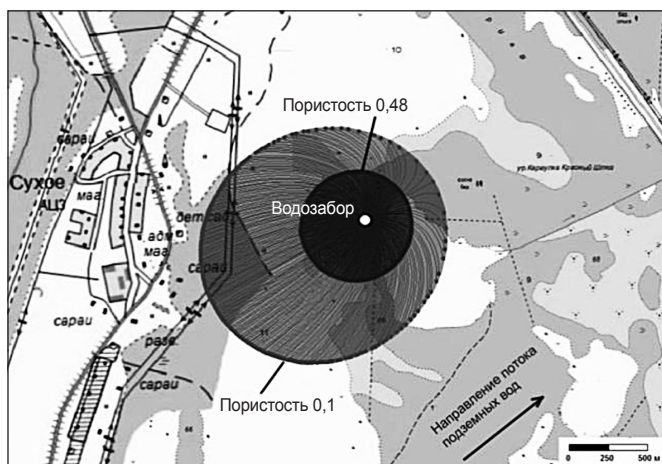


Рис. 1. Граница 3 пояса ЗСО подземного водозабора, рассчитанная при значении активной пористости (n) 0,1 и 0,48. В расчётах использованы следующие параметры: $k = 5$ м/сут, $m = 50$ м, $Q = 1000$ м³/сут, $I = 0,001$.

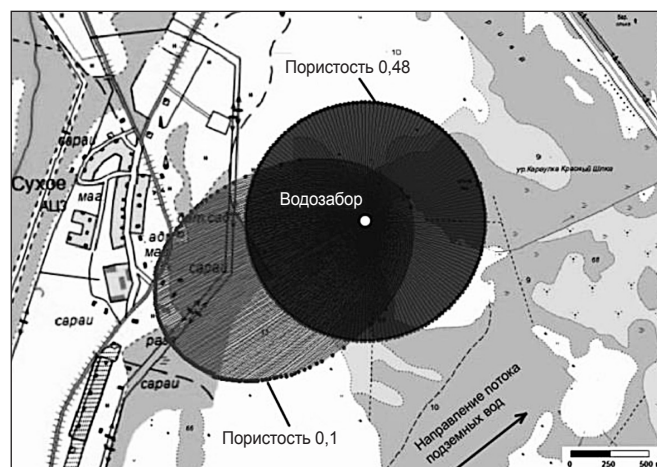


Рис. 2. Граница 3 пояса ЗСО подземного водозабора, рассчитанная с учётом естественного потока подземных вод ($I = 0,002$) и без него ($I = 0,0$). В расчётах использованы следующие параметры: $k = 5$ м/сут, $m = 50$ м, $Q = 1000$ м³/сут, $n = 0,1$.

³ Разработка Института геоэкологии РАН.

⁴ Разработка ОАО «НИИ ВОДГЕО».

цы и размеры ЗСО весьма условны. Повышение надёжности расчётных границ ЗСО может быть достигнуто только путём увеличения достоверности значений исходных расчётных параметров. Работа по снижению влияния неопределённостей имеет решающее значение.

В тех случаях, когда границы 2-го и 3-го поясов ЗСО подземного водозабора имеют определяющее значение для собственника земель, для уточнения границ могут проводиться дополнительные натурные исследования, нацеленные на обоснование параметров, которые далее используются в гидродинамических расчётах. Подобные исследования, как правило, проводят с целью обоснования сокращения размеров ЗСО. К таким исследованиям относятся:

1. Проведение опытно-фильтрационных опробований (откачки из скважин) для уточнения значения коэффициента фильтрации водоносного горизонта [20–22].

2. Геофизический каротаж скважин для детализации геологического строения и определения мощности эксплуатируемого водоносного горизонта [23].

3. Замеры уровней подземных вод в наблюдательных скважинах, расположенных на прилегающих территориях, которые позволяют построить карту гидроизогипс и тем самым определить направление подземных вод, рассчитать градиент потока [24, 25].

4. Специализированные исследования в фильтрационных колонках или в скважине с использованием инертных трассеров, которые позволяют определить величину активной пористости водоносного горизонта [26–28].

Не менее важным в современных условиях являются требования к составу текстовой части и картографическим материалам. Наиболее целесообразным представляется формирование требования к текстовой части проекта, которая, на наш взгляд, должна быть представлена:

1. Общими географическими и административно-экономическими сведениями о районе расположения источника водоснабжения из документов территориального планирования:

- краткие сведения о месте нахождения водоисточника, характеристика водоисточника;
- класс водоисточника;
- объёмы водопотребления и водоотведения;
- перечень объектов водозаборных очистных сооружений (объектов первого пояса) и их характеристика;
- описание принятой схемы водоочистки и оценка её эффективности;
- характеристика очистных сооружений сточных вод и эффективность очистки;
- характеристика иных возможных источников загрязнения источников питьевого водоснабжения;
- описание зон санитарной охраны водоисточника, перечень и характеристика объектов, находящихся в ЗСО;
- данные о протяжённости сетей и материалах, из которых выполнены водопроводные сети;
- показатели надёжности и качества объектов централизованных систем холодного водоснабжения.

2. Данными о перспективах хозяйственного развития в районе расположения источника водоснабжения: возможный рост объёмов водопотребления населением за счёт развития промышленных и сельскохозяйственных объектов, строительства объектов социально-жилищной сферы, развития объёмов сельскохозяйственного производства (земледелия) с применением минеральных удобрений и ядохимикатов.

3. Информацией о геологическом строении и гидрогеологических условиях территории при подземном источнике. В данном случае речь идёт о геологических

картах и геологических профилях (разрезах), о характеристиках и свойствах грунта, грунтовых вод рассматриваемых территорий, стратиграфических колонках (для артезианских скважин), о характеристике санитарного состояния источника водоснабжения, о территории ЗСО и потенциальных источниках загрязнения, о характеристике качества воды источника по результатам лабораторных исследований, проведённых из источника перед поступлением в распределительную сеть и из распределительной сети (в местах водоотбора), о выводах о необходимости подготовки воды при её несоответствии гигиеническим требованиям.

4. Обоснованием и описанием размеров и границ поясов ЗСО.

5. Планом мероприятий, обеспечивающих предупреждение загрязнения воды источника.

6. Перечнем обоснованных мероприятий технологического характера по обеспечению потребителей питьевой водой гарантированного качества.

7. Планом действий при возможных чрезвычайных ситуациях (паводках, авариях и др.).

8. Правилами и режимом хозяйственного использования территорий и акваторий, входящих в зону санитарной охраны по всем поясам.

Картографические материалы должны выполняться с применением ГИС в масштабах, позволяющих определить место расположения объектов водозаборных сооружений, рельефа, возможных источников загрязнения и установления ограничений в сфере землепользования и градостроительства. Картографический материал должен быть представлен в следующем объеме:

- Карта-план с нанесением источника водоснабжения и мест водозаборов, площадок водопроводных сооружений, проектируемых границ поясов ЗСО с расположенными в их границах существующей и проектируемой застройкой, местами организованных выпусков сточных вод.
- Геолого-гидрогеологические разрезы по характерным направлениям (при подземном источнике водоснабжения).
- План первого пояса ЗСО с обозначением всех объектов и сооружений, расположенных в его границах.
- Сведения о размерах и границах ЗСО (с указанием наименований административно-территориальных единиц и графического описания местоположения границ зон, перечня координат характерных поворотных точек границ ЗСО в системе координат, используемой для ведения Единого государственного реестра недвижимости).

Обсуждение

В настоящее время нет жёсткого регламента, устанавливающего требования к выполнению проекта ЗСО источника питьевого водоснабжения. Рекомендации по гидрогеологическим расчётам для определения границ 2 и 3 поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения устарели и содержат значительное количество опечаток.

Руководство не устанавливает минимальный перечень основных параметров, используемых для расчета ЗСО, что существенно влияет на размеры зоны. Ручные аналитические расчёты используются для выполнения проектов в более чем 80% случаев, несмотря на то что они могут быть применимы лишь в ограниченном количестве случаев. Обоснование применения ручных расчётов проектов отсутствуют.

Также следует обратить внимание на сложившуюся практику по схематизации гидрогеологических условий

территории подземного водозабора. Несмотря на свою ограниченность, в рекомендациях по гидрогеологическим расчётам представлен набор типовых гидрогеологических условий, от выбора которых зависит использование того или иного аналитического уравнения для расчётов. Однако анализ поступающих на экспертизу проектов ЗСО свидетельствует о том, что в более чем 80% случаев для расчётов ЗСО бездоказательно используется либо упрощённая формула без учёта потока подземных вод, либо формула для одиночного водозабора в неограниченном напорном пласте, что, как правило, не соответствует реальным гидрогеологическим условиям и также приводит к значительным ошибкам в расчётах.

Выводы

1. В настоящее время необходимы изменения и дополнения в нормативные документы, устраняющие столь свободный подход к выбору показателей для расчётов.

2. Требуется переработка рекомендации по гидрогеологическим расчётам для определения границ 2 и 3 поясов ЗСО подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения.

3. Необходимо рассмотреть вопрос о подготовке руководства по проектированию и экспертизе проектов ЗСО источников хозяйственно-питьевого водоснабжения.

4. Решение вопроса о составе проектной документации и требований к предоставляемой информации позволит упорядочить содержание проекта ЗСО, улучшить его доказательную базу, повысить достоверность расчётов размеров и границ ЗСО.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

(пп. 1, 3-5, 9-12, 15, 17, 18, 21, 24, 26 см. References)

2. Минкин Е.Л. *Исследования и прогнозные расчеты для охраны подземных вод*. М.: «Недра»; 1972 г.
6. Орадовская А.Е., Лапшин Н.Н. *Санитарная охрана водозаборов подземных вод*. М.: Недра; 1987.
7. Бочеввер Ф.М., Лапшин Н.Н., Орадовская А.Е. *Защита подземных вод от загрязнения*. М.: Недра; 1979.
8. Гольдберг В.М., Газда С. *Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения*. М.: Недра; 1984.
13. Синдаловский Л.Н. *Аналитическое моделирование опытных отборов водноносных пластов и скважинных водозаборов (программный комплекс ANSDIMAT)*. СПб.: Наука; 2014.
14. Бочеввер Ф.М., Гармонов И.В., Лебедев А.В., Шестаков В.М. *Основы гидрогеологических расчетов*. М.: Недра; 1969.
16. Богомолов Г.В. *Основы гидрогеологии*. М.: Госгеолгиздат; 1951.
19. М.Е. Альтовский (ред.). *Справочник гидрогеолога*. М.: Госгеолтехиздат; 1962.
20. Мироненко В.А., Шестаков В.М. *Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ*. М.: Недра; 1978.
22. Веригин Н.Н. *Методы определения фильтрационных свойств горных пород*. Москва: Госстройиздат; 1962.
23. *Геофизические исследования и работы в скважинах*: в 7 т. Т.2. Исследования геологического разреза скважин. Сост.: Р.Б. Булгаков. Уфа: Информреклама; 2010.
25. Коротеев А.П. *Спутник гидрогеолога*. М-Л.: ОНТИ; 1934.
27. Мироненко В.А., Румынин В.Г. *Опытно-миграционные работы в водоносных пластах*. М.: Недра; 1986.
28. Румынин В.Г. *Геомиграционные модели в гидрогеологии*. СПб.: Наука; 2011.

References

1. Doveri M, Menichini M, Scozzari A. *Protection of Groundwater Resources: Worldwide Regulations and Scientific Approaches*. Threats to the Quality of Groundwater Resources. Springer Berlin Heidelberg; 2015; 13–30. Doi:10.1007/698_2015_421
2. Minkin E.L. *Research and forecast calculations for the protection of groundwater*. М.: «Недра»; 1972. (in Russian)
3. Bhatt K. Uncertainty in wellhead protection area delineation due to uncertainty in aquifer parameter values. *Journal of Hydrology*. 1993; 149(1-4): 1–8. Doi: 10.1016/0022-1694(93)90095-q
4. Jacobson E, Andricevic R, Hultin T. *Wellhead protection area delineation under uncertainty*. Office of Scientific and Technical Information (OSTI); 1994. Doi: 10.2172/97085
5. Evers S, Lerner DN. How Uncertain Is Our Estimate of a Wellhead Protection Zone? *Ground Water*. Wiley. 1998; 36(1): 49–57. Doi: 10.1111/j.1745-6584.1998.tb01064.x
6. Oradovskaya A.Ye., Lapshin N.N. *Sanitary protection of water intakes of underground waters*. М.: Nedra; 1987. (in Russian)
7. Bochever F.M., Lapshin N.N., Oradovskaya A.E. *Protection of groundwater from pollution*. М.: Nedra; 1979. (in Russian)
8. Goldberg V.M., Gazda S. *Hydrogeological basis for protection of groundwater from pollution*. М.: Nedra; 1984. (in Russian)
9. Office of Ground-Water Protection. *Guidelines for Delineation of Wellhead Protection Areas*. U.S. Environmental Protection Agency; 1987 EPA 440/6-R7-010.
10. *Processing MODFLOW Pro (PMWIN)*. Encyclopedia of Hydrological Sciences; 2005. Doi:10.1002/0470848944.hsa271.
11. Pollock D.W. *User guide for MODPATH Version 7 – A particle-tracking model for MODFLOW*. Open-File Report: US Geological Survey; 2016. Doi: 10.3133/ofr20161086
12. Diersch, Hans-Jörg G. *FEFLOW*. Springer; 2014. Doi:10.1007/978-3-642-38739-5.
13. Sindalovsky L.N. *Analytical modeling of experimental testing of aquifers and well water intakes (software complex ANSDIMAT)*. SPb.: Science; 2014. (in Russian)
14. Bochever F.M., Garmonov I.V., Lebedev A.V., Shestakov V.M. *Fundamentals of hydrogeological calculations*. М.: Nedra; 1969. (in Russian)
15. Smith, David, Peter Pivonka, Christian Jungnickel, and Stephen Fityus. Theoretical Analysis of Anion Exclusion and Diffusive Transport Through Platy-Clay Soils. *Transport in Porous Media*. 2004; 3: 251–77. Doi:10.1007/s11242-003-4056-1.
16. Bogomolov G.V. *Fundamentals of hydrogeology*. Moscow: State Geoscientist; 1951. (in Russian)
17. Nemes A., Schaap M.G, Leij F.J, and Wösten J.H.M. Description of the Unsaturated Soil Hydraulic Database UNSODA Version 2.0. *Journal of Hydrology*. 2001; 251 (3–4): 151–62. Doi:10.1016/s0022-1694(01)00465-6.
18. Delleur W. *The Handbook of Groundwater Engineering*. Boca Raton Fla.: CRC Press; 1999.
19. М.Е. Альтовский (ed.). *Reference book of the hydrogeologist*. Moscow: Gosgeoltekhizdat; 1962. (in Russian)
20. Mironenko V.A., Shestakov V.M. *Theory and methods of interpretation of experimental filtration works*. М.: Nedra; 1978. (in Russian)
21. Sindalovskiy, Leonid N. *Aquifer Test Solutions*. Springer; 2017. Doi:10.1007/978-3-319-43409-4.
22. Verigin N.N. *Methods for determining the filtration properties of rocks*. Moscow: Gosstroyizdat; 1962. (in Russian)
23. *Geophysical studies and work in wells*: in 7 tons. T.2. Investigations of the geological section of wells. Comp: RB Bulgakov. Ufa: Informreklama; 2010. (in Russian)
24. Heath, R.C. 1987. *Basic ground-water hydrology*. Water Supply Paper 2220. Denver, Colorado: U.S. Geological Survey (4th printing).
25. Koroteev A.P. *Satellite hydrogeologist*. ML: ONTI; 1934. (in Russian)
26. Iraj Javandel. *On the Field Determination of Effective Porosity*. Earth Sciences Division Lawrence Berkeley Laboratory; 1989
27. Mironenko VA, Rumynin V.G. *Experimental migration works in aquifers*. М.: Nedra; 1986. (in Russian)
28. Rumynin V.G. *Geomigration models in hydrogeology*. SPb.: Science; 2011. (in Russian)