

Никуленков А.М.<sup>1</sup>, Еремин Г.Б.<sup>2</sup>, Носков С.Н.<sup>2</sup>, Мозжухина Н.А.<sup>3</sup>, Вилькина М.В.<sup>1</sup>

## Проблемы обоснования зон санитарной охраны подземных водозаборов: анализ основных геологических факторов

<sup>1</sup>Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии РАН имени Е.М. Сергеева, 199004, Санкт-Петербург, Россия;<sup>2</sup>ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 191036, Санкт-Петербург, Россия;<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 191015, Санкт-Петербург, Россия

**Введение.** Анализ передаваемых на экспертизу проектов зон санитарной охраны (ЗСО) для подземных водозаборов показывает, что подавляющая часть гидродинамических расчётов для 2-го и 3-го поясов ЗСО сделаны по упрощённым аналитическим решениям и не учитывают реальных геологических условий эксплуатации водозабора. К числу причин относится как отсутствие специальных требований к составу геологических материалов, которые должны быть использованы при разработке проекта ЗСО водозабора в нормативных документах, так и увеличение затрат со стороны проектировщика при учёте реальных геолого-гидрологических условий работы подземного водозабора.

**Материалы и методы.** Изучение влияния отдельных геологических факторов (параметров) на размеры ЗСО подземных водозаборов проводили путём выполнения серии теоретических расчётов. Для этого использовано программный комплекс АНСДИМАТ, разработанный ИГЭ РАН. Расчёт ЗСО подземных водозаборов в программе АНСДИМАТ выполняли графоаналитическим методом.

**Результаты.** Размер и форма ЗСО подземного водозабора характеризуются целым комплексом геолого-гидрогеологических параметров, которые обладают синергическим эффектом. Среди этих параметров можно выделить несколько наиболее значимых: 1) расход водозабора; 2) мощность водоносного горизонта; 3) активная пористость; 4) направление и градиент потока подземных вод; 5) коэффициент фильтрации, а также 6) параметр перетекания разделяющего слоя. Результаты расчётов показывают, что все шесть используемых параметров в значительной степени влияют на размеры и положение ЗСО подземного водозабора. Расчёт ЗСО по упрощённой аналитической зависимости без учёта естественного потока подземных вод, коэффициента фильтрации и параметра перетекания может приводить к существенным ошибкам. В реальных условиях крайне редко встречаются случаи, когда потоком и коэффициентом фильтрации подземных вод можно пренебречь.

**Заключение.** Актуальным является дополнение нормативных документов Руководством по проектированию и экспертизе проектов ЗСО источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. Решение вопроса о составе проектной документации и в том числе детализированных требованиях к исходным геологическим данным, обязательным к использованию при разработке проекта, позволит упорядочить содержание проекта ЗСО, улучшить его доказательную базу, повысить достоверность расчётов размеров и границ ЗСО.

**Ключевые слова:** ЗСО подземного водозабора; геолого-гидрологические параметры; неопределённость параметров; загрязнение подземных вод

**Для цитирования:** 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; 100 (8): 762–768. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-8-762-768>

**Для корреспонденции:** Еремин Геннадий Борисович, канд. мед. наук, зав. отд. анализа рисков здоровью населения ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург. E-mail: yeregmin45@yandex.ru

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Участие авторов:** Никуленков А.М. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материалов, написание текста, редактирование; Еремин Г.Б. — концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Носков С.Н. — написание текста, редактирование; Мозжухина Н.А. — сбор и обработка материалов, написание текста, редактирование; Вилькина М.В. — сбор и обработка материалов, написание текста, редактирование.

Поступила 30.03.2021 / Принята к печати 09.07.2021 / Опубликована 31.08.2021

Anton M. Nikulenkov<sup>1</sup>, Gennady B. Yeregin<sup>2</sup>, Sergej N. Noskov<sup>2</sup>, Natalya A. Mozzhukhina<sup>3</sup>, Mariia V. Wilkina<sup>1</sup>

## Delineation of wellhead protection zones: the analysis of main geological factors

<sup>1</sup>E.M. Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, 199004, Russian Federation;<sup>2</sup>North-West Public Health Research Center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation;<sup>3</sup>I.I. Mechnikov North-West State Medical University, St. Petersburg, 191015, Russian Federation

**Introduction.** Analysis of the projects concerning wellhead protection (WHP) zones delineation shows the majority of the reports to use a simplified calculation. The applied analytical solutions do not refer to the actual geological conditions of the operating water intakes. The lack of distinct guidelines for geological data to be used in the research and the cost increase force the researchers to represent a simplified assessment.

**Materials and methods.** The control of different WHP zone size geological parameters was studied by applying a series of theoretical calculations. Thus, software for analytical modelling of groundwater wells ANSDIMAT developed by the Institute of environmental geoscience, RAS, was used. Delineation of WHP zones is performed by the Particle-Tracking method.

**Results.** Both size and geometry of WHP zones are controlled by several geological and hydrogeological parameters, which entail a synergetic effect. Within the parameters mentioned above, there are such as 1) pumping discharge; 2) aquifer thickness; 3) accessible porosity; 4) flow direction and the hydraulic gradient; 5) hydraulic conductivity; 6) the hydraulic connectivity of an aquitard. Our research shows all six factors perceptibly influence the results. To avoid significant errors each of the factors should be taken into account.

**Conclusion.** Regulations actualization and the Guideline for delineation of wellhead protection zones, in particular, remain to be an area for improvement. Clear requirements for geological and hydrogeological parameter contamination, parameters uncertainty.

**Keywords:** sanitary protection zone of underground water intake; geological and hydrological parameters; uncertainty of parameters; pollution of underground water

**For citation:** Nikulenkov A.M., Yeremin G.B., Noskov S.N., Mozhukhina N.A., Wilkina M.V. Delineation of wellhead protection zones: the analysis of main geological factors. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100 (8): 762-768. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-8-762-768> (In Russ.)

**For correspondence:** Gennadiy B. Yeremin, MD, PhD, Head of the Department of health risk analysis of the North-West Public Health Research Center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation. E-mail: yeremin45@yandex.ru

#### Information about authors:

Yeremin G.B., <https://orcid.org/0000-0002-1629-5435>

Noskov S.N., <https://orcid.org/0000-0001-7971-4062>

Nikulenkov A.M., <https://orcid.org/0000-0001-5498-076X>

Wilkina M.V., <https://orcid.org/0000-0003-3687-7069>

Mozhukhina N.A., <https://orcid.org/0000-0002-8051-097X>

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

**Acknowledgment.** The study had no sponsorship.

**Contribution:** Nikulenkov A.M. – concept and design of the study, collection and processing of materials, writing the text; Yeremin G.B. – concept and design of the study, editing; Noskov S.N. – editing; Mozhukhina N.A. – writing the text, editing; Wilkina M.V. – collection and processing of materials, writing the text. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Received: March 30, 2021 / Accepted: July 9, 2021 / Published: August 31, 2021

## Введение

Для обеспечения гигиенической безопасности водоснабжения в Российской Федерации устанавливаются зоны санитарной охраны (ЗСО) подземных и поверхностных водоисточников. ЗСО являются важнейшим элементом в системе управления рисками по предотвращению ухудшения качества питьевой воды. В структуре хозяйственно-питьевого водоснабжения Российской Федерации потребление поверхностных и подземных вод распределяется примерно в равных пропорциях [1]. Несмотря на лучшую защищённость подземных вод по сравнению с поверхностными, случаи ухудшения качества подземных вод во время эксплуатации водозаборов отмечаются службами Роспотребнадзора на регулярной основе [2].

Одной из причин изменения качества подземной воды может являться не вполне корректное обоснование размеров ЗСО [3–9]. Анализ передаваемых на экспертизу проектов ЗСО для подземных водозаборов показывает, что подавляющая часть гидродинамических расчётов для 2-го и 3-го поясов ЗСО сделаны по упрощённым аналитическим решениям, которые очерчивают контуры ЗСО в виде круга и не учитывают реальных геологических условий эксплуатации водозабора [3]. Подобная практика сложилась в силу ряда причин. С одной стороны, действующий на протяжении длительного времени СанПиН 2.1.4.1110-02<sup>1</sup> не предъявляет специальных требований к составу геологических материалов, которые должны быть использованы при разработке проекта ЗСО водозабора. С другой стороны, учёт реальных

<sup>1</sup> СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения».

геолого-гидрогеологических условий работы подземного водозабора при расчёте ЗСО требует от проектировщика получения дополнительной информации, что влечёт за собой увеличение финансовых затрат и трудозатрат на выполнение проекта.

В настоящей статье проводится анализ влияния основных геологических факторов на размеры и геометрию поясов ЗСО подземного водозабора.

## Материалы и методы

Изучение влияния отдельных геологических факторов (параметров) на размеры ЗСО подземных водозаборов проводили путём выполнения серии теоретических расчётов. Для этого использовали программный комплекс АНСДИМАТ, разработанный ИГЭ РАН [10, 11]. Программа имеет свидетельство о государственной регистрации ЭВМ № 2020617324 и получила положительное экспертное заключение от ФГБУ «НИИ ЭЧ и ГОС им. А.Н. Сысина», ныне ФГБУ «ЦСП» ФМБА России.

Расчёт ЗСО подземных водозаборов в программе АНСДИМАТ выполняли графоаналитическим методом. Метод подробно описан в руководствах и научной литературе [12–15]. Суть метода заключается в поэтапном воссоздании сетки движения подземных вод с учётом гидродинамического влияния водозаборов, а затем расчёт времени движения инертных частиц по линиям тока к скважине (рис. 1).

Так, на первом этапе воссоздаётся естественная структура потока подземных вод до начала работы водозабора. На втором этапе проводится расчёт величины понижения подземных вод от работы скважинного водозабора в различных точках пространства. На третьем этапе из естественных



Рис. 1. Принцип расчёта ЗСО подземного водозабора графоаналитическим методом.

Fig. 1. Delineation of wellhead protection zones by Particle-Tracking method.

Таблица 1 / Table 1

Принятые для расчёта параметры  
The parameters for delineation of wellhead protection (WHP) zone

Параметр Parameter	Значение Value	Размерность Dimension	Обозначение Designation
Расход водозабора Discharge rate	1000	м <sup>3</sup> /сут m <sup>3</sup> /day	<i>Q</i>
Мощность водоносного горизонта Thickness	20	м m	<i>m</i>
Активная пористость Active porosity	0.2	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	<i>n</i>
Поток подземных вод: GW flow:			
градиент hydraulic gradient	0.001	м/м m/m	<i>I</i>
направление GW Flow direction	С запада на восток From west to east		
Коэффициент фильтрации Hydraulic conductivity	10	м/сут m/day	<i>k</i>
Параметр перетекания Leakedge	Нет No leakedge	м m	<i>B</i>

абсолютных отметок уровней подземных вод вычитают рассчитанную величину понижения, что позволяет получить искажённую сетку движения подземных вод с учётом работы водозабора. По линиям тока рассчитываются времена добега инертного загрязнителя до водозабора на период 25 лет. Эта процедура позволяет оконтурить буферную зону вокруг скважины, которая и будет являться расчётным 3-м поясом ЗСО.

## Результаты

Размер и форма ЗСО подземного водозабора характеризуются целым комплексом геолого-гидрогеологических параметров, которые обладают синергическим эффектом. Среди этих параметров можно выделить несколько наиболее значимых:

- 1) расход водозабора;
- 2) мощность водоносного горизонта;
- 3) активная пористость;
- 4) направление и градиент потока подземных вод;
- 5) коэффициент фильтрации;
- 6) параметр перетекания разделяющего слоя.

Рассмотрим роль каждого из шести упомянутых параметров. Для этого проведём серию графоаналитических расчётов в типовых условиях, изменяя по отдельности каждый параметр. В качестве типовых условий принят водозабор, оборудованный в неограниченном напорном водоносном горизонте со следующими параметрами, приведёнными в табл. 1.

**Расход водозабора.** Расход водозабора подземных вод хоть и не является геологическим фактором, однако напрямую определяет размеры ЗСО. Как правило, расход водозабора является наиболее определённой величиной в расчётах ЗСО и принимается по результатам заявленной водопотребности недропользователя. На рис. 2, а приведён пример расчёта 3-го пояса ЗСО для принятых стандартных условий при различной величине расхода (200; 1000 и 2000 м<sup>3</sup>/сут).

При увеличении водоотбора из скважины начинают расти понижения подземных вод. По этой причине размер

ЗСО пропорционален величине расхода. Это хорошо видно на рис. 2, а: чем больше расход, тем больше площадь ЗСО. Отдельно отметим, что по мере увеличения расхода скважины уменьшается влияние градиента и направления движения подземных вод, то есть при больших расходах ЗСО стремится к более округлой форме, при меньших расходах ЗСО вытягивается вдоль потока подземных вод.

**Мощность водоносного горизонта.** Мощность водоносного горизонта определяется при бурении скважины. Как правило, мощность горизонта указана в паспорте скважины или берётся из геологической колонки. Для безнапорного водоносного горизонта за мощность следует принимать полную обводнённую мощность водопроводящих пород. Для напорного горизонта принимается мощность от кровли до подошвы водопроводящего слоя.

При «зафиксированном» коэффициенте фильтрации мощность водоносного горизонта определяет суммарную водопроводимость горизонта. Чем больше мощность, тем больше водопроводимость, и тем меньше понижение от работы водозабора будет создаваться. Таким образом, увеличение мощности водоносного горизонта уменьшает размер ЗСО при прочих равных условиях. Размеры ЗСО при мощности водоносного горизонта 10; 20 и 30 м рассчитаны на рис. 2, б.

**Активная пористость.** Активная пористость — это величина отношения объёма пор и других пустот, по которым загрязнение может беспрепятственно передвигаться к общему объёму горной породы. Поскольку в породах существуют узкие и тупиковые поры, то общая пористость пород и активная пористость не равны. Как правило, в крупнозернистых дисперсных грунтах они стремятся друг к другу, однако по мере уменьшения размеров гранулометрической фракции расхождения становятся всё более значимыми.

Для условий трещиноватых пород не совсем корректно говорить о пористости как таковой. В расчёты ЗСО необходимо закладывать значение пустотности — величины отношения объёма раскрытых трещин и каверн к общему объёму породы.

Активная пористость не определяется при стандартных видах исследований, поэтому на практике для расчётов используется справочная величина. Для безнапорного водоносного горизонта за активную пористость можно принять величину гравитационной водоотдачи, которая определяется при опытно-фильтрационных работах. Активная пористость может быть определена специализированными полевыми или лабораторными исследованиями путём проведения трассерных запусков.

Увеличение значения активной пористости приводит к уменьшению действительных скоростей миграции загрязнения и, как следствие, к сокращению размеров ЗСО. Отметим, что активная пористость является наиболее неопределённым параметром в расчётах и может значительно влиять на геометрию ЗСО. Как правило, в проектах ЗСО используются завышенные значения пористости (задаётся обычная пористость, а не активная), что приводит к искусственному сокращению размеров ЗСО. Влияние величины активной пористости на размеры ЗСО приведено на рис. 2, в. В расчётах при прочих равных условиях задавалась активная пористость 0,1; 0,2 и 0,45.

**Направление и градиент потока подземных вод.** Подземные воды формируются и начинают свой путь при выпадении атмосферных осадков на водораздельных частях водосборных бассейнов, а заканчивают своё движение в региональных зонах разгрузки (крупные реки, озёра, океан и т. д.). 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 графически отражена на карте гидроизогипс — она представляет собой линии, соединяющие точки с одинаковыми абсолютными отметками поверхности грунтовых вод. Линии тока (направление движения)



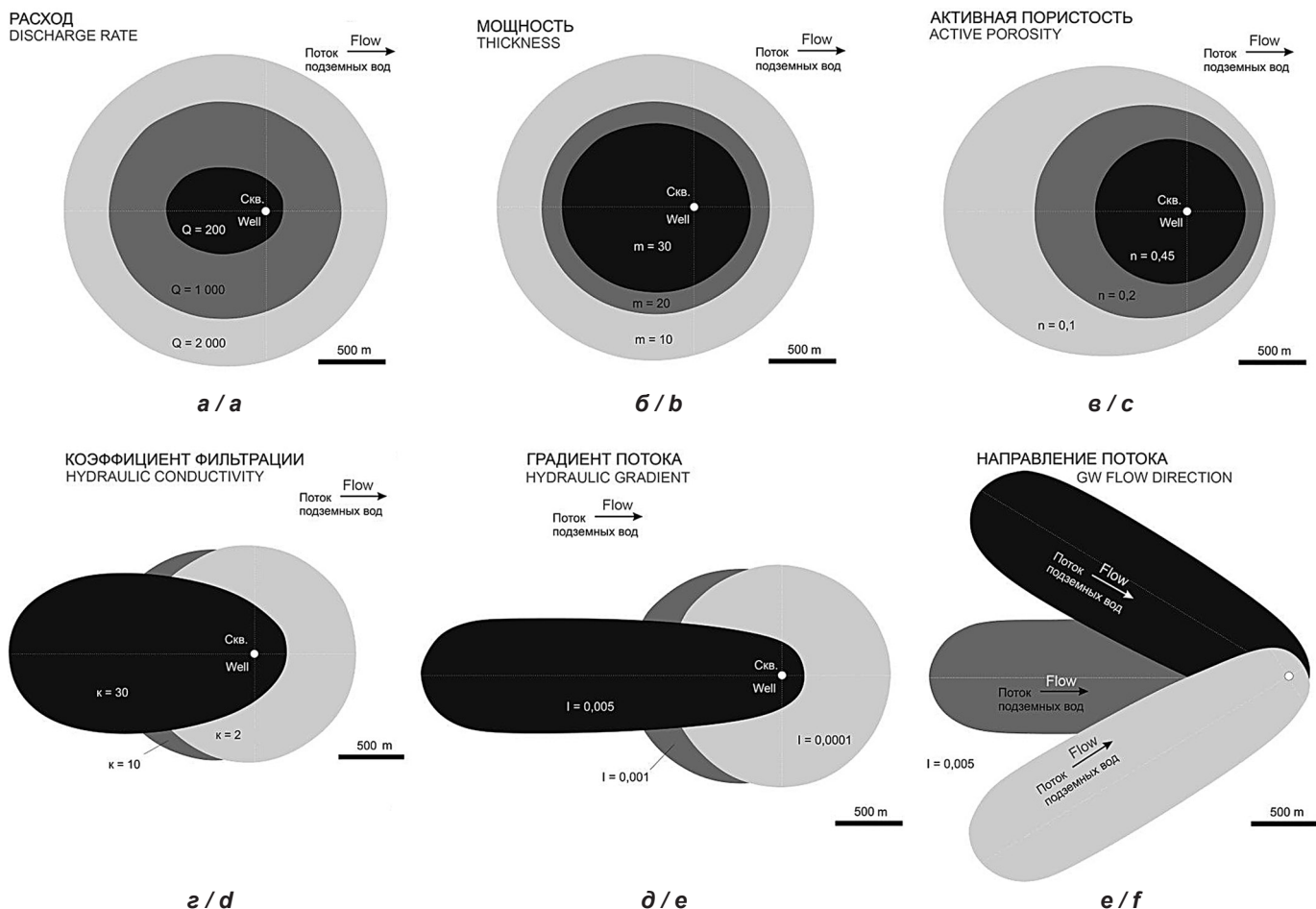


Рис. 2. Влияние расчётных параметров на размер и геометрию ЗСО подземного водозабора.

Fig. 2. Factors that control the size of WHP zone.

подземных вод перпендикулярны гидроизогипсам. Уклон потока, или градиент, определяет величину изменения уровня подземных вод между двух точек по линии тока, делённую на расстояние между ними. Как правило, для равнинных территорий уклон подземных 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 потока подземных вод кардинальным образом влияют на форму и размеры ЗСО. Так, при увеличении градиента ширина зоны санитарной охраны уменьшается, а её длина увеличивается вверх по направлению потока подземных вод (рис. 2, д, е). При изменении направления потока зона санитарной охраны следует за ним.

На рис. 2, д хорошо видно, что даже в условиях равнинной местности с низкими градиентами потока подземных вод форма 3-го пояса ЗСО далека от круга. А изменение направления движения подземных вод даже в пределах  $30^\circ$  может привести к значительной перестройке контура ЗСО.

**Коэффициент фильтрации водоносного горизонта.** Коэффициент фильтрации – 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.

Наиболее достоверным и распространённым способом для определения коэффициента фильтрации является проведение опытных откачек из скважин. Откачки являются

обязательным видом работ при подготовке отчёта по оценке запасов подземных вод и получении лицензии на водопользование. Поэтому значения коэффициента фильтрации можно найти в отчётах, хранящихся в территориальных фондах геологической информации.

Увеличение коэффициента фильтрации в расчётах ЗСО приводит к деформации контура: её общая ширина уменьшается, а длина, наоборот, вытягивается вверх по потоку подземных вод (рис. 2, з). В расчётах на рис. 2, з сопоставляется контур ЗСО при базовом сценарий ( $k = 10$  м/сут) с контурами при  $k = 2$  м/сут и  $k = 30$  м/сут.

**Параметр перетекания.** Параметр перетекания – это комплексный параметр, который характеризует степень гидравлического взаимодействия смежных водоносных горизонтов между собой. Чем меньше значение параметра перетекания, тем интенсивнее происходит взаимодействие водоносных горизонтов. Параметр перетекания определяют по результатам откачек из водозабортных скважин.

Низкие значения параметра перетекания приводят к интенсивному перетоку воды из смежных водоносных горизонтов в основную пласт во время работы водозабора. В результате этих процессов депрессионная воронка перестаёт увеличиваться в размерах, и как следствие, размеры ЗСО также перестают расти.

Отдельно отметим, что низкое значение параметра перетекания приводит к сокращению размеров ЗСО в эксплуатируемом водоносном горизонте. Однако необходимо учитывать, что сокращение размеров происходит за счёт поступления дополнительной воды в пласт из соседнего водоносного горизонта. В том случае если качество воды в сосед-

нем горизонте не отвечает гигиеническим требованиям, то со временем в эксплуатируемом горизонте можно ожидать ухудшения качества воды. Определив величину перетекания, можно оценить долю разбавления.

Также при расчёте ЗСО стоит принимать во внимание наличие гидрогеологических окон. Их присутствие может в значительной степени повлиять на размеры искомого контура. Гидрогеологические окна могут выступать источником дополнительного питания горизонта и, как и в случае с перетеканием, компенсировать понижения напоров подземных вод, тем самым сокращая размер ЗСО.

## Обсуждение

Результаты расчётов показывают, что все шесть используемых параметров в значительной степени влияют на размеры и положение ЗСО подземного водозабора. Расчёт ЗСО по упрощённой аналитической зависимости без учёта естественного потока подземных вод, коэффициента фильтрации и параметра перетекания может приводить к существенным ошибкам. В реальных условиях крайне редко встречаются случаи, когда потоком и коэффициентом фильтрации подземных вод можно пренебречь.

Однако провести расчёты с использованием всех необходимых параметров не всегда представляется возможным. Это связано в первую очередь с резким дефицитом геологической информации, а также крайне ограниченным бюджетом для разработки проектов ЗСО. В сложившейся ситуации многие специалисты прибегают к использованию справочных величин параметров, опираясь на многочисленные исследования своих предшественников.

Чтобы оценить степень неопределённости при использовании справочных параметров, проведены многовариантные расчёты ЗСО методом Монте-Карло [16–20]. Для этого, опираясь на справочные данные, каждому параметру назначался наиболее вероятный диапазон значений (табл. 2). Величина расхода и мощность водоносного горизонта оставались постоянными.

Результаты вероятностного многовариантного расчёта приведены на рис. 3. Из него видно, что неопределённость каждого параметра накладывается друг на друга, приводя к резкому увеличению области вероятного расположения ЗСО, то есть возникает синергетический эффект. Максимальные размеры ЗСО можно ожидать при сочетании высоких коэффициентов фильтрации и высоких градиентов потока 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. Расчётная площадь области вероятного расположения ЗСО составила  $1,5 \times 10^8 \text{ м}^2$ , что в 38 раз больше минимально возможной площади ЗСО при заданном диапазоне параметров.

Рис. 3 наглядно иллюстрирует, что расчёт ЗСО без учёта естественного потока подземных вод наряду с использованием справочных параметров может привести к смещённым представлениям о размере и положении ЗСО. В частности, это одна из причин, по которой может происходить ухудшение качества воды питьевого водозабора, несмотря на организованную вокруг него ЗСО.

Приведённые в настоящей статье расчёты показывают, что высокая неопределённость в значениях используемых параметров может являться причиной ошибочного определения размеров ЗСО [3, 12–14]. Однако важно понимать, что даже проведение дополнительных исследований с целью уточнения используемых параметров [11, 21–27] не гарантирует повышение точности расчётов ввиду проявления масштабных эффектов и неоднородности природных условий.

В этой связи нам кажется необходимым идти по пути уточнения параметров и уменьшения неопределённости в расчётах.

Таблица 2 / Table 2

### Принятые диапазоны значений параметров для оценки неопределённости расчётов

A range of the source parameters to estimate uncertainty of WHP zone

Параметр Parameter	Диапазон Range			Размерность Designation
	mean	min	max	
Расход водозабора Discharge rate	1000	1000	1000	м <sup>3</sup> /сут m <sup>3</sup> /day
Мощность водоносного горизонта Thickness	20	20	20	м m
Активная пористость Active porosity	0.2	0.1	0.45	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Поток подземных вод: GW flow:				
градиент hydraulic gradient	0.001	0.0001	0.005	м/м m/m
направление GW Flow direction	С запада на восток From west to east	–45°	+45°	градус degree
Коэффициент фильтрации Hydraulic conductivity	10	2	30	м/сут m/day
Параметр перетекания Leackedge	No	No	100	м m

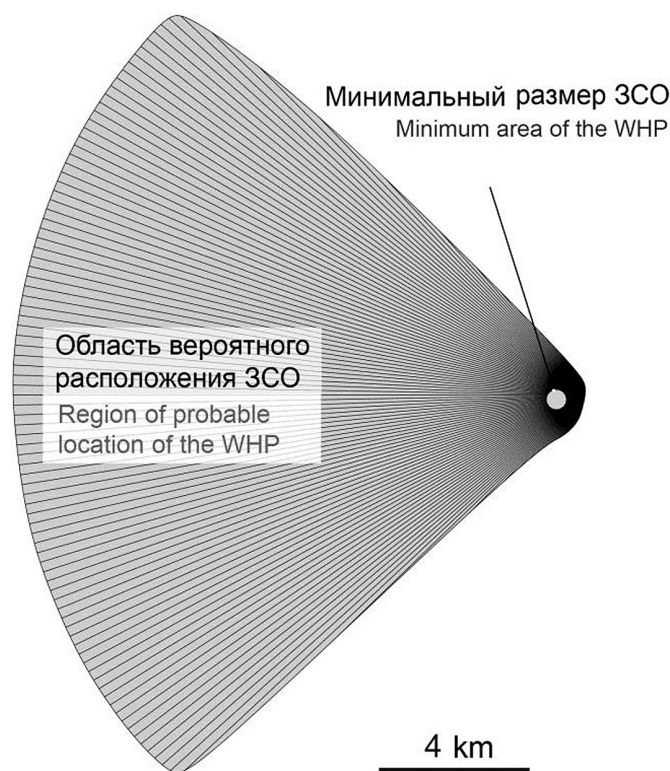


Рис. 3. Расчёт положения ЗСО с учётом неопределённости используемых параметров.

Fig. 3. Possible area of the WHP zone location with the adopted parameter uncertainty.

## Заключение

Организация и расчёт ЗСО водозаборов должны проводиться исключительно в привязке к реальным гидрогеологическим условиям. 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-профилактических мероприятий<sup>2</sup>, вводимые в действие с 01.03.2021 г., содержат положение о признании утратившим силу с 01.01.2022 г. санитарных правил и гигиенических нормативов о зонах санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения<sup>3</sup>. В новом документе содержится единственный пункт, содержащий обязательные требования к установлению ЗСО, а именно то, что ЗСО устанавливаются в соответствии с законодательством Российской Федерации. Далее 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 отменяемый этим же документом СанПиН. Надо отметить отсутствие конкретных обязательных требований к проекту ЗСО, применительно же к источникам централизованного водоснабжения указывается, что геологические и гидрологические данные при разработке ЗСО должны содержать информацию о мощности водоносного горизонта, направлении потока подземных вод, а также

<sup>2</sup> 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».

<sup>3</sup> СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения».

о взаимосвязи с водоносными горизонтами и поверхностными водными объектами. Однако, как мы видим, этот список недостаточно полный для того, чтобы проводить полноценные гидродинамические расчёты, кроме того, эти требования сформулированы для источников первого водоносного горизонта. Из области внимания СанПиН 2.1.3684-21 выпали такие параметры, как активная пористость, коэффициент фильтрации, градиент потока подземных вод.

Как указывалось нами ранее [3, 4], в настоящее время нет жёсткого регламента, устанавливающего требования к выполнению проекта ЗСО источника питьевого водоснабжения. Рекомендации по гидрогеологическим расчётам для определения границ 2-го и 3-го поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения устарели и содержат значительное количество опечаток. Руководство не устанавливает минимальный перечень основных параметров, используемых для расчёта ЗСО, что существенно влияет на размеры зоны. Ручные аналитические расчёты используются для выполнения проектов в более чем в 80% случаев, несмотря на то, что они могут быть применимы лишь в ограниченном количестве случаев. Обоснование применения ручных расчётов проектов отсутствует. Также следует обратить внимание на сложившуюся практику по схематизации гидрогеологических условий.

В связи с вышеизложенным в настоящее время крайне актуальной является подготовка Руководства по проектированию и экспертизе проектов ЗСО источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, которое дополнит существующую нормативную базу. 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.

В Руководстве должны быть детализированы требования к исходным геологическим данным, обязательным к использованию при разработке проекта ЗСО. В случае отсутствия необходимых исходных геологических данных рекомендуется использовать вероятностный подход к определению положения ЗСО.

## Литература

(п.п. 11, 16–20, 24, 25 см. References)

1. Вода России. Водопотребление. Доступно по: <https://water-ru.ru/Глоссарий/951/Водопотребление>
2. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2019 году». М.: 2020.
3. 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): 1152–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1152-1156>
4. Еремин Г.Б., Бадаева Е.А., Носков С.Н., Башкетова Н.С., Фридман К.Б., Карелин А.О. и соавт. Современные проблемы применения санитарных правил и норм организации зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(12): 1157–61. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1157-1161>
5. Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Еремин Г.Б., Мозжухина Н.А. Зоны санитарной охраны водоисточников. *Экология производства*. 2016; (5): 36–40.
6. Фридман К.Б., Романцова В.Л., Воронюк Г.И., Башкетова Н.С. Новые методические подходы в проектировании зон санитарной охраны водоисточников. *Гигиена и санитария*. 2014; 93(6): 115–6.
7. Гладун Е.Ф., Мадьярова Е.П. Актуальные вопросы установления границ зон санитарной охраны (ЗСО) источников подземного водоснабжения. Актуальные вопросы юриспруденции и экономики. В кн.: *Материалы межвузовской научно-практической конференции. АНОО ВО «Уральский финансово-юридический институт»*. Челябинск: Цицеро; 2017: 36–43.
8. Лопатин С.А., Редько А.А., Терентьев В.И. Особенности установления зон санитарной охраны водоисточника. *Гигиена и санитария*. 2014; 93(3): 16–20.
9. Сахаров В.А., Морозова О.А., Жукова Ю.А. Обоснование границ зон санитарной охраны водозаборов подземных вод на урбанизированных территориях на примере г. Южно-Сахалинска. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2015; 326(10): 92–8.
10. Синдаловский Л.Н. *Аналитическое моделирование опытных опробований водоносных пластов и скважинных водозаборов (программный комплекс ANSDIMAT)*. СПб.: Наука; 2014.
12. Орадовская А.Е., Лапшин Н.Н. *Санитарная охрана водозаборов подземных вод*. М.: Недра; 1987.
13. Бочеввер Ф.М., Лапшин Н.Н., Орадовская А.Е. *Защита подземных вод от загрязнения*. М.: Недра; 1979.
14. Румынин В.Г. *Теория и методы изучения загрязнения подземных вод: Учебник для вузов*. СПб.: Наука; 2020.
15. Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2 и 3 поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. М.: 1983.
21. МIRONENKO 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*. М.: Госстройиздат; 1962.
23. Булгаков Р.Б. *Геофизические исследования и работы в скважинах: в 7 томах. Том 2. Исследования геологического разреза скважин*. Уфа: Информреклама; 2010.
26. МIRONENKO В.А., Румынин В.Г. *Опытно-миграционные работы в водоносных пластах*. М.: Недра; 1986.
27. Румынин В.Г. *Геомиграционные модели в гидрогеологии*. СПб.: Наука; 2011.



## References

- Voda Rossii. Water consumption. Available at: <https://water-rrf.ru/Глоссарий/951/Водопотребление> (in Russian)
- State report «On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Russian Federation in 2019». Moscow; 2020.
- Gorbanev S.A., Nikulenkov A.M., Eremin 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 Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(12): 1152–6. (in Russian)
- Eremin G.B., Badaeva E.A., Noskov S.N., Bashketova N.S., Fridman K.B., Karelin A.O., et al. Modern problems of the application of sanitary rules and norms on the organization of sanitary protection zones of water supply sources and water pipes for drinking purposes. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(12): 1157–61. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1157-1161> (in Russian)
- Karelin A.O., Lomtev A.Yu., Eremin G.B., Mozzhukhina N.A. Zones of sanitary protection of water sources. *Ekologiya proizvodstva*. 2016; (5): 36–40. (in Russian)
- Fridman K.B., Romantsova V.L., Voronyuk G.I., Bashketova N.S. New methodical approaches in the projection of zones of sanitary protection of water sources. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2014; 93(6): 115–6. (in Russian)
- Gladun E.F., Mad'yarova E.P. Topical issues of establishing the boundaries of sanitary protection zones (SPZ) sources of under-ground water. Tyumen state University topical issues of law and Economics. In: *Materials of interuniversity scientific and practical conference. ANO VO «Ural financial and legal Institute» [Materialy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. ANOO VO «Ural'skiy finansovo-yuridicheskii institut»]*. Chelyabinsk: Tsitsero; 2017: 36–43. (in Russian)
- Lopatin S.A., Red'ko A.A., Terent'ev V.I. The features of the establishment of zones of sanitary protection of the water source. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2014; 93(3): 16–20. (in Russian)
- Sakharov V.A., Morozova O.A., Zhukova Yu.A. Justification of the boundaries of the sanitary protection zones of groundwater intakes in urban areas by the example of Yuzhno-Sakhalinsk. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*. 2015; 326(10): 92–8. (in Russian)
- Sindalovskiy L.N. *Analytical Modeling of Experimental Testing of Aquifers and Borehole Water Intakes (ANSDIMAT Software Package) [Analiticheskoe modelirovanie opytnykh oprobovaniy vodonosnykh plastov i skvazhinnykh vodozaborov (programmnyy kompleks ANSDIMAT)]*. St. Petersburg: Nauka; 2014. (in Russian)
- Sindalovskiy L.N. *Aquifer Test Solutions*. Springer; 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-43409-4>
- Oradovskaya A.E., Lapshin N.N. *Sanitary Protection of Water In-Takes of Underground Waters [Sanitarnaya okhrana vodozaborov podzemnykh vod]*. Moscow: Nedra; 1987. (in Russian)
- Bochever F.M., Lapshin N.N., Oradovskaya A.E. *Protection of Groundwater from Pollution [Zashchita podzemnykh vod ot zagryazneniya]*. Moscow: Nedra; 1979. (in Russian)
- Rumynin V.G. *Theory and Methods of Study of Groundwater Contamination: Textbook for Universities [Teoriya i metody izucheniya zagryazneniya podzemnykh vod: Uchebnik dlya vuzov]*. St. Petersburg: Nauka; 2020. (in Russian)
- Recommendations for hydrogeological calculations to determine the boundaries of zones 2 and 3 of zones of sanitary protection of underground sources of household and drinking water supply. Moscow; 1983. (in Russian)
- Metropolis N., Ulam S. The Monte Carlo method. *J. Am. Stat. Assoc.* 1949; 44(247): 335–41. <https://doi.org/10.1080/01621459.1949.10483310>
- Guideline for Delineation of Wellhead Protection Areas (WHPAs). US EPA; 1987.
- Bhatt K. Uncertainty in wellhead protection area delineation due to uncertainty in aquifer parameter values. *J. Hydrology*. 1993; 149(1–4): 1–8. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90095-q](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90095-q)
- Jacobson E., Andricevic R., Hultin T. Wellhead protection area delineation under uncertainty. Office of Scientific and Technical Information (OSTI); 1994. <https://doi.org/10.2172/97085>
- Evers S., Lerner D.N. How uncertain is our estimate of a well-head protection zone? *Ground Water*. 1998; 36(1): 49–57. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1998.tb01064.x>
- Mironenko V.A., Shestakov V.M. *Theory and Methods of Interpretation of Experimental Filtration Works [Teoriya i metody interpretatsii opytno-fil'tratsionnykh rabot]*. Moscow: Nedra; 1978. (in Russian)
- Verigin N.N. *Methods for Determining the Filtration Properties of Rocks [Metody opredeleniya fil'tratsionnykh svoystv gornykh porod]*. Moscow: Gosstroyizdat; 1962. (in Russian)
- Bulgakov R.B. *Geophysical Studies and Work in Wells: in 7 Volumes. Volume 2. Investigations of the Geological Section of Wells [Geofizicheskie issledovaniya i raboty v skvazhinakh: v 7 tomakh. Tom 2. Issledovaniya geologicheskogo razreza skvazhin]*. Ufa: Informreklama; 2010. (in Russian)
- Heath R.C. Basic ground-water hydrology. Water Supply Paper 2220. Denver, Colorado; 1987.
- Javandel I. *On the Field Determination of Effective Porosity*. Lawrence Berkeley Laboratory; 1989. Available at: <https://escholarship.org/uc/item/1x63x1zt>
- Mironenko V.A., Rumynin V.G. *Experimental Migration Works in Aquifers [Opytno-migratsionnye raboty v vodonosnykh plastakh]*. Moscow: Nedra; 1986. (in Russian)
- Rumynin V.G. *Geomigration Models in Hydrogeology [Geomigratsionnye modeli v gidrogeologii]*. St. Petersburg: Nauka; 2011. (in Russian)