

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-96-103>

УДК 556.3:004.94 (470.311)



ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЦ ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ПОДЗЕМНОГО ВОДОЗАБОРА ГОРОДСКОГО ОКРУГА ЩЕЛКОВО МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

М.А. Ширяева

Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора; 141014, г. Мытищи, ул. Семашко, 2, Россия

Аннотация. Цель исследований заключалась в обосновании установления поясов зон санитарной охраны для проектируемых скважин в районе Щелково Московской области с учетом гидрогеологических условий. Объектом исследований являлись водозаборный узел в Щелковском районе, осуществляющий централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение населения городского округа Щелково Московской области, питьевая вода скважин и разводящей сети. Проведены лабораторные исследования состава подземных вод, согласно которым выявлено, что вода в скважинах – сульфатно-гидрокарбонатная магниевая-кальциевая. Расчеты показали, что на рассматриваемой территории касимовский водоносный горизонт по степени естественной защищенности относится к защищенным. Расчет второго и третьего поясов ЗСО (зона строгого режима), окружающих водозаборы подземных вод, производился в программе ANSDIMAT. Результатом исследований стала аналитическая модель на основе гидрогеологической изученности региона.

Ключевые слова: подземные воды, скважины, программа ANSDIMAT, зоны санитарной охраны, водоносный горизонт, артезианский бассейн, аналитическая модель

Формат цитирования: Ширяева М.А. Обоснование границ зон санитарной охраны подземного водозабора городского округа Щелково Московской области // Природообустройство. 2024. № 5. С. 96-103. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-96-103>

Original article

SUBSTANTIATION OF THE SANITARY PROTECTION ZONE BOUNDARIES OF THE GROUNDWATER INTAKE IN SHCHELKOVO URBAN DISTRICT OF MOSCOW REGION

M.A. Shiryayeva

Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of Rosпотребнадзор; 141014, Mytishchi, Semashko str., 2, Russia

Abstract. The purpose of the study was to substantiate the establishment of sanitary protection zone belts for projected wells in the Shchelkovo area of the Moscow region, taking into account hydrogeological conditions. Laboratory studies of the composition of groundwater were carried out, according to which it was revealed that the water in the wells is sulfate-bicarbonate magnesium-calcium. Calculations have shown that in the territory under consideration, the Kasimov aquifer, according to the degree of natural protection, belongs to the protected ones. The calculation of the second and third zones of the ZSO (high security zone) surrounding groundwater intakes was carried out in the ANSDIMAT program. The result of the study was an analytical model based on the hydrogeological knowledge of the region.

Keywords: groundwater, wells, ANSDIMAT program, sanitary protection zones, aquifer, artesian basin, analytical model

Format of citation: Shiryayeva M.A. Substantiation of the sanitary protection zone boundaries of the groundwater intake in Shchelkovo urban district of Moscow region // Prirodobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 96-103. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-96-103>

Введение. Приоритетная задача в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации – обеспечение высококачественной питьевой водой. Требования к качеству воды определяются в зависимости от того, для чего она предназначена. Питьевая

вода должна соответствовать органолептическим требованиям, быть безопасной с точки зрения эпидемиологии, безвредной по химическому составу [1].

В городе Щелково Московской области качество питьевой воды системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения характеризуется несоответствием санитарным правилам по показателям мутности, железа суммарно и хрома суммарно по данным за период с 2016 по 2021 гг. Для обеспечения максимально безопасной питьевой воды требуется установка границ зон санитарной охраны в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями и гидрогеологическими условиями.

Цель исследований: обоснование установления поясов зон санитарной охраны для проектируемых скважин в районе Щелково Московской области с учетом гидрогеологических условий.

Объектом исследований являлись водозаборный узел в Щелковском районе, осуществляющий централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение населения городского округа (далее – г.о.) Щелково Московской области, питьевая вода скважин и разводящей сети [2, 3].

Материалы и методы исследований. Городской округ Щелково расположен в южной приосевой части Московского артезианского бассейна и характеризуется сложными гидрогеологическими условиями, которые определяются физико-географическими, геолого-структурными

и литолого-фациальными особенностями района и геологических условий (рис. 1).

Были отобраны пробы ненарушенной структуры из связных грунтов, нарушенной структуры из песчаных грунтов и пробы подземных вод для проведения лабораторных исследований. Лабораторные исследования и обработка результатов осуществлялись согласно требованиям нормативных документов: ГОСТ 30416-2012, ГОСТ 25100-2011, ГОСТ 31384-2008, ГОСТ 20522-2012 и др. В обработку и анализ были включены данные по качеству воды, подающейся населению г.о. Щелково Московской области водозаборами, выполненные в рамках производственного контроля в период 2016-2021 гг. испытательной лабораторией МУП «Межрайонный Щелковский водоканал» и Щелковским филиалом ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Московской области» из скважин и перед поступлением в разводящую сеть.

Степень защищенности подземных вод водоносного горизонта от потенциальных загрязнений зависит от проницаемости и мощности водоупорных толщ и определяется временем фильтрации из возможно незащищенных подземных вод вышележащих горизонтов по формуле [3]:

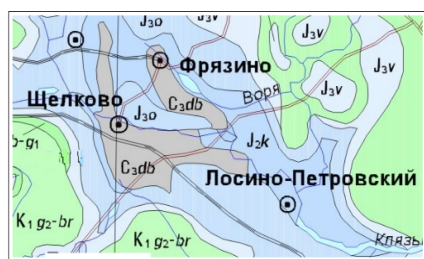
$$T_{\text{сут}} = \frac{m_0^2 \cdot n}{k_0 \cdot \Delta H}, \quad (1)$$

где m_0 – мощность водоупорных глин; n – пористость водоупорных пород, в среднем принимаемая равной 0,05; k_0 – вертикальный коэффициент фильтрации глин, принимаемый по данным разведочных работ и оценок запасов подземных вод $3 \cdot 10^{-5}$ м/сут.; ΔH – разность уровней турабьевского и четвертичного водоносных горизонтов.

В соответствии с СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения», с целью исключения возможности загрязнения подземных вод эксплуатируемого горизонта для проектируемых одиночных скважин, предусматривается создание ЗСО в составе трех поясов.

I пояс ЗСО – зона строгого режима, включающая в себя территорию расположения артезианских скважин. Его назначение – защита от случайного или умышленного загрязнения и повреждения. С учетом благоприятных топографических санитарных и гидрогеологических условий участка (естественная защищенность водоносного горизонта от поверхностного загрязнения перекрывающей песчано-глинистой толщей мощностью 65 м) согласно упомянутому СанПиН п. 2.2.1.1 радиус I пояса ЗСО может быть принят по согласованию с ТОУ Роспотребнадзора как менее 30 м.

Дочетвертичные отложения



Условные обозначения

$K_1 g_2 - br$	Верхний подъярус готеривского яруса-барремский ярус. Пески, алевриты с прослоями глин. До 30м.
J_{3v}	Волжский ярус. Пески с фосфоритами и песчаники, внизу глинистые алевриты. До 39м.
J_{3o}	Оксфордский ярус. Глины до 20м.
J_{2k}	Келловейский ярус. Глины, внизу иногда пески. До 50м.
C_{3dr}	Дорогомилловский горизонт. Известняки и доломиты с прослоями глин и доломитизированных мергелей. До 16м.

Рис. 1. Карта дочетвертичных отложений Щелковского района

Fig. 1. Map of pre-quaternary deposits of the Shchelkovo district

II пояс ЗСО – зона ограничений по бактериальному загрязнению, которая рассчитывается по формуле [3, 4]:

$$R_{\text{бак}} = \sqrt{\frac{Q \cdot T_{\text{бак}}}{m \cdot \pi \cdot \mu}}, \quad (2)$$

где $R_{\text{бак}}$ – радиус II пояса ЗСО по бактериальному загрязнению; Q – водоотбор из одной рабочей скважины; $T_{\text{бак}}$ – время выживания болезнетворных микроорганизмов в водоносном пласте; m – общая мощность водоносного горизонта; μ – активная пористость известняков карбона.

III пояс ЗСО – зона ограничений по химическому загрязнению, рассчитываемая по аналогичной формуле, при $T_{\text{хим}}$ (время, необходимое для защиты водозабора от химических загрязнений для данного района), равном 10000 суток.

Расчет второго и третьего поясов ЗСО, окружающих водозаборы подземных вод, доступен для всех типовых схем, входящих в программный комплекс ANSDIMAT (рис. 2). ANSDIMAT – программный комплекс, разработанный отделением Санкт-Петербургского института геоэкологии Российской академии наук для аналитической и численной обработки опытно-фильтрационных опробований прямыми и обратными методами [4].

При проведении опытно-фильтрационных работ использовался насос 2ЭЦВ8(8АПВм), установленный в скважине на глубине 80 м. Замеры дебита скважин выполнялись с помощью приборов учета воды. Замеры уровня подземных вод

в скважине в процессе откачки осуществлялись с помощью электроуровнемера УСК-ТЭ-150.

Общее уравнение для понижения уровня в наблюдательной скважине при групповой откачке с постоянным расходом [5] –

$$s = P \sum_{i=1}^N Q_i f(r_i, t), \quad (3)$$

где $f(r_i, t)$ – функция, описывающая расчетную гидрогеологическую схему опытного опробования; N – количество опытных скважин; P – постоянная величина (зависит от расчетной схемы); Q_i – постоянный расход в i -й опытной скважине, м³/сут.; r_i – расстояние от наблюдательной скважины до i -й опытной скважины, м; s – понижение в наблюдательной скважине, м; t – время от начала откачки, сут.

Решение строится на нестационарной зависимости для понижения уровня в наблюдательной скважине, когда откачка осуществляется из одной опытной скважины. Квазистационарный режим – нестационарный режим, но в каждый момент времени его можно считать стационарным [6, 7]. Если дебит постоянный, то в напорном изолированном пласте воронка депрессии будет опускаться параллельно самой себе. В напорном изолированном пласте этот режим обуславливается проявлениями упругой емкости. Уравнение Тейса – это решение для уравнения фильтрации в напорном изолированном, неограниченном в плане пласте при откачке из совершенной скважины с постоянным дебитом Q начиная с момента t_0 при исходном стационарном потоке [8-10].

Решение Купера-Джейкоба [7, 8] –

$$s = \frac{0.183 \cdot Q}{T} \lg \frac{2.25at}{r^2}, \quad (4)$$

где a – пьезопроводность водоносного пласта, м²/сут.; Q – расход опытной скважины, м³/сут.; r – расстояние от опытной скважины до наблюдательной скважины, м; s – понижение в наблюдательной скважине, м; T – проводимость водоносного пласта, м²/сут.; t – время от начала откачки, сут.

Расчетными гидрогеологическими параметрами для подсчета запасов подземных вод касимовского водоносного горизонта служат коэффициенты водопроводности, пьезопроводности и величина допустимого понижения уровня воды на расчетный период эксплуатации.

На графике временного прослеживания $s^{-1} \lg t$ способом прямой линии определяются проводимость и пьезопроводность водоносного пласта:

$$T = \frac{0.183 \cdot Q}{C}, \lg a = \frac{A}{C} + \lg \frac{r^2}{2.25},$$

где A – величина, которую отсекает прямая линия на оси ординат; C – угловой коэффициент прямой линии.

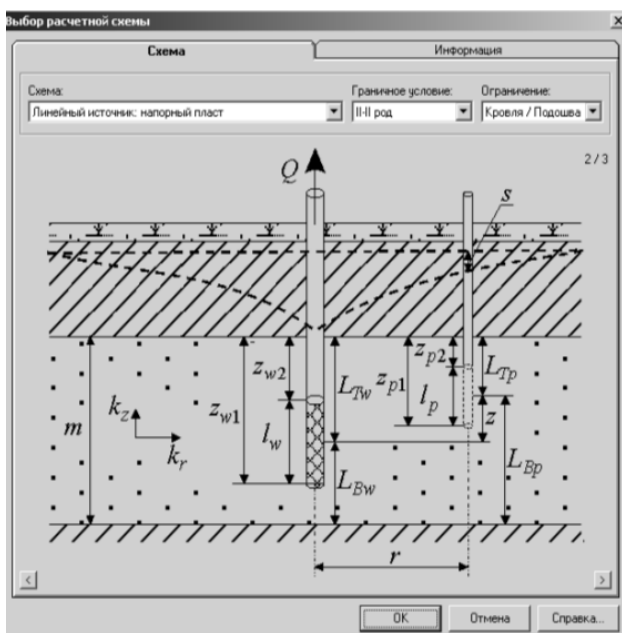


Рис. 2. Рабочее окно программы ANSDIMAT при выборе расчетной схемы

Fig. 2. Working window of the ANSDIMAT program when selecting a design scheme

Таблица 1. Данные опытного опробования
Table 1. Data of the pilot testing

Параметр Parameter	Значение Value
Длительность откачки, сут Pumping duration, days	79.43291
Расход опытной скважины, м ³ /сут The flow rate of the pilot well, m ³ / day	1000
Мощность водоносного пласта, м The capacity of the aquifer, m	20
Расстояние от наблюдательной до опытной скважины, м Distance from the observation well to the test well, m	79.5

График временного прослеживания

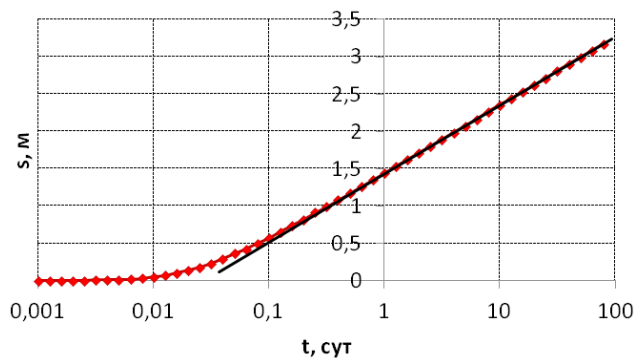


Рис. 3. График временного прослеживания, построенный по фактическим данным понижения уровня (скважина 4). Для определения параметров используется способ прямой линии

Fig. 3. Time tracking schedule. The graph is based on the actual data of the level decrease (well 4). The straight line method is used to define the parameters

Результаты и их обсуждение. Проведенный анализ лабораторных исследований питьевой воды централизованной системы водоснабжения городского округа Щелково показал, что интенсивность запаха воды в скважинах, резервуарах и разводящей сети не превышала гигиенического норматива, находясь в интервале от 0 до 1 балла.

Цветность воды из скважин на протяжении последних лет в своих максимальных значениях характеризуется неустойчивыми показателями, однако всегда соответствует гигиеническому нормативу (не более 20°). В то же время, с учетом системы водоподготовки, в сети данный показатель не превышал 8,1°.

Следует отметить заметно устойчивое низкое содержание в питьевой воде из скважин и разводящей сети показателя мутности, который

за все последние годы не превышает установленный гигиенический норматив (ПДК-2,6 ЕМФ). Отмечен одинаково высокий уровень жесткости воды скважин, а также то, что за исследуемый период ее величина, как правило, находилась на уровне менее 10 мг-экв/л.

Значения сухого остатка воды находятся в пределах оптимальных (250-300 мг/л) величин (макс. – 449,6 мг/л) как в источнике, так и в сети, но всегда ниже установленного гигиенического норматива (1000 мг/л).

С использованием Excel VBA (Visual Basic for Applications) была разработана цифровая аналитическая модель для автоматизации построения графика химического состава подземных вод. Разработанная модель состоит из двух страниц (DATA и PIPEGRAPH) в программе Microsoft Excel. На первой странице DATA (рис. 4) в таблицу вносятся такие данные, как группа (означающая номер скважины или группу скважин), основные катионы и анионы, минерализация (мг/л).

Результаты выводятся автоматически на график на второй странице программы Excel в PIPEGRAPH. График представляет собой диаграмму Пайпера и используется как эффективное графическое представление химического состава проб воды при гидрогеологических исследованиях. На графике учтены процентные значения 6 ионных групп: анионы кальция, магния и натрия плюс катионы калия, а также сульфатные, хлоридные и карбонатные плюс гидрокарбонат-анионы [11-13]. Катионы и анионы показаны двумя отдельными графиками, которые затем проецируются на ромб.

Согласно результатам химического анализа (рис. 5) вода исследуемого региона – сульфатно-гидрокарбонатная магниевая-кальциевая, пресная, жесткая (жесткость постоянная).

Полученная величина времени фильтрации потенциальных загрязнений через водоупорные юрские глины в турабьевский водоносный подгоризонт составляет (по формуле 1):

$$T_{\text{сут}} = \frac{m_o^2 \times n}{k_o \times \Delta H} = \frac{20^2 \times 0,05}{0,00003 \times 35} = 19048 \text{ сут.} = 52 \text{ года,}$$

что значительно превышает время выживания бактерий в условиях подземного потока – 400 суток (при жестких условиях), а также амортизационный срок службы скважин. Учитывая вышеизложенное, турабьевский водоносный подгоризонт можно считать надежно защищенным от загрязнений сверху.

Group	Site	Bottom Ca ²⁺	Side Na ⁺	DIAMOND Mg ²⁺	DIAMOND K ⁺	DIAMOND SO ₄ ²⁻	DIAMOND CO ₃ ²⁻	DIAMOND Cl ⁻	DIAMOND HCO ₃ ⁻	DIAMOND F ⁻	TDS, mg/l
3	AW03	27,00	2,00	43,00	4,60	150,00	0,00	8,50	33,00	0,90	269
3	AW04	29,00	2,20	35,00	5,20	140,00	0,00	6,00	26,00	1,00	244
3	AW05	30,00	2,60	37,00	5,60	150,00	0,00	7,70	30,00	0,70	264
3	AW06	22,84	2,43	37,01	6,65	137,86	0,00	6,03	28,82	0,00	242
3	AW07	30,46	3,40	51,04	8,60	143,35	0,00	12,05	64,36	0,00	313
3	AW08	23,00	2,60	56,00	9,00	140,00	0,00	10,00	67,00	0,90	309
3	AW09	20,00	2,70	42,00	8,80	150,00	0,00	7,40	28,00	1,20	260
3	AW10	30,00	1,90	40,00	4,30	132,00	0,00	8,20	51,00	0,00	267
3	AW11	24,00	1,10	36,00	8,20	130,00	0,00	6,60	33,00	1,00	240
3	AW12	18,00	0,70	54,00	6,90	150,00	0,00	7,80	30,00	1,50	269
3	AW13	19,00	0,80	43,00	7,30	130,00	0,00	9,30	28,00	1,30	239
3	AW14	17,00	2,00	40,00	6,10	130,00	0,00	6,90	25,00	1,60	229
3	AW15	19,00	1,50	40,00	7,10	140,00	0,00	6,30	25,00	1,70	241
3	AW16	24,00	1,80	48,00	7,30	150,00	0,00	9,50	31,00	1,70	273
3	AW17	25,00	3,60	48,00	9,70	130,00	0,00	10,00	69,00	1,20	297
3	AW18	21,00	2,70	36,00	7,50	120,00	0,00	6,40	27,00	1,40	222
3	AW19	21,00	4,00	32,00	8,20	120,00	0,00	10,00	35,00	1,40	232
3	AW23	9,60	3,20	58,00	5,90	153,00	0,00	7,40	29,00	0,00	266
3	AW24	9,22	0,97	65,98	6,65	156,16	0,00	8,86	26,90	0,00	275
3	AW25	9,20	3,90	61,00	5,50	166,00	0,00	8,20	33,00	0,00	287
3	AW26	54,91	9,72	100,01	12,90	300,12	0,00	32,97	110,47	0,00	621
3	AW29	41,00	7,50	80,00	9,80	195,00	0,00	23,00	130,00	0,00	486
3	AW30	52,00	22,00	120,00	18,00	314,00	0,00	27,00	168,00	0,00	721
3	AW31	44,89	19,93	110,12	16,81	292,80	0,00	24,11	155,62	0,00	664

Рис. 4. Пользовательское окно страницы DATA для заполнения данных скважин автоматизированной программы отображения химического состава воды
 Fig. 4. Custom window of the DATA page for filling in the well data of the automated program for displaying the chemical composition of water

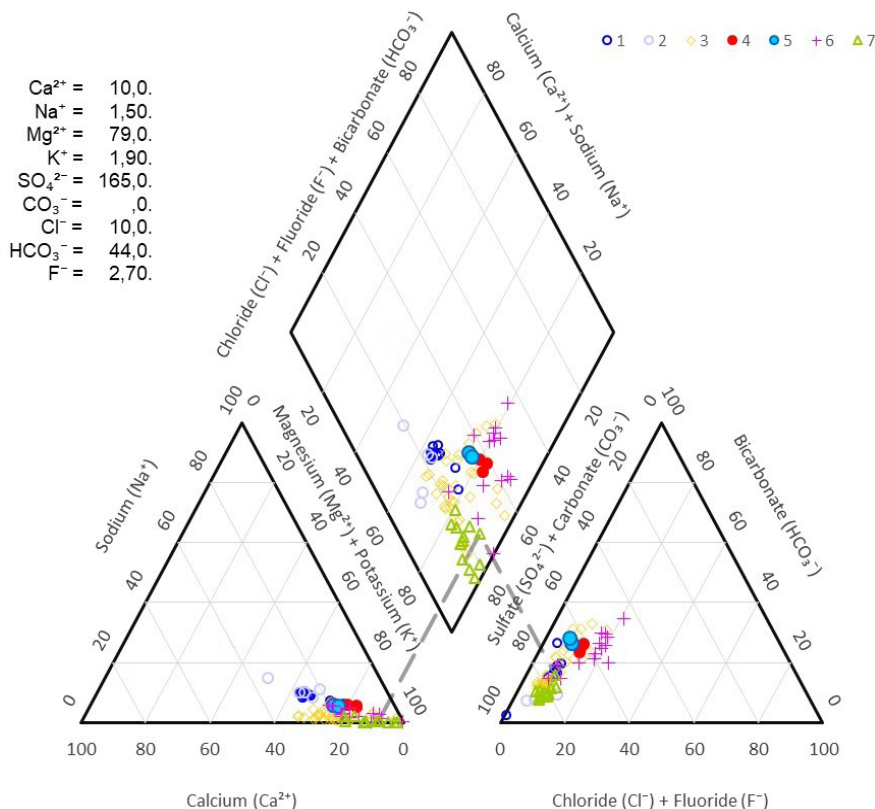


Рис. 5. Графическое представление химического состава подземных вод
 Fig. 5. Graphical representation of the chemical composition of groundwater

Касимовский водоносный горизонт ($C_3\text{ksm}$) развит повсеместно на изучаемой территории. Водовмещающими породами горизонта служат трещиноватые, кавернозные известняки, переслаивающиеся с терригенными глинисто-мергелистыми отложениями.

Были выполнены расчеты степени защищенности подземных вод касимовского водоносного горизонта от возможно потенциально загрязненных вод вышележащих горизонтов [14]:

$$T_{\text{сут}} = \frac{m_o^2 \cdot n}{k_o \cdot \Delta H} = \frac{25^2 \cdot 0,05}{0,00003 \cdot 20} = 52083 \text{ сут.} = 142 \text{ года.}$$

Полученная величина времени фильтрации потенциальных загрязнений через водонепроницаемые щелковские глины в касимовский водоносный горизонт составляет 142 года. Учитывая вышеизложенное, касимовский водоносный горизонт можно считать надежно защищенным от загрязнений сверху.

При расчете 2-го пояса ЗСО время выживания болезнетворных организмов в водоносном пласте, с учетом климатических условий исследуемого района и надежной защищенности целевого водоносного горизонта, следует принять равным 200 суток.

Проектируемая скважина № 1 будет находиться примерно в 290 м от скважины № 3.

Для расчета принимается условие, что артезианские скважины эксплуатируются одновременно, то есть в работе находятся по одной рабочей скважине на каждой площадке.

Расстояние между проектируемой рабочей скважиной № 1 и скважиной № 3 составляет $r_1 = 290$ м; эксплуатационный горизонт – касимовский водоносный горизонт верхнего карбона; водопроницаемость горизонта $K_T = 500 \text{ м}^2/\text{сут.}$, пьезопроводность $a = 104 \text{ м}^2/\text{сутки}$; водоотдача (активная пористость) $\mu = 0,03$; время расчета $t = 25$ лет. Глубина залегания пьезометрического уровня составляет 65 м от поверхности земли (абс. отметка – 85,0 м), глубина залегания кровли водоносного горизонта находится на глубине 80 м от поверхности земли. На рисунке 6 показаны положение скважин в плане и зоны санитарной охраны водозабора. Стрелка показывает направление естественного фильтрационного потока.

Данные цифровой модели представлены в таблице 2.

II пояс ЗСО – зона ограничений по бактериальному загрязнению:

$$R_{\text{бак}} = \sqrt{\frac{1200 \times 200}{50 \times 3,14 \times 0,03}} = 226 \text{ м.}$$

III пояс ЗСО:

$$R_{\text{хим}} = \sqrt{\frac{1200 \times 10000}{50 \times 3,14 \times 0,03}} = 1596 \text{ м.}$$

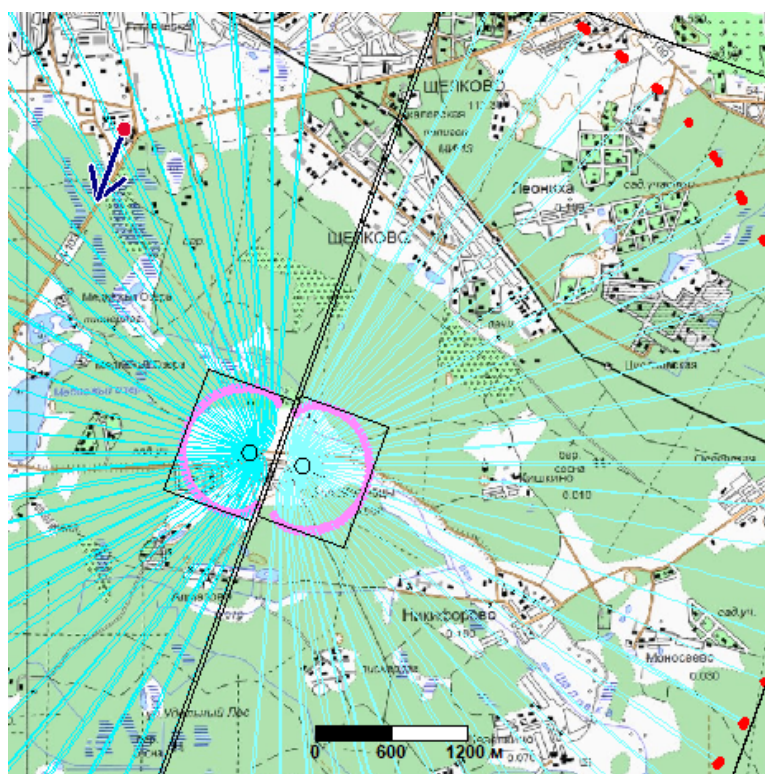


Рис. 6. Положение скважин в плане и границы ЗСО водозабора

Fig. 6. Position of wells in the plan and boundaries of the ZSO water intake

Таблица 2. Некоторые данные модели ЗСО

Table 2. Some data of the ZSO model

Параметр / Parameter	Значение / Value
Область моделирования / Area of modeling	600м × 600м
Координаты модельной области / Coordinates of the modeled area	X1 = 728052; Y1 = 1440580; X2 = 734052; Y2 = 1446580
Градиент естественного фильтрационного потока Gradients of the natural filtration flow	0,003
Направление потока / Direction of the flow	юго-западное / south – west
Установленный в результате моделирования добегания или др. показателя расчетный период ЗСО для второго пояса Established as a result of modeling of runaway or other indicators the ZSO calculation period for the second belt	200 суток 200 days
Время расчета ЗСО для третьего пояса Calculation time of ZSO for the third belt	25 лет 25 years

Выводы

Для оценки химического состава подземных вод были проведены лабораторные исследования. В разработанной программе Microsoft Excel построен график Пайпера. Согласно результатам химического анализа вода исследуемого региона – сульфатно-гидрокарбонатная магниевая-кальциевая, пресная, жесткая. Производительность каждой скважины составляет 1200 м³/сут. Касимовский водоносный горизонт является на данной территории основным водоносным горизонтом, эксплуатируемым для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения. Кровля

водоупорных известняков касимовского горизонта залегает на глубине порядка 80 м. Горизонт напорный, статический уровень фиксируется на глубине 65 м, на 15 м выше кровли.

Для проектируемых скважин первый пояс зоны санитарной охраны устанавливается размером 60 × 60 м². Радиус второго пояса зоны санитарной охраны для всех проектируемых скважин устанавливается единым и принимается в виде условной полосы шириной R_{бак.} = 226 м от створа водозабора (линии расположения пар скважин), радиус третьего пояса ЗСО будет составлять R_{хим.} = 1596 м.

Список использованных источников

1. Франовский С.Ю., Турбинский В.В. Оценка опасности фтора воды источников питьевого водоснабжения населения // Высшая школа. Научные исследования: сборник научных статей по итогам работы Межвузовского научного конгресса. М.: Изд-во «Инфинити», 2020. Т. 2. С. 75-83.
2. Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2 и 3 поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1983. URL: https://e-ecolog.ru/docs/gbhNHу9МОЕV1eaubnQAE?ysclid=m2d9nkr6dc100196560&utm_referrer=https%3A%2F%2Fya.ru%2F.
3. Никуленков А.М. Проблемы обоснования зон санитарной охраны подземных водозаборов: анализ основных геологических факторов / Г.Б. Носков, Н.А. Мозжухина, М.В. Вилькина // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. №. 8. С. 762-768.
4. Синдаловский Л.Н. Гидрогеологические расчеты с использованием программы ANSDIMAT: монография. СПб.: Наука, 2021. 891 с.
5. СанПиН 2.1.4.1110-02. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения. 2002. URL: <https://02.rosпотребнадзор.ru/content/176/19546/?ysclid=m2da3dyfbd137195003>.
6. Theis Ch.V. The relation between the lowering of the piezometric surface // Trans. Amer. Geophys. Union. 1935. Vol. 16, № 2. Pp. 519-524.

References

1. Franovsky S.Yu., Turbinsky V.V. Assessment of the danger of fluorine water sources of drinking water supply of the population // Higher school. Scientific research. Collection of scientific articles on the results of the work of the Interuniversity Scientific Congress. Volume 2. Moscow: Infiniti Publishing House, 2020. P. 75-83.
2. Recommendations for hydrogeological calculations to determine the boundaries of the 2nd and 3rd belts of sanitary protection zones of underground sources of domestic and drinking water supply. Moscow, VNIИ VODGEO Publ., 1983. https://e-ecolog.ru/docs/gbhNHу9МОЕV1eaubnQAE?ysclid=m2d9nkr6dc100196560&utm_referrer=https%3A%2F%2Fya.ru%2F
3. Nikulenkov A.M. Problems of substantiation of sanitary protection zones of underground water intakes: analysis of the main geological factors / G.B. Noskov, S. N., Mozzhukhina N.A., Vilkin M.V. // Hygiene and sanitation. 2021. V. 100. №. 8. P. 762-768.
4. Sindalovsky L.N. Hydrogeological calculations using the ANSDIMAT program. Monograph. St. Petersburg, Nauka Publ., 2021. 891 p. ISBN978-5-02-040315-4.
5. SanPiN 2.1.4.1110-02. Sanitary protection zones of water supply sources and drinking water pipelines. 2002. <https://02.rosпотребнадзор.ru/content/176/19546/?ysclid=m2da3dyfbd137195003>
6. Theis Ch.V. The relation between the lowering of the piezometric surface. – “Trans. Amer. Geophys. Union”, 1935, vol. 16, pt. 2, p. 519-524.

7. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ. М.: Недра, 1978. 325 с.

8. Jacob C.E. Effective radius of drawdown test to determine artesian well // Proceedings of the American Society of Civil Engineers. 1946. Vol. 72, № 5. Pp. 629-646.

9. Cooper H.H., Jacob C.E. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history // Transactions, American Geophysical Union. 1946. Vol. 27, № 4. Pp. 526-534.

10. Карпенко Н.П., Ширяева М.А. Гидрогеоэкологическое обоснование размещения техногенной нагрузки с использованием синтезированных карт естественной защищенности грунтовых вод // Природообустройство. 2020. № 3. С. 114-122.

11. Карпенко Н.П., Ширяева М.А. Оценка влияния нефтедобычи на качество водных объектов Пермского края с применением ГИС-технологий // Природообустройство. 2023. № 1. С. 95-101.

12. Карпенко Н.П. Оценка геоэкологической ситуации речных бассейнов на основе атрибутивных показателей и обобщенных геоэкологических рисков // Природообустройство. 2018. № 2. С. 15-22.

13. Гольдберг В.М. Взаимосвязь изменения загрязнения подземных вод и природной среды. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 248 с.

14. Жолдакова З.И., Сеницына О.О., Турбинский В.В. О корректировке требований к зонам санитарной охраны источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100, № 11. С. 1192-1197.

Об авторе

Маргарита Александровна Ширяева, младший научный сотрудник; SPIN-код: 4706-0330, AuthorID: 1081861 <https://orcid.org/0000-0001-8019-1203>; Shiryayeva.MA@fncg.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Ширяева М.А. выполнила теоретические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись, имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 18.05.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.08.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.08.2024

7. Mironenko V.A., Shestakov V.M. Theory and methods of interpretation of experimental filtration works. Nedra, 1978. 325 p.

8. Jacob C.E. Effective radius of drawdown test to determine artesian well // Proceedings of the American Society of Civil Engineers. 1946. Vol. 72, N5. P. 629-646.

9. Cooper H.H., Jacob C.E. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history // Transactions, American Geophysical Union. 1946. Vol. 27, N4. P. 526-534.

10. Karpenko N.P., Shiryayeva M.A. Hydrogeoecological substantiation of the placement of technogenic load using synthesized maps of natural protection of groundwater // Prirodoobustrojstvo. 2020. № . 3. P. 114-122.

11. Karpenko N.P., Shiryayeva M.A. Assessment of the impact of oil production on the quality of water objects in the Perm territory with the application of GIS-technologies // Prirodoobustrojstvo. 2023. № . 1. P. 95-101.

12. Karpenko N.P. Assessment of the geoecological situation of river basins on the basis of attributive indicators and generalized geoecological risks // Prirodoobustrojstvo. 2018. № 2. P. 15-22.

13. Goldberg V.M. Relationship between changes in groundwater pollution and the natural environment. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1987. 248 p.

14. Zholdakova Z.I., Sinityna O.O., Turbinsky V.V. On the correction of requirements for the zones of sanitary protection of sources of centralized economic and drinking water supply of the population // Hygiene and sanitation. 2021. V. 100. № . 11. P. 1192-1197.

About the authors

Margarita A. Shiryayeva, Junior Researcher, SPIN-code: 4706-0330, AuthorID: 1081861; <https://orcid.org/0000-0001-8019-1203>; Shiryayeva.MA@fncg.ru

Shiryayeva M.A. carried out theoretical studies, on the basis of which she generalized and wrote the manuscript. She has a copyright on the article and is responsible for plagiarism.