

УДК 504.433

DOI: 10.18799/24131830/2024/2/4294

Шифр специальности ВАК: 1.6.6, 1.6.21

Геолого-гидрогеологическое строение шешминского терригенного комплекса Бельского поднятия

М.И. Ярков^{1✉}, Л.О. Лейбович¹, П.А. Красильников², Г.М. Батракова²

¹ ООО НИПППД «НЕДРА», Россия, г. Пермь

² Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия, г. Пермь

✉ maxforj@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность* работы определяется необходимостью организации производственно-технического водоснабжения для нефтяного месторождения в северо-восточной части Пермского края. Особые требования недропользования и охраны окружающей среды обусловлены наличием зоны санитарной охраны водозабора в северной части месторождения. Исследование геологического строения и условий залегания подземных вод шешминского водоносного комплекса позволит оценить ресурсы подземных вод территории и решить вопрос организации водоснабжения нефтяного месторождения. *Цель:* изучение геологического строения, условий залегания подземных вод шешминского водоносного комплекса. *Объекты:* горные породы шешминской свиты, а также подземные воды шешминского терригенного комплекса. *Методы:* изучение фондовых и архивных документов о геологическом строении и гидрогеологических условиях района работ, проведение маршрутного гидрогеологического обследования территории, бурение поисковых и оценочных скважин на подземные воды, проведение опытно-фильтрационных работ в паводковый и межженный период из поисковых и оценочных скважин. *Результаты.* Определена мощность шешминской свиты в пределах района работ, тектонически приуроченного к Бельскому поднятию, осложненному Дуринским прогибом. Мощность шешминской свиты составила от 100–150 до 300 и более м. Определен литологический состав пород. Получены данные об условиях залегания подземных вод шешминского водоносного комплекса. Установлено, что в пределах Дуринского прогиба подземные воды залегают как система отдельных обособленных водоносных прослоев и блоков. Были выделены наиболее водообильные зоны. В толще слабопроницаемой шешминской свиты были обнаружены два водоносных пласта, которые приурочены к песчаникам мелкозернистым и крупнозернистым. Водоносные пласты не имеют гидравлической связи и отделены друг от друга 40 м толщей водоупорных аргиллитов. Подземные воды залегают в виде пластов с граничными условиями II рода, ориентированного субширотно, с запада на восток. Полученные данные могут в дальнейшем быть использованы для решения вопросов водоснабжения в пределах исследуемой области, рационального использования этих вод.

Ключевые слова: шешминская свита, граничные условия II рода, Бельское поднятие, Дуринский прогиб, Соликамский городской округ, Пермский край

Для цитирования: Геолого-гидрогеологическое строение шешминского терригенного комплекса Бельского поднятия / М.И. Ярков, Л.О. Лейбович, П.А. Красильников, Г.М. Батракова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 2. – С. 105–119. DOI: 10.18799/24131830/2024/2/4294

UDC 504.433

DOI: 10.18799/24131830/2024/2/4294

Geological and hydrogeological structure of the Sheshma terrigenous complex of the Belsky uplift

M.I. Yarkov^{1✉}, L.O. Leibovich¹, P.A. Krasilnikov², G.M. Batrakova²

¹ LLC NIPPPD "NEDRA", Perm, Russian Federation

² Perm National Research Polytechnical University, Perm, Russian Federation

✉ maxforj@yandex.ru

Abstract. Relevance. The importance of industrial and technical water supply to an oil field in the north-east of Perm region. The requirements to subsoil use and environment protection demand a sanitary restriction zone of the water supply source in the northern part of the field. The current study of a geological structure and groundwater conditions and circulation of Sheshma aquifer complex will assess its resources and elaborate on organization of water supply to the oil field. **Aim.** To study geological structure and groundwater conditions of Sheshma aquifer complex. **Objects.** Formations rocks and groundwater conditions of Sheshma terrigenous complex. **Methods.** Studying the archival records, conducting a hydro-geological survey of the territory, drilling groundwater exploration wells, conducting pilot-filtration works on groundwater exploration wells in the flooding and low-water period. **Results.** The authors have discovered Sheshma formation thickness, which ranges from 100–150 to 300 m, and lithological composition of rocks and groundwater conditions of Sheshma aquifer complex. It was established that groundwater is deposited as a system of separate isolated water-bearing interlayers and blocks within the Durinsky trough. The most water-bearing zones were identified. Two aquifers of fine-grained and coarse-grained sandstones were detected in low-permeability thickness of Sheshma formation. The aquifers are not hydraulically connected and are separated from each other by a 40 m thick layer of water-resistant mudstones. Groundwater is deposited as strata with Neumann's boundary conditions, orientated sublatitudinally, from west to east. The obtained data can be further used to solve the issues of water supply within the area under study and the rational use of these waters.

Keywords: Sheshma formation, Neumann's boundary condition, Belsky uplift, Durinsky trough, Solikamsk urban district, Perm region

For citation: Yarkov M.I., Leibovich L.O., Krasilnikov P.A., Batrakova G.M. Geological and hydrogeological structure of the Sheshma terrigenous complex of the Belsky uplift. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2024, vol. 335, no. 2, pp. 105–119. DOI: 10.18799/24131830/2024/2/4294

Введение

Вопросы управления ресурсами подземных вод и их рационального использования являются приоритетными для ряда территорий нефтедобычи в Российской Федерации и за ее пределами. Проблемные вопросы поиска и организации источников технического и питьевого водоснабжения рассмотрены [1–7] и многих др.

На территории Соликамского городского округа в Пермском крае одним из видов недропользования является нефтедобыча. Район исследования ограничен участком недр, предоставленным в пользование для разведки и добычи углеводородного сырья. В северной части района работ расположена зона санитарной охраны третьего пояса водозабора «Усолка» [8], что накладывает особые требования к недропользованию и охране окружающей среды. В пределах района исследования, из-за указанных выше особенностей, шешминская свита является единственным возможным источником для организации водоснабжения объектов нефтедобычи. В связи с этим было необходимо получить данные о составе, строении, мощности шешминских отложений и их водообильности. Необходимо отметить, что опубликованных и фондовых данных о водообильности шешминского водоносного комплекса в пределах района работ недостаточно, потому что все основные гидрогеологические изыскания для целей водоснабжения населения и промышленных объектов не только по району работ, но и в целом по территории Березниковско-Соликамского промышленного узла, были направлены на изучение подземных вод верхнесоликамского горизонта. В пределах Верхнекамья только два водозабора разрабатывают подземные воды шешминского во-

доносного комплекса: производственно-технический водозабор (эксплуатирует совместно шешминский и верхнесоликамский горизонты), расположенный в 34 км юго-западнее от участка исследований, и хозяйственно-питьевой водозабор, расположенный в 22 км от участка.

Целью работы являлось изучение геологического строения и условий залегания подземных вод шешминского водоносного комплекса для обеспечения производственно-технологического водоснабжения объектов нефтедобычи.

Объектами исследования являлись горные породы шешминской свиты, а также подземные воды шешминского терригенного комплекса.

Основными задачами исследования являлись:

- изучение условий залегания, мощности, литологического состава шешминских отложений;
- выделение водообильных участков и водоносных интервалов;
- определение границ природной гидрогеологической модели.

Общие сведения о районе работ

Район исследования расположен в северной части Пермского края на территории Соликамского городского округа (рис. 1).

В геоморфологическом плане район относится к восточной окраине Восточно-Европейской равнины и по особенностям рельефа представляет собой равнину, сформированную воздействием денудационных, эрозионных и аккумулятивных процессов. Плоские, слабоволнистые водораздельные равнины постепенно повышаются с запада на восток. Они довольно интенсивно расчленены долинами малых рек, ручьев и оврагов.

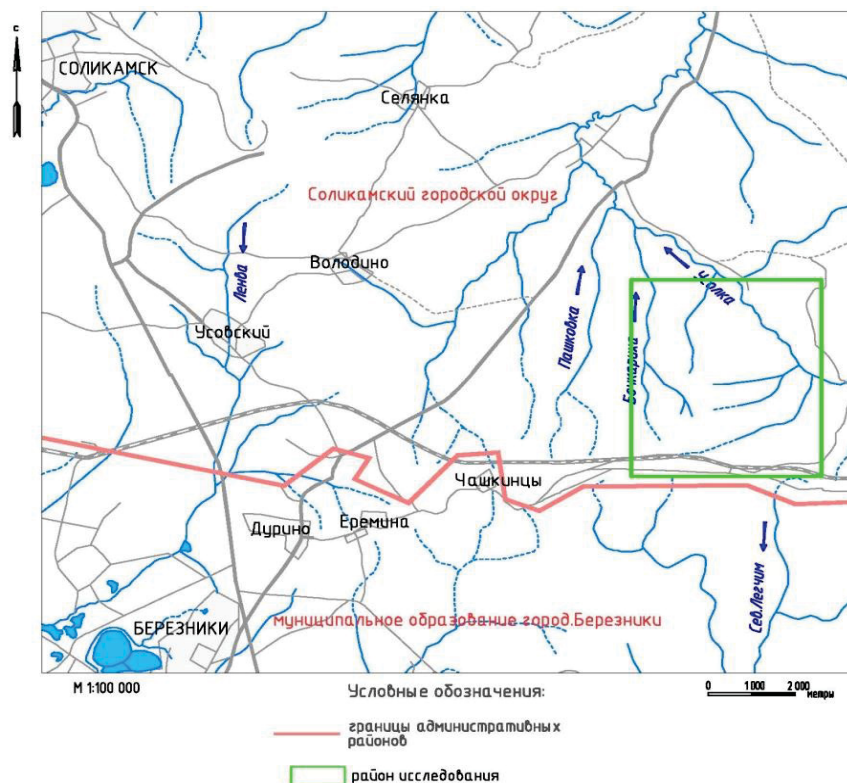


Рис. 1. Обзорная карта-схема района исследования

Fig. 1. Location map of the study area

Абсолютные отметки рельефа варьируют в пределах 160–257 м. Склоны долин малых рек и водораздельные площади покрыты чехлом элювиально-делювиальных отложений, задернованы и залесены.

Речная сеть района является составной частью бассейна р. Камы. В северо-восточной части района основным водотоком является р. Усолка с притоками рр. Бочкариха, Бол. и Мал. Аленки. Южнее района работ располагается бассейн р. Зырянки с притоками рр. Извер и Легчим.

В тектоническом отношении район работ приурочен к Бельскому поднятию, расположенному в центральной части Соликамской депрессии Предуральского краевого прогиба. В пределах описываемой площади строение осадочного чехла осложнено Дуринским прогибом, который является весьма своеобразной структурой широтного простирания (около 35 км). Для нее характерна большая мощность шешминской свиты (более 500 м), врезанной непосредственно в соленосные отложения березниковской свиты нижней перми, крутые, обращенные к оси структуры, наклоны толщ. Шешминская свита представлена полевошпатовыми песчаниками с карбонатным или глинисто-карбонатным цементом, алевролитами, красновато-бурыми глинами; реже, главным образом в нижней части разреза, встречаются известняки и мергели.

Методика исследования и фактический материал

На первом этапе исследования были проанализированы и обобщены материалы ранее проведенных работ на изучаемой территории. Большая часть геологических исследований за последний период связана с основными полезными ископаемыми (нефть, калийные соли и т. д.), а также с инженерно-геологическими изысканиями для строительства объектов промышленности гг. Березники и Соликамск. В результате были получены предварительные данные о геолого-гидрогеологических условиях района работ.

В дальнейшем проводились полевые маршрутные гидрогеологические обследования изучаемой площади с целью гидрогеологического картирования участка работ и прилегающей территории в масштабе 1:25000, на участках детализации – 1:10000. Маршруты проводились с описанием элементов рельефа, склоновых процессов, блоковых сдвижений, контакта шешминских и верхнесоликамских пород, водопроявлений (родников, мочажин и т. д.). При обследовании использовались топопланшеты и предварительно дешифрованные космоснимки масштаба 1:25000. Объем пеших маршрутов составил 21 км.

Для уточнения геологического разреза были пробурены гидрогеологические скважины: две по-

исковых (№ 14087/1, 14087/2) глубиной по 100 м, одна оценочная (№ 14087/3) глубиной 110 м, одна поисково-оценочная (№ 16002/1) глубиной 140 м и одна поисково-оценочная (№ 16002/2) глубиной 55 м.

Расположение поисковых скважин № 14087/1 и 14087/2 определялось требованием водопотребителя разместить их на расстоянии не более 0,5 км от объектов нефтепромысла. Помимо этого, учитывались наиболее водообильные участки, определенные по результатам маршрутного гидрогеологического обследования. Скважина № 14087/1 была пробурена непосредственно на нефтепромысле, скважина № 14087/2 расположена в 600 м севернее скважины № 14087/1, в верховье долины р. Безымянный ручей. Глубина исследований определялась результатами бурения и опробования наблюдательных скважин на нефтепромысле и составила 100 м.

Скважина № 14087/3 глубиной 110 м была пробурена в верховье р. Безымянный ручей, в 13,5 м юго-восточнее скважины № 14087/2, бурение и откачка из которой определили перспективность выбранного участка.

По данным бурения скважин и откачки в скважинах № 14087/2 и 14087/3 предусматривалось бурение на перспективном участке водообильной зоны двух ярусных гидрогеологических скважин (№ 16002/1 и № 16002/2) глубиной 140 и 55 м соответственно. Необходимость бурения двух отдельных скважин обусловлена опытом и результатами ранее проведенных поисково-оценочных работ, а именно: наличием двух различных гидродинамических интервалов в разрезе шешминского комплекса – 0–70 и 70–110 м. Бурение скважин проводилось в нижнем течении р. Безымянный ручей на расстоянии 3 м друг от друга, на участке предполагаемой водообильной зоны, в 0,45 км выше родника № 1. Столь близкое расположение скважин обусловлено необходимостью оценить степень гидравлической связи различных гидродинамических интервалов.

Для качественной оценки условий залегания подземных вод шешминских отложений проведены опытно-фильтрационные работы, включающие в себя пробные и опытные одиночные откачки центробежными погружными насосами в меженный и паводковый период в соответствии с ГОСТ 23278-2014 [9]. Откачки были проведены с постоянными дебитами в условиях неустановившейся фильтрации, т. е. при непрерывном снижении уровня подземных вод, и заключались в измерении дебита и динамического уровня. Продолжительность пробных откачек из скважин составила: № 14087/1 – 1,6 сут., № 14087/2 – 3,1 сут. (интервал 35–70 м), 3,75 сут. (интервал 75–100 м), № 16002/2 – 3 сут. Продолжительность опытных откачек из скважин

составила: № 14087/3 – 7,1 сут., № 16002/1 – 2 откачки по 7 сут. (март, июнь). При проведении опытных откачек в скважине № 14087/3 скважина № 14087/2 использовалась в качестве наблюдательной. При проведении опытно-фильтрационных работ в скважине № 16002/1 скважина № 16002/2 использовалась в качестве наблюдательной. По окончании откачек в скважинах были проведены наблюдения за восстановлением уровня продолжительностью до 3 суток. Представленный фактический материал является частью большого комплекса поисково-оценочных работ, выполненных для организации производственно-технологического водоснабжения [10].

Результаты исследования и обсуждение **Анализ фондовых и архивных материалов**

Для настоящего исследования интерес представляют фондовые и архивные материалы, которые имеют наибольшее значение для понимания особенностей гидрогеологических условий исследуемой территории.

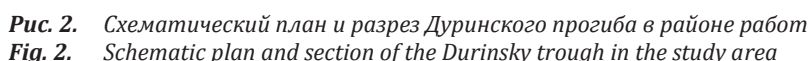
Первой и наиболее полной сводкой о гидрогеологическом строении изучаемого района была съемка масштаба 1:200000 листа О-40-IV [11]. Дано детальное описание гидростратиграфических подразделений, выделены водообильные зоны, установлена мощность зоны пресных (кондиционных) вод, количественно оценены естественные ресурсы подземных вод, т. е. созданы предпосылки для выбора участков постановки поисково-разведочных работ на подземные воды для целей водоснабжения.

Особо следует указать на значение региональных гидрогеологических работ по территории Пермского края, Камско-Вятского артезианского бассейна, направленных на изучение ресурсного потенциала водоносных горизонтов и комплексов, оценки обеспеченности населения ресурсами подземных вод того или иного района. В статье [12] отмечается особое значение подземных вод в водоснабжении населения и объектов промышленности Пермской области.

Последней сводкой по геологическому картированию района исследования следует считать геологическую карту масштаба 1:50000 Верхнекамской площади [13]. В результате создан комплект карт, позволяющих прогнозировать геологическую обстановку надсоляной толщи в условиях эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС). В работах [14, 15] приводятся данные о природе, динамике, строении Дуринского прогиба. Доказано, что соляной структурный подъярус оказывает влияние на строение надсолевой толщи, а неотектоника последней определяется галогенезисом и субэрозией солей.

Основная информация последних лет по гидрогеологическим условиям залегания подземных вод по описываемому участку работ получена при переоценке запасов Усольского месторождения подземных вод. В работе [21] обоснована возможность разработки нефтяных месторождений и эксплуатации Усольского месторождения питьевых подземных вод. Результаты ранее проведенных работ указывают на весьма сложные гидрогеологические условия залегания и фильтрации подземных вод шешминского комплекса в пределах Дуринского

Основное внимание при обследовании территории уделялось геоморфологии долин рек и ручьев, водности водотоков и выявлению естественных выходов подземных вод. Такими водотоками являются рр. Большая и Малая Аленка и безымянный северный приток р. Усолки (далее р. Безымянный ручей), р. Полуденный лог, р. Бочкариха.



Геоморфологически блоковое строение массива проявляется в параллельности речных долин (верховья р. Бол. Аленки, Мал. Аленки с притоком, Безымянный ручей). При маршрутном обследовании при слабой гидрогеологической обнаженности на блоковый характер строения массива косвенно указывают сухие лога с ассиметричным сечением, участки концентрированной разгрузки подземных вод. Таким участком концентрированной разгрузки подземных вод является участок в долине р. Безымянный ручей на пересечении основной долины и левого сухого лога.

На левом склоне долины р. Безымянный ручей, приблизительно в 8 м от русла и с превышением $\approx 1,5$ м от уреза реки, расположен нисходящий родник № 1 с дебитом от 0,7 л/с (март, межень) до 3,5 л/с (май, паводок).

Выход родника задернован, визуально отмечаются не менее трех выходов, в русле мелкий щебень и галька песчаников и алевролитов, в основании четко фиксируются серые, зеленовато-серые коренные аргиллитоподобные глины (P_{1ss}). Родник включен в систему режимных наблюдений, в связи с чем каптирован трубой ≈ 3 м ниже выхода и привязан GPS-станцией с определением абсолютной отметки 155,9 м (рис. 3).

В процессе обследования долины р. Полуденный Лог на левом коренном склоне долины выявлены три родника (№ 2, № 3 и № 4). Родники расположены на протяжении около 200 м по долине, на разных гипсометрических уровнях от уреза воды: от 0,1 м (№ 2) до 4 м (№ 3 и № 4). Дебиты родников: № 2 – 0,1 л/сек, № 3 – 0,4 л/сек, № 4 – 0,25 л/сек. По всей вероятности, выявленная разгрузка подземных вод и режимный родник № 1 дренируют единый блок гор-

ного массива в шешминских отложениях. Также можно предположить наличие здесь водообильной зоны, связанной с благоприятными условиями питания и разгрузки подземных вод.

При обследовании долины р. Бочкарихи был обнаружен родник № 5. Родник № 5 нисходящий, расположен в 5 м от русла и на высоте до 2,5 м выше уреза воды, в основании чашеобразного понижения, дебит 0,25–0,3 л/сек. Выход сильно задернован, в русле родника – дресва красно-коричневого аргиллита и серого алевролита. Результаты обследования подтвердили вывод о блоковом геологическом строении изучаемой территории. Двусторонняя разгрузка подземных вод в долинах рр. Безымянный ручей и Полуденный Лог указывает на наличие здесь водообильной зоны, т. е. перспективного участка для бурения поисково-оценочных скважин.

По данным, полученным в результате анализа материалов и маршрутного гидрогеологического исследования, составлена предварительная схематическая гидрогеологическая карта района работ, на которую нанесены поисковые и оценочные скважины, намеченные к бурению, а также архивные скважины.

По данным маршрутных наблюдений предполагалось наличие гидравлической связи между грунтовыми водами и нижележащими водоносными горизонтами. При проведении опытно-фильтрационных работ в скважинах № 16002/1 и № 16002/2 измерялся дебит родника № 1. Изменения дебита зафиксировано не было, что позволяет сделать вывод об отсутствии гидравлической связи между грунтовыми водами и нижележащими водоносными интервалами.



а/а



б/б

Рис. 3. Родник № 1: а) каптаж родника; б) естественный выход
Fig. 3. Well spring no. 1: а) capping a well spring; б) natural spring

Бурение скважин и опытно-фильтрационные работы

Большая часть скважин пробурена в зоне повышенной водообильности, определенной по результатам маршрутного гидрогеологического обследования. Скважина № 14087 /1 была пробурена в непосредственной близости к объектам нефтедобычи, в связи с требованием недропользователя. В скважине № 14087/1 до глубины 100 м вскрыт исключительно глинистый разрез шешминских отложений с весьма слабыми водопоявлениями в процессе проходки.

Скважина № 14087/2 (поисковая) глубиной 100 м пробурена на склоне лога, в верховьях долины р. Безымянный ручей. По результатам бурения и откачки поисковой скважины № 14087/2 в 13,5 м юго-восточнее пробурена дополнительная оценочная скважина № 14087/3 глубиной 110 м.

В нижнем течении р. Безымянный ручей на расстоянии 0,45 км от родника № 1 были пробурены скважины № 16002/1 глубиной 140 м и № 16002/2 глубиной 55 м. Столь близкое расположение скважин обусловлено необходимостью оценить степень гидравлической связи различных гидродинамических интервалов – 35–55 и 90–140 м.

Результаты бурения скважин показаны на геолого-технических разрезах (рис. 4). В связи с тем, что разрезы скважин № 14087/2 и № 14087/3, а также скважин № 16002/1 и № 16002/2 идентичны, показаны наиболее глубокие из них – № 14087/3 и № 16002/1.

В скважинах проведены пробные и опытные откачки с постоянными дебитами в условиях неуставившейся фильтрации, т. е. при непрерывном снижении уровня подземных вод. На рис. 5–10 приведены логарифмические графики пробных и опытных откачек из гидрогеологических скважин.

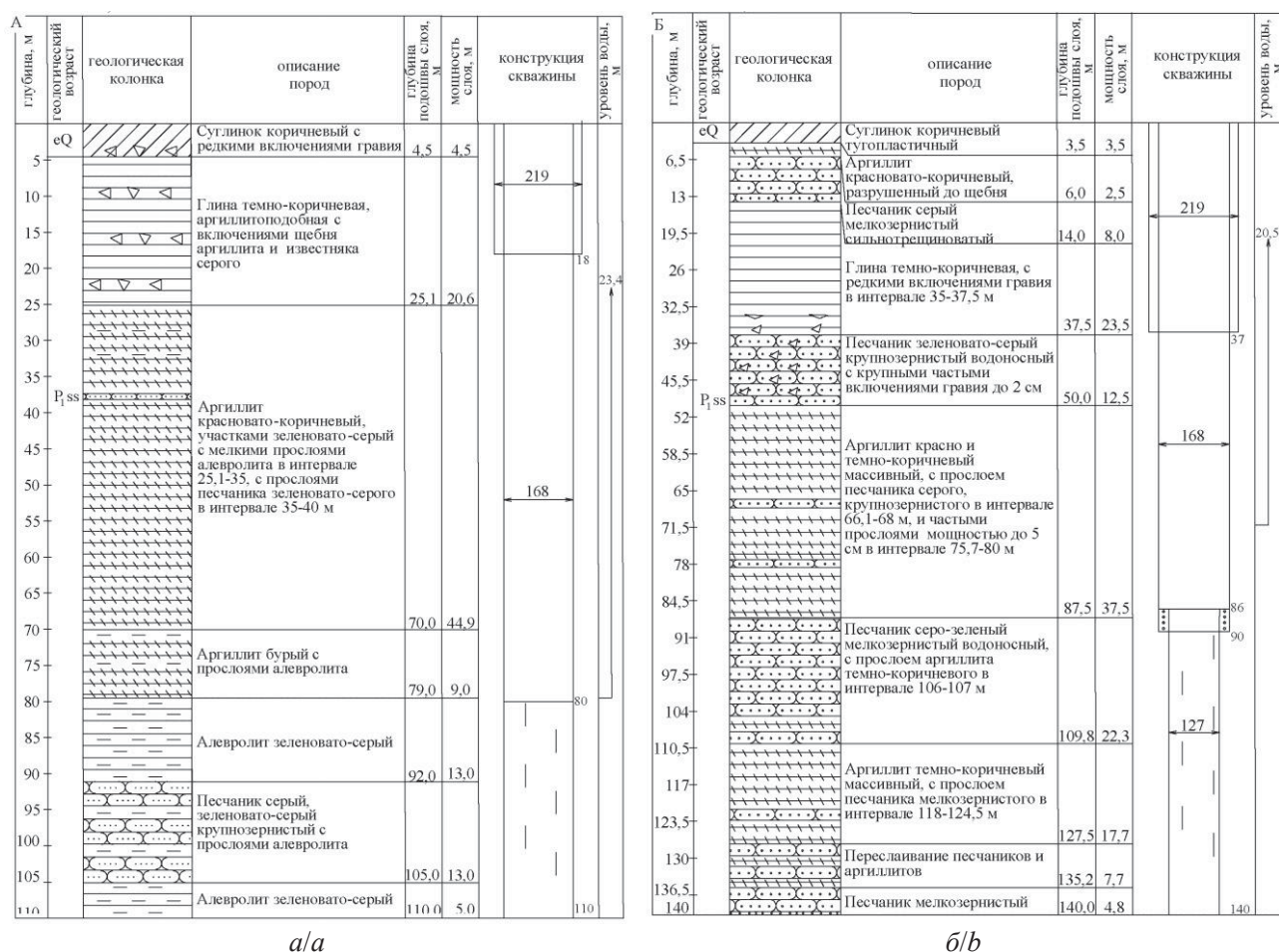


Рис. 4. Геолого-технические разрезы скважин: а) скважина № 14087/3; б) скважина № 16002/1

Fig. 4. Geological and technical well sections: a) well no. 14087/3; b) well no. 16002/1

Полулогарифмическая зависимость $S=f(lgt)$

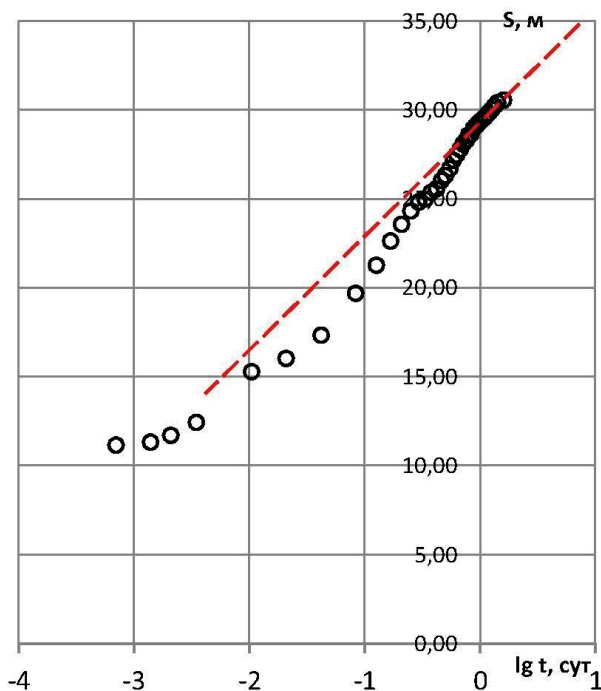


Рис. 5. Логарифмический график откачки из скважины № 14087/1

Fig. 5. Logarithmic graph of pumping from well no. 14087/1

Полулогарифмическая зависимость $S=f(lgt)$
(инт. 70–100 м)

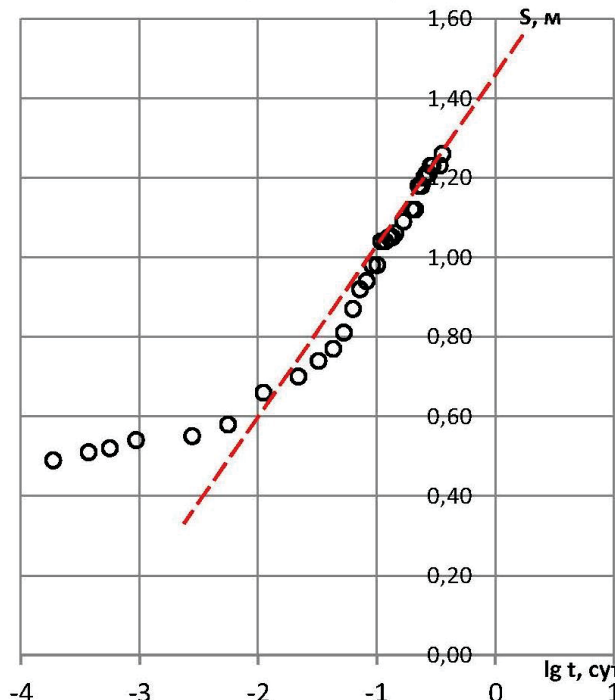


Рис. 7. Логарифмический график откачки из скважины № 14087/2 (интервал 70–100 м)

Fig. 7. Logarithmic graph of pumping from well no. 14087/2 (interval of 70–100 m)

Полулогарифмическая зависимость $S=f(lgt)$
(инт. 35–70 м)

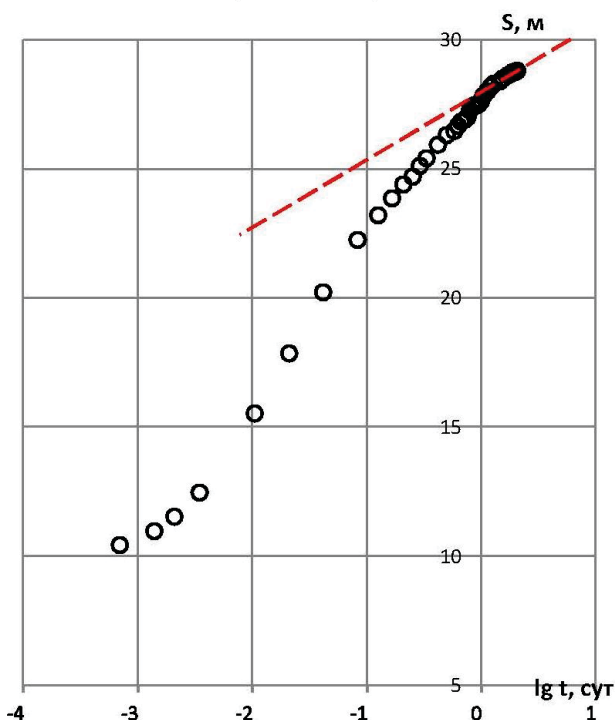
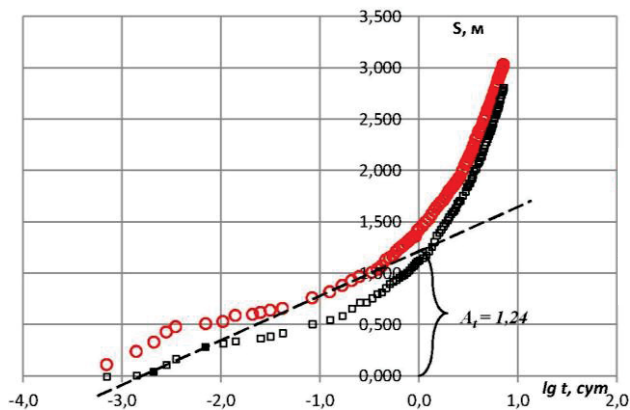


Рис. 6. Логарифмический график откачки из скважины № 14087/2 (интервал 35–70 м)

Fig. 6. Logarithmic graph of pumping from well no. 14087/2 (interval of 35–70 m)

Полулогарифмическая зависимость $S = f(lgt)$



○ Сква. № 14087/3 (возмущающая)

□ Сква. № 14087/2 (наблюдательная)

Рис. 8. Логарифмический график откачки из скважины № 14087/3

Fig. 8. Logarithmic graph of pumping from well no. 14087/3

Основные результаты откачек скважин представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные результаты откачек скважин

Table 1. Main results of well pumping

№ скважины Well no.	Интервал опробования Sampling interval	Глубина появ- ления воды Depth of water appearance	Статиче- ский уро- вень Static level	Понижения Decreases	Статический уровень, а.о. Static level, a.h.	Дебит, л/с Flow rate, l/s	Удельный дебит, л/с Specific flow rate, l/s
	м/м						
14087/1	35,0–100,0	34,8	7,99	30,6	199 м	0,36	0,012
14087/2	35,0–70,0	25,1	9,88	28,8	197,9 м	0,7	0,024
14087/2	70,0–100,0	79,0	20,99	1,92	186,8 м	3,16	1,646
14087/3	80,0–110,0	79,0	22,41	3,03	185,58 м	4,05	1,337
16002/1 (межень/low water)	90,0–140,0	76	20,5	1,14	159,0 м	4,5	3,9
16002/1 (паводок/high water)	90,0–140,0	76	18,9	1,33	160,6 м	5,4	4,1
16002/2	35,0–55,0	37,5	21,1	0,82	158,4 м	5,0	6,1

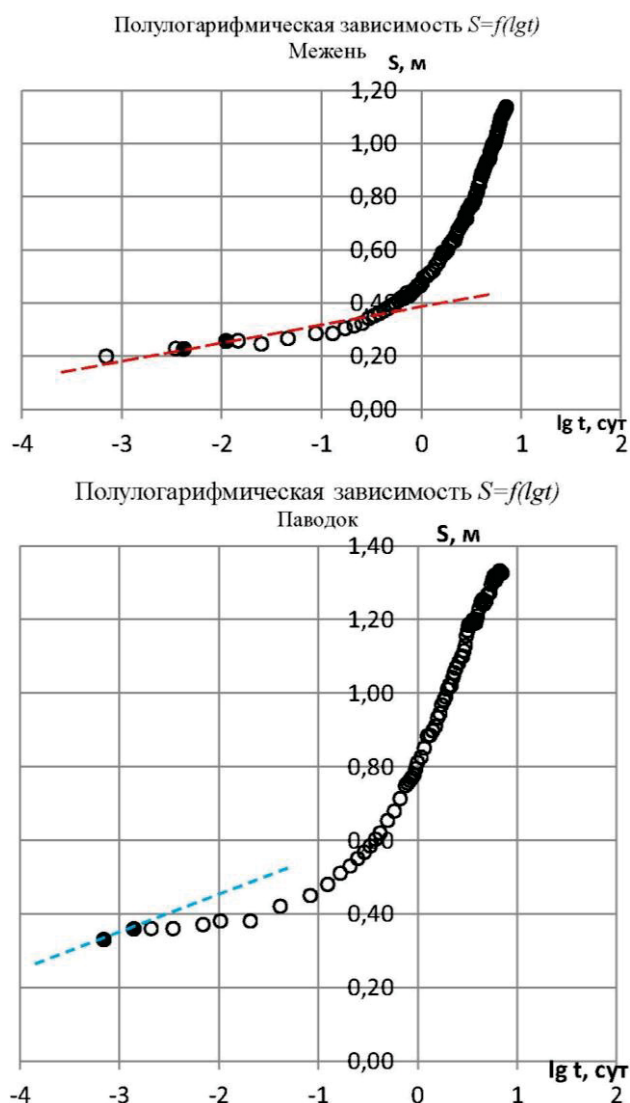


Рис. 9. Логарифмический график откачки из скважины № 16002/1

Fig. 9. Logarithmic graph of pumping from well no. 16002/1

Для характеристики гидрогеологических условий изучаемого участка наиболее представитель-

ными являются графики опытных откачек из скважин № 14087/3 и № 16002/1 продолжительностью 7 суток и более. Однако снижение уровня от времени на протяжении всех откачек носило нелинейный характер и не подчинялось полулогарифмической зависимости снижения уровня от времени. Такая конфигурация графиков позволяет судить о наличии границ II рода [22]. Кроме этого, граничные условия II рода водоносного комплекса подтверждаются данными бурения нефтяных и солеразведочных скважин, а также поисковых и оценочных водозаборных скважин Усольского месторождения питьевых вод.

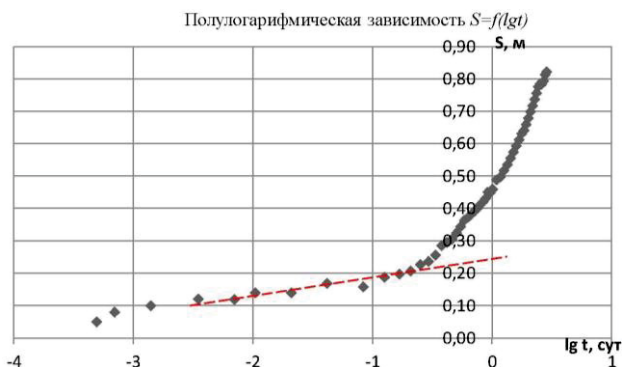


Рис. 10. Логарифмический график откачки из скважины № 16002/2

Fig. 10. Logarithmic graph of pumping from well no. 16002/2

При проведении откачки из скважины № 16002/1 (интервал 90–140 м) скважина № 16002/2 (интервал 35–55 м) использовалась в качестве наблюдательной. Скважины располагались на расстоянии 3 м друг от друга. По итогам опытно-фильтрационных работ был сделан вывод об отсутствии гидравлической связи между данными водоносными пластами, т. к. откачка из скважины № 16002/1 никаким образом не повлияла на уровень в наблюдательной скважине.

Как было отмечено ранее, откачки проведены в условиях неустановившейся фильтрации, что объясняется структурными особенностями залегания водоносного горизонта – наличие граничных условий II рода. В то же время основные методы обработки данных откачек скважин базируются на установившейся фильтрации. В отдельных случаях, при пуске откачек, когда влияние границ полосообразного пласта еще не прослеживается, использование таких методов вполне допустимо, но с учетом определенных погрешностей. Следует отметить, что в условиях неустановившегося движения (постоянного снижения уровня при откачке) определение параметров по графикам временного прослеживания возможно лишь по начальному периоду откачки, когда влиянием границ полосообразного пласта еще можно пренебречь.

Наиболее корректные результаты получаются при обработке данных графоаналитическим методом (методом Джейкоба). При обработке данных одиночных откачек и восстановления уровня используется метод временного прослеживания.

Основными гидродинамическими параметрами, определяемыми по данным одиночных откачек (восстановления уровня), являются коэффициент водопроводимости (km), коэффициент фильтрации (k), коэффициент пьезопроводности (a).

Метод временного прослеживания снижения и восстановления уровня основан на логарифмической аппроксимации уравнения Тейса (1):

$$S = \frac{0,183Q}{km} \lg \frac{2,25at}{r^2}, \quad (1)$$

где S – понижение уровня при откачке (м); Q – дебит скважины, полученный при откачке (м³/сут); km – водопроводимость (м²/сут); a – коэффициент пьезопроводности (м²/сут); t – продолжительность откачки (сут.); r – радиус скважины (м).

Приведенная формула записывается в виде уравнения прямой в полулогарифмической зависимости $S=f(lgt)$ (2):

$$S = A_t + C_t \lg t. \quad (2)$$

Метод заключается в определении углового коэффициента C_t (3)

$$C_t = \frac{S_2 - S_1}{\lg t_2 - \lg t_1}, \quad (3)$$

где S_1 и S_2 – понижение уровня при откачке (м) на соответствующий момент времени t_1 и t_2 (сут).

Водопроводимость пласта определяется по формуле (4):

$$km = \frac{0,183Q}{C_t}. \quad (4)$$

При обработке результатов восстановления уровня подземных вод методом Джейкоба целесообразно учитывать продолжительность предшествующей откачки (T) и в графических построениях использовать значение повышения уровня (S^*); зависимость при этом принимает вид (5):

$$S^* = f(\lg t / T + t). \quad (5)$$

Кроме водопроводимости метод временного прослеживания позволяет определять коэффициент пьезопроводности по формуле (6) для откачки из скважины № 14087/3 (интервал 80–110 м):

$$\lg a = 2 \lg r - 0,35 + \frac{A_t}{C_t}, \quad (6)$$

где a – коэффициент пьезопроводности (м²/сут); r – расстояние от возмущающей до наблюдательной скважины (13,6 м); A_t – начальная ордината временного графика прослеживания (рис. 8 $A_t=1,24$); C_t – угловой коэффициент временного графика прослеживания ($C_t=0,478$).

$$\lg a = 2 \times \lg 13,6 - 0,35 + \frac{1,24}{0,478} =$$

$$= 2,267 - 0,35 + 2,594 = 4,51.$$

Отсюда $a=32450$, или $\approx 3,25 \times 10^4$ м²/сут.

Результаты расчеты гидродинамических параметров представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчета гидродинамических параметров

Table 2. Results of calculation of hydrodynamic parameters

№ скважины Well no.	Дебит, л/с Flow rate, l/s	Мощность водоносного пласта, м Aquifer thickness, m	Коэффициент водопроводимости, м ² /сут. Transmissibility coefficient, m ² /day	Коэффициент фильтрации, м/сут. Filtration coefficient, m/day
14087/1	0,36	65	0,8	0,01
14087/2 (35–70 м)	0,7	35	2,6	0,07
14087/2 (70–100 м)	3,16	30	146	4,9
14087/3	4,05	30	134	4,5
16002/1 (межень/low water)	4,5	50	1029	20,6
16002/1 (паводок/high water)	5,4	50	858	17,6
16002/2	5,0	20	1333	66,7

Водопроницаемость верхнего интервала шешминских отложений глинисто-аргиллитовой почвы изменяется от 0,8 м²/сут. в скважине № 14087/1 до 2,6 м²/сут. в скважине № 14087/2 (интервал 35–70 м), а коэффициенты фильтрации изменяются от 0,01 до 0,07 м/сут.

Водопроницаемость пласта песчаников, вскрытых скважинами № 14087/2 (70–100 м) и № 14087/3, меняется от 134 до 146 м²/сут., а коэффициенты фильтрации изменяются от 4,5 до 4,9 м/сут.

Водопроницаемость пласта песчаников, вскрытых скважиной № 16002/2, составила 1333 м²/сут., а коэффициент фильтрации – 66,7 м/сут.

Водопроницаемость пласта песчаников, вскрытых скважиной № 16002/1, изменялась от 858 до 1029 м²/сут., а коэффициенты фильтрации изменяются от 17,6 до 20,6 м/сут.

Анализируя данные бурения поисковых и оценочных скважин, фондовых и архивных материалов, результат опытно-фильтрационных работ, можно сделать вывод, что в пределах района исследования имеется два продуктивных водоносных пласта, приуроченных к одному водоносному комплексу и гидравлически изолированных друг от друга 40 м толщей водоупорных пород. В плане водоносный комплекс имеет граничные условия

II рода. В результате полученных данных была построена схематическая гидрогеологическая карта и гидрогеологические разрезы исследуемой территории (рис. 11, 12).

В результате проведения всего комплекса работ были получены данные о геолого-гидрогеологическом строении района работ, приуроченного к Бельскому поднятию, осложненному Дуринским прогибом. В пределах района работ развиты отложения четвертичного и пермского возраста.

Четвертичные элювиально-делювиальные отложения залегают повсеместно и представлены покровным слоем суглинков мощностью 3,5 м. Отложения слабопроницаемы, в них сезонно и локально распространены грунтовые воды типа «верховодки».

Пермские породы представлены терригенной толщей шешминской свиты. В структуре Дуринского прогиба шешминские породы являются основными заполняющими его отложениями, которые в основании залегают непосредственно на осадках соленосной толщи (березниковской свиты нижней перми), на бортах контактируют с породами соликамской свиты. Мощность шешминской свиты в пределах района исследования изменяется от 100–150 до 300 и более метров. Углы наклона на крыльях составляют от 10–15° до 60°.

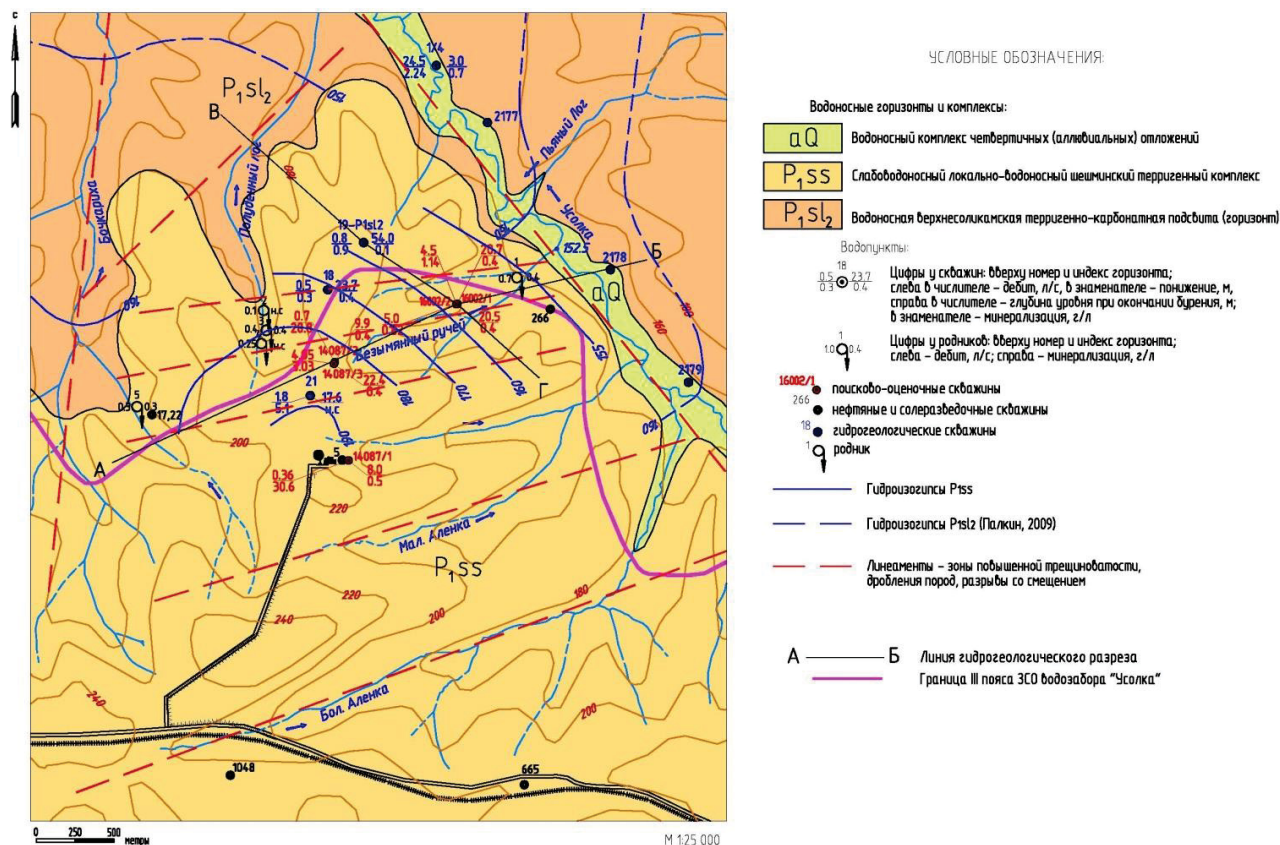


Рис. 11. Схематическая гидрогеологическая карта исследуемой области
Fig. 11. Schematic hydrogeological map of the study area

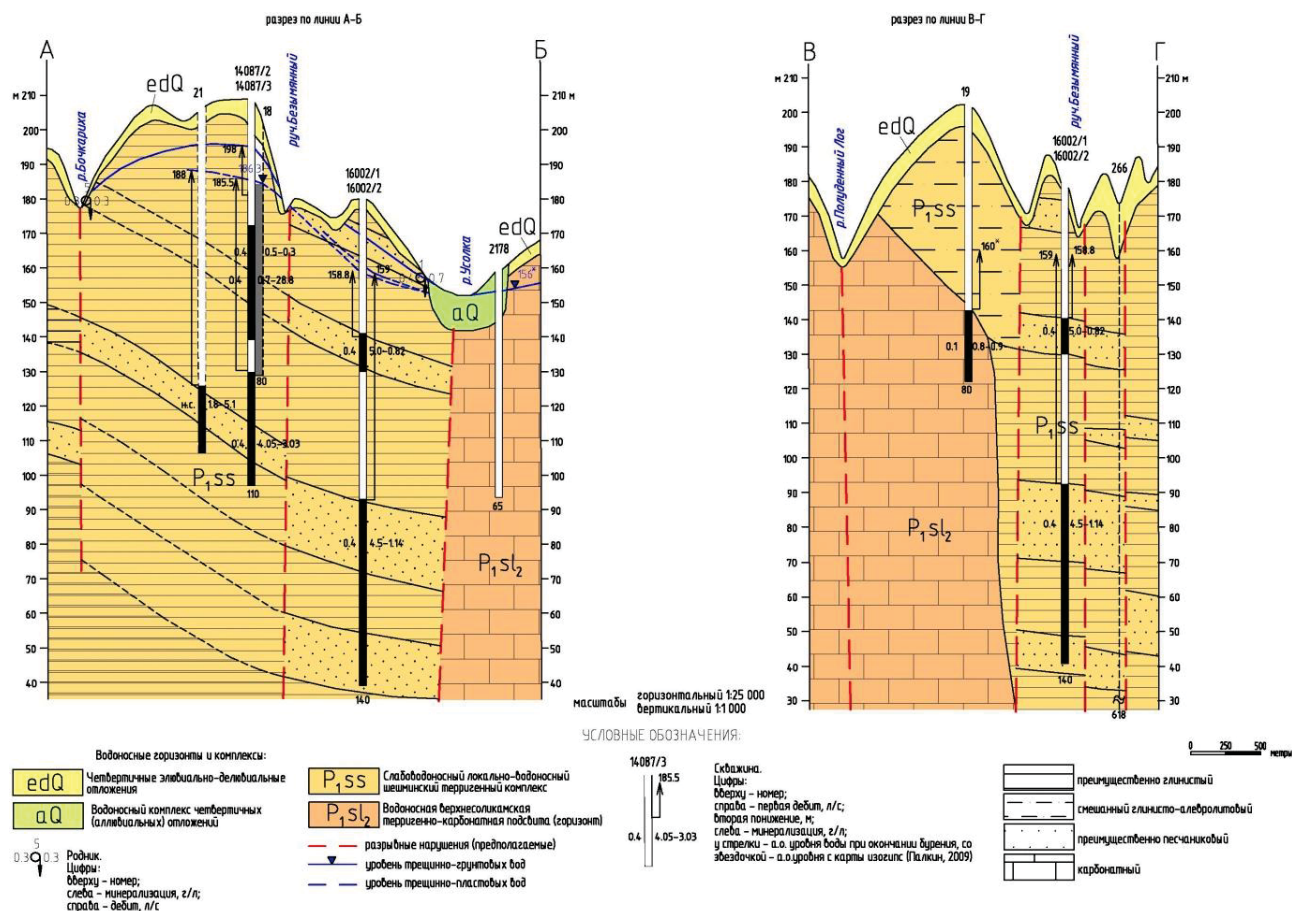


Рис. 12. Гидрогеологические разрезы
Fig. 12. Hydrogeological cross section

По данным поисково-оценочных скважин шешминские породы в верхней части представлены выветрелыми аргиллитами и песчаниками и пестроцветными аргиллитоподобными глинами. К слою выветрелых песчаников приурочены трещинно-грунтовые подземные воды, которые разгружаются посредством родников в основании склонов эрозионных врезов долин. Мощность верхней части свиты до 35 м.

Ниже слоя глин залегает пачка крупнозернистых песчаников мощностью 12,5–13 м. К ней приурочены слабо напорные подземные воды, выявленные при бурении и откачке из скважины № 14087/3. Подземные воды залегают в виде пласта, ориентированного в субширотном направлении. По падению пород пласт ограничен каскадом разрывных нарушений по склону Дуринского прогиба. Вдоль южной границы пласта контакт проходит по водоупорным глинам и аргиллитам.

Ниже по разрезу залегают подземные воды, приуроченные к пачкам мелкозернистых песчаников. Эти подземные воды вскрыты скважиной № 16002/1 на глубине 87,5–140 м, наибольшая мощность верхней пачки песчаников 22,3 м. Этот водо-

носный пласт отделен от пласта, вскрытого скважиной № 14087/3, почти 40-метровой толщиной водоупорных аргиллитов. Подземные воды залегают в виде пластов с граничными условиями II рода, ориентированного субширотно, с запада на восток. По длине пласт ограничен областью распространения шешминских отложений между долинами р. Усолка и р. Бочкариха и не превышает 2,7 км.

Заключение

С целью организации производственно-технологического водоснабжения объектов нефтедобычи на разрабатываемом участке недр в Соликамском городском округе в Пермском крае выполнен комплекс работ по изучению геологического строения, условий залегания и фильтрации подземных вод шешминского водонасыщенного комплекса. Результаты исследований позволили определить мощность шешминской свиты в пределах района работ, тектонически приуроченного к Бельскому поднятию, осложненному Дуринским прогибом. Мощность шешминской свиты составила от 100–150 до 300 м и более. Определен литологический состав пород, получены данные об условиях

залеганиях подземных вод шешминского водоносного комплекса. Установлено, что в пределах Дуринского прогиба подземные воды залегают как система отдельных обособленных водоносных прослоев и блоков. Были выделены наиболее водообильные зоны. В толще слабопроницаемой шешминской свиты были обнаружены два водоносных пласта, которые приурочены к песчаникам мелкозернистым и крупнозернистым. Водоносные пла-

сты не имеют гидравлической связи и отделены друг от друга 40 м толщей водоупорных аргиллитов. Подземные воды залегают в виде пластов с граничными условиями II рода, ориентированного субширотно, с запада на восток. Результаты исследования могут быть использованы для решения вопросов водоснабжения в пределах исследуемой области и управления ресурсами подземных вод территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sixty years of global progress in managed aquifer recharge / P. Dillon, P. Stuyfzand, T. Grischek, M. Lluria, R.D.G. Pyne, R.C. Jain, J. Bear, J. Schwarz, W. Wang, E. Fernandez, C. Stefan, M. Pettenati, J. van der Gun, C. Sprenger, G. Massmann, B.R. Scanlon, J. Xanke, P. Jokela, Y. Zheng, R. Rossetto, M. Shamrukh, P. Pavelic, E. Murray, A. Ross, J.P. Bonilla Valverde, A. Palma Nava, N. Ansems, K. Posavec, K. Ha, R. Martin, M. Sapiiano // *Hydrogeology Journal*. – 2019. – Vol. 27. – P. 1–30. DOI: 10.1007/s10040-018-1841-z
2. Abdullayeva M.Y., Alizadeh Sh.N. Ways of rational use of water resources in the oil industry // *World Science*. – 2022. – Vol. 5. – № 77. DOI: 10.31435/rsglobal_ws/30092022/7868 URL: <https://rsglobal.pl/index.php/ws/article/view/2385> (дата обращения 08.06.2023).
3. Mays L.W. Groundwater resources sustainability: past, present, and future // *Water Resource Manage.* – 2013. – Vol. 27. – P. 4409–4424. DOI: 10.1007/s11269-013-0436-7
4. Impact of water withdrawals from groundwater and surface water on continental water storage variations / P. Doell, H. Hoffmann-Dobrev, F.T. Portmann, S. Siebert, A. Eicker, M. Rodell, G. Strassberg, B.R. Scanlon // *Journal of Geodynamics*. – 2012. – Vol. 59–60. – P. 143–156. DOI: 10.1016/j.jog.2011.05.001
5. Monteiro P.B., Da Silva Pereira Cabral J. J. Groundwater management in the state of Piauí (Brazil) on the climate change context // *Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB)*. – 2023. – Vol. 58. – № 1. – P. 45–58. DOI: 10.5327/Z2176-94781485
6. Ahmed M., Aqnouy M., Stitou El Messari J. Sustainability of Morocco's groundwater resources in response to natural and anthropogenic forces // *Journal of Hydrology*. – 2021. – Vol. 603. – Part A. – 126866. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126866
7. Gorelick S.M., Zheng C. Global change and the groundwater management challenge // *Water Resources Research*. – 2015. – Vol. 51. – № 5. – P. 3031–3051. DOI: 10.1002/2014wr016825.
8. Проект зон санитарной охраны водозабора «Усолка». – Пермь: ООО НИПППД Недр, 2010. – 132 с.
9. ГОСТ 23278-2014. Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости. – М.: Стандартинформ, 2015. – 35 с.
10. Васильев А.П. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на подземные воды для производственно-технического водоснабжения объектов II очереди Бельского нефтяного месторождения (с подсчетом запасов подземных вод на 01.07.2016 г.). – Пермь: ООО НИПППД «Недра», 2016. – 196 с.
11. Мошковский В.И., Катаев А.М., Заякин С.В. Гидрогеологическая карта СССР масштаб 1:200000, лист 0-40-IV (отчет Пермской гидрогеологической партии по результатам гидрогеологической съемки за период 1966–1968 гг.). – Пермь: ПГТП, 1968. – 627 с.
12. Аликин Э.А. Оценка использования ресурсного потенциала пресных подземных вод Пермского края // *Современные проблемы науки и образования*. – 2007. – № 1. – С. 25–29.
13. Харитонов Т.В., Обороин В.В., Беляев В.П. Отчет о геологическом доизучении масштаба 1:50000 Верхнекамской площади с общими поисками в Соликамском, Усольском и Березниковском районах Пермской области, выполненном в 1988–1992 г. – Пермь: ПГГСП «Геокарта», 1992. – 945 с.
14. Трапезников Д.Е. Палеогеографические и палеотектонические обстановки соликамской впадины в уфимское время: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Пермь, 2019. – 20 с.
15. Филатов В.В., Болотнова Л.А. Природа и динамика Дуринского прогиба // *Известия вузов. Горный журнал*. – 2016. – № 4. – С. 111–119.
16. Moore J.P., Walsh J.J. Quantitative analysis of Cenozoic faults and fractures and their impact on groundwater flow in the bedrock aquifers of Ireland // *Hydrogeology Journal*. – 2021. – Vol. 29. – P. 2613–2632. DOI: 10.1007/s10040-021-02395-z
17. Fault zones in limestones: impact on karstogenesis and groundwater flow (Lez aquifer, southern France) / V. Clauzon, S. Mayolle, V. Leonardi et al. // *Hydrogeology Journal*. – 2020. – Vol. 28. – P. 2387–2408. DOI: 10.1007/s10040-020-02189-9
18. A new concept for hard rock aquifers survey and management: individual blocks approach / K.T. Yao, O. Fouche, M-S. Oga, G. Ferriere, D. Baka // *American Journal of Scientific and Industrial Research*. – 2012. – Vol. 3. – № 4. – P. 208–220. DOI: 10.5251/ajsir.2012.3.4.208.220
19. Mabee S.B., Hardcastle K.C., Wise D.U. A method of collecting and analyzing lineaments for regional-scale fractured-bedrock aquifer studies // *Ground Water*. – 1994. – Vol. 32. – № 6. – P. 884–894.
20. Magowe M., Carr J.R. Relationship between lineaments and ground water occurrence in western Botswana // *Ground Water*. – 1999. – Vol. 37. – № 2. – P. 282–286.
21. Обоснование возможности совместной эксплуатации Усольского месторождения питьевых подземных вод и нефтяных месторождений, расположенных на его границах / Б.В. Боровский, П.В. Закутин, С.С. Палкин, С.В. Палкин // *Разведка и охрана недр*. – 2010. – № 10. – С. 17–23.
22. Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. – М.: Изд-во «Недра», 1979. – 326 с.

Информация об авторах

Максим Игоревич Ярков, гидрогеолог 1 категории, ООО НИПППД «НЕДРА», Россия, 614064, г. Пермь, ул. Льва Шатрова, 13а. maxforj@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0000-7403-1959>.

Лариса Олеговна Лейбович, кандидат технических наук, директор департамента экологии, ООО НИПППД «НЕДРА», Россия, 614064, г. Пермь, ул. Льва Шатрова, 13а. Leibovich@nedra.perm.ru

Павел Анатольевич Красильников, кандидат географических наук, доктор геолого-минералогических наук, доцент, профессор кафедры инженерной геологии и охраны недр, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15. geolnauka@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-0602-6143>.

Галина Михайловна Батракова, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29. GMbatrakova@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-4549-517X>.

Поступила в редакцию: 15.06.2023

Поступила после рецензирования: 27.10.2023

Принята к публикации: 17.01.2024

REFERENCES

1. Dillon P., Stuyfzand P., Grischek T., Lloria M., Pyne R.D.G., Jain R.C., Bear J., Schwarz J., Wang W., Fernandez E., Stefan C., Pettenati M., van der Gun J., Sprenger C., Massmann G., Scanlon B.R., Xanke J., Jokela P., Zheng Y., Rossetto R., Shamrukh M., Pavelic P., Murray E., Ross A., Bonilla Valverde J.P., Palma Nava A., Ansems N., Posavec K., Ha K., Martin R., Sapiano M. Sixty years of global progress in managed aquifer recharge. *Hydrogeology Journal*, 2019, vol. 27, pp. 1–30. DOI: 10.1007/s10040-018-1841-z
2. Abdullayeva M.Y., Alizadeh Sh.N. Ways of rational use of water resources in the oil industry. *World Science*, 2022, vol. 5, no. 77. DOI: 10.31435/rsglobal_ws/30092022/7868 Available at: <https://rsglobal.pl/index.php/ws/article/view/2385> (accessed 8 June 2023).
3. Mays L.W. Groundwater resources sustainability: past, present, and future. *Water Resource Manage*, 2013, vol. 27, pp. 4409–4424. DOI: 10.1007/s11269-013-0436-7
4. Doell P., Hoffmann-Dobrev H., Portmann F.T., Siebert S., Eicker A., Rodell M., Strassberg G., Scanlon B.R. Impact of water withdrawals from groundwater and surface water on continental water storage variations. *Journal of Geodynamics*, 2012, vol. 59–60, pp. 143–156. DOI: 10.1016/j.jog.2011.05.001
5. Monteiro P.B., Da Silva Pereira Cabral J.J. Groundwater management in the state of Piauí (Brazil) on the climate change context. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB)*, 2023, vol. 58, no. 1, pp. 45–58. DOI: 10.5327/Z2176-94781485
6. Ahmed M., Aqnouy M., Stitou El Messari J. Sustainability of Morocco's groundwater resources in response to natural and anthropogenic forces. *Journal of Hydrology*, 2021, vol. 603, part A, 126866. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126866
7. Gorelick S.M., Zheng C. Global change and the groundwater management challenge. *Water Resources Research*, 2015, vol. 51, no. 5, pp. 3031–3051. DOI: 10.1002/2014wr016825.
8. *Project of sanitary protection zones of water intake "Usolka"*. Perm, LLC NIPPPD Nedra, 2010. 132 p. (In Russ.)
9. *State Standard 23278-2014. Soils. Methods of field permeability tests*. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 35 p. (In Russ.)
10. Vasilev A.P. *Report on the results of prospecting and assessment work for groundwater for industrial and technical water supply of the II stage facilities of the Belskoe oil field (with the calculation of groundwater reserves as of 01.07.2016)*. Perm, LLC NIPPPD «Nedra», 2016. 196 p. (In Russ.)
11. Moshkovskiy V.I., Kataev A.M., Zayakin S.V. *Hydrogeological map of the USSR at a scale of 1:200000, sheet 0-40-IV (report of the Perm hydrogeological party based on the results of the hydrogeological survey for the period 1966–1968)*. Perm, PGGP Publ., 1968. 627 p. (In Russ.)
12. Alikin E.A. Use estimation of soft ground water storage potential of Perm area. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2007, no. 1, pp. 25–29. (In Russ.)
13. Kharitonov T.V., Oborin V.V., Belyaev V.P. *Report on the geological exploration on scale 1:50,000 of the Verkhnekamskaya area with general searches in the Solikamsk, Usolsk and Berezники districts of the Perm region, carried out in 1988–1992*. Perm, PGGSP «Geokarta» Publ., 1992. 945 p.
14. Trapeznikov D.E. *Paleogeographic and paleotectonic settings of the Solikamsk depression in the Ufimian time*. Cand. Diss. Abstract. Perm, 2019. 20 p. (In Russ.)
15. Filatov V.V., Bolotnova L.A. Nature and dynamics of Durinsky foredeep. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2016, no. 4, pp. 111–119. (In Russ.)
16. Moore J.P., Walsh J.J. Quantitative analysis of Cenozoic faults and fractures and their impact on groundwater flow in the bedrock aquifers of Ireland. *Hydrogeology Journal*, 2021, vol. 29, pp. 2613–2632. DOI: 10.1007/s10040-021-02395-z
17. Clauzon V., Mayolle S., Leonardi V. Fault zones in limestones: impact on karstogenesis and groundwater flow (Lez aquifer, southern France). *Hydrogeology Journal*, 2020, vol. 28, pp. 2387–2408. DOI: 10.1007/s10040-020-02189-9
18. Yao K.T., Fouche O., Oga M.-S., Ferriere G., Baka D. A new concept for hard rock aquifers survey and management: individual blocks approach. *American Journal of Scientific and Industrial Research*, 2012, vol. 3, no. 4, pp. 208–220. DOI: 10.5251/ajsir.2012.3.4.208.220
19. Mabee S.B., Hardcastle K.C., Wise D.U. A method of collecting and analyzing lineaments for regional-scale fractured-bedrock aquifer studies. *Ground Water*, 1994, vol. 32, no. 6, pp 884–894.

20. Magowe M., Carr J.R. Relationship between lineaments and ground water occurrence in western Botswana. *Ground Water*, 1999, vol. 37, no. 2, pp. 282–286.
21. Borevskiy B.V., Zakutin V.P., Palkin S.S., Palkin S.V. Justification of the possibility of joint exploitation of the Usolskoe drinking groundwater deposit and the oil fields located on its borders. *Razvedka i okhrana nedr*, 2010, no. 10, pp. 17–23. (In Russ.)
22. Borevskiy B.V., Samsonov B.G., Yazvin L.S. *Methodology for determining the parameters of aquifers by pumping data*. Moscow, Nedra Publ., 1979. 326 p. (In Russ.)

Information about the authors

Maxim I. Yarkov, 1 Category Hydrogeologist, LLC NIPPPPD "NEDRA", 13a, Lev Shatrov street, Perm, 614064, Russian Federation. maxforj@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0000-7403-1959>.

Larisa O. Leibovich, Cand. Sc., Director of the Department of Ecology, LLC NIPPPPD "NEDRA", 13a, Lev Shatrov street, Perm, 614064, Russian Federation. Leibovich@nedra.perm.ru

Pavel A. Krasilnikov, Cand. Sc, Dr. Sc., Associate Professor, Professor, Perm State National Research University, 15, Bukirev street, Perm, 614068, Russian Federation. geolnauka@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-0602-6143>.

Galina M. Batrakova, Dr. Sc., Associate Professor, Professor, Perm National Research Polytechnic University, 29, Komsomolsky avenue, Perm, 614990, Russian Federation. Gmbatrakova@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-4549-517X>.

Received: 15.06.2023

Revised: 27.10.2023

Accepted: 17.01.2024