

Комплексирование геофизических методов при изучении ареала загрязнения подземных вод нефтепродуктами в пгт. Верх-Нейвинский

Екатерина Сергеевна ЗЫРЯНОВА^{1,2*}

Светлана Николаевна ЕЛОХИНА^{2**}

Александр Анатольевич ХУДЯКОВ^{2***}

¹Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

²Уральский региональный центр ГМСН – филиал ФГБУ «Гидроспецгеология», Екатеринбург, Россия

Аннотация

Цель работы. Проблема обеспечения питьевой водой населения в техногенно нагруженном Уральском регионе становится все актуальнее, в том числе вследствие аварийных ситуаций. Очевидным примером техногенной утери природных ресурсов питьевых подземных вод в Свердловской области может служить восточная часть территории пгт. Верх-Нейвинский, на которой частная жилая застройка не обеспечена централизованными источниками водоснабжения. Ситуация возникла вследствие аварийной утечки нефтепродуктов на одном из подземных элементов местного автозаправочного комплекса. С 2017 г. подземная вода стала непригодной для питья, а также применения в сельском хозяйстве. На сегодняшний день в воде присутствует сверхнормативное содержание нефтепродуктов, проявляющееся и в органолептических показателях. Работы проводились с целью изучения распределения техногенных углеводородов в подземном пространстве указанной территории с детализацией ареала их распространения для обоснования технических решений по локализации загрязнения и извлечения нефтепродуктов.

Методы. Для выбора оптимального места заложения гидрогеологических скважин в зонах предполагаемого загрязнения проведены наземные геофизические исследования методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ). Выполнены визуальные обследования стволов пробуренных скважин для оценки их технического состояния и изучение стенок скважин на наличие остаточного нефтепродукта, также проведена атмогеохимическая съемка для выявления участков с наиболее сильным проявлением газосодержания паров бензина в заглубленных помещениях.

Результаты. Комплексная интерпретация результатов электроразведки, атмогеохимической съемки, гидрогеологического опробования и видеокаротажа позволила выявить зоны предполагаемого подземного стока нефтепродуктов. Построены карты кажущихся электрических сопротивлений и геолого-электрические разрезы по профилям.

Выводы. По результатам геофизических и атмогеохимических исследований отмечена зона максимальной концентрации нефтепродуктов в воде и почвенном воздухе, выявлена зона разуплотнения, по которой, вероятно, происходит активный подземный сток в питьевой поверхностный водоем, отбита кровля гранодиоритов, разделяющая различные условия миграции техногенных углеводородов. Заданные точки заложения гидрогеологических скважин позволили создать эффективную наблюдательную сеть и визуально по видеокаротажу подтвердить места максимальной концентрации нефтепродуктов в подземных горизонтах.

Ключевые слова: вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), электропрофилеирование (ЭП), видеокаротаж, газовая съемка, загрязнение подземных вод техногенными углеводородами, гидрогеологическая скважина.

Введение

Участок загрязнения нефтепродуктами расположен в восточной части пгт. Верх-Нейвинский и приурочен к локальной площади поверхностного водосбора субмеридионального простирания.

В географическом отношении участок работ расположен на восточных склонах Среднего Урала, в верхнем течении реки Нейвы и приуроченного к ней Верх-Нейвинского водохранилища. Примерно в 15 км к западу от

✉ katrin.zyrian@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3394-078X>

** elohina.s@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8641-5439>

*** aakhud@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3129-9872>

поселка пролегает условная граница между Европой и Азией.

Климат района резко континентальный с большими колебаниями температуры воздуха внутри сезонов и достаточной степенью годового увлажнения. По данным метеостанции г. Невьянска норма годовой суммы осадков составляет 497 мм, из них 384 мм выпадает в виде жидких осадков, 113 мм приходится на твердые и смешанные. Максимальное количество осадков наблюдается в июле – 88 мм, минимальное в феврале – 17 мм.

В геоморфологическом отношении район работ приурочен к восточному склону Среднего Урала и расположен в пределах восточной части останцово-увалистой полосы, имеющей сглаженные формы рельефа и широкие водоразделы с абсолютными отметками 222,0–370,0 м БС. Общий полого-холмистый рельеф местности нарушается глубоко врезанными речными долинами. Наиболее крупная водная артерия (р. Нейва) протекает с юго-запада на северо-восток. Уровень воды на участке стока регулируется плотиной Верх-Нейвинского водохранилища.

В геологическом отношении площадка изысканий находится в зоне распространения основных и кислых интрузий Верхисетского гранитоидного массива тоналит-гранодиоритовой формации западно-верхисетского комплекса (C_1zv), представленных малокалиевыми тоналитами, диоритами, кварцевыми диоритами и гранодиоритами раннекаменноугольного возраста, разрушенными в верхней части до крупнообломочного элювия (eMZ) и перекрытыми с поверхности аллювиально-делювиальными (ложковыми) отложениями (adQ): глинами серовато-бурыми, буровато-коричневыми, песками с дресвой, щебнем, галечниками и валунами полимиктового состава (до 10 м), почвенно-растительным слоем (Q_{IV}) и насыпными грунтами (tQ). Геологическое строение района приведено согласно объяснительной записке к геологической карте Урала, лист О-41-XXV, на топооснове масштаба 1 : 200 000 (ред. М. С. Рапопорт, 2017 г.) [1].

В соответствии с картой гидрогеологического районирования территории Российской Федерации (ФГУГП «Гидроспецгеология», 2012 г.) участок работ расположен в пределах Восточно-Уральской гидрогеологической складчатой области (структура второго порядка), входящей в состав структуры первого порядка – Уральской сложной гидрогеологической складчатой области (СГСО), и характеризуется очень сложными геолого-гидрогеологическими условиями с выраженной неоднородностью фильтрационных свойств водовмещающих пород в плане и разрезе и сложностью плановых границ [2]. Для гидрогеологической складчатой области рассматриваемого района характерно развитие пресных подземных вод грунтового типа в трещинной зоне выветривания разнообразных по литологическому составу водовмещающих палеозойских пород.

С 2017 г., по словам местных жителей, из частных скважин и колодцев поселка стал появляться резкий запах бензина. В ходе обследований территории в период 2017–2019 гг., проведенных ГКУ СО «Центр экологического мониторинга и контроля», было зафиксировано значительное превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) суммарных нефтепродуктов в поверхностных и подземных водах, а также в почве.

Согласно результатам ранее выполненных исследований, периодом активного этапа формирования углеводородного загрязнения геологической среды принимается время с ноября 2016 г. по май 2018 г. [3–5]. С большой долей вероятности именно в указанный период произошли существенные утечки нефтепродуктов из подземных конструкций АЗС, расположенной по ул. 8 Марта, 57а.

По заданию Министерства природных ресурсов и экологии Свердловской области в период с 05 ноября по 02 декабря 2024 г. специалистами ФГБУ «Гидроспецгеология» (филиал «Уральский региональный центр ГМСН»), далее ФУРЦ ГМСН) проведен комплекс работ, включающий в том числе наземные геофизические работы методами ВЭЗ и ЭП на 7 профилях вкрест простирания предполагаемых тектонических нарушений, газовую съемку в 20 точках наблюдений, видеокоротаж в четырех скважинах – № 3р, 4р, 7р, 15н.

Измерения производились в границе площади загрязнения подземных вод нефтепродуктами, выделенной ранее по результатам государственного мониторинга состояния недр (ГМСН). Схема расположения геофизических профилей, наблюдательных скважин и точек опробования газовой съемки приведена на карте фактического материала (рис. 1).

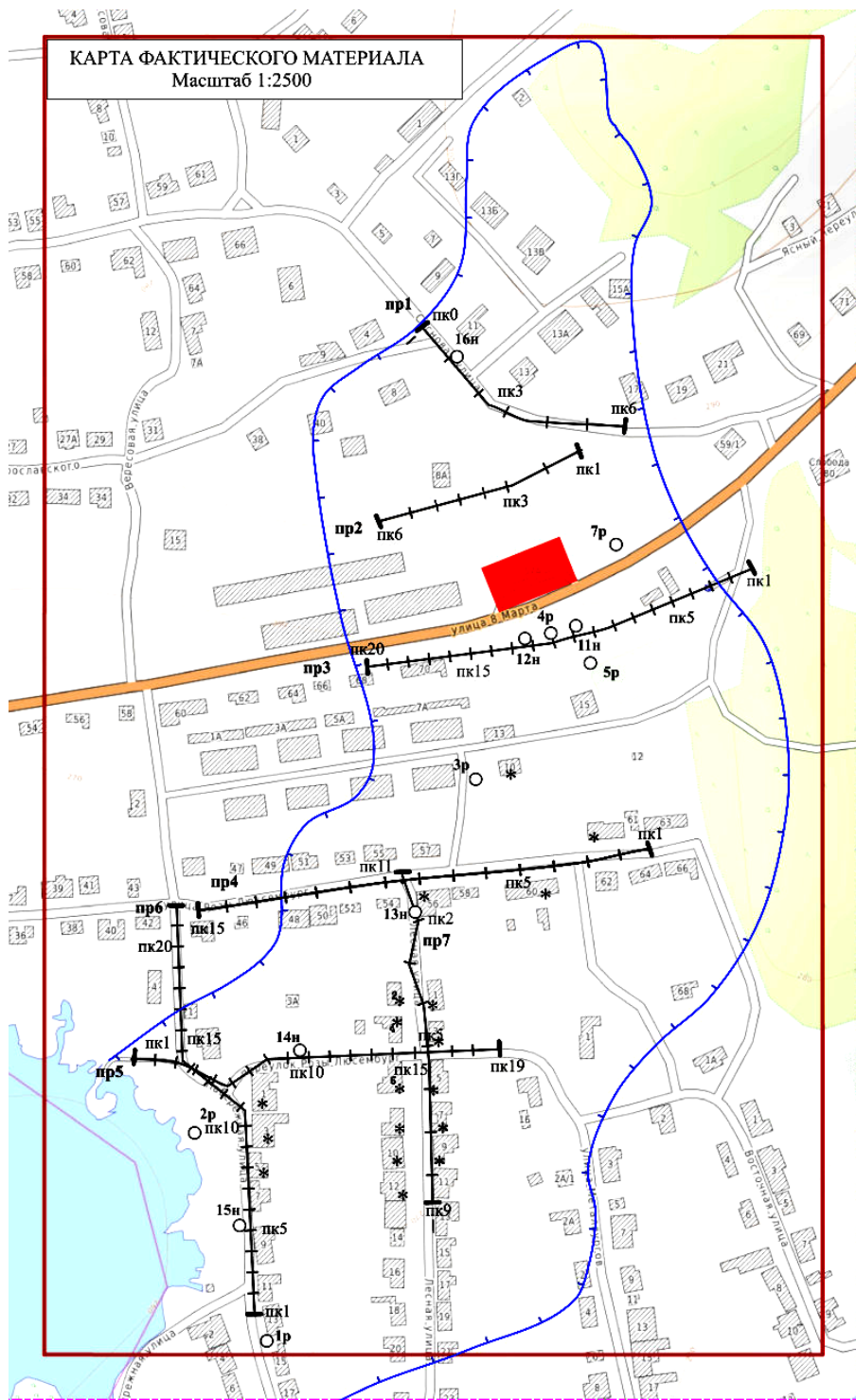
Методика наблюдений

В методике работ реализовано комплексирование наземных электроразведочных исследований ВЭЗ, геохимической съемки, опробования подземных вод и видеокоротажа стволов наблюдательных скважин. При выборе методики учитывался опыт как отечественных [6–8], так и зарубежных [9–11] исследований загрязнения подземных вод нефтепродуктами.

Перед проведением наземных геофизических исследований производится вынос в натуру начальных, центральных и конечных точек проектного положения профилей. Замеры географических координат выполнялись профессиональным спутниковым геодезическим GNSS-приемником EFT M4 GNSS. Точки геофизических наблюдений отмечаются на местности.

Интрузивные горные породы обладают высоким УЭС около 1000–10 000 Ом · м, при этом часто хорошо расланцованы и в верхней части разреза имеют развитую кору выветривания. Четвертичные отложения, перекрывающие интрузивные породы, развиты по пониженным областям рельефа, представлены суглинками, супесями и песками с УЭС 50–3000 Ом · м. УЭС различных сортов бензинов имеет порядок 10^{10} Ом · м. Нефтепродукты являются плохо проводящими жидкостями, поэтому при их попадании в трещинное пространство горной породы УЭС существенно увеличивается [5, 12].

При вертикальном электрическом зондировании по результатам измерений можно судить об электрических свойствах горных пород на глубинах проникновения тока в землю. Глубина исследования зависит в основном от расстояния между питающими электродами. Размер приемной линии MN составил 1–2 м, полуразносы питающей линии $AB/2$ равняются 3, 5, 9, 15, 25, 40, 65, 100, 150 м. Максимальное значение $AB/2$ зависит от глубины исследования и определяется действующими нормативными доку-



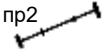





-  Профиль наземных геофизических исследований (метод электропрофиллирования, метод ВЭЗ) и его номер
-  Участок работ
-  Ориентировочная граница площади загрязнения подземных вод нефтепродуктами по состоянию на 07.06.2023 г.
-  Граница площади поверхностного водосбора
-  14а
Наблюдательная скважина
-  Площадка АЗС

Рисунок 1. Карта фактического материала
Figure 1. Map of the actual material

ментами и инструкциями, например СП 11-105-97, часть VI, приложение П.

Максимальная величина и частота разносов питающей линии были выбраны в соответствии с РСН 64-87, п. 1.7 и СП 11-105-97, ч. VI, прил. П. Для достижения необходимой глубины исследований, примерно равной 65 м, максимальный разнос линии АВ составил 300 м. Начальный разнос $AB/2 = 2$ м, количество точек на декаду на билогарифмическом бланке варьировалось от 5 до 9. Шаг наблюдений по профилям был принят с учетом предполагаемого минимального размера аномальных объектов в геологическом разрезе участка загрязнения и составил 10–25 м [13].

В связи со сложным строением электрического поля производились дополнительные детализационные наблюдения методом ВЭЗ на промежуточных точках со сгущением шага до 10 м с полуразносами питающей линии АВ от 2 до 100 м. Общая протяженность профилей 1350 пог. м, количество пикетов ВЭЗ (включая детализационные) – 105. Протяженность профилей составила от 125 до 300 м.

При электропрофилеировании (ЭП) размеры и параметры установки, т. е. взаимное расположение пита-

ющих и приемных электродов, остаются постоянными на каждой точке исследования, что обеспечивает примерно постоянную глубину измерений на всей площади. Использовалась четырехэлектродная симметричная установка АМNB с расстоянием между питающими электродами $AB = 18$ м и расстоянием между приемными электродами $MN = 1$ м. Расстояние между пикетами 10 м. Измеренные значения отнесены к глубине 1/3 от разноса питающего диполя АВ и соответствуют глубине 6 м от поверхности Земли.

Объем выполненных контрольных измерений – 10 % согласно «Инструкции по электроразведке», с учетом сложных геолого-геофизических условий [14]. Разность измеренных значений сопротивлений ρ_k основного и контрольного зондирования составила 2,8 %.

Работы по оценке скопления взрывоопасных техногенных газообразных образований включали газовую углеводородную съемку. Оценка опасности заглубленных помещений (подвалов, овощных ям и т. п.) по скоплению взрывоопасных техногенных газообразных соединений заключалась в измерении содержания паров нефтепродуктов.

В заглубленном помещении на каждой точке наблюдения производилось измерение содержания паров нефтепродуктов. В подвал опускался специальный зонд, со-

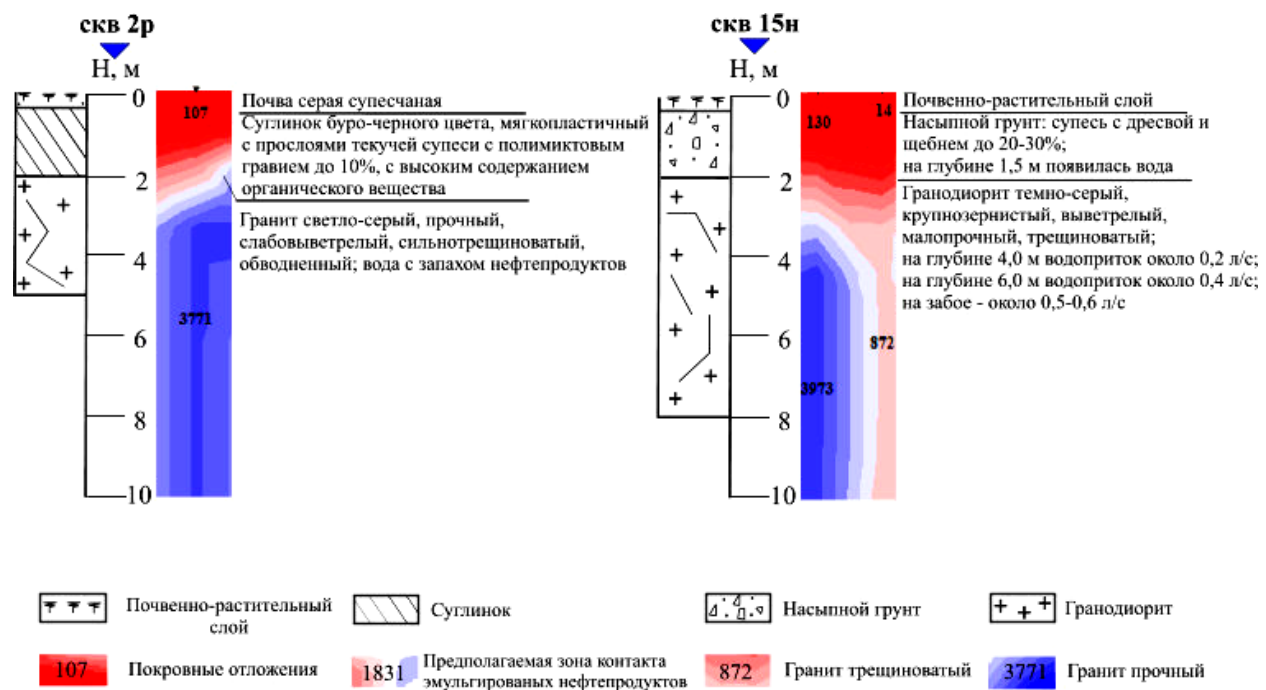


Рисунок 2. Сопоставление геоэлектрического и геолого-технологического разрезов скважин 2р и 15н
Figure 2. Comparison of geoelectric and geologic sections of wells 2p and 15n

Таблица 1. Принятые электросопротивления горных пород
Table 1. Accepted electrical resistivities of rocks

№ п/п	Геологический аналог	Кажущееся электросопротивление, Ом · м
1	Покровные отложения	50–1000
2	Кора выветривания гранодиоритов	100–600
3	Предполагаемая зона загрязнения нефтепродуктами	1700–10 000
4	Гранит	1000–10 000

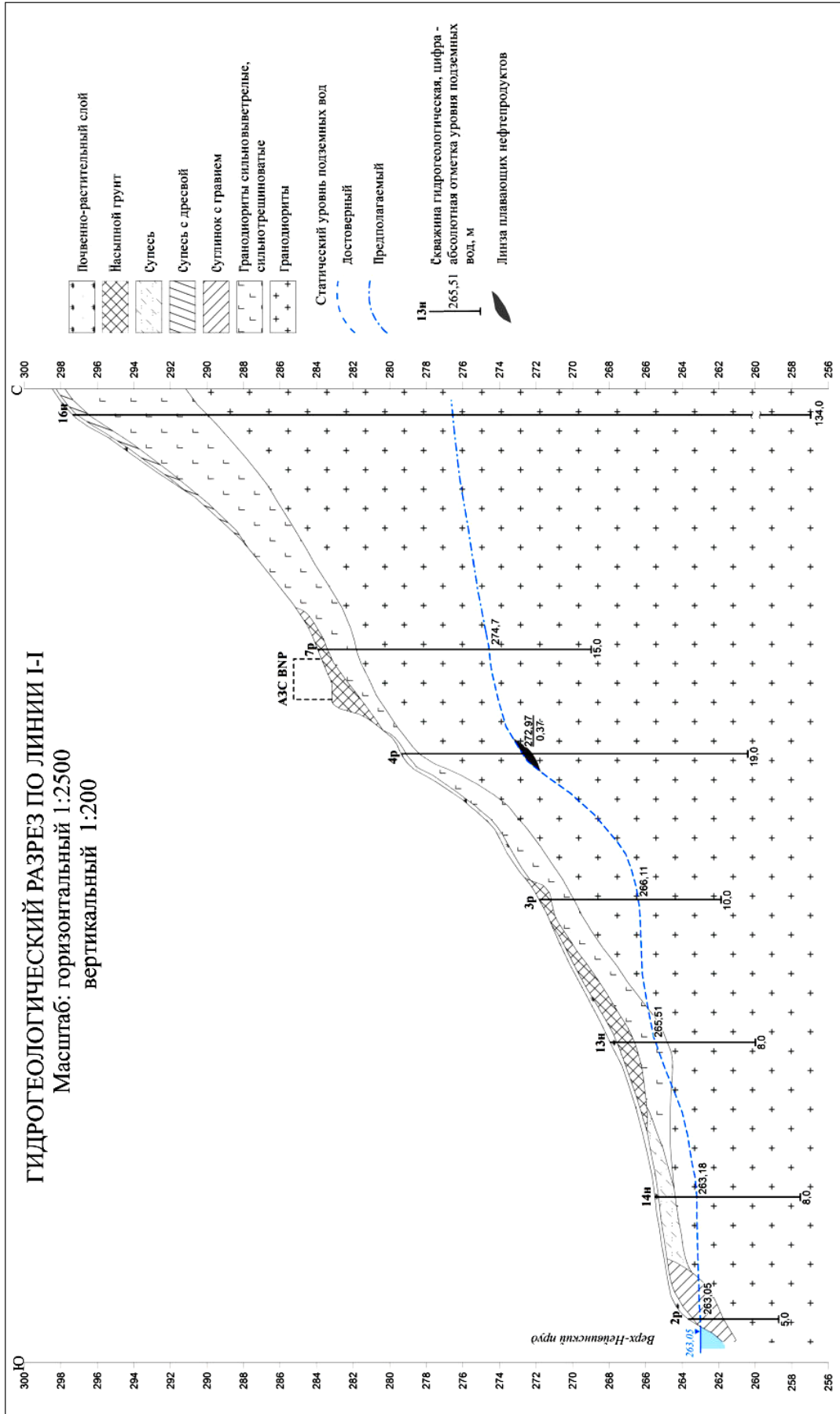


Рисунок 3. Гидрогеологический разрез по линии I-I
 Figure 3. Hydrogeological section along the I-I line

единенный с газосигнализатором ИГС-98 «КОМЕТА-М», затем встроенным насосом осуществлялась прокачка газов через прибор. Измерения содержаний нефтепродуктов в грунтах зоны аэрации выполнялись в диапазонах CO_2 , H_2 , O_2 , CH_4 . По той же методике выполнены полевые измерения газоанализатором «КОЛИОН 1В», измерения содержаний нефтепродуктов в подвальных помещениях выполнялись в диапазоне бензина.

Исходя из данных фракционного анализа плавающих нефтепродуктов в трех пробах, отобранных по ленте стока с поверхности подземных вод, подтверждающих наличие летнего дизельного топлива, значения показателя по бензину приравнены к содержанию паров дизельного топлива. Коэффициент пересчета принят по «Паспорту газоанализатора» и равен 1,0.

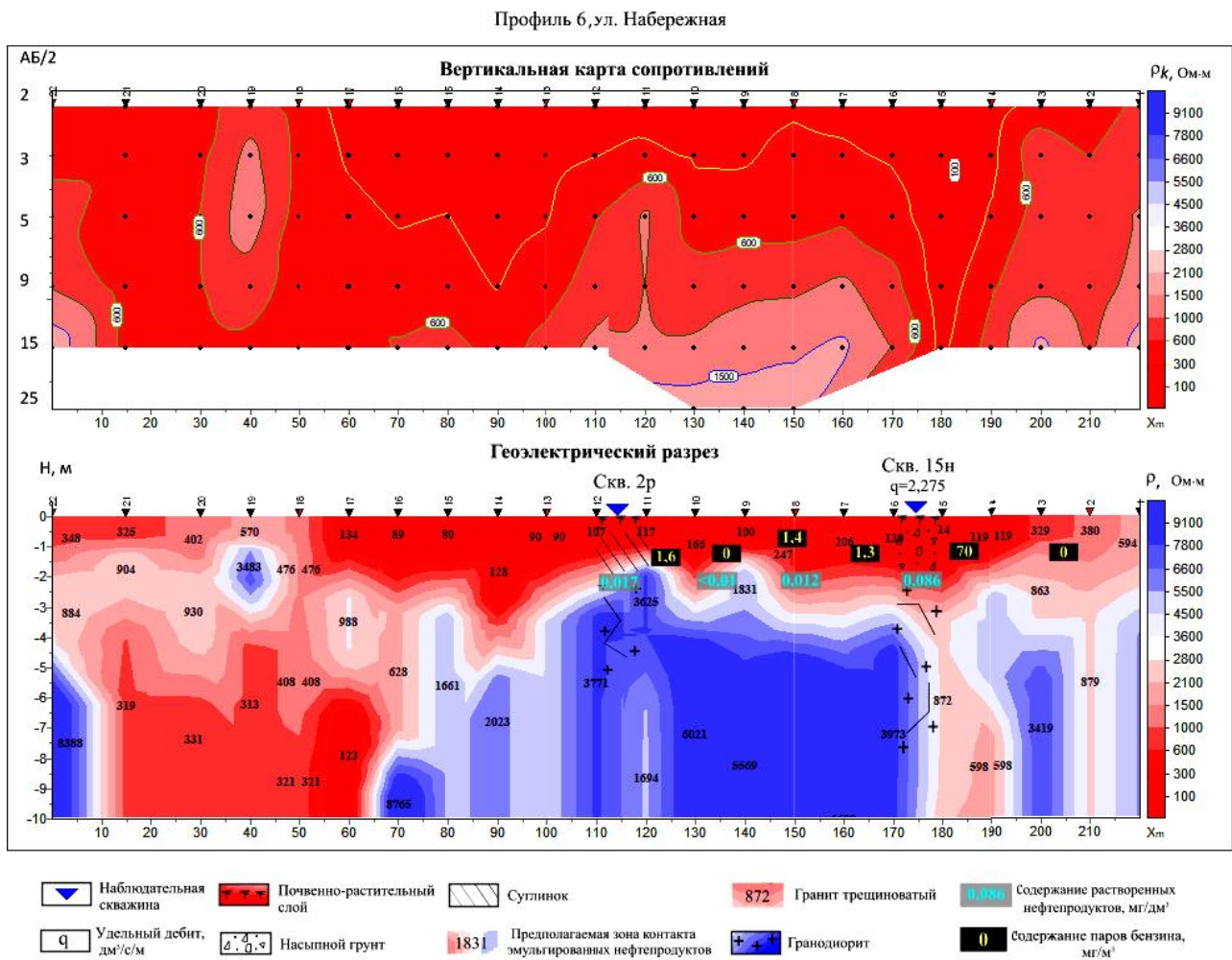
По результатам комплексных работ с целью оконтуривания ареала распространения нефтепродуктов было определено место для заложения и бурения скважин. На некоторых ранее пробуренных и «свежих» скважинах был выполнен видеокортаж, который производился для оценки технического состояния скважин, заверки литологического разреза, визуального изучения стенок скважин на наличие остаточного нефтепродукта. По результатам видеокортажа оцениваются

достоверность конструкции скважин и возможности их дальнейшего использования.

Используемая аппаратура и оборудование. Для точной геодезической привязки геофизических профилей использовался GNSS-приемник EFT M4 GNSS с действующей до 22.04.2025 г. поверкой в режиме RTK. Точность привязки: средняя квадратическая ошибка измерения координат скважин в режиме RTK: в плане $m_p = \pm (0,5 \text{ см} + 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot D)$, см; по высоте $(1, \text{ см} + 0,8 \cdot 10^{-6} \cdot D)$ см, где D – измеренное расстояние, м.

Для производства полевых электроразведочных наблюдений был использован генератор «Астра» (производство ООО «Северо-Запад», г. Москва). В качестве измерительной аппаратуры был использован многофункциональный электроразведочный измеритель «МЭРИ-Смарт». Для снижения влияния возможных помех на результаты наблюдений зондирования проводились на переменном низкочастотном токе 4,88 Гц, сила тока равнялась 2–50 мА.

Диапазон измерения газоанализатора «КОЛИОН 1В» – от 0 до 2000 мг/м³. Приведенная погрешность измерений при содержании до 10 мг/м³ составляет $\pm 15\%$ от измеряемой величины при высоком содержании (более 10 мг/м³), погрешность относительная $\pm 15\%$.



Видеокаротаж наблюдательных скважин выполняется с использованием телеинспекции *eVIT FastChek M*, в которую входят следующие основные устройства: базовый блок (дисплей *TFT LCD*, контрольный блок с панелью управления); управляемая сменная головка камеры; барабанное устройство (кабель 200 м).

Обработка и интерпретация данных. По окончании полевых работ выполняется камеральная обработка электроразведочных материалов и проводится качественная оценка полученных данных.

Обработка данных наблюдений методом ВЭЗ проводилась в несколько этапов:

1. Расчет значений кажущегося сопротивления;
2. Построение кривых зондирования;
3. Построение вертикальных карт сопротивлений пород по профилям исследований.

Количественная обработка данных ВЭЗ производилась с использованием специализированных программных обеспечений – *IPI2VIN* и *ZonDI1D*. Программы предназначены для одномерной интерпретации профильных данных вертикального электрического зондирования. Эффективная количественная интерпретация – четкое определение положения литологических границ в разрезе участка, возможна лишь с использованием непосред-

ственных данных о разрезе, полученных в ходе бурения гидрогеологических скважин.

Для профильных данных ВЭЗ применяются алгоритмы, использующие особенности нескольких соседних кривых на профиле. Профильные данные ВЭЗ рассматриваются как отражение геологического разреза по профилю в целом, а не как набор независимых кривых зондирования, с которыми работают по отдельности. Расчеты и окончательное оформление выполняются в программах *Golden.Software.Surfer* и *QGIS*.

Обратная задача ВЭЗ дает не единственное решение, так как расчетные кривые могут быть очень близки для нескольких моделей. Поэтому при подборе необходимо учитывать априорную информацию о геоэлектрическом разрезе. На участке уже есть достоверная геологическая информация об изучаемом разрезе, которая представлена наблюдательными скважинами, поэтому целесообразно было закрепить известные параметры или ограничить область их изменения в стартовой модели (рис. 2).

Результаты работы и область их применения

В основу литологического расчленения пород по электрическим свойствам были положены параметрические наблюдения, материалы предыдущих электроразведочных работ и справочные данные. Отождествление геоэ-

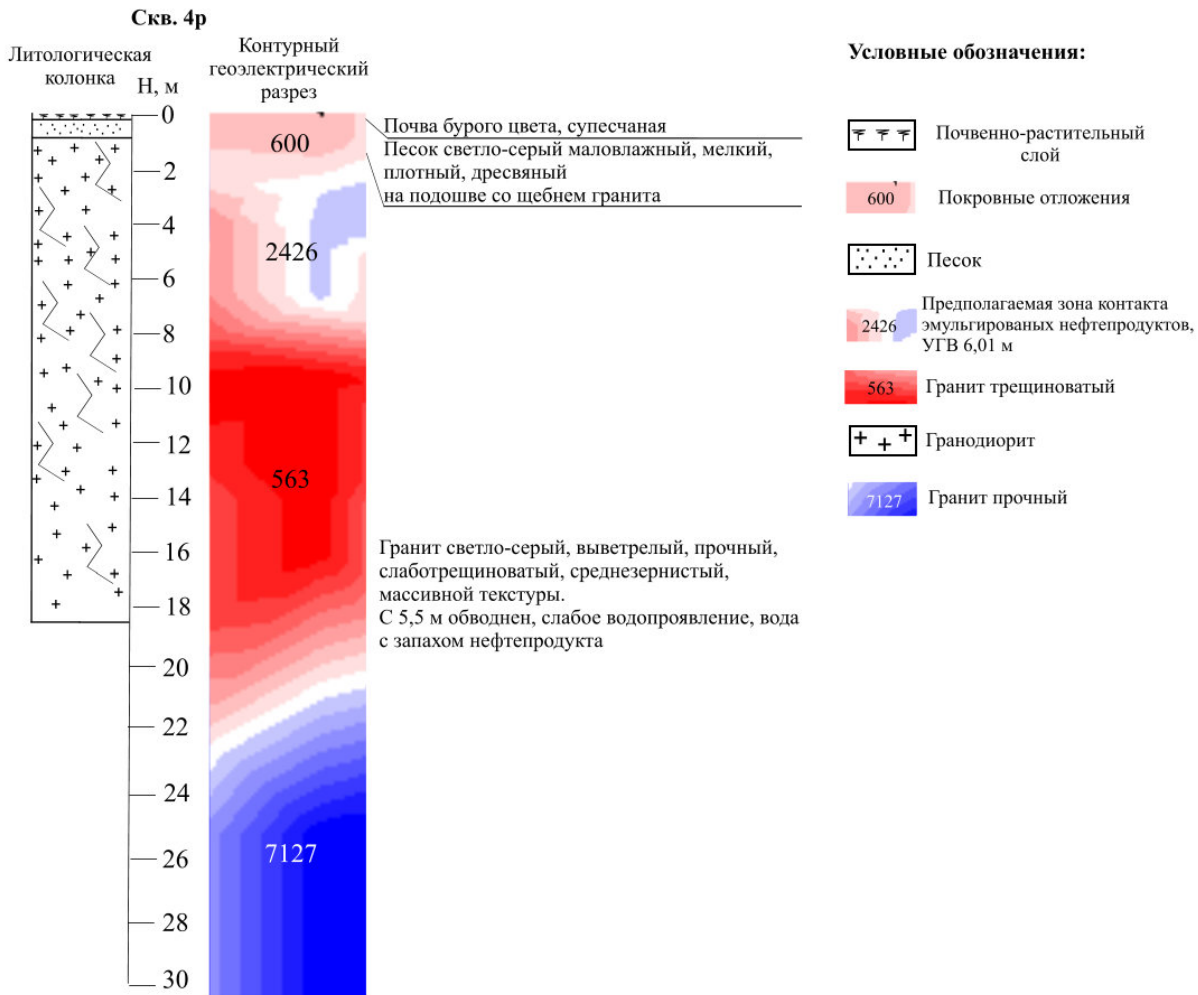


Рисунок 5. Сопоставление геолого-технического и геоэлектрического разрезов скважины 4р
Figure 5. Comparison of geologic and geoelectric sections of well 4p



Рисунок 6. Эмульгированные нефтепродукты на стенках скважины 4р
Figure 6. Emulsified oil products on the walls of well 4p

лектрических параметров с реальным геологическим разрезом осуществлялось по схеме, представленной в табл. 1.

Геологический разрез исследуемого участка представлен преимущественно высокоомными породами (рис. 3), среди которых местами фиксируются низкоомные аномалии. Скальное основание перекрыто относительно тонким чехлом отложений, представленных песчано-глинистыми и глинисто-щебнистыми образованиями. Мощность этих отложений варьируется от 0 до 4,5 м, увеличиваясь в пределах локальных зон, связанных предположительно с тектоническим строением участка работ [15]. Низкоомные аномалии в интрузивных горных породах обусловлены расщелачиванностью, экзогенной трещиноватостью и в верхней части разреза с развитой корой выветривания от 2 до 30 м. Наиболее перспективными в плане организации эффективного каптажа являются зоны экзогенной трещиноватости пород скального основания, служащие основными коллекторами подземных вод.

На рис. 4 показаны комплексные результаты измерений и интерпретации метода ВЭЗ по профилю 6 субширотного направления, который расположен вдоль ул. Набережной от перекрестка с ул. Розы Люксембург до дома № 11. Вынесены результаты газовой съемки и гидрохимического опробования, также показаны данные геолого-технологического разреза скважин, пробуренных по данным электроразведки.

Измерения кажущегося сопротивления проведены на 22 ПК, расстояние между пикетами составило 10 м, общая длина профиля 220 м, длина полуразносов (АВ/2) составила 15–25 м. При интерпретации были получены значения УЭС в интервале 14–8765 Ом · м. Диапазон значений 14–450 Ом · м соответствует покровным отложениям, которые представлены насыпными грунтами, плохо проводящими ток, суглинками, маломощными песча-

но-глинистыми корами выветривания и четвертичными делювиально-пролювиальными отложениями суммарной мощностью от 0 (ПК19) до 4,5 (ПК14) м. Диапазон значений соответствует коре выветривания гранодиоритов.

По данным замеров аккредитованной лаборатории (ООО «Тест-Эксперт»), содержания метана (CH_4) в зоне аэрации не выявлено. Это связано в первую очередь с геологическими особенностями строения и гидрогеологическими условиями участка работ. Подпочвенная зона сложена слаботрещинноватыми гранитами, практически не перекрытыми с поверхности. Незатрудненная циркуляция подпочвенного воздуха в изучаемой зоне не позволяет метану концентрироваться в необходимых для исследования значениях. Вероятно, основной объем газа метана за период с 2017 г. вышел в атмосферу.

Участок с наиболее сильным проявлением газосодержания паров бензина проявился в заглубленных помещениях на ул. Набережной, ПК4–ПК5 (рис. 3). На этом участке зафиксирована максимальная концентрация в точке наблюдения 70 мг/м³. Это указывает на потенциальное накопление летучих углеводородов в плохо проветриваемых помещениях, сопровождающее, вероятно, газовое облако над слоем плавающих нефтепродуктов.

Для оценки опасности принимались значения ПДК для атмосферного воздуха населенных мест (СанПиН 1.2.3685-21) в количестве 1,5 мг/м³ (среднесуточная). Результаты замеров паров бензина в заглубленных помещениях на рассматриваемом участке по некоторым точкам наблюдения превысили ПДК в 2–46 раз.

Согласно ГОСТ 2084-77, взрывоопасная концентрация паров бензина в смеси с воздухом составляет 1–6 % от объема воздуха, а предельно допустимая концентрация паров бензина в воздухе 100 мг/м³ не зафиксирована ни в одной исследованной точке.

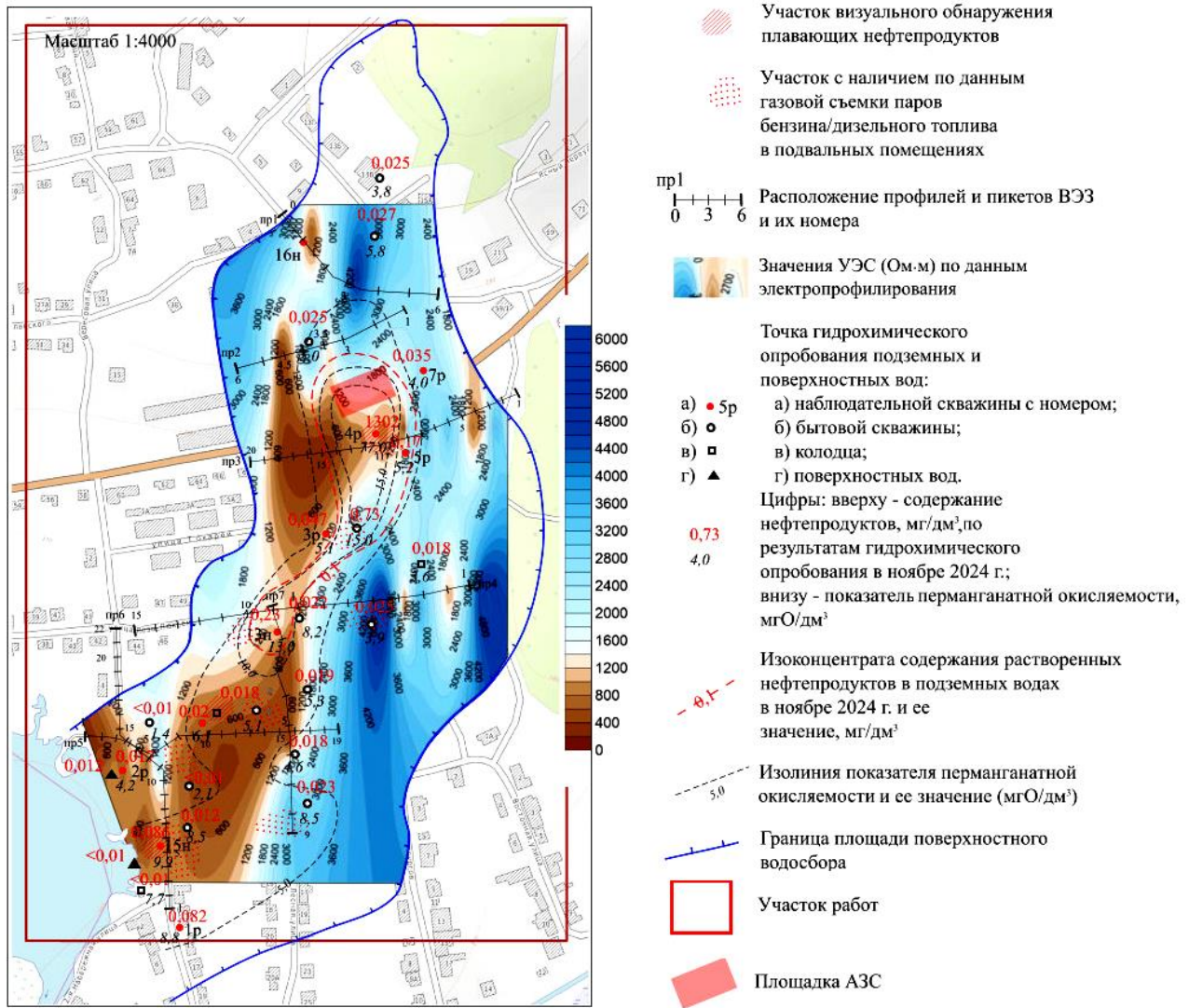


Рисунок 7. Результирующая карта
Figure 7. Resulting map

Участок между ПК5 и ПК6 обусловлен низкоомной аномалией, которая, в свою очередь, связана с выветрелостью, расланцованностью и экзогенной трещиноватостью гранодиоритов, по которой, вероятно, проходит подземный сток. Также учитывался факт максимального значения паров в этой зоне, поэтому данный интервал был выбран как оптимальный для заложения скважины 15н. Результаты опробования показали содержание растворенных нефтепродуктов 0,086 мг/дм³.

При сопоставлении геолого-технического и геоэлектрического разрезов (рис. 4), построенных по результатам ВЭЗ, на Профиле 6, где расположены параметрические скважины 2р и 15н, выявлено, что УЭС коры выветривания гранодиоритов находится в пределах от 600 до 1000 Ом · м.

При сопоставлении геолого-технического и геоэлектрического разрезов, построенных по результатам ВЭЗ, на Профиле 3, где расположена параметрическая скважина 4р, выявлено, что УЭС коры выветривания гранодиоритов находится в пределах от 100 до 600 Ом · м. Предполагаемая зона локализации эмульгированных нефтепродуктов выделяется повышенной аномалией УЭС и располагается в интервале глубин 4,0–7,0 м (рис. 5).

Устье скважины № 4р оборудовано трубой ПВХ. На глубине 3,4 м отбивается башмак обсадной колонны и выход в открытый ствол. Уровень грунтовых вод зафиксирован на глубине 6,0 м от края оголовка. С глубины 5,0 м на стенках скважины отмечается перламутровое пятно эмульгированных нефтепродуктов (рис. 6), что, вероятно, связано с сезонным колебанием уровня грунтовых вод (УГВ).

По итогам работ была построена результирующая карта (рис. 7), на которую вынесены значения электро-разведочных работ, гидрогеологического опробования, газовой съемки. Построены изоконцентра та содержания нефтепродуктов в подземных водах и изолиния перманганатной окисляемости.

По результатам электропрофилирования на карте установлено изменение значений ρ_k в диапазоне 300–5600 Ом · м, на глубине около 6 м выделяются низкоомные области, которые имеют субмеридиональное простирание. Низкоомные аномалии, предположительно, связаны с верхней частью зоны экзогенной трещиноватости и выветривания коренных интрузивных горных пород, по которой происходит подземный сток, что соответствует линиям тока.

Выводы и заключение

В результате анализа данных, полученных в ходе исследования ареала загрязнения, установлено, что геологический разрез исследуемого участка преимущественно сложен высокоомными породами, среди которых локально фиксируются низкоомные аномалии. Кровля скальных пород залегает в интервале от 0 до 4,5 м от поверхности, при этом увеличивается в пределах локальных зон, связанных, предположительно, с тектоническим строением участка работ. Нижележащие гранодиориты характеризуются сильной выветрелостью и трещиноватостью обычно до глубины 5–6 м.

Углеводородное загрязнение на рассматриваемом участке, если исходить из состава фракционного анализа и газовых эманацій, связано с повышенным содержанием бензина в подземной гидросфере. Вероятно, что по состоянию на ноябрь 2024 г. максимальная его концентрация приходится

на прибрежный участок по ул. Набережной. По данным геофизических электроразведочных исследований, для завершения геологического разреза бурением рекомендуются точки, расположенные в пределах наиболее перспективных, в плане организации эффективного каптажа, участков. Взрывоопасная концентрация паров бензина в воздухе не зафиксирована ни в одной из исследованных точек.

В скважине 4р на глубине 5,0 м на стенках скважины зафиксированы перламутровые пятна эмульгированных нефтепродуктов, что, вероятно, связано с сезонными колебаниями уровня грунтовых вод.

Данные электроразведки, видеокаротажа и гидрохимического опробования увязываются между собой, что позволяет сделать вывод о целесообразности использования предложенного комплекса на объектах загрязнения подземных вод нефтепродуктами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации / Р. Д. Калугина [и др.]. Масштаб 1 : 200 000. Изд. второе. Сер. Среднеуральская. Лист О-41-XXV: объяснит. записка. М.: Москов. филиал ВСЕГЕИ, 2017. 156 с.
2. Карта гидрогеологического районирования территории Российской Федерации масштаба 1 : 2 500 000 и Унифицированные схемы объектов гидрогеологической стратификации территории Российской Федерации (протокол Роснедра от 07.02.2012 г. № 18/83-пр.). М.: Гидроспецгеология, 2011. 47 с.
3. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Уральского федерального округа Российской Федерации за 2023 год. Екатеринбург: филиал УРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», 2024. Вып. № 24. 330 с.
4. Информационный отчет о результатах работ по атмогеохимическому изучению распределения летучих углеводородов в почвенном воздухе пгт. Верх-Нейвинский. Екатеринбург: УРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», 2023. 42 с.
5. Шапов В. А., Юрков А. К., Цай Г. А. Геофизические исследования ареала загрязнения подземных вод в пос. Верх-Нейвинский // Известия УГГУ. 2023. Вып. 2(70). С. 53–61. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2023-2-53-61>; <https://www.elibrary.ru/NCHUUAU>
6. Репин И. С. Гидрогеологические исследования по выявлению причин загрязнения подземных вод на Ясылском участке Кокуйского месторождения нефти // Геология в развивающемся мире: сборник науч. трудов по материалам XII Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Пермь, 02–05 апр. 2019 г.) / отв. ред. Ю. А. Башурова. Пермь: ПГНИУ, 2019. С. 437–440. <https://www.elibrary.ru/TCOAWC>
7. Алборов И. Д., Тедеева Ф. Г., Вернигор В. В. Проблемы нефтепродуктового загрязнения территории Моздокского района // Вестник МАНЭБ. 2023. Т. 28. № 4. С. 72–78. <https://www.elibrary.ru/ATRELE>
8. Методические рекомендации по выявлению, обследованию, паспортизации и оценке экологической опасности очагов загрязнения геологической среды нефтепродуктами / ред. Б. В. Боровский, М. В. Кочетков. М.: АО «ГИДЭК», 2002. 86 с.
9. Adeoti L., Anukwu G. Ch., Ademoye A. S., Adegbite J. T., Adeogun O., Adigun E. O. Assessment of Hydrocarbon Pollution in Groundwater Using Electrical Resistivity Method // Current Applied Science and Technology. 2023. Vol. 23. No. 1. P. 1–18. <https://doi.org/10.55003/cast.2022.01.23.003>
10. Ma Zh. M., Luo Yu. Yu., Fang Yu. Zh., Hou Yu. S. Hydrogeochemical Mechanism of the Petroleum Hydrocarbon Pollution in Karst Fissure Groundwater System // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vols. 295–298. P. 159–163. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.295-298.159>
11. Wójcicki A., Pacanowski G., Gołębowski T., Marcak H., Tomecka-Suchon S. Study on Detection of Hydrocarbon Pollution of Soil and Groundwater with the Use of Geophysical Methods // Near Surface 2008: 14th EAGE European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics (Kraków, Poland, 15–17 September 2008). N. Y., 2008. P39. P. 345–350. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20146323>
12. Электроразведка: справочник геофизика. В 2 кн. / под ред. В. К. Хмелевского, В. М. Бондаренко. М.: Недра, 1989. Кн. 1. 438 с.; кн. 2. 380 с.
13. Инструкция по электроразведке / под ред. Г. С. Франтова. Л.: Недра, 1984. 534 с.
14. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии (методическое руководство). М.: Недра, 1972. 296 с.
15. Гидрогеология СССР. Т. XIV. Урал / гл. ред. А. В. Сидоренко. М.: Недра, 1972. 648 с.

Статья поступила в редакцию 23 января 2025 года

Integration of geophysical methods in studying the area of groundwater pollution by oil products in Verkh-Neyvinsky Village

Ekaterina Sergeevna ZYRYANOVA^{1,2*}

Svetlana Nikolaevna ELOKHINA^{2**}

Aleksandr Anatol'evich KHUDYAKOV^{2***}

¹Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

²Ural Regional Center of GMSN – Branch of FGBU “Gidrospetsgeologiya”, Ekaterinburg, Russia

Abstract

The purpose of the work. The problem of providing the population with drinking water in the technogenically loaded Ural region is becoming increasingly urgent, including due to emergency situations. An obvious example of technogenic loss of natural resources of drinking groundwater in the Sverdlovsk region is the eastern part of the urban-type settlement of Verkh-Neyvinsky, where private residential buildings are not provided with centralized water supply sources. The situation arose as a result of an emergency leak of oil products at one of the underground elements of a local gas station. Since 2017, the underground water has become unsuitable for drinking, as well as for use in agriculture. Today, the water contains an excess of oil products, which is also manifested in organoleptic indicators. The work was carried out to study the distribution of technogenic hydrocarbons in the underground space of the specified territory with a detailed description of their distribution area to substantiate technical solutions for localizing pollution and extracting oil products.

Methods. To select the optimal location for hydrogeological wells in the areas of suspected contamination, ground geophysical studies were conducted using the vertical electrical sounding (VES) method. Visual inspections of the boreholes of drilled wells were performed to assess their technical condition and study the borehole walls for the presence of residual oil products, and an atmogeochemical survey was also conducted to identify areas with the strongest manifestation of gasoline vapor gas content in underground spaces.

Results. A comprehensive interpretation of the results of electrical exploration, atmogeochemical survey, hydrogeological testing and video logging made it possible to identify zones of suspected underground flow of oil products. Maps of apparent electrical resistance and geological and electrical sections along the profiles were constructed.

Conclusions. Based on the results of geophysical and atmogeochemical studies, a zone of maximum concentration of oil products in water and soil air was noted, a zone of decompression was identified, along which active underground flow into a drinking surface water body probably occurs, the roof of granodiorites was broken off, separating different conditions of migration of technogenic hydrocarbons. The specified points of laying hydrogeological wells made it possible to create an effective observation network and visually confirm the places of maximum concentration of oil products in underground horizons using video logging.

Keywords: vertical electrical sounding (VES), electrical profiling (EP), video logging, gas survey, groundwater pollution by man-made hydrocarbons, hydrogeological well.

REFERENCES

1. Kalugina R. D. [et al.]. 2017, State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:200,000. Second Publisher. Sredneurskaya Series. Sheet O-41-XXV: explanatory note. Moscow, 156 p. (*In Russ.*)
2. 2011, Map of Hydrogeological Zoning of the Territory of the Russian Federation on a Scale of 1:2,500,000 And Unified Schemes of Hydrogeological Stratification Objects of the Territory of the Russian Federation (Rosnedra protocol dated 07.02.2012 No. 18/83-pr.). Moscow, 47 p. (*In Russ.*)
3. 2024, Information Bulletin on the State of the Subsoil of the Territory of the Ural Federal District of the Russian Federation for 2023. Ekaterinburg, issue 24, 330 p. (*In Russ.*)
4. 2017, On Possible Causes of Pollution of Water Supply Sources in the Village of Verkh-Neyvinsky, Sverdlovsk region: hydrogeological conclusion no. URTS-SVU-15/17/FURTS GMSN FGBU “Gidrospetsgeologiya”. (*In Russ.*)
5. Shchapov V. A., Yurkov A. K., Tsai G. A. 2023, Geophysical Studies of the Area of Groundwater Pollution in Verkh-Neyvinsky Village. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 2 (70), pp. 53–61. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2023-2-53-61>; <https://www.elibrary.ru/NCHU4U>

✉ katrin.zyrian@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3394-078X>

** elohina.s@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8641-5439>

*** aakhud@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3129-9872>

6. Repin I. S. 2019, Hydrogeological Researches on the Identification of the Causes of Pollutional Growth Pollution in the Yasil Site of Kokuy Oil Field. *Geology in the Developing World: Collection of Scientific Papers Based on the Materials of the XII International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists* (Perm, April 2–5, 2019), pp. 437–440. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/TCOAWC>
7. Alborov I. D., Tedeeva F. G., Vernigor V. V. 2023, Problems of Oil Product Pollution in the Mozdok Region. *Vestnik Mezhdunarodnaya akademiya nauk ekologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti* [Bulletin of the International Academy of Ecology and Life Safety Sciences], vol. 28, no. 4, pp. 72–78. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/ATRELE>
8. Borevsky B. V., Kochetkov M. V. 2002, Methodological Recommendations for the Identification, Survey, Certification and Assessment of Environmental Hazards of Sources of Pollution of the Geological Environment with Petroleum Products. Moscow, 86 p. (In Russ.)
9. Adeoti L., Anukwu G. Ch., Ademoye A. S., Adegbite J. T., Adeogun O., Adigun E. O. 2023, Assessment of Hydrocarbon Pollution in Groundwater Using Electrical Resistivity Method. *Current Applied Science and Technology*, vol. 23, no. 1, pp. 1–18. <https://doi.org/10.55003/cast.2022.01.23.003>
10. Ma Zh. M., Luo Yu. Yu., Fang Yu. Zh., Hou Yu. S. 2013, Hydrogeochemical Mechanism of the Petroleum Hydrocarbon Pollution in Karst Fissure Groundwater System. *Applied Mechanics and Materials*, vol. 295–298, pp. 159–163. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.295-298.159>
11. Wójcicki A., Pacanowski G., Gołębiowski T., Marczak H., Tomecka-Suchon S. 2008, Study on Detection of Hydrocarbon Pollution of Soil and Groundwater with the Use of Geophysical Methods. Near Surface 2008: 14th EAGE European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics (Kraków, Poland, 15–17 September 2008). N. Y., P39, pp. 345–350. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20146323>
12. Khmelevsky V. K., Bondarenko V. M. 1989, Electrical Prospecting: A Geophysicist's Handbook. In 2 books. Moscow, book 1, 438 p.; book 2, 380 p. (In Russ.)
13. Frantova G. S. 1984, Instructions for Electrical Reconnaissance. Leningrad, 534 p. (In Russ.)
14. 1972, Methods of Geophysics in Hydrogeology and Engineering Geology (Methodical Guide). Moscow, 296 p. (In Russ.)
15. Sidorenko A. V. 1972, Hydrogeology of the USSR, vol. XIV. Moscow, 648 p. (In Russ.)

The article was received on January 23, 2025