



КОНЦЕПЦИЯ ПРОГНОЗА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Г. М. Тригубович¹, М. А. Данилова², Р. Р. Валеев²

¹ЕМ-разведка, Новосибирск, Россия; ²Верхнечонскнефтегаз, Иркутск, Россия

С учетом особенностей геологического строения и характера отражения водоносных коллекторов в геофизических полях сформированы критерии поиска подземных вод в геологических условиях Восточной Сибири. В состав поискового комплекса входят аэрогеофизические информационные каналы и площадные данные электроразведки ЗСБ. Рассмотрен важный этап интерпретации геофизики с учетом геологического строения, гидрогеологических условий и результатов структурно-гидрогеологического анализа территории.

Ключевые слова: нефтепромысел, подземные воды, дебит, структурно-гидрогеологический анализ, аэрогеофизика, электроразведка ЗСБ, электрическая проводимость, вызванная поляризация.

CONCEPT OF GROUNDWATER FORECASTING AT OIL FIELDS OF EASTERN SIBERIA

G. M. Trigubovich¹, M. A. Danilova², R. R. Valeev²

¹EM-razvedka, Novosibirsk, Russia; ²Verkhnechonskneftegaz, Irkutsk, Russia

Taking into account the peculiarities of geological structure and reflection character of aquifers in geophysical fields, the prospecting criteria for ground waters in geological conditions of East Siberia are formed. The structure of prospecting complex includes an airborne geophysical information channels and areal data of electric exploration using near-field time-domain electromagnetic sounding. The important stage of interpretation of geophysics is considered with regard to geological structure, geohydrological conditions and results of structural and geohydrological analysis of the territory.

Keywords: oilfield, ground waters, discharge, structural and geohydrological analysis, airborne geophysics, electric exploration by near-field time-domain electromagnetic sounding, current conduction, induced polarization.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-12s-57-64

Сибирь и Дальний Восток обладают огромными ресурсами пресных подземных вод. Прогнозные ресурсы подземных вод только Западной Сибири составляют более 65 000 тыс. м³/сут при сегодняшнем потреблении около 1500 тыс. м³/сут, а ресурсы Восточной Сибири, по некоторым оценкам, даже превышают их. Лидерами являются Красноярский край, Бурятия, Иркутская область, Якутия; на Дальнем Востоке – Хабаровский и Приморский края, Сахалинская, Амурская области и Камчатка.

При этом гидрогеологические условия северных районов Восточной Сибири классифицируются как сложные, отличаются прерывистым или сплошным распространением многолетнемерзлых пород (ММП) мощностью до 200 м, присутствием в разрезе сероводородных вод, а также непростыми геологическими условиями (разломная тектоника, складчатость, наличие траппов). Учитывая, что крупные реки в регионе редки, единственным вариантом водоснабжения нефтяных месторождений часто служат только подземные воды.

Для работы нефтепромысла потребности в воде значительны и оцениваются в несколько тысяч м³/сут, большая часть идет на систему поддержания пластового давления. При постановке поисковых работ на воду не всегда выполняются геофизические работы, основным источником ин-

формации становятся бурение и исследование гидрогеологических скважин. Таким образом, на этапе оценки запасов подземных вод имеются лишь точечные сведения по каротажным и опытно-фильтрационным работам, а верхняя часть разреза оказывается неизученной, несмотря на то что покрыта плотной сеткой сейсмо- и электроразведочных работ, выполненных в рамках поисков углеводородов. Обычно при бурении нефтяных скважин эта часть разреза также не изучается с должным вниманием, так как основные объекты поиска находятся значительно ниже. В связи с этим при построении гидрогеологической модели месторождения подземных вод приходится идти на ряд допущений, что приводит к значительным погрешностям при оценке параметров. Кроме того, для снятия неопределенностей возникает потребность в проведении крупномасштабных опытно-фильтрационных работ (ОФР) уже на этапе эксплуатации месторождения, а это мероприятие технически сложное, поскольку невозможно остановить производственный процесс и создать оптимальные условия для откачки [3, 11].

Опыт работы на нефтяных месторождениях Восточной Сибири показывает, что при постановке гидрогеологических работ успешно применение площадной электроразведки ЗСБ (зондирование



становлением поля в ближней зоне) в комплексе с аэрогеофизической съемкой и другими методами, которые освещены в работе [7]. Благодаря исследованиям, выполненным на Среднеботуобинском месторождении, получено представление о строении верхней части разреза, составлен прогноз распространения пресных и минерализованных вод, определены районы развития талых и мерзлых пород. Эффективность предложенного подхода подтверждена результатами бурения 17 гидрогеологических скважин с дебитами до $578 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Как показывает практика, для эффективного изучения значительных и, как правило, труднодоступных территорий рационально выполнять гидрогеологические исследования в два этапа: на первом – комплексная низкопрофильная аэрогеофизика, на втором – наземная детализация наиболее перспективных участков.

Важным этапом обработки данных площадной геофизики является комплексирование с данными по геологическому строению, гидрогеологическим условиям и структурно-гидрогеологическим анализом [9], поскольку без понимания строения территории геофизическая информация может быть интерпретирована неверно.

Постановка задачи

Первый этап – комплексная аэрогеофизическая съемка м-ба 1:25 000, включающая магниторазведку и аэро-ЗСБ. Глубина исследований в условиях Восточной Сибири до 300–500 м. Высокое пространственное разрешение ЭМ-канала позволяет выявить значимые геоэлектрические неоднородности, связанные с подземными коллекторами на глубине несколько сотен метров. Второй этап – наземные электроразведочные исследования в м-бе 1:10 000 в пределах выделенных перспективных участков

с целью локализации водоносных структур и их гидрогеологической оценки.

В настоящее время для исследований ВЧР успешно применяются *аэрогеофизические вертолетные системы*, включающие магнитный и ЗСБ каналы. На рис. 1 для примера представлены сопоставительные результаты наземного и аэро-ЗСБ, где в обоих случаях уверенно выделяются высокоомные и низкоомные литологические различия. Следует отметить, что затраты на постановку аэрогеофизических работ существенно меньше, чем наземных. Однако это справедливо при выполнении исследований на площадях более 50 км^2 .

Критерий оценки водонасыщенности коллекторов – пониженное продольное электрическое сопротивление, слабо положительные или отрицательные значения магнитного поля, пониженная поляризуемость. Блоки и горизонты относительно безводных пород, в том числе и ММП, контролируются зонами повышенной поляризации, которой, кроме того, могут отмечаться зоны глинизации коллекторов с минимумом электрического сопротивления.

На рис. 2 показана корреляция пониженных значений магнитного поля, соответствующих обводненным зонам разломной тектоники по данным электроразведки ЗСБ.

Разделение резистивной и поляризационной мод в ЗСБ-сигналах. Сведения о вызванной поляризации могут быть извлечены из данных ЗСБ. На рис. 3 приведены типичные сигналы становления поля, обусловленные композицией сопротивления и поляризационных параметров геологической среды. Характерный признак присутствия сигнала ВП в данных ЗСБ – типичное искажение формы сигнала становления за счет оппозитного сигнала ВП, которое может выражаться в явном и неявном видах.

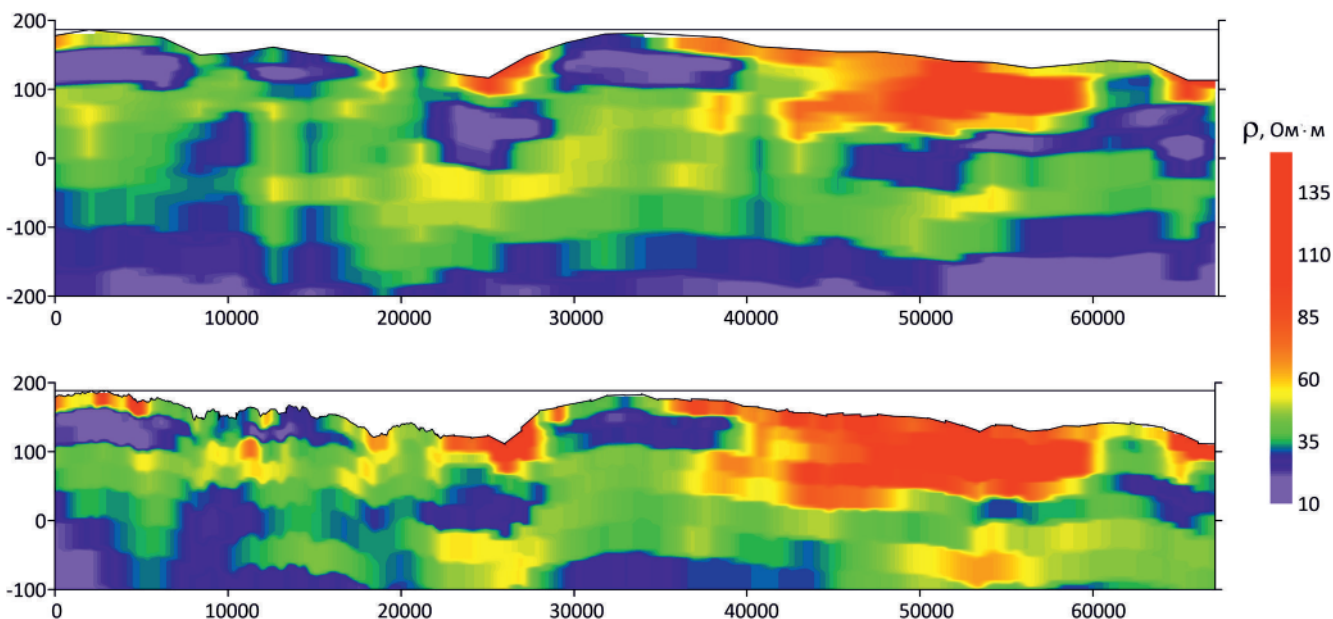


Рис. 1. Сопоставление разрезов сопротивлений аэро-ЗСБ и наземного ЗСБ по верхней части разреза

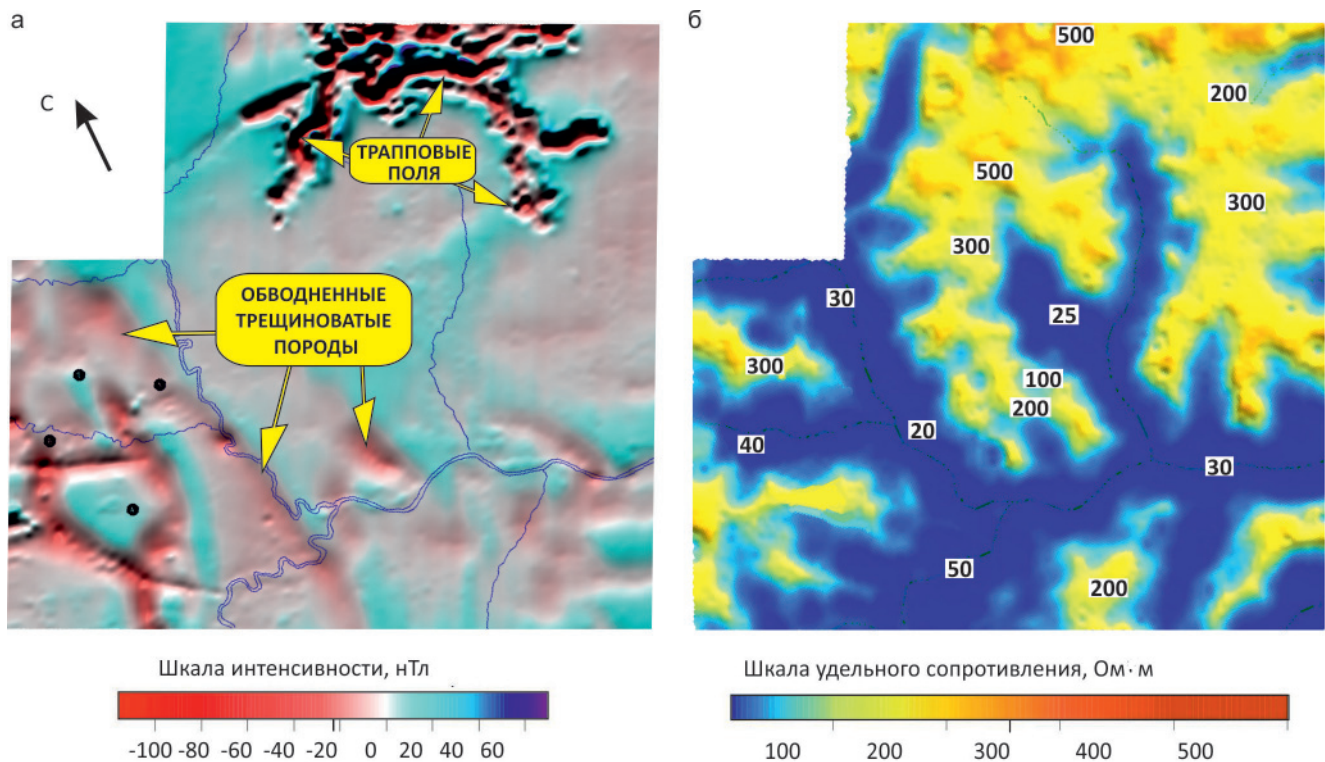


Рис. 2. План магнитного поля и сопротивления ЗСБ на глубине 200 м

Это весьма важное обстоятельство, которое должно учитываться при многоразностных зондированиях ЗСБ [5, 7]. В аэро-ЗСБ эта проблема решается установкой специального выносного датчика.

В примененной многоразностной технологии ЗСБ регистрация сигналов ЭМ-поля осуществляется одновременно на трех-пяти разносах от центра источника, что значительно повышает производительность работ. Разделение поляризационной и резистивной мод в измеряемых сигналах позволяет повысить точность интерпретации данных ЗСБ [3, 6]. Величина разноса для подавления ВП определяется на этапе проведения опытно-методических работ

На рис. 3, б показан случай, когда применение трехточечной системы не гарантирует получения чисто резистивного отклика. Здесь сигнал поляри-

зационного феномена существенно затухает только на дистанции около 200 м от центра индуктора размером (100×100 м) в рамках пятиточечной системы. Для случая, иллюстрируемого рис. 3, а, трехточечная система обрабатывает корректно.

Исследования выполнены по схеме многоразностных зондирований м-ба 1:20 000, шаг между профилями 200 м, между точками измерения по профилю – 100 м. Размер генераторной петли 100×100 м, система наблюдений трехточечная, максимальный разнос 100 м (рис. 4).

Преимущества метода – применение установок, размеры которых намного меньше глубины залегания изучаемых объектов. Используются, как правило, индуктивные незаземленные источники и приемники. Размеры источников в виде квадрат-

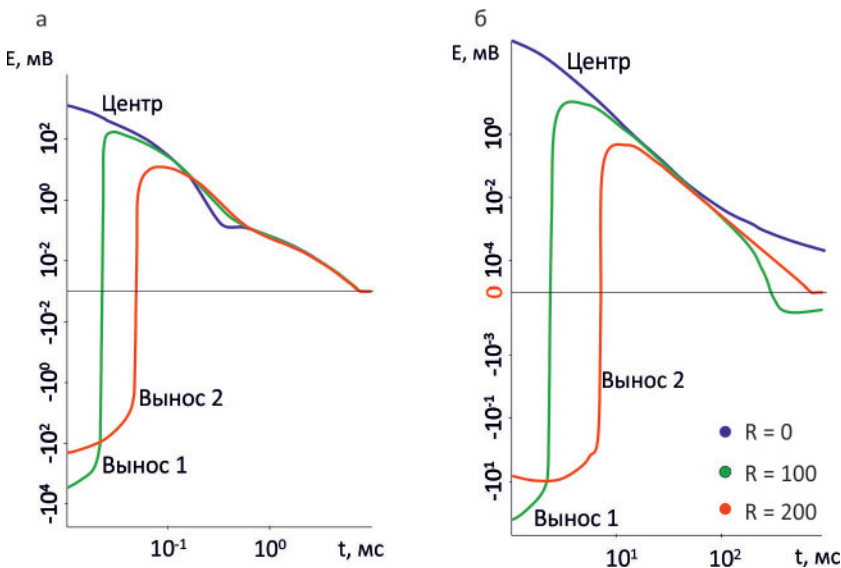


Рис. 3. Вид сигналов ЗСБ с источником 100×100 м², осложненных поляризационным феноменом: а – поляризационная мода корректно учитывается в рамках трехточечной системы наблюдений; б – применение трехточечной системы не гарантирует получения чисто резистивного отклика, поляризационные сигналы существенно затухают только на дистанции около 200 м

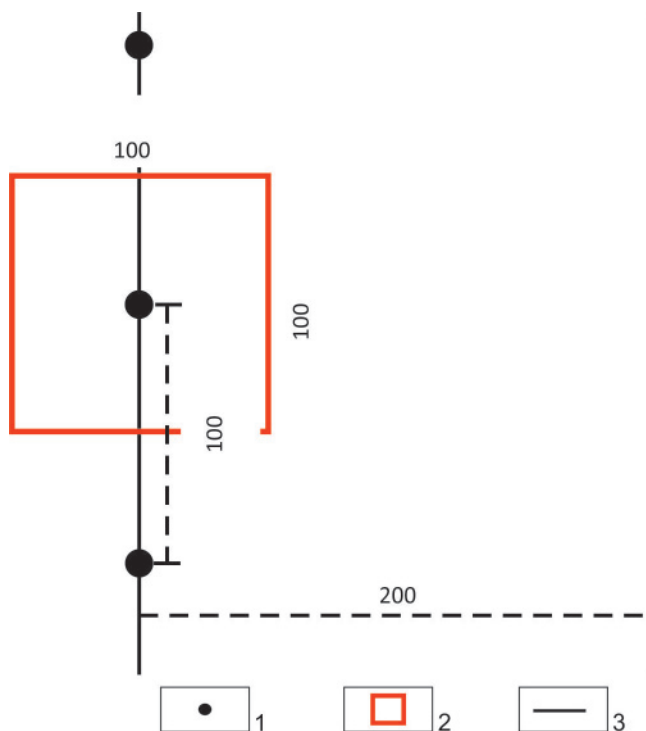


Рис. 4. Трехточечная система измерений для петли 100×100. В ряде случаев из-за сильных поляризационных эффектов приходится использовать пятиточечную систему наблюдений

1 – физические наблюдения; 2 – генераторная петля; 3 – линии наблюдений

ной петли для решения гидрогеологических задач в условиях Восточной Сибири составляют 50×50, 100×100 и 200×200 м, что обеспечивает глубину исследований до 1000 м [8].

При трехточечной системе наблюдений ЗСБ один приемник совмещен с центром петли, два размещены от центра установки в прямом и обратном направлениях по профилю на расстояние, равное длине стороны петли, при пятиточечной один приемник совмещен с центром петли, четыре размещены от центра установки в прямом и обратном направлениях по профилю на расстояния, равные одной и двум длинам стороны петли.

В 2016 г. на этапе проектирования Северо-Даниловского месторождения было принято решение для выполнения поисковых работ на воду использовать метод ЗСБ, хорошо зарекомендовавший себя на сложных разрезах Восточной Сибири.

Проектом геолого-разведочных работ на указанном месторождении была определена площадь в 56 км², учитывающая расположение проектной инфраструктуры, геологические и гидрогеологические условия. Так, в гидрогеологическом отношении в качестве объекта исследований выбрана замкнутая синклиальная структура, перспективная на формирование запасов подземных вод, но с ограниченным контуром питания. В то же время на периферии структуры отложения верхолен-илгинской и литвинцевской свит выходят на поверхность. Отложения, представленные карбонатными

карстующимися породами, должны быть достаточно обводнены, а условия их залегания (углы до 50–70° и значительная глубина погружения) – определять напорный характер формирующихся в них подземных вод.

Расположение района работ в области островного и прерывистого развития ММП ограничивает использование подземных вод четвертичных и юрских отложений, а также верхней части отложений среднего – верхнего ордовика до глубин ориентировочно 60–80 м. Перспективным интервалом в данном случае должен быть диапазон от 60 до 350 м. Ниже высока вероятность появления сероводородных вод, типичных для отложений литвинцевской и ангарской свит, и в случае наличия водопродводящих разломов есть риск разгрузки таких вод в нижние горизонты верхолен-илгинской свиты.

По результатам выполненных исследований ЗСБ получены сведения о перспективных участках для постановки буровых работ. Важно отметить, что интерпретация результатов ЗСБ должна обязательно выполняться с привлечением данных по геологическому строению и гидрогеологическим условиям с применением структурно-гидрогеологического анализа, поскольку именно он позволяет избежать риски принятия ошибочных решений. Так, например, согласно данным ЗСБ разлом, проходящий по территории работ в северо-восточном направлении, имеет низкие значения сопротивления и должен быть обводненным, перспективным для постановки бурения. Но по классификации В. М. Степанова [9] данный разлом региональный, т. е. имеет длительный характер развития, обширную милонитизацию в зонах дробления и, соответственно, отличается непроницаемостью для подземных вод. Такие разломы нередко являются экранами, разделяя массивы горных пород, что выражается в несовпадении уровней подземных вод в сопредельных блоках и структурах (этот вывод позднее подтвержден по результатам бурения скважин 119 и 200). Обводненные разломы обычно приурочены к локальным структурам – молодым разрывным дислокациям, которые располагаются под значительными углами к региональным разломам, имеют протяженность первые километры и небольшую глубину проникновения [9]. Важно отметить, что теоретические основы структурно-гидрогеологического анализа легли в основу нескольких диссертаций, его применение подтверждается практическими результатами [1, 4, 10]. Метод успешно используется в настоящее время для прогноза распространения подземных вод и оценки запасов. Учитывая близость значений сопротивления глинистых и водонасыщенных пород, вероятность принятия неверного решения, основанного только на результатах геофизики, может быть велика.

Для снятия неопределенности вблизи разлома была пробурена скв. 119. Проведенные опытно-фильтрационные работы по ней показали, что

участок неперспективен: удельный дебит составил 0,03 л/с, восстановление уровня до статического происходило медленно, отмечено недовосстановление уровня воды в скважине. На основании полученных данных сеть размещений поисково-оценочных скважин была скорректирована.

В целом комплексный подход показал свою эффективность: из 32 пробуренных лишь скв. 119 неуспешная. Эффективность бурения 97 %. Все скважины прокачаны с дебитом 400–1000 м³/сут (при проектной нагрузке на скважину 350 м³/сут), суммарный накаченный дебит на первом этапе ОФР 12706 м³/сут при заявленной потребности 8400 м³/сут. Удельные дебиты по скважинам меняются от 0,1 до 1,7 л/с·м, в среднем 0,55 л/с·м.

Результаты буровых, ГИС, опытно-фильтрационных работ и геоэлектрическая характеристика разреза, сведения о водоносных горизонтах в районе работ в целом согласуются с данными площадной электроразведки ЗСБ.

В геологическом строении исследуемой территории принимают участие метаморфические образования архейско-протерозойского возраста, осадочные образования протерозойского, палеозойского, мезозойского и кайнозойского возрастов, а также магматические и интрузивные образования пермо-триаса. Охарактеризуем основные комплексы, перспективные для организации водоснабжения, в гидрогеологическом отношении.

Водоносный комплекс средне-верхнеордовикских отложений (O₂₋₃) приурочен к отложениям криволицкой, чертовской и макаровской свит. Отложения распространены практически на всем участке работ и перекрыты маломощным чехлом элювиально-делювиальных отложений. Нижним водоупором являются прослойки аргиллитов, залегающие в основании криволицкой свиты. Общая мощность комплекса достигает 190 м. Характер мерзлоты островной, водопроницаемые прослойки представлены песчаниками, алевролитами. В разрезе выделяется от 2 до 5 водоносных интервалов суммарной мощностью от 33 до 79 м в диапазоне глубин 31–194 м. Питание комплекса происходит за счет инфильтрации, разгрузка – в речную сеть. Минерализация вод (0,1–0,4 г/дм³) отличается гидрокарбонатным составом с преобладанием кальция.

Водоносный комплекс средне-верхнекембрийских отложений верхоленской и илгинской свит (Є₂₋₃vl+il) распространен на всей площади участка работ. Разведочно-эксплуатационными скважинами на технические подземные воды вскрыта только верхняя часть комплекса мощностью около 150 м (общая мощность достигает 320 м). В разрезе выделяются 2–3 водоносных интервала суммарной мощностью от 7 до 37 м в диапазоне глубин 205–328 м. Водовмещающие отложения – тонкослоистые чередования алевролитов, аргиллитов, мергелей, песчаников и доломитов. Удельные дебиты откачек от 0,03 до 0,9 л/с·м, понижения от 4 до 50 м, дебиты до

380 м³/сут. По химическому составу воды в верхней части комплекса гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, с минерализацией 0,2–0,4 г/дм³; с глубиной состав их изменяется на сульфатно-гидрокарбонатный и гидрокарбонатно-сульфатный различного катионного состава, минерализация возрастает до 1,5 г/дм³. Питание комплекса осуществляется за счет перетока вод из вышележащих отложений; в долине р. Нижняя Тунгуска возможен подток подземных вод из нижележащих гидрогеологических подразделений.

В геоэлектрическом отношении разрез на глубину исследований (до 600 м) условно разделен на пять структурно-вещественных комплексов, которые представлены чередованием проводящих и непроводящих комплексов: высокоомные с характерным сопротивлением в диапазоне 150–200 Ом·м; низкоомные, к которым, как правило, приурочены водоносные коллекторы (15–20 Ом·м) и глинистые алевролиты (20–30 Ом·м). При дифференциальном анализе данных ЗСБ глинистые осадки и водонасыщенные отложения разделяются и идентифицируются.

Выполненная оценка фильтрационных свойств гидрогеологической структуры на основе результатов статистического анализа ЗСБ-данных и гидрогеологических данных на Северо-Даниловской площади (с привлечением информации по Верхнеичерской, где также выполнены работы ЗСБ и корреляция с данными бурения гидрогеологических скважин) показала, что наиболее тесная статистическая связь получена между интервальной проводимостью ордовик-верхнекембрийского водоносного комплекса и дебитами скважин, вскрывших его на полную мощность [5]. Коэффициент корреляции около 0,6 – статистически значимая величина, однако по ряду причин расчетные дебиты представляют собой лишь оценочную фильтрационную матрицу водоносной структуры, пригодную только для экспресс-оценки (рис. 5).

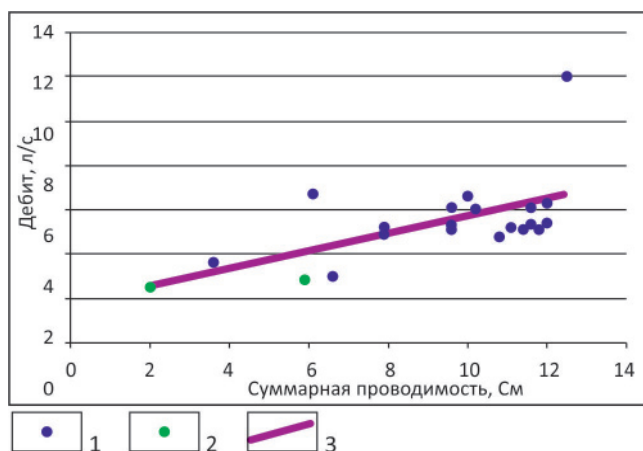


Рис. 5. Зависимость между суммарной проводимостью и дебитом ордовик-верхнекембрийского водоносного комплекса

Скважины: 1 – Северо-Даниловская площадь, 2 – Верхнеичерская площадь; 3 – график тренда

Обобщение полученных результатов

По результатам ЗСБ оконтурены две отрицательные структуры, которые наиболее обособленно проявляются в верхнем объединенном комплексе отложений ордовика – верхнего и среднего кембрия. С увеличением глубины эти структуры объединяются в одну с простираем юго-запад – северо-восток. Они подтверждаются данными сейсморазведки по ОГ Н1 и К1. В пределах этих структур выделены три участка перспективных водонасыщенных коллекторов (рис. 6).

Первый участок (I) расположен в центральной части в пределах отрицательной структуры площадью 15,7 км² – основной объект постановки геолого-разведочных работ. Для него характерны наиболее высокие гидродинамические параметры (особенно в северном окончании микромульды в зоне разгрузки подземных вод). Это подтверждается результатами бурения и опробования скважин 116, 127, 125, 130, 118, 129, которые фактически представляют линейный ряд, расположенный поперек потока. Участок входит в состав Норигинского месторождения технических подземных вод.

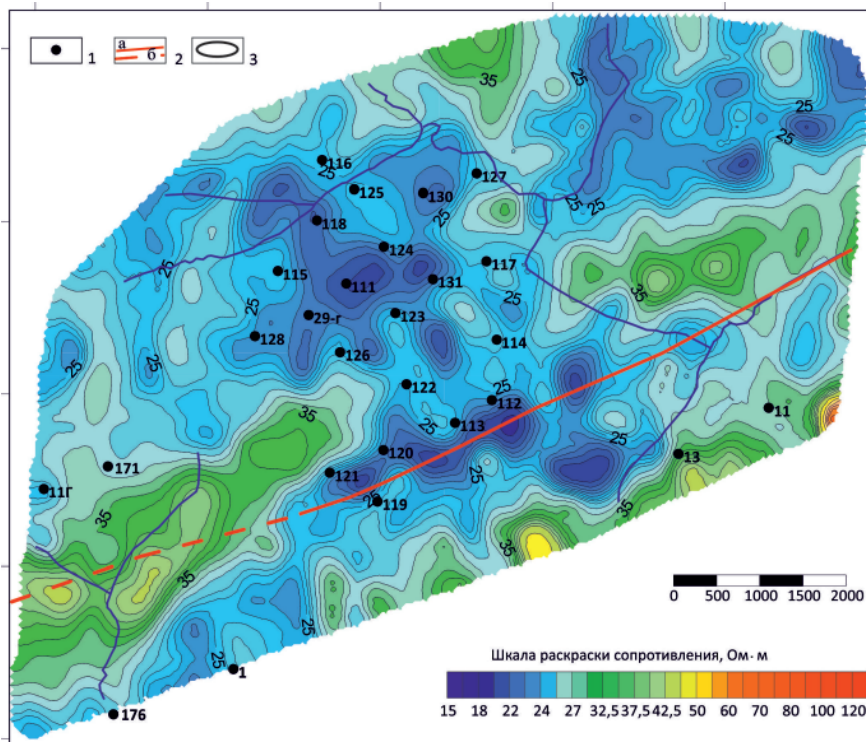


Рис. 6. Карта распределения сопротивления водоносного комплекса ордовика – верхнего и среднего кембрия, глубина 250 м

1 – скважины, их номера; 2 – тектонические нарушения (по данным геологической съемки), выделяемые: а – уверенно, б – предположительно; 3 – участки перспективных водонасыщенных коллекторов

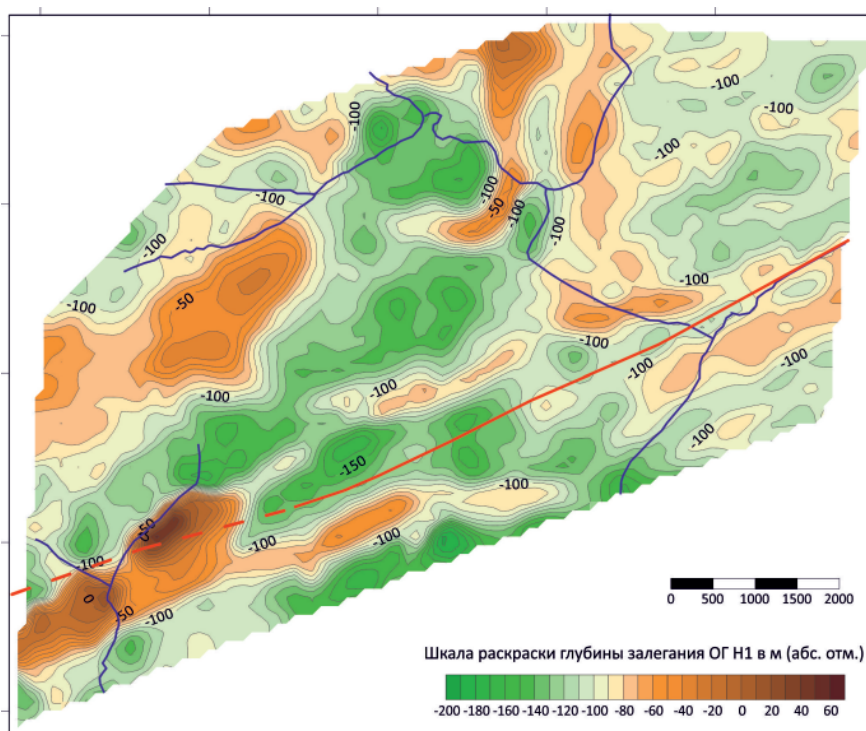


Рис. 7. Структурная карта по отражающему горизонту Н1

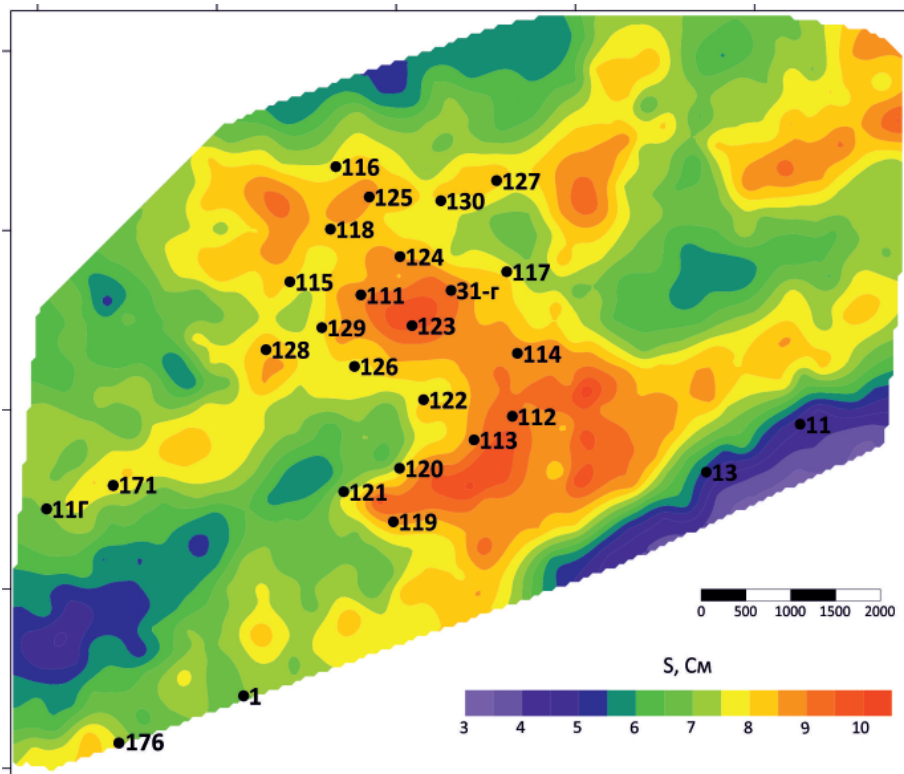


Рис. 8. Карта суммарной продольной проводимости в интервале глубин 50–250 м

Второй участок (II) находится на крайней юго-западной части площади, прогнозируется его развитие в юго-западном – южном направлении в сторону р. Нижняя Тунгуска. Водообильность подтверждается результатами бурения скважин 176 и 11Г: дебиты скважин 540–840 м³/сут, удельные дебиты 0,4–1,5 л/с. В рамках работ по оценке запасов участок включен в Нижнетунгусский.

Третий участок (III) расположен в северо-восточной части площади, восточнее р. Норига, включен в участок Норигинский, в пределах участка бурение не выполнялось.

Оценка эффективности ЗСБ

1. Результаты поисково-оценочного бурения на левом склоне долины р. Норига подтвердили наличие микромульды, создающей благоприятные условия для накопления подземных вод.

2. Выделенные по ЗСБ тектонические нарушения, в районе которых пробурены скважины 112,

113, 114, 119, 120, подтвердили наличие водонасыщенной тектонической трещиноватости.

3. Скважины, расположенные в северном окончании микромульды участка I в зоне разгрузки подземных вод, подтвердили прогнозное предположение о благоприятных условиях для каптажа подземных вод в северной и северо-западной частях участка.

4. Для более детального расчленения верхней части разреза размер петли ЗСБ рационально уменьшать до 25×25 м, что обеспечит надежное расчленение разреза на глубину до 100 м и, следовательно, надежное картирование криогенных и субкриогенных зон.

5. Для расчленения разреза на глубину до 200 м оптимальным является размер петли 50×50 м, обеспечивающий глубину исследований более 200 м.

6. Эквивалентность получаемых результатов 1D инверсии тесно связана с начальным приближением. Для повышения детальности получаемого раз-

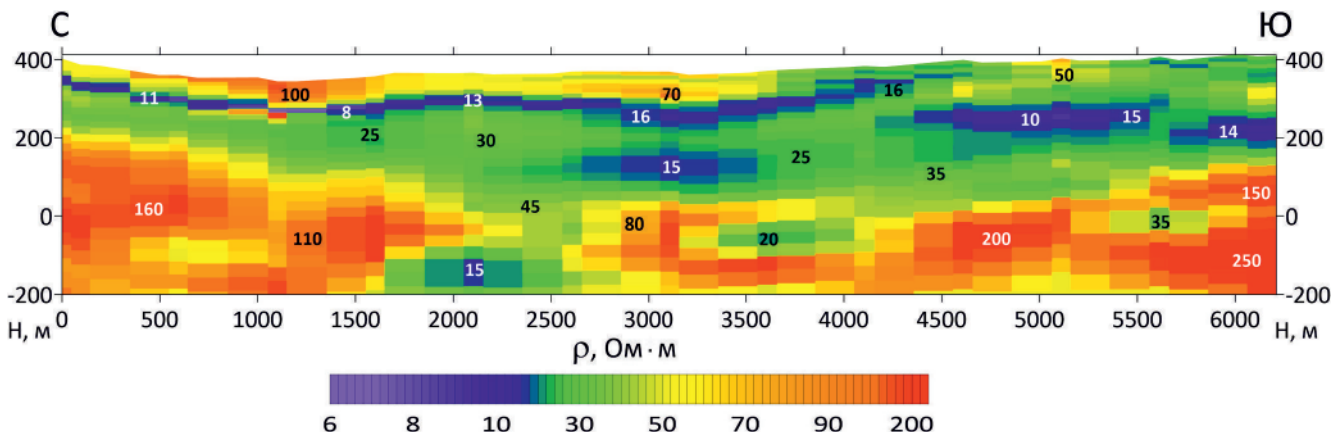


Рис. 9. Разрез сопротивлений ЗСБ с выделенными водоносными коллекторами ($\rho = 15\text{--}20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$)

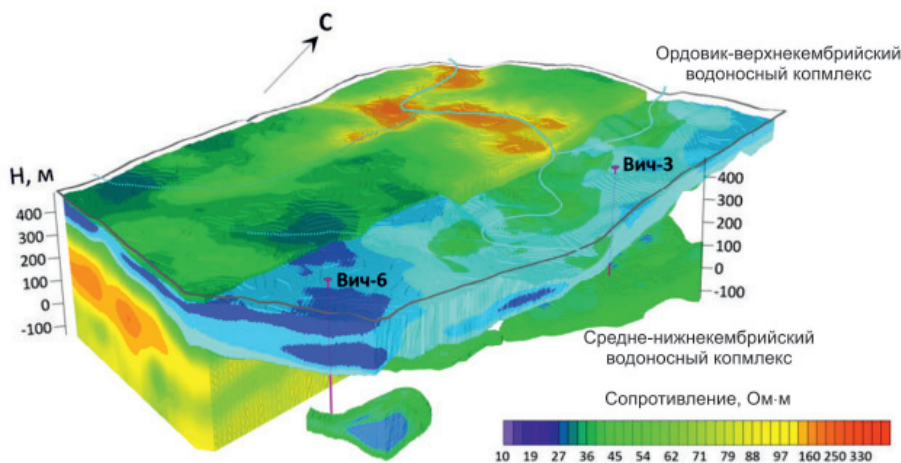


Рис. 10. Куб электрического сопротивления прогнозируемых высокопроницаемых коллекторов в пределах двух водоносных комплексов

реза в качестве начального приближения использован параметр $\rho_s = (dS/dh)^{-1}$, где S – суммарная продольная проводимость.

7. Общий вывод о критерии водоносности: водоносные горизонты проявляются повышенной интервальной проводимостью и сосредоточены в основном в интервале до 200 м.

На площадь составлена серия интерпретационных карт, в совокупности отражающих модель геологического строения верхней части осадочного чехла до 600 м (рис. 7) Итоговой является карта прогноза распространения водонасыщенных коллекторов в интервале глубин 50–250 м (рис. 8).

На рис. 9, 10 показаны типичные геоэлектрические разрезы и объемное распределение водонасыщенных коллекторов в пределах двух водоносных комплексов.

По характеру распределения низкоомных зон со значениями сопротивлений 20–25 Ом·м и графикам интервальной продольной проводимости (см. рис. 9) легко устанавливается наиболее высокодебитный коллектор в интервале 0–100 м.

Выводы

Комплекс наземных и аэрогеофизических ЗСБ и магниторазведки позволяет эффективно проводить поисково-оценочные исследования подземных вод.

Интерпретацию результатов ЗСБ следует выполнять с привлечением данных по геологическому строению и структурно-гидрогеологического анализа территории, что позволит избежать рисков принятия ошибочных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гидрогеологические** структуры России / И. А. Островский, В. В. Куренной, А. А. Шпак и др. // Разведка и охрана недр. – 2003. – № 7. – С. 8–12.

2. **Данилова М. А., Дружинин И. А., Теняков Е. О.** Проблемы переоценки запасов технических подземных вод для целей поддержания пластового давления на крупных месторождениях // Сб.

науч. тр. II науч.-практ. конф. по вопросам гидрогеологии и водообеспечения. – Ижевск: Ижевский нефтяной научный центр, 2020. – С. 5–11.

3. **Каменецкий Ф. М., Тригубович Г. М.** Феноменология вызванной поляризации // Геофизика. – 2013. – № 1. – С. 80–83.

4. **Куренной В. В.** Связь формирования подземных вод с гидрогеологической структурой в Ангаро-Ленском артезианском бассейне // Методические гидрогеологические исследования и ресурсы подземных вод Сибири и Дальнего Востока. – М.: Наука, 1966. – С. 163–175.

5. **Патент РФ № 2645849.** Способ поиска подземных вод / Г. М. Тригубович, М. Г. Пустозеров. – Заявл. 12.07.2016; опубл. 28.02.2018.

6. **Патент РФ № 2652655.** Способ аэроэлектро-разведки и устройство для его осуществления / Г. М. Тригубович, А. В. Куклин, А. В. Чернышев. – Заявл. 24.04.2017; опубл. 28.04.2018.

7. **Подход** к решению проблемы дефицита воды для системы поддержания пластового давления нефтяных месторождений Восточной Сибири (на примере Среднеботуобинского НГКМ) / Р. Р. Валеев, Д. В. Колесников, И. В. Буддо и др. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2019. – № 1. – С. 55–67.

8. **Современная** практическая электроразведка / А. В. Поспеев, И. В. Буддо, Ю. А. Агафонов и др. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2018. – 231 с.

9. **Степанов В. М.** Введение в структурную гидрогеологию. – М.: Недра, 1989. – 229 с.

10. **Структурно-гидрогеологические** основы физико-химического моделирования гидросферы Байкальского рифта / Ю. Н. Диденков, В. А. Бычинский, М. А. Мартынова и др. // Изв. вузов Сибири. Сер. наук о Земле. – 2005. – № 8. – С. 81–100.

12. **Теняков Е. О., Савельев Е. А., Данилова М. А.** Доразведка Верхнечонского месторождения технических подземных вод: новые методы изучения и результаты // Науки о Земле и недропользование. – 2022. – № 45 (2). – С. 184–196.

© Г. М. Тригубович, М. А. Данилова, Р. Р. Валеев, 2022