

Методика прогнозирования зон коллекторов и мониторинга геологического состояния среды с применением электромагнитных зондирований в условиях юга Сибирской платформы

Компаниец С.В., Буддо И.В., Гомульский В.В., ЗАО «Иркутское электроразведочное предприятие», г. Иркутск

Введение

Основной задачей электромагнитных исследований, проводимых в Восточной Сибири, является прогноз зон коллекторов в отложениях осадочного чехла. Данные работы могут быть связаны с поиском нефтегазонасыщенных целевых горизонтов, а также аномальных коллекторов с высоким или низким пластовым давлением, водонасыщенных коллекторов в верхней части разреза. Порода, способные концентрировать и отдавать флюиды, как правило, отличаются по своим электрическим свойствам относительно вмещающих их толщ, характеризуются более высокой проводимостью.

Применение современной телеметрической аппаратуры для глубинных и малоглубинных зондирований SGS-TEM и FastSnap дает возможность на новом качественном уровне решать как традиционные задачи поиска и разведки углеводородов, так и применять технологию для решения актуальных во всем мире задач геологического мониторинга в районах работы предприятий химической и нефтяной промышленности, инженерных задач. Технологии зондирования, имеющие глубину исследований от первых десятков до первых километров, позволяют фиксировать коллекторы на реальных глубинах залегания в разрезе.

Особенности применения метода ЗСБ на юге Сибирской платформы

В геологическом строении осадочного чехла Сибирской платформы принимают участие породы венд-кембрийского возраста карбонатно-галогенного и терригенного состава, для которых характерно высокое удельное электрическое сопротивление. Средние значения продольного сопротивления осадочной толщи составляет 50–100 Ом·м. Практически во всех стратиграфических подразделениях присутствуют горизонты-коллекторы, насыщенные рассолами (минерализация вод в которых превышает 300 – 400 г/л) или углеводородами [1]. В разрезе может насчитываться до 10 – 15 горизонтов, проявляющихся в той или иной степени на различных территориях. Порода таких горизонтов характеризуются значительно более низкими значениями сопротивления (в 5 – 20 раз ниже) относительно вмещающих отложений. Резкая контрастность электрических свойств является главным признаком выявления зон развития коллекторов. Чаще всего, объектом поиска для ЗСБ являются коллекторы нижней части разреза, приуроченные к терригенным отложениям, на глубине более 2000 м.

На основании анализа многочисленных (более 15000) зондирований и данных бурения определены интервалы значений проводимости/сопротивления для пород коллекторов и неколлекторов, а так же региональная зависимость распределения таких значений на Сибирской платформе.

В геоэлектрических условиях, когда горизонты-коллекторы характеризуются пониженным сопротивлением относительно вмещающих высокоомных пород и суммарная проводимость осадочного чехла не превышает 40 – 60 Ом, метод ЗСБ имеет высокую чувствительность к

наличию в разрезе горизонтов-коллекторов. С высокой степенью надежности в разрезе выделяются интервалы, соответствующие продуктивным или аномальным коллекторам (поглощающие или рапопроявляющие).

Следует отметить, что Восточно-Сибирский регион отличается сложными тектоническими условиями, присутствием трапповых интрузий и многолетнемерзлых пород, сложным рельефом и климатом. В таких условиях значительно возрастают требования к технологиям изучения среды.

Применение ЗСБ на основных этапах геологоразведочных работ

В настоящее время ЗСБ с успехом решает широкий круг геологических задач – как при малоглубинных, так и при глубинных исследованиях. Полевые работы ЗСБ производятся с многоканальными телеметрическими измерительными системами. При нефтегазоперспективных работах сигналы регистрируются во временном диапазоне от 100 микросекунд до 1 – 2 секунд с арифметическим шагом дискретизации 30, 250 микросекунд. При малоглубинных съемках измерительная аппаратура имеет шаг дискретизации от 25 наносекунд.

Применение метода ЗСБ эффективно при выполнении геологоразведочных работ на основных этапах поиска, разведки и эксплуатации нефтегазовых месторождений [2]:

1. На региональном этапе электромагнитные зондирования проводятся по профилям большой протяженности с целью выявления основных закономерностей распределения геоэлектрических параметров. По результатам ЗСБ оценивается структура территорий, выделяются нефтегазоперспективные районы. На основании получаемой информации могут быть оптимизированы дальнейшие геолого-геофизические исследования в наиболее перспективных областях.
2. На поисковом этапе актуально исследование лицензионных участков электроразведкой, в некоторых случаях в комплексе с геохимическими методами, что позволяет более детально изучать свойства всех структурных этажей, оценить особенности тектонического строения и определить перспективность участков на обнаружение коллекторов. На основе прогноза ЗСБ предлагаются рекомендации по выбору мест заложения поисковых скважин.
3. При подготовке к бурению – актуальны опережающие детальные электроразведочные работы на проектных площадках скважин с целью оценки горно-геологических условий бурения. Технология зондирования подразумевает высокую пространственную плотность наблюдений на участке размером в среднем 3–5 км. Результаты наблюдений ЗСБ позволяют изучать объемное распространение коллекторов, оценивать их насыщение, выявлять в разрезе рапопроявляющие и поглощающие интервалы, способные вызвать осложнения при бурении. Значительное увеличение стоимости буровых работ, риск аварийности скважины – делают прогноз

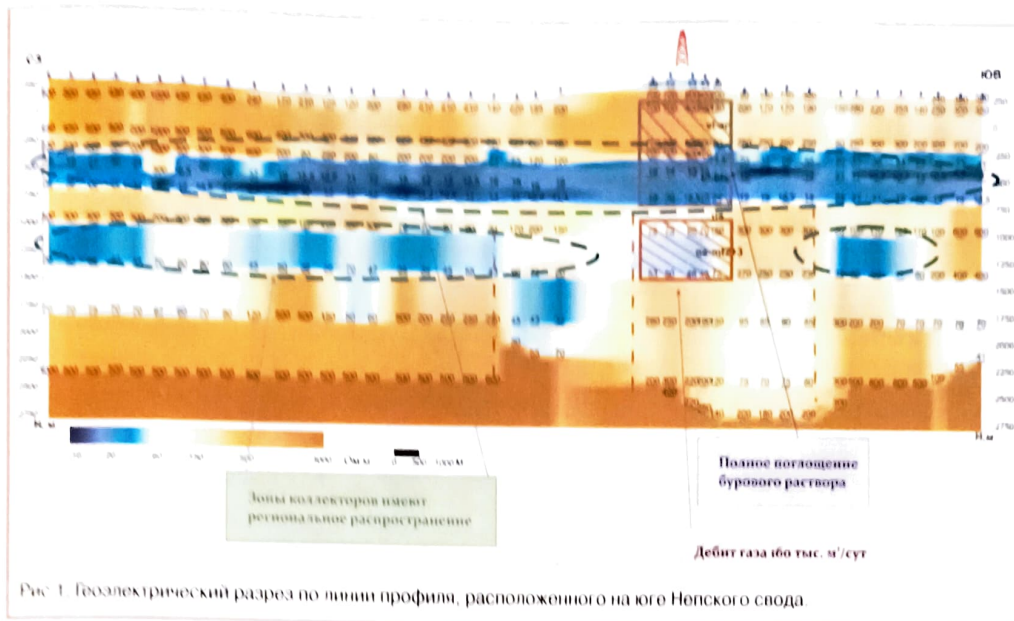


Рис. 1. Геоэлектрический разрез по линии профиля, расположенного на юге Непского свода.

горно-геологических условий методом ЗСБ очень актуальным в процессе освоения месторождений на юге Сибирской платформы. Петрофизической основой успешного прогноза является контраст электрического сопротивления плотных вмещающих пород и горизонтов коллекторов.

4. В процессе эксплуатации месторождения контроль состояния резервуаров возможен при проведении 4-D электромагнитного мониторинга по сети с повышенной пространственной плотностью наблюдений. Измерения производятся по определённому временному регламенту и направлены на выявление тенденций изменения параметров горизонтов в процессе воздействия.
5. На этапе разработки месторождений актуальным является поиск подземных вод, решение инженерно-геологических и геоэкологических задач на трубопроводах и объектах инфраструктуры по технологии мало-глубинных исследований. Мобильная и высокопроизводительная методика работ позволяет в короткие сроки получать информацию о детальном строении верхних горизонтов геологической среды. Как правило, используются установки ЗСБ малого размера 25x25,

50x50, 100x100 м.

Примеры выделения зон коллекторов при поисках и разведке углеводородов.

Одним из показательных примеров являются результаты ЗСБ при изучении коллекторов на площади, расположенной в пределах Непско-Ботубинской антеклизы. Основной задачей работ было прогнозирование проявления коллекторов в галогенно-карбонатном и подсолёвом комплексах и оценка горно-геологических условий бурения.

В результате проведенных электроразведочных работ методом ЗСБ на месте заложения параметрической скважины определены геоэлектрические характеристики пород основных комплексов осадочного чехла до глубины свыше 2500 метров. На основании инверсии данных ЗСБ построены контрастные геоэлектрические разрезы, на которых области относительно пониженного сопротивления в интервалах глубин от 500 до 700 м, а также от 1000 до 1300 м связаны с зонами улучшенных коллекторских свойств (рис. 1).

Прогноз наличия коллекторов в подсолёвых отложениях, отмечающихся низким сопротивлением, подтвердился данными глубокого бурения. В частности, в венд-кембрийских отложениях вскрыт газонасыщенный хамакинский горизонт-коллектор, характеризующийся улучшенными фильтрационно-ёмкостными свойствами, в процессе бурения и испытания которого получены промышленные притоки газа. По результатам ЗСБ распространение данного горизонта отмечается в северо-западном направлении.

Также интересен интервал, приуроченный к нижней части карбонатных отложений бельской свиты. Низкие значения сопротивления горизонта связаны с рассольным насыщением пластов, имеющих площадное распространение и выклинивающихся по направлению вглубь платформы.

Интерпретация данных ЗСБ показала, что отложения литвинцевско-ангарского комплекса непосредственно в месте заложения скважины характеризуются

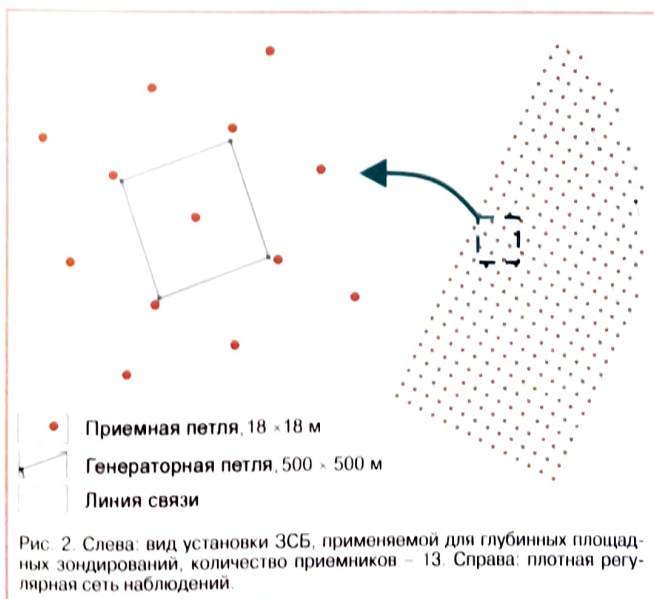


Рис. 2. Слева: вид установки ЗСБ, применяемой для глубоких площадных зондирований, количество приемников – 13. Справа: плотная регулярная сеть наблюдений.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

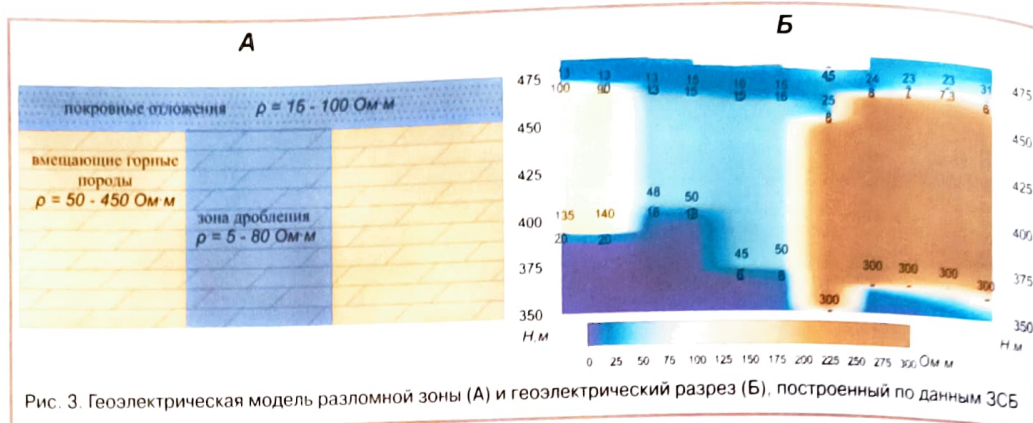


Рис. 3. Геоэлектрическая модель разломной зоны (А) и геоэлектрический разрез (Б), построенный по данным ЗСБ

высокими значениями сопротивления, что может свидетельствовать о наличии «сухих» карстовых пустот в породах комплекса. Прогноз был подтвержден результатами бурения. В этом интервале отмечалось полное поглощение бурового раствора.

Мониторинг резервуаров, инженерно-геологические и геоэкологические задачи.

В настоящее время использование высокотехнологичной методики зондирования делает возможным создание сложных систем наблюдения, когда необходимо с большей точностью изучать зоны распространения коллекторов в плане. Применение ЗСБ в площадном варианте (рис. 2) эффективно при детальном изучении геоэлектрического строения площади, определении контура залежи, положения газо-водяного контакта. Данная технология так же применяется для исследований, направленных на изучение процессов изменения геоэлектрических свойств коллектора и вмещающих его пород в пространстве и времени.

Мониторинговые наблюдения ЗСБ проводятся по сети с повышенной пространственной плотностью наблюдений. Пример решения новых геоэкологических задач – изучение осадочного чехла в районе промышленных комбинатов, где происходит интенсивное технологическое взаимодействие в системе окружающая среда – горизонты-коллекторы (источники сырья) – производство – резервуары для утилизации отходов. Мониторинговые исследования могут проводиться в следующей последовательности. На начальной стадии участок работ детально изучается методом ЗСБ с повышенной пространственной плотностью, картируются зоны распространения пластов-коллекторов, изучаются их геоэлектрические характеристики. После того как на целевой пласт-коллектор производится технологическое воздействие, закачивается или извлекается существенный объем флюида, проводятся последующие исследования ЗСБ по той же сети наблюдений. Получаемые по результатам ЗСБ карты и разрезы позволяют представить объемную геоэлектрическую модель, следить за эволюцией свойств коллекторов во времени и изменением их флюидонасыщения, судить о свойствах флюида. На основе изучения динамики распространения флюида возможен прогноз дальнейших процессов и последствий. Подобные работы проводились на одном

из газоконденсатных месторождений в Восточной Сибири, а также в районе крупного химического комбината.

Примером исследований ЗСБ на объектах инфраструктуры являются результаты работ по линии проектного трубопровода. В процессе строительства трубопровода важным моментом является учет нарушенных зон, которые, как правило, приурочены к активным разломам. Нередко нарушения являются каналами, по которым поступают глубинные воды повышенной минерализации и температуры. При этом существенно понижается электрическое сопротивление. Обобщенная геоэлектрическая модель подобной тектонической структуры представлена на рисунке 3 А.

Для решения данной задачи применены исследования методом малоглубинных ЗСБ, характеризующихся высокой разрешающей способностью при поисках обводненных зон в верхней части разреза (ВЧР). Полученные результаты наблюдений (геоэлектрический разрез представлен на рисунке 3 Б) показали высокую информативность метода в условиях весьма высокого уровня промышленных, импульсных помех, а также при наличии объектов-помех – трубопроводов, скважин, железной дороги. К достоинствам ЗСБ следует также отнести индукционный принцип изучения электромагнитного поля, при котором не требуется гальванических заземлений для зондирующей установки. Соот-

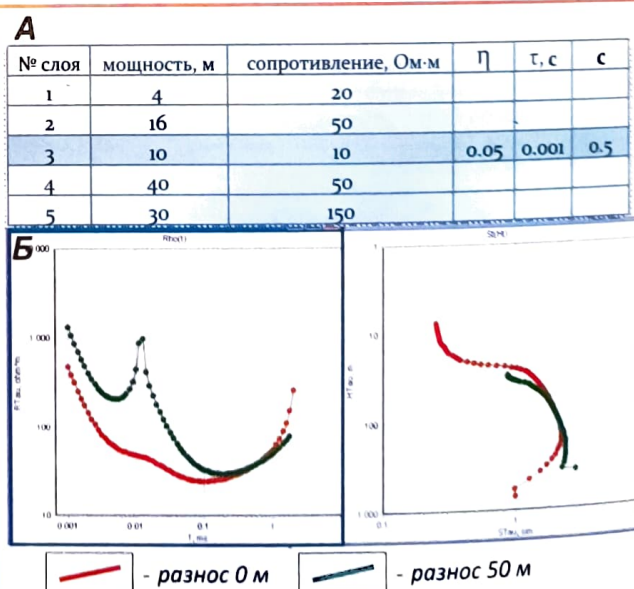


Рис. 4. Геоэлектрическая модель с присутствием поляризующегося пласта (А) и рассчитанные сигналы ЗСБ для соосной и разнесенной установок (кривые сопротивления и проводимости).

ветственно расширяются возможности исследований в зимний период.

Исследования ВЧР с применением малоуглубинной технологии возможны для оценки проникновения углеводородов в грунтовые воды. Ситуации с разливом нефтепродуктов в районе добычи и переработки зачастую приводят к серьезным последствиям, угрожающим жизнедеятельности района.

Основным признаком присутствия углеводородов является повышение удельного сопротивления и вызванной поляризуемости водонасыщенных горизонтов [3]. Результаты математического моделирования сигналов ЗСБ для модели, соответствующей разрезу с присутствием водонасыщенного пласта, загрязненного углеводородами, представлены на рисунке 4. О проявлении вызванной поляризуемости свидетельствует характерное расхождение кривых, полученных на соосной и разнесенной установках. Использование многоразностных установок ЗСБ позволяет фиксировать проявление данного эффекта. Учет параметров ВП и оценка электрического сопротивления пород позволяют определить пространственные границы, глубину залегания техногенной залежи УВ, выделить возможные промываемые (трещиноватые) зоны миграции.

Закключение

Электромагнитные зондирования методом ЗСБ занимают прочные позиции в комплексе геофизических методов, используемых в Восточной Сибири. Выделение зон коллекторов по результатам ЗСБ производится как в районах, где имеются скважины глубокого бурения, так и на неизученных бурением территориях. Проведение электроразведочных работ на лицензионных площадях в несколько этапов, зачастую с

опережением сейсморазведки, позволяет рационально планировать направления поисковых геологоразведочных работ. По результатам ЗСБ выделяются наиболее перспективные для изучения области, зоны с улучшенными коллекторскими свойствами по всем этажам разреза, даются рекомендации по выбору мест заложения скважин глубокого бурения.

Исследования, направленные на изучение геоэкологического состояния среды, занимают небольшой процент от всего объема работ, но при этом имеют весомое значение. В нашей стране недропользователи не всегда в достаточной мере уделяют внимание состоянию окружающей среды и последствиям воздействия на нее. Однако, подобного рода данные могут быть использованы для принятия управленческих решений, цель которых, в свою очередь, состоит в предотвращении или снижении до минимума ущерба от негативных проявлений природных и техногенных процессов.

Список литературы:

1. Г.Л. Берштейн, М.М. Мандельбаум и др. Геофизические методы обнаружения нефтегазовых залежей на Сибирской платформе. М., Недра, 1983.
2. Поспеев А.В., Агафонов Ю.А., Компаниец С.В. Состояние и пути развития электромагнитных технологий при нефтегазопроисловых исследованиях в Восточной Сибири // IV Международный научный конгресс ГЕО-Сибирь-2008: Сборник материалов, Новосибирск, СГГА, 2008, с. 3 – 6.
3. Hallbauer-Zadorozhnaya, V., Stettler, E.H., 2007. The detection of Hydrocarbon Contaminated of Groundwater by Using the IP Effect in TDEM Soundings. South African Journal of Geology: 529 – 540.

Письмо в редакцию

Рычков В.И., г. Тюмень

Уважаемый Павел Алексеевич!

Как мне представляется, сегодня назрела настоятельная необходимость поднять и обсудить на страницах журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» проблемы охраны труда в полевых геофизических партиях. Моя многолетняя практика работы на различных должностях в геофизических предприятиях нашей Страны, а в последнее время в качестве геофизика-супервайзера, позволяют мне судить о серьезности ситуации, сложившейся в полевых геофизических партиях в области охраны.

Суть проблемы заключается в следующем.

Условия работы в полевых партиях относятся к экстремальным. Здесь целый набор экстремальных факторов для человека: суровый климат, дискомфорт, оторванность от семьи, несоместимость людей, находящихся длительное время в ограниченном пространстве и т.д..

В условиях жесткой конкуренции сейсморазведки выдаются довольно-таки большие объемы работ, которые нужно выполнить в сжатые сроки, качественно, с достоверным сейсмическим материалом.

Возможно, высокий уровень безработицы в стране сказывается на стиле управления большинства работодателей: "Не нравятся – уходи!". При этом, грамотные психологические методы управления напрочь игнорируются.

Практика показывает, что эмоциональная психологическая атмосфера в полевой партии оказывает большое влияние на конечный резуль-

тат труда. De jure, одним из самых перспективных способов повышения производительности труда и его качества является нематериальное стимулирование персонала. Прописная истина – кадры решают всё! Не учитывать психологическое состояние людей, в наше время, по крайней мере, не выгодно.

Руководители подразделений должны быть обучены грамотной и эффективной мотивации труда, совершенствованию навыков психологической игры, должны избегать унижений и конфликтов.

Считаю, что в "Проект на производство сейсморазведочных работ" должен быть включен раздел "Психогигиена труда". Руководители полевых подразделений должны быть обеспечены методическими пособиями, иметь психологическую подготовку с учетом специфики сейсморазведочных работ.

В настоящее время с группой тюменских энтузиастов-психологов мы пытаемся на профессиональном уровне разработать комплекс мер, средств, учебную программу, методички и т.д., в области психогигиены, психопрофилактики труда в полевых геофизических партиях. Но, хотелось бы знать более широкое мнение "полевиков" –

А нужно ли все это ?

С уважением,
01.02.10г.

Валерий Иванович Рычков
г. Тюмень

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ