TEM and sTEM Electromagnetic Studies Application in Geological Settings of Arctic Zone of Western Siberia

N.V. Misiurkeeva* (Irkutsk Electroprospecting Company), I.V. Buddo (Irkutsk Electroprospecting Company, Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the RAS), Y.A. Agafonov (Irkutsk Electroprospecting Company), I.A. Shelohov (Irkutsk Electroprospecting Company), A.S. Smirnov (LLC Gazprom geologorazvedka, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Industrial University of Tyumen»/ IUT), M.G. Zharikov (LLC Gazprom dobycha Urengoj), A.S. Kulichenko (LLC Gazprom dobycha Urengoj)

SUMMARY

The article describes results of electromagnetic TEM and sTEM exploration in the settings of the Arctic zone of Western Siberia. The research consisted of a separate study of the upper and the lower parts of the section, which made it possible to obtain a detailed geoelectric model in the depth interval from the first meters to 5 km.

As a result of the research, the latest data on the distribution and thickness of permafrost rocks, deep channels of hydrocarbon migration, and prospects for the oil and gas potential of the study area were obtained.

The boundary of the cryolithozone distribution according to the sTEM is presumably located at a depth of about 450 - 470 m. In addition, for the first time, according to the data of the sTEM, the prerequisites for the presence of gas hydrate deposits in the shallow section are revealed. According to EM data, the geoelectric structure of the sedimentary rocks to a depth of 5 km was estimated by the method of deep 3D TEM, and promising oil and gas bearing objects in the sedimentary cover of the study area were identified.

Результаты применения электромагнитных исследований 3D ЗСБ и мЗСБ в условиях Арктической зоны Западной Сибири

Н.В. Мисюркеева* (АО «ИЭРП»), И.В. Буддо (АО «ИЭРП»), Ю.А. Агафонов (АО «ИЭРП»), А.С. Смирнов (ООО «Газпромгеологоразведка»), М.Г. Жариков (ООО Газпром добыча Уренгой), А.С. Кулинченко (ООО Газпром добыча Уренгой).

Введение

В условиях Арктической зоны Западной Сибири проведены уникальные в своем роде электроразведочные работы 3D ЗСБ и мЗСБ. Работы заключались в раздельном изучении верхней и глубинной частей разреза, что позволило получить детальную геоэлектрическую модель в интервале глубин от первых метров до 5 км.

В результате исследований получены новейшие данные о распространении и мощности многолетнемерзлых пород (ММП), глубинных очагах миграции углеводородов, а также изучены перспективы нефтегазоносности территории исследования.

Метод и/или Теория

Электроразведочные работы зондированием становления поля в ближней зоне (ЗСБ) проводились на территории Западной Сибири по высокоплотной сети наблюдений. За счет наличия в разрезе относительно «молодых» мезо-кайнозойских отложений, осадочный чехол территории исследования характеризуется низкими значениями удельного электрического сопротивления (УЭС). На фоне высокопроводящего разреза повышенным электрическим сопротивлением могут обладать перспективные в нефтегазоносном отношении горизонты, а также многолетнемерзлые горные породы верхней части разреза, что позволяет картировать данные интервалы методом ЗСБ.

Результаты работ методом малоглубинных ЗСБ

Территория исследования характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, связанными с распространением многолетнемерзлых пород, поражением территории криогенными процессами, которые вносят существенные осложнения при строительстве скважин, а также ухудшают качество материалов сейсморазведочных работ при поисках на нефть и газ на территории Западной Сибири.

По данным электроразведочных работ мЗСБ в разрезе территории исследования выявлено двухслойное строение многолетнемерзлых пород, представленных толщами современной и реликтовой мерзлоты, разделенных межмерзлотным таликом [2, 4]. Первый слой ММП фиксируется до глубин около 100 – 180 м. По геокриологическим и геоэлектрическим характеристикам слой разделяется на 2 горизонта: сильнольдистые породы с температурой около -4 - -5°C и сопротивлением по данным мЗСБ от 100 до 2000 Ом·м, и менее льдистые, с температурой около -2°C и сопротивлением по данным мЗСБ от 20 до 200 Ом·м. Вкупе оба горизонта представляют собой мощную толщу современных многолетнемерзлых пород, с присущими ей отрицательными температурами, повышенной льдистостью и, соответственно, высоким УЭС.

Необходимо отметить весьма неровную границу подошвы залегания современной толщи ММП (Рисунок 1). Отмечаются как локальные увеличения мощности ММП, так и участки ее значительного сокращения. Предполагается, что в период ледникового похолодания, в то время, когда происходило углубление фронта промерзания пород разреза, ему препятствовал встречный глубинный тепловой поток. В результате чего, по всей видимости, сформировался характерный рельеф подошвы ММП. В областях развития ММП неравномерность

распределения глубинного тепла находит естественное прямое отражение в строении подошвы толщи ММП. Кроме того, в это же время мог происходить подток углеводородов из глубинных залежей в толщу ММП, который также оказывал существенное влияние на формирование рельефа ее подошвы.

Рисунок 1 Результаты работ методом мЗСБ: А – Карта рельефа подошвы толщи современных ММП; Б – куб мЗСБ в разрезе.

Первый слой ММП подстилается породами, находящимися, предположительно, в талом (охлажденном) состоянии. Мощность горизонта талых пород составляет около 20 м. Сопротивление по данным мЗСБ не превышает 20 Ом·м. На отдельных участках мощность проводящего горизонта увеличивается до 50 м. Что характерно, в зонах увеличения мощности проводящих отложений отмечается закономерная деградация вышележащего слоя многолетнемерзлых пород.

Учитывая преимущественно низкие значения сопротивления отложений по данным мЗСБ и каротажа сопротивлений, увеличение показаний гамма-каротажа в скважинах глубокого бурения, данный горизонт можно интерпретировать как распространение талых пород с увеличением глинистой составляющей. Наличие возможного распространения межмерзлотных таликов подтверждается результатами бурения на прилегающих площадях.

На глубине около 170 – 270 м по данным мЗСБ фиксируется выдержанный горизонт, характеризующийся относительным повышением сопротивления до 25 – 40 Ом·м. Данные априорной информации указывают, что ниже глубины около 250 м породы находятся в морозном состоянии (без видимых включений льда). Выделенный по электроразведочным данным горизонт отождествляется с развитием на данной глубине толщи реликтовых многолетнемерзлых пород, подошва которых ассоциируется с границей криолитозоны.

В результате интерпретации материалов мЗСБ были выявлены некоторые закономерности. Во-первых, положению бугров пучения, озер и хасыреев на территории исследования присуща определенная зональность, заключающаяся в расположении этих объектов строго с юго-запада на северо-восток площади исследования. Во-вторых, анализируя карту подошвы слоя современной мерзлоты, также наблюдается определенная зональность. Здесь с юго-запада на северо-восток фиксируется область увеличения мощности горизонта, в пределах которой располагаются известные бугры пучения. Кроме того, под большинством бугров пучения в отложениях верхней части разреза отмечаются неоднородности, связываемые с каналами миграции газа.

Помимо изучения распространения ММП, проведен анализ возможности наличия в отложениях верхней части разреза скоплений газогидратов и газа в свободном состоянии.

На севере Западной Сибири при бурении верхней части разреза довольно часто отмечаются газопроявления из мерзлой толщи пород (п-ов Ямал, Гыданский п-ов, Тазовский п-ов). Выбросы газа зачастую отличаются высокой интенсивностью и большими дебитами, близкими к промышленным. Подобные явления связываются с природными газовыми гидратами, которые могут образовываться в осадочных отложениях при определенных условиях

(термобарических, геохимических и др.). Западно-Сибирская НГП является наиболее перспективной для освоения континентальных газовых гидратов.

На геоэлектрических разрезах территории в местах увеличения мощности первого слоя ММП наблюдаются вертикальные геоэлектрические неоднородности, вероятно, связанные с каналами миграции газа. Представляется, что участки повышенной мощности ММП, входящие в зону метастабильности, в свое время были насыщены поступающими по каналам миграции УВ, которые в течение времени были законсервированы, что, вероятно также могло оказать влияние на формирование и нынешнее состояние рельефа ее подошвы. Таким образом, предполагается, что в местах увеличения мощности ММП и сопротивления по данным мЗСБ могут быть обнаружены залежи газогидратов [1, 3, 5].

Результаты работ методом глубинных ЗСБ

По данным электроразведочных работ методом глубинных 3D ЗСБ оценено геоэлектрическое строение осадочного чехла до глубины 5 км, выделены перспективные в нефтегазоносном отношении объекты в осадочном чехле территории исследования.

Основными нефтегазоносными комплексами (НГК) на территории являются сеноманский, неокомский и средне-верхнеюрский.

К кровле верхней сеноманской части покурской свиты, перекрытой региональной покрывкой, приурочены основные скопления сухого газа (пласт ПК₁), образующие крупные, гигантские и супергигантские по запасам залежи. Для выделения газоносного пласта ПК₁ в интервале сеноманского НГК была применена специальная методика интерпретации, по результатам которой получена карта распределения УЭС пласта ПК₁, освобожденная от влияния вмещающих высокопроводящих пород. Учитывая данные РИГИС в скважинах, результаты испытаний, а также результаты, полученные по данным ЗСБ, составлена прогнозная карта развития коллектора в пласте ПК₁. Так, по данным ЗСБ, максимальные значения сопротивления 3 – 10 Ом·м свидетельствуют о газовом насыщении коллектора ПК₁, а уменьшение сопротивления до 2 – 2.5 Ом·м связывается с увеличением водонасыщенности горизонта. Значения сопротивления менее 2 Ом·м свидетельствуют о практически полной водонасыщенности пласта. Основную часть площади занимает газонасыщенная часть залежи, по периферии которой отмечается газо-водяное насыщение.

Кроме того, составлены прогнозные карты развития коллекторов в неокомском нефтегазоносном комплексе, который является основным продуктивным объектом в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (Рисунок 2). Прогнозные карты составлены как для верхнего комплекса, содержащего залежи в шельфовых пластах, так и для нижнего, объединяющего сложно построенные алевролитно-песчаные линзы ачимовской толщи.

Поисковым признаком наличия газонасыщенных коллекторов в отложениях неокома является повышенное УЭС соответствующего интервала на фоне относительно пониженных УЭС вмещающих отложений.

На карте перспектив нефтегазоносности неокомских отложений (пласты группы БУ) отмечается локальный характер распространения коллекторов. Участки с сопротивлением свыше 15 Ом·м, характеризующие развитие коллектора с углеводородным насыщением и хорошими ФЕС, протягиваются в виде полосы север-северо-западного простирания и в юго-восточном направлении площади. В юго-западном углу площади также фиксируются локальный участок с сопротивлением, превышающим 15 Ом·м, и характеризующийся также вероятно высокими ФЕС и наличием коллектора с углеводородным насыщением.

На карте перспектив нефтегазоносности ачимовских отложений большую часть территории исследования покрывают значения сопротивления более 9 Ом·м, что свидетельствует о вероятном углеводородном насыщении коллектора. Локальные участки развития коллектора с ухудшенными ФЕС протягиваются в виде зоны северо-восточного простирания.

Рисунок 2 Карта перспектив нефтегазоносности: А – верхней части неокомского комплекса (отложений группы пластов БУ), Б – ачимовской толщи.

Условные обозначения: 1 – пункты 3D ЗСБ; 2 – изолинии УЭС, Ом·м; 3 – скважины глубокого бурения; 4 – контур работ 3D ЗСБ; 5 – нефтяной промысел; 6 – изолинии структурной поверхности; скважины глубокого бурения с притоком: 7 – газа и воды; 8 – воды; 9 – нефти и газа; 10 – нефти и воды; 11 – скважины без притока.

Выводы

1. Осадочный чехол территории исследования характеризуется низкими значениями УЭС. На фоне высокопроводящего разреза повышенным электрическим сопротивлением обладают перспективные в нефтегазоносном отношении горизонты, а также многолетнемерзлые горные породы верхней части разреза.
2. ММП как по площади, так и по глубине характеризуются неравномерным распространением и различным строением. В пределах изучаемой площади выделяется двухслойное строение толщи многолетнемерзлых пород.
3. Граница распространения криолитозоны на территории исследования предположительно располагается на глубине около 450 – 470 м.
4. Выявлены предпосылки наличия в зоне ММП залежей газовых гидратов
5. По данным электроразведочных работ методом глубинных ЗСБ оценено геоэлектрическое строение осадочного чехла до глубины 5 км.
6. По данным электроразведочных работ ЗСБ выделены перспективные в нефтегазоносном отношении объекты в осадочном чехле территории исследования

Библиография

1. Афанасенков А.П., Волков Р.П., Яковлев Д.В. Аномалии повышенного электрического сопротивления под слоем многолетнемерзлых пород – новый поисковый признак залежей углеводородов // Геология нефти и газа, 6'2015, с. 40 – 52
2. Баду Ю.Б. Геологическое строение криогенной толщи севера Западной Сибири // // Инженерная геология. — 2011. — № 1. — с. 40 – 56
3. Васильева З.А., Джафаров Д.С., Аметова Т.А. Косвенные техногенные признаки индикации газогидратов в криолитозоне // Криосфера Земли, 2011, т. XV, № 1, с. 61 –67
4. Сергеев К.С., Рыжков В.И., Белоусов А.В., Бобачев А.А., Сафиуллин Р.И. Изучение многолетнемерзлых пород с использованием комплекса методов инженерной геофизики (на примере кустовой площадки нефтегазоконденсатного месторождения в Западной Сибири) // Инженерные изыскания 10-11/2015, с. 46-53.
5. Якушев В.С., Перлова Е.В., Махонина Н.А., Чувиллин Е.М., Козлова Е.В. Газовые гидраты в отложениях материков и островов // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им Д.И. Менделеева), 2003, т. XLVII, №3, с. 80 – 90

References

1. Afanasenkov A.P., Volkov R.P., YAKovlev D.V. Anomalii povyshennogo ehlektricheskogo soprotivleniya pod sloem mnogoletnemerzlyh porod – novyj poiskovyj priznak zalezhej uglevodorodov // *Geologiya nefti i gaza*, 6'2015, s. 40 – 52
2. Badu YU.B. Geologicheskoe stroenie kriogennoj tolshchi severa Zapadnoj Sibiri // // *Inzhenernaya geologiya*. — 2011. — № 1. — s. 40 – 56
3. Vasil'eva Z.A., Dzhafarov D.S., Ametova T.A. Kosvennye tekhnogennye priznaki indikacii gazogidratov v kriolitozone // *Kriosfera Zemli*, 2011, t. XV, № 1, s. 61 –67
4. Sergeev K.S., Ryzhkov V.I., Belousov A.V., Bobachev A.A., Safiullin R.I. Izuchenie mnogoletnemerzlyh porod s ispol'zovaniem kompleksa metodov inzhenernoj geofiziki (na primere kustovoj ploshchadki neftegazokondensatnogo mestorozhdeniya v Zapadnoj Sibiri) // *Inzhenernye izyskaniya* 10-11/2015, s. 46-53.
5. YAKushev V.S., Perlova E.V., Mahonina N.A., CHuvilin E.M., Kozlova E.V. Gazovye gidraty v otlozheniyah materikov i ostrovov // *Ros. him. zh. (ZH. Ros. him. ob-va im D.I. Mendeleeva)*, 2003, t. XLVII, №3, s. 80 – 90