

Интегрирование данных электромагнитных и сейсморазведочных исследований на всех стадиях геологоразведочных работ: от поисково-оценочного этапа до разработки месторождений углеводородов

И.В. Буддо

к.г.-м.н., заместитель главного геофизика¹, ведущий инженер²
biv@ierp.ru

А.С. Смирнов

к.г.-м.н., начальник отдела интегрированного анализа геолого-геофизических данных³, доцент⁴
a.smirnov@ggr.gazprom.ru

Н.В. Мисюркева

ведущий геолог¹, ведущий инженер²
mnv@ierp.ru

И.А. Шелохов

геофизик¹, ведущий инженер²
sia@ierp.ru

А.В. Поспеев

д.г.-м.н., ведущий научный сотрудник²
avp@ierp.ru

В.В. Касьянов

заместитель начальника отдела интегрированного анализа геолого-геофизических данных³
v.kasyanov@ggr.gazprom.ru

Ю.А. Агафонов

к.т.н., генеральный директор¹
aqa@ierp.ru

¹АО «Иркутское электроразведочное предприятие», Иркутск, Россия
²Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия
³ИТЦ ООО «Газпром геологоразведка», Тюмень, Россия
⁴ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

В статье обоснована актуальность совершенствования имеющихся и разработка новых технологий совместной интерпретации геофизических методов, направленных на поиски и разведку месторождений углеводородов. Рассмотрены возможности сейсморазведки и электроразведки методом зондирования становлением поля в ближней зоне (далее — ЗСБ) при решении нефтегазописковых задач в Западной Сибири. Применительно к сейсморазведке детально рассмотрена возможность анализа

на сегодняшний день актуальной является задача совершенствования имеющихся и разработка новых технологий совместной интерпретации геофизических методов, играющих важную роль на всех стадиях геологоразведочных работ (далее — ГРП) на углеводороды. Основная цель данных исследований — комплексирование современной сейсморазведки и электроразведки, направленное на повышение эффективности данных методов при поисках и разведке месторождений нефти и газа в Западной и Восточной Сибири.

Разведка и освоение крупных нефтяных и газоконденсатных месторождений приполярной области Западной Сибири в значительной степени опираются на результаты проводимых здесь сейсморазведочных работ 2D-3D. При этом залежи характеризуются сложным геологическим строением вмещающего разреза и большим диапазоном глубин целевых интервалов от 900 м для сеноманских залежей газа до 4000 м для верхне-среднеюрских залежей нефти, газа и газоконденсата. Сложные сейсмогеологические условия затрудняют использование сейсмических методов исследований. Вместе с тем, применение

электроразведки позволяет изучить удельное электрическое сопротивление перспективных интервалов разреза и, с привлечением результатов петрофизических исследований, оценить тип насыщения коллектора.

В 2016 г. в условиях Арктической зоны Западной Сибири были выполнены уникальные высокоплотные сейсморазведочные МОВ ОГТ 3D и электроразведочные работы методом ЗСБ в модификациях 3D и малоглубинного ЗСБ (далее — мЗСБ). По результатам работ были построены детальные сейсмогеологические и геоэлектрические модели исследуемого разреза для диапазона глубин от 10 до 5000 м [1, 4].

Сейсморазведочные исследования

В последнее десятилетие, в связи с повышенным интересом нефтегазовой геологии к изучению трещиноватых коллекторов в плотных породах осадочного чехла и кристаллических породах фундамента, активно развиваются методы численного моделирования распространения сейсмических волн, используемые на различных этапах и стадиях ГРП [5].

Проблема представления о физике

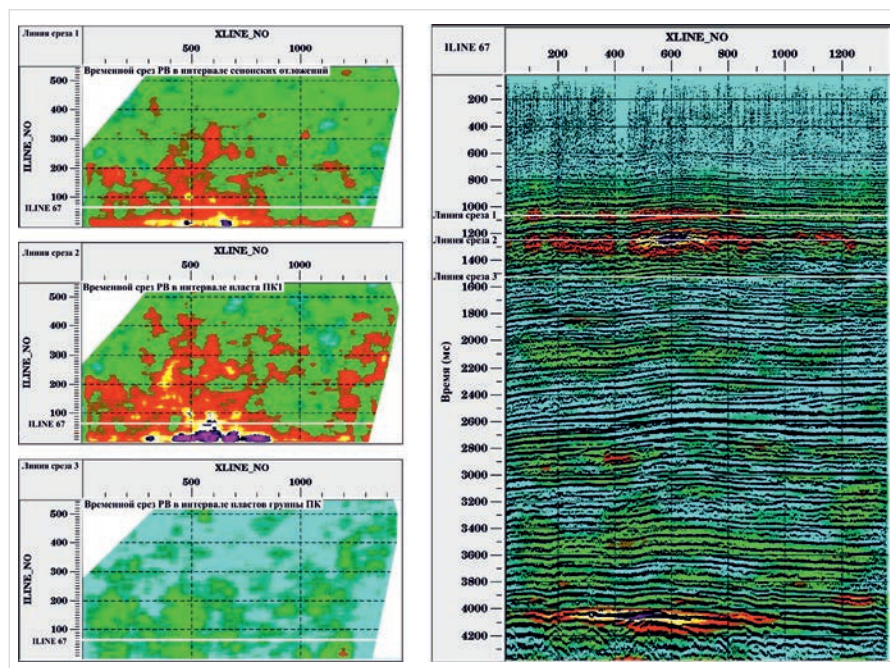


Рис. 1 — Анализ поля РВ МОВ ОГТ 3D в интервале сенонских отложений, сеноманской залежи, пластов группы ПК, пород фундамента.

Fig. 1 — Analysis of the scattered wave field from 3D seismic in the Senonian Fm., the Cenomanian Fm. Intervals, the PK horizons and the basement rocks

рассеянных волн для прогноза зон трещиноватости и кавернозности. Проведение электроразведки ЗСБ позволяет уточнить контуры залежей углеводородов, выявленных по сейсморазведке. Опираясь на данные бурения, петрофизические зависимости и емкостные характеристики коллектора (по сейсморазведке), возможно перейти к прогнозу типа его насыщения – определению коэффициента остаточной водонасыщенности. Показано, что результаты, полученные с помощью интегрирования сейсморазведочных и электромагнитных зондирований, позволяют существенно повысить детальность и непротиворечивость геологической модели участка исследований на всех этапах исследований: от поисково-разведочных работ до стадии разработки и эксплуатации месторождений углеводородов.

Материалы и методы

В исследованиях были использованы материалы, полученные в ходе производственных и камеральных сейсморазведочных и электроразведочных работ в Западной Сибири, с привлечением современных подходов, включая математическое моделирование.

Ключевые слова

интегрирование, сейсморазведка, рассеянные волны, электроразведка, тип насыщения

влияния нефтегазонасыщения горных пород на изменение энергии колебаний упругих волн, до настоящего времени точно не решена и носит неоднозначный характер. Расчет потери энергии за счет трения флюидов о стенки пор и за счет теплообмена между твердой фазой и заполнителем на основе применения теории Френкеля-Био показывает, что нефтегазонасыщение приводит к некоторому увеличению поглощения продольных волн. Более существенное влияние на ослабление энергии продольных колебаний оказывает двухфазность флюида. При распространении фронта волны через неоднородные по своему строению залежи углеводородов (состоящие из газа–воды, нефти–воды) происходит более существенное изменение амплитудно-частотного состава продольных волн.

Аналогичный эффект потери энергии продольных волн наблюдается при прохождении фронта волны через зоны с резким изменением фильтрационно-емкостных свойств среды, каналов флюидомиграций, «газовых труб». В областях с высокой трещиноватостью, кавернозностью происходит перераспределение энергии падающих продольных волн в сторону увеличения восходящих потоков за счет эффекта рассеивания.

По многочисленным теоретическим и экспериментальным данным выявлено, что наиболее интенсивные рассеянные волны (далее — РВ) возникают в зонах открытой трещиноватости и многочисленных каверн. Значительная густота и раскрытость трещин в подобных зонах приводят к существенному затуханию сейсмической энергии и возникновению рассеянной составляющей волнового поля. Микротрещиноватость резервуаров в значительной степени образуется вследствие естественного флюидоразрыва пород резервуаров при образовании залежи УВ за счет инъекции глубинных флюидов (в виде парогазовой смеси), что приводит к дополнительному возрастанию спектральной энергии рассеянной компоненты в волновом поле.

В результате анализа атрибутов РВ по данным МОВ ОГТ 3D на рассматриваемом участке работ (рис. 1, 2) были установлены обширные и многочисленные аномалии РВ в отложениях сенона, сеноманская залежь в поле РВ смотрится однозначно. Ниже по разрезу в южной части участка и частично на северо-востоке фиксируются значительные аномалии РВ в пластах группы ПК (рис. 1).

В интервале шельфовых отложений также наблюдаются несколько обширных по простиранию зон разуплотнений, интенсивность которых несколько ниже. Глубже по разрезу (в интервале ачимовской толщи) энергия РВ заметно снизилась. Однако уже в отложениях верхней юры и ниже вплоть до фундамента (в котором отмечаются максимальные значения энергии РВ) интенсивность поля рассеянных волн снова возросла (рис. 2).

Области с аномально высокими значениями энергии поля РВ в перспективных отложениях, по нашему мнению, вызваны пустотами разного диаметра и протяженности, заполненными углеводородами и водой. Другими словами, хаотичной трещиноватостью, образовавшейся (в значительной степени) многочисленными флюидоразрывами под воздействием внедренных в ослабленные зоны потоков газов и флюидов с нижних интервалов разреза. Их наличие — это важный поисковый критерий нефтегазоносности. Выделенные зоны трещиноватости по высокому уровню энергии РВ представляют важный поисковый интерес, их положение в общих чертах совпадает с залежами УВ в осадочном чехле на многих разведанных лицензионных участках.

Методика с использованием РВ была опробована не только на месторождениях Западной Сибири, но и на значительной части месторождений и лицензионных участках Восточной Сибири. Получив положительный результат применения данной методики на уже выявленных месторождениях, мы считаем, что данный подход может использоваться

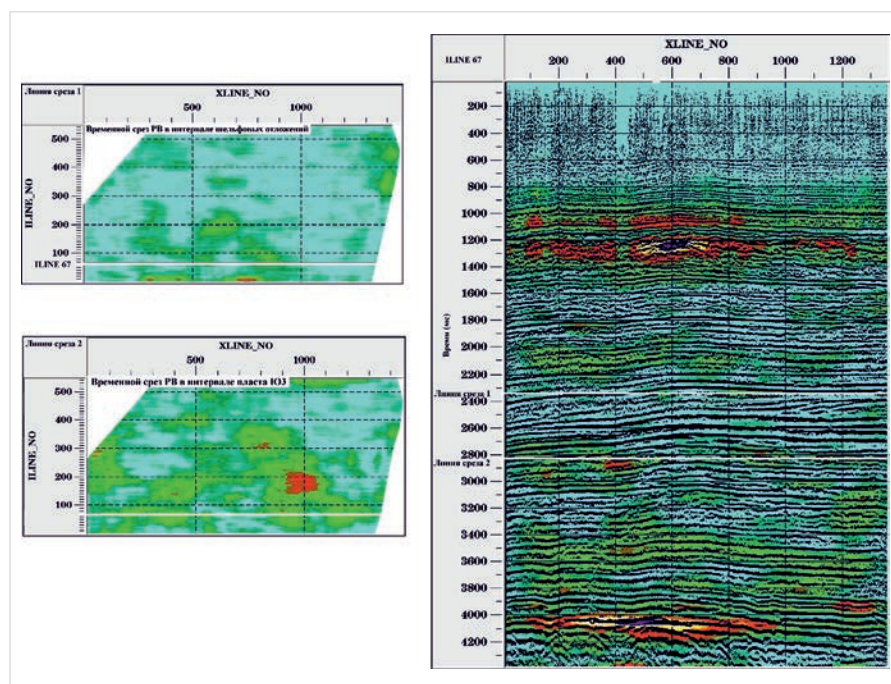


Рис. 2 — Анализ поля РВ 3D МОГТ в интервале шельфовых пластов, пласта Ю3, пород фундамента

Fig. 2 — Analysis of the scattered wave field from 3D seismic in the shelf Neocomian, Jurassic U3 intervals and the basement rocks

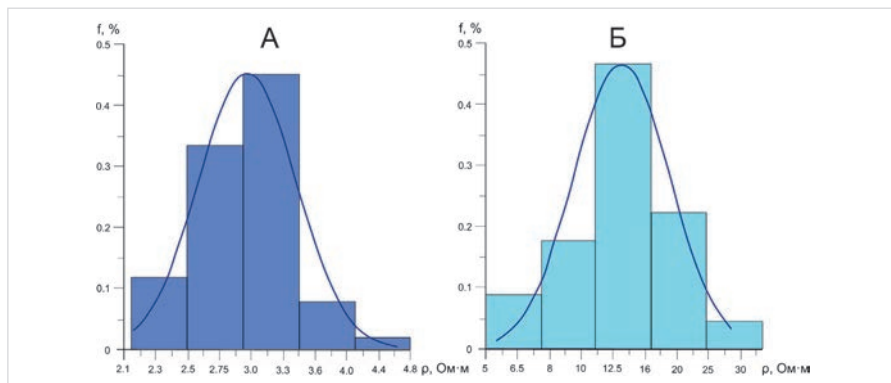


Рис. 3 — Гистограммы распределения сопротивления пласта ПК1 при водном (А) и газовом (Б) насыщениях

Fig. 3 — Histograms of the PK1 resistivity distribution for water (A) and gas (B) saturations

для поиска и разведки сложнопостроенных и глубокозалегающих месторождений с коллекторами трещинно-кавернозного типа на недостаточно изученных глубоким бурением и других территориях.

Электромагнитные исследования

В 70–80 гг. прошлого века на территории Западной Сибири, в т.ч. Ямало-Ненецкого АО (далее — ЯНАО), был выполнен значительный объем электроразведочных работ различными методами, включая магнитотеллурические зондирования (далее — МТЗ) и ЗСБ. Однако во многих случаях результаты электроразведочных работ оказывались недостаточно информативными. Такое положение вещей объяснялось сложной геологической задачей — выделения углеводородонасыщенных коллекторов (высокоомных объектов) в хорошо проводящем разрезе (суммарная проводимость варьирует от многих сотен до нескольких тысяч сименс). Зачастую перспективные в нефтегазоносном отношении объекты

залегают на большой глубине в 2–3 км и более. В столь сложных геологических условиях, учитывая несовершенство аппаратуры того времени, решить задачу было крайне сложно. Также на объемы проводимых электроразведочных работ повлиял развал СССР, приведший многие геологоразведочные организации в упадок. Все вышеперечисленные факторы привели к тому, что на протяжении последних десятилетий глубинная нефтегазопроисковая электроразведка выполнялась практически только на территориях нераспределенного фонда, по заказу Роснедр. Подавляющий объем электроразведочных работ выполнялся методом МТЗ, тогда как работы ЗСБ в ЯНАО, да и в целом в Западной Сибири, практически вовсе не проводились.

Однако в настоящее время высокий уровень технических возможностей электроразведки позволяет решать сложные задачи, ранее трудновыполнимые. Так в 2013 г. в пределах одного из лицензионных участков Тазовской губы был выполнен пилотный проект,

целью которого являлась оценка перспектив нефтегазоносности не только меловых, но и юрских отложений. Необходимо отметить, что оценка перспектив юрских отложений — достаточно сложная задача, учитывая значительную глубину их залегания — более 4 км. Поэтому был применен комплекс электроразведочных методов: ЗСБ, МТЗ, а также мало-глубинные ЗСБ.

Результаты, полученные с помощью интегрирования сейсморазведочных и электромагнитных зондирований, позволяют существенно повысить детальность и непротиворечивость геологической модели участка исследований на всех этапах исследований: от поисково-разведочных работ до стадии разработки и эксплуатации месторождений углеводородов.

Петрофизические предпосылки применения электроразведки в Западной Сибири

Отличительной особенностью литологии отложений осадочного чехла Западной Сибири является его относительно молодой мезо-кайнозойский возраст, типично осадочное происхождение. Это обуславливает слабую литификацию пород, относительно большое распространение слабосцементированных пород. Анализ зависимостей $R_p = f(\kappa_c)$ дает основание сделать вывод о высоком сопротивлении кристаллической матрицы пород, слагающих мезозойские коллекторы — более первых сотен Ом·м. В частности, определяющий характер на изменение пористости пласта ПК1 отложений сеномана играет его глинизация.

В ходе исследований для определения средней величины сопротивления водо- и газонасыщенного коллектора ПК1 использованы материалы интерпретации данных бокового каротажа скважин. Значения ρ_o и ρ_r равны 3 и 14 Ом·м соответственно (рис. 3). Таким образом, среднее соотношение сопротивления газонасыщенного и водонасыщенного коллектора для пласта ПК1 составляет примерно 4.5/1. Для верхневаланжин-аптского НГК значения ρ_o и ρ_r равны 9 и 21 Ом·м соответственно, т.е. отношение значений ρ_r/ρ_o немногим превышает 2. Необходимо отметить, что для коллекторов верхневаланжин-аптского НГК характерна более сложная структура порового пространства по сравнению с отложениями ПК1.

Электромагнитные исследования методом ЗСБ

Метод ЗСБ имеет давние традиции применения в России при решении широкого круга геологических задач: от изучения верхней части разреза до поисков и разведки месторождений углеводородов. Нестационарные электромагнитные зондирования могут применяться для решения различных геологических задач, в основе которых лежит дифференциация слагающих разрез горных пород по удельному электрическому сопротивлению (далее — УЭС). Для работ методом ЗСБ используют два основных типа сетей наблюдений: площадные и профильные. Профильные сети наблюдений в основном используются, когда отсутствует сеть сейсмических профилей или в условиях работы в урбанизированных районах. Площадные сети используются для решения задач детального

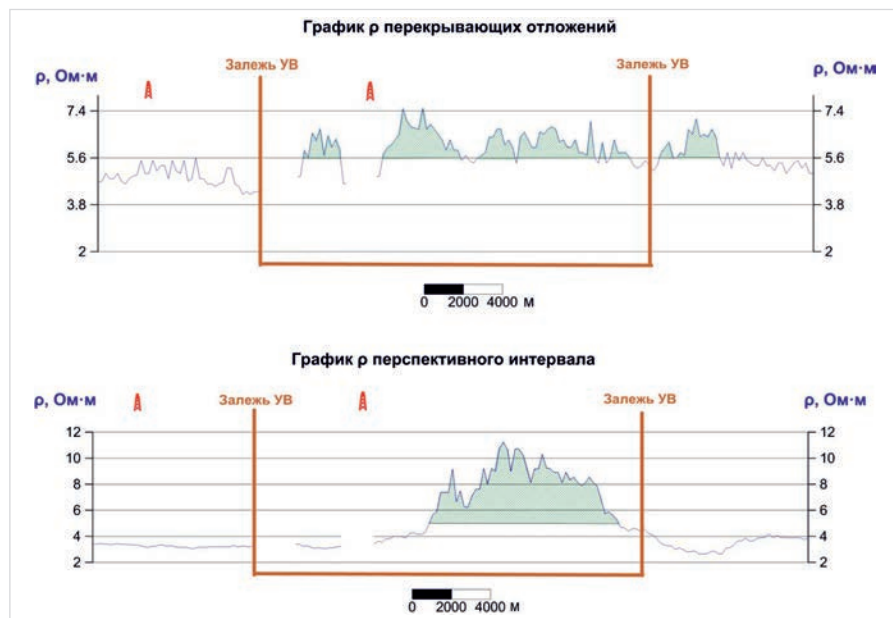


Рис. 4 — Графики УЭС перспективного интервала (сеноман) и перекрывающих отложений



1 — скважины глубокого бурения; 2 — контур установленной залежи пласта ПК1 по данным сейсморазведочных работ; 3 — аномалия УЭС, приуроченная к газовой залежи пласта ПК1.

разреза. Такие сети проектируются, как правило, по заранее имеющейся сети сейсмических профилей.

Оценка перспектив нефтегазоносности по данным электромагнитных зондирований на поисково-оценочном этапе

По результатам работ ЗСБ, проведенных в ЯНАО в 2013 г., были определены поисковые признаки наличия залежей УВ (рис. 4):

- повышение удельного электрического сопротивления коллектора;
- повышение удельного электрического сопротивления перекрывающих отложений.

На основании выявленных поисковых признаков участок работ был районирован по степени перспективности в нефтегазоносном отношении. Необходимо учесть, что применение ЗСБ позволяет уточнить контуры залежей углеводородов, выявленных по сейсморазведке. Опираясь на данные бурения, петрофизические зависимости и емкостные характеристики коллектора (по сейсморазведке), возможно перейти к прогнозу типа его насыщения — определению коэффициента остаточной водонасыщенности.

Особенный интерес представляет прогноз нефтегазоносности среднеюрских отложений, где поведение коллектора очень изменчиво и тип насыщения напрямую не зависит от структурного фактора. В данных условиях применение электроразведки актуально, особенно на поисковых и разведочных этапах.

Электромагнитные исследования на этапах доразведки и разработки

На стадиях доразведки и разработки месторождений УВ актуальными являются задачи уточнения положения флюидоконтактов, коллекторских свойств перспективных горизонтов, оценки горно-геологических условий бурения, а также изучения верхней части разреза (далее — ВЧР): оценки структуры многолетнемерзлых пород (далее — ММП), картирования залежей газогидратов, поисков подземных вод и т.д. [6].

Известно, что изучение верхней части разреза при постановке традиционных нефтегазопроисловых сейсморазведочных работ проблематично. Необходимо принять во внимание, что на глубине менее 500 м возможно наличие залежей свободного газа и газогидратов, что также повышает актуальность изучения ВЧР сейсмическими методами. С другой стороны, за счет повсеместного распространения ММП в ВЧР, его неоднородного строения качество сейсморазведочных материалов может существенно ухудшаться. Модели строения ВЧР, структуры ММП могут быть использованы при обработке данных сейсморазведки для повышения точности структурных построений [3].

По данным электроразведочных работ мЗСБ, выполненных в 2016 г. в условиях Арктической зоны Западной Сибири, в разрезе территории исследования выявлено двухслойное строение многолетнемерзлых пород, представленных толщами современной и реликтовой мерзлоты, разделенных межмерзлотным таликом. Выявлены субвертикальные аномалии геоэлектрических свойств пород, которые могут являться подводящими каналами миграции газа из глубинных

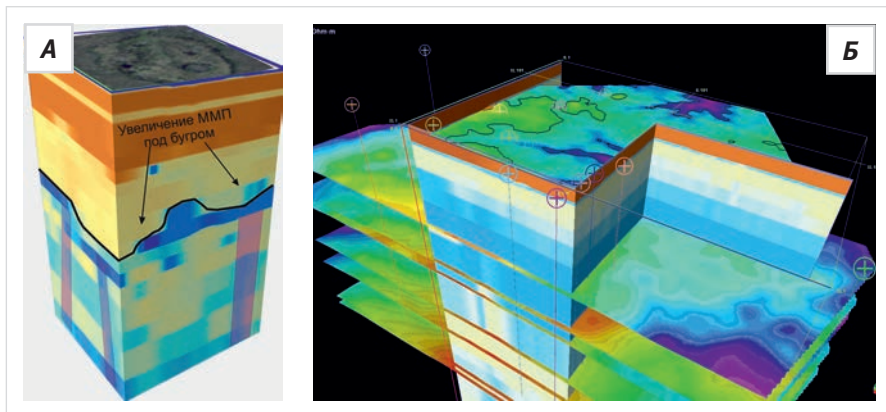


Рис. 5 — Пример результатов электромагнитных исследований: А — объемная 3D геоэлектрическая модель бугра пучения по мЗСБ (ВЧР); Б — геоэлектрический 3D куб по данным глубинных 3D ЗСБ.

Fig. 5 — Example of the electromagnetic studies results: А — 3D geoelectric model of the pingo from sTEM; Б — geoelectric 3D cube from 3D TEM data

интервалов разреза. Кроме того, получены объемные 3D геоэлектрические модели бугров пучения (булгуняхов), проявленных на территории исследований. По изменению удельного электрического сопротивления пород ВЧР сделано предположение, что в местах увеличения мощности ММП и сопротивления по данным мЗСБ могут быть обнаружены залежи газогидратов и газа в свободном состоянии.

В свою очередь, при оценке перспектив нефтегазоносности применение комплексных высокоплотных исследований позволяет выполнять прогноз коллекторских свойств и типа насыщения перспективных горизонтов в широком диапазоне глубин от сенон-сеноманских, неоконских залежей мела до среднеюрских отложений. При этом результаты электро- и сейсморазведки хорошо дополняют друг друга, позволяя изучать емкостные свойства горизонтов-коллекторов, а также тип их насыщения. Так, в пределах территории исследования выполнен прогноз перспектив нефтегазоносности отложений сеномана, шельфового неокома, ачимовской толщи и отложений верхней и средней юры (рис. 5).

Итоги

Обоснована актуальность совершенствования имеющихся и разработка новых технологий совместной интерпретации геофизических методов, направленных на поиски и разведку месторождений углеводородов. Показана эффективность подходов интерпретации сейсморазведки (анализ рассеянных волн) и электроразведки методом зондирования становлением поля в ближней зоне для решения нефтегазопроисловых задач.

Выводы

Результаты комплексных исследований в Западной и Восточной Сибири, полученные за последние годы, позволяют вполне обоснованно рекомендовать комплекс геологоразведочных работ, состоящих из электромагнитных и сейсморазведочных исследований на нефть и газ, как рациональный. Именно интегрирование сейсморазведки и сейсмических методов делает возможным повышение точности и достоверности геологических моделей месторождения. Вместе с тем, изучение верхней части разреза

— получение детальной геоэлектрической модели — позволяет не только использовать ее для повышения качества обработки данных сейсморазведки, картировать изменчивую структуру многолетнемерзлых пород, но и изучать проявление опасных криогенных процессов.

Литература

1. Мисюркеева Н.В., Буддо И.В., Агафонов Ю.А., Смирнов А.С., Жариков М.Г., Кулинченко А.С. Результаты применения электромагнитных исследований 3D ЗСБ и мЗСБ в условиях Арктической зоны Западной Сибири. Научно-практическая конференция «Геомодель 2017». Геленджик, 2017. DOI: 10.3997/2214-4609.201702225.
2. Смирнов А.С., Горлов И.В., Яицкий Н.Н., Горский О.М., Игнатьев С.Ф., Поспеев А.В., Вахромеев А.Г., Агафонов Ю.А., Буддо И.В. Интеграция геолого-геофизических данных — путь к созданию достоверной модели Ковыктинского газоконденсатного месторождения // Геология нефти и газа. 2016. №2. С. 56–66.
3. Шарлов М.В., Буддо И.В., Мисюркеева Н.В., Шелохов И.А., Агафонов Ю.А. Опыт эффективного изучения верхней части разреза методом зондирования становлением поля в ближней зоне с системой Fastsnap // Приборы и системы разведочной геофизики, 2017. №2. С. 8–23.
4. Buddo I.V., Misurkeeva N.V., Shelohov I.A., Agafonov Y.A., Smirnov A.S., Zharikov M.G., Kulichenko A.S. Experience of 3D Transient Electromagnetics Application for Shallow and Hydrocarbon Exploration within Western Siberia. EAGE Conference & Exhibition 2017. Paris, 2017. DOI: 10.3997/2214-4609.201700667.
5. Pervushin A.V., Segal Y.Z., Smirnov A.S. The new method of the seismic data processing when studying the complex folded sediments. International conference and exhibition on geoscience. Saint Petersburg, 2006.
6. Sharlov M.V., Buddo I.V., Misurkeeva N.V., Shelokhov I.A., Agafonov Yu.A. Transient electromagnetic surveys for high resolution near-surface exploration: basics and case studies. First break, 2017, vol. 35, issue 9, pp. 63–71.

Integration of electromagnetic and seismic survey data at all stages of geological exploration: from the prospecting stage to the development of hydrocarbon fields

Authors:

Igor V. Buddo — Ph.D., deputy chief geophysicist¹, lead engineer²; biv@ierp.ru

Alexander S. Smirnov — Ph.D., head of integrated analysis of geological and geophysical data³, associate professor⁴; a.smirnov@ggr.gazprom.ru, smirnovas@tyuiu.ru

Natalya V. Misyurkeeva — lead geologist¹, lead engineer²; mnv@ierp.ru

Ivan A. Shelohov — geophysicist¹, lead engineer²; sia@ierp.ru

Alexander V. Pospeev — Sc.D., lead researcher²; avp@ierp.ru

Viacheslav V. Kas'yanov — deputy head of the department of integrated analysis of geological and geophysical data³; v.kasyanov@ggr.gazprom.ru

Yuri A. Agafonov — Ph.D., general director¹ aua@ierp.ru

¹JSC IERP, Irkutsk, Russian Federation

²Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the RAS, Irkutsk, Russian Federation

³LLC Gazprom Geologorazvedka, Tyumen, Russian Federation

⁴Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Industrial University of Tyumen" Tyumen, Russian Federation Borets Company, Moscow, Russia

Abstract

The article describes the importance of improving existing and developing new technologies for joint interpretation of geophysical methods aimed at prospecting and exploration of hydrocarbon fields. The potential of seismic prospecting and electromagnetic exploration by transient electromagnetic method in the near field zone (TEM) in solving oil and gas exploration problems in Western Siberia are considered. Regarding to seismic prospecting, the possibility of analyzing scattered waves for the prediction of fracture and cavernousness zones is considered in detail. Conducting TEM survey makes it possible to clarify the contours of hydrocarbon fields identified by seismic prospecting. Based on drilling data, petrophysical studies and reservoir capacitance characteristics (by seismic survey), it is possible to proceed to the saturation type prediction - to determine the water saturation value. It is shown that the results obtained by integrating seismic and electromagnetic surveys make it possible

to significantly increase the detail and reliability of the survey area geological model at all stages of geological exploration: from prospecting to the development and exploitation stage of hydrocarbon fields.

Materials and methods

Within research, seismic and electromagnetic surveys data acquired during exploration in Western Siberia were used. Research methods: analysis of all available geological and geophysical data with the use of modern approaches, including mathematical modeling.

Keywords

Integration, seismic survey, scattered waves, electromagnetic survey, saturation type

Results

The importance of improving existing and developing new technologies for joint interpretation of geophysical methods aimed at prospecting and exploration

of hydrocarbon fields was proved. The effectiveness of seismic interpretation approaches (analysis of scattered waves) and transient electromagnetic method in the near field zone for solving oil and gas exploration problems is shown.

Conclusions

The results of integrated studies in Western and Eastern Siberia, obtained in recent years, allow recommend a set of geophysical methods consisting of electromagnetic and seismic exploration for oil and gas as optimal. It is the integration of seismic and non-seismic methods that makes it possible to increase the accuracy and reliability of geological models of the field. At the same time, studying the upper part of the section — obtaining a detailed geoelectric model — allows not only to use it to improve the quality of seismic data processing, map the poorly continuous structure of permafrost, but also to study the dangerous cryogenic processes appearance.

References

- Misyurkeeva N.V., Buddo I.V., Agafonov Yu.A., Smirnov A.S., Zharikov M.G., Kulichenko A.S. *Rezultaty primeneniya elektromagnitnykh issledovaniy 3D ZSB i mZSB v usloviyakh Arkticheskoy zony Zapadnoy Sibiri*. [TEM and sTEM Electromagnetic Studies Application in Geological Settings of Arctic Zone of Western Siberia]. Science and Applied Research Conference "Geomodel 2017". Gelendzhik, 2017. DOI: 10.3997/2214-4609.201702225.
- Smirnov A.S., Gorlov I.V., Yaitskiy N.N., Gorskiy O.M., Ignat'ev S.F., Pospeev A.V., Vakhromeev A.G., Agafonov Yu.A., Buddo I.V. *Integratsiya geologo-geofizicheskikh dannykh — put' k sozdaniyu dostovernoy modeli Kovyktinskogo gazokondensatnogo mestorozhdeniy*. [Integration of geological and geophysical data is a way to design an accurate model of the kovykta gas condensate deposit]. *Geologiya nefi i gaza*, 2016, issue 2, 56–66 pp.
- Sharlov M.V., Buddo I.V., Misyurkeeva N.V., Shelokhov I.A., Agafonov Yu.A. *Opyt effektivnogo izucheniya verkhney chasti razreza metodom zondirovaniya stanovleniem polya v blizhney zone s sistemoy FastSnap* [Experience of effective study of the upper part of the section by near-field transient electromagnetic sounding method with FastSnap system]. *Pribery i sistemy razvedochnoy geofiziki*, 2017, issue 2, pp. 8–23.
- Buddo I.V., Misyurkeeva N.V., Shelokhov I.A., Agafonov Yu.A., Smirnov A.S., Zharikov M.G., Kulichenko A.S. Experience of 3D Transient Electromagnetics Application for Shallow and Hydrocarbon Exploration within Western Siberia. EAGE Conference & Exhibition 2017. Paris, 2017. DOI: 10.3997/2214-4609.201700667.
- Pervushin A.V., Segal Y.Z., Smirnov A.S. The new method of the seismic data processing when studying the complex folded sediments. International conference and exhibition on geoscience. Saint Petersburg, 2006.
- Sharlov M.V., Buddo I.V., Misyurkeeva N.V., Shelokhov I.A., Agafonov Yu.A. Transient electromagnetic surveys for high resolution near-surface exploration: basics and case studies. *First break*, 2017, vol. 35, issue 9, pp. 63–71.