

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D070600 – Геология и разведка месторождений полезных ископаемых

Умирова Гульзада Кубашевна

Выделение геоэлектрических неоднородностей в образованиях осадочного чехла в пределах блока Каратон-Саркамыс на основе технологии магнитотеллурических зондирований (МТЗ)

Актуальность исследований. Каратон-Саркамысский тектонический блок расположен в восточной части Каспийского моря (приморская часть) и характеризуется не только сложностью структурно-тектонического строения (выклинивание соли кунгурского яруса, пространственное расположения геологических тел в блоке), но и широко развитой сменой условий седиментации и состава разновозрастных геологических образований.

Регион является во многих отношениях детально изученным, однако отдельные принципиальные вопросы его геологического строения остаются до настоящего времени дискуссионными. Известно, что при благоприятных условиях и высокой дифференцированности горных пород по электрическим свойствам метод МТЗ показывает хорошие результаты при изучении литолого-стратиграфических неоднородностей надсолевого комплекса пород и геологического строения верхнепалеозойских (девон-нижняя пермь) отложений в комплексе с данными сейсморазведки, магнито- гравиразведки, ГИС и бурения.

Современное состояние процесса освоения нефтяных и газовых месторождений в Казахстане характеризуется определенными сложностями при выборе оптимальных технологий поисков и разведки месторождений углеводородов. Это связано с изучением залежей, формирующихся в сложных горно-геологических условиях, увеличением в общем балансе доли трудноизвлекаемых запасов, в том числе связанных с низкопористыми карбонатными коллекторами, приуроченностью ряда месторождений к зонам с особым режимом природопользования, имеющими ограничения на недропользование. Вместе с тем, появились высокоточные и высокоразрешающие геофизические технологии, позволяющие дать детальное представление об особенностях строения объектов изучения. Данные технологии активно внедряются на стадии поисков и разведки, а зачастую и при разработке месторождений нефти и газа, что позволяет получить достоверную информацию для построения детальных моделей строения продуктивных объектов и корректировать направления эффективного их освоения.

Магнитотеллурические зондирования позволяют выявить специфические аномалии удельного сопротивления, связанные с эпигенетическими изменениями пород над залежью углеводородов, провести литологическое расчленение осадочных комплексов, выделить глубинные

разломы, крупные антиклинальные поднятия, структуры фундамента. Кроме того, по данным МТЗ по косвенным признакам можно прогнозировать зоны горизонтов, перспективных на нефть и газ.

Цель исследований состоит в изучении и оценке возможности эффективного применения электроразведки методом магнитотеллурического зондирования при решении нефтепоисковых задач в условиях Каратон-Саркамысского блока Прикаспийской впадины.

Для достижения поставленной цели решены *следующие основные задачи:*

- анализ состояния геофизических исследований методами МТЗ, МОГТ и ГИС при решении нефтепоисковых задач;
- петрофизическое обоснование применения комплексных геофизических исследований в районе работ;
- анализ и интерпретация данных МТЗ с использованием современных специализированных программно-аппаратурных комплексов;
- комплексный анализ электрометрических данных, сопоставление их с результатами выполненных сейсморазведочных, гравиметрических, магнитометрических исследований, материалами бурения;
- оценка эффективности совместного применения методов МТЗ, МОГТ и ГИС при поисках нефтегазовых ловушек;
- разработка методических рекомендаций комплексного анализа результатов геофизических исследований при решении нефтепоисковых задач в условиях Прикаспийской впадины в Казахстане.

Объектом исследований являются литолого-стратиграфические неоднородности надсолевого и подсолевого структурно-формационных комплексов пород блока Каратон-Саркамыс юго-восточного борта Прикаспийской впадины.

Научные положения и результаты, выносимые на защиту:

1. Электроразведка методом магнитотеллурических зондирований является инструментом, который успешно решает ряд геологических задач, связанных с поисками залежей углеводородов в пределах юго-восточной части Прикаспийской впадины, выступая как существенное дополнение к сейсморазведке и глубокому бурению.

2. Геоэлектрическая модель Каратон-Саркамысского блока представлена семью геоэлектрическими границами и восемью геоэлектрическими горизонтами, которые совпадают с сейсмическими отражающими горизонтами в изучаемой части разреза верхнепалеозойских-мезозойских отложений.

3. Комплексирование данных МТЗ с результатами сейсмо-грави- и магниторазведки, материалами бурения и каротажа скважин позволяет повысить достоверность геологической модели строения Каратон-Саркамысского блока.

4. Комплексирование дифференциально-нормированного и комплексного сейсмо-электроразведочного параметра K_p позволяет

обосновать ряд косвенных признаков для прогнозирования геологического разреза и оценки нефтегазоносности Каратон-Саркамысского блока.

Научная новизна исследований, представленных в диссертации, заключается в следующем:

- на основе исследований МТЗ в комплексе с геолого-геофизическими методами, выполненных автором: а) представлено геологическое истолкование строения надсолевого и подсолевого структурно-формационных комплексов; б) определены и классифицированы геологические задачи, показана геологическая эффективность электроразведки МТЗ на поиско-разведочной стадии выявления сложнопостроенных нефтегазоперспективных структур в условиях Каратон-Саркамысского блока юго-восточного борта Прикаспийской впадины;

- для сложнопостроенных разрезов автором разработан методический подход к комплексному анализу результатов полевых геолого-геофизических методов, включая данные грави- магниторазведки, каротажа и результатов бурения;

- выполнен анализ петрофизических свойств района исследований с привлечением большого фонда данных по данным ГИС, бурения;

- выделены особенности геоэлектрических разрезов МТЗ, которые дают возможность наблюдать субвертикальные транскоровые каналы повышенной проницаемости, которые могут быть агентами переноса глубинного термического потока и флюидов.

Методы исследования задач

Для решения поставленных задач была разработана и опробована методика комплексной интерпретации данных грави-, электро- и магниторазведки. Эти методы уже давно успешно применяются для изучения структурно-тектонических особенностей нефтегазоперспективных зон и крупных стратиграфических интервалов. В то время, как для решения более тонких задач выделения нефтегазоперспективных интервалов совместно с данными МТЗ использованы материалы сейсморазведки, ГИС и бурения.

Практическая значимость работы. На основе модельных зависимостей геоэлектрического и сейсмического разрезов получены новые данные о глубинном геологическом строении Каратон-Саркамысского блока:

- охарактеризовано строение палеозойских комплексов с выделением предполагаемых разрывных нарушений;

- выделены перспективные участки в мезозойских терригенно-осадочных комплексах горных пород;

- проведена оценка продуктивности выявленных сейсморазведкой структур и подтверждены участки профилей с улучшенными коллекторскими свойствами;

- на основании результатов МТ-зондирований даны рекомендации дальнейших детальнейших геологоразведочных работ.

Исследования, проведенные в последние годы по заказу частных нефтяных компаний в Казахстане с использованием данной методики, показали возможность повышения эффективности нефтепоисковых работ.

Результаты исследований МТЗ отличаются относительно хорошей коррелируемостью с геологической ситуацией при оценке надсолевых и подсолевых структур и в комплексе с сейсморазведкой и бурением позволяют дать качественную и количественную оценку перспектив нефтегазоности объектов исследований.

Апробация работы. Основные положения и результаты теоретических и экспериментальных исследований, выводы и рекомендации диссертации докладывались на ежегодных научных республиканских и международных конференциях и симпозиумах. Представленная работа явилась основой для создания учебного модуля курса лекций «Электроразведка», который автор читает с 2016 г. студентам-геофизикам Института дистанционного обучения при КазНИТУ имени К.И.Сатпаева.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, в том числе 1 статья в журнале с ненулевым импакт-фактором, 3 статьи в журналах, рекомендованных МОН РК, 12 статей в сборниках, опубликованных по результатам научных международных и республиканских конференций и тезисы трех докладов.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, основных выводов и рекомендаций, библиографического списка, включающего 90 наименований. Материал диссертации изложен на 153 страницах, включает 8 таблиц и 44 рисунка.

Во введении раскрыты актуальность исследований, конкретизированы вопросы, связанные с исследуемой темой. Поставлены цели, задачи и методы исследований, показаны научная новизна и практическая значимость работы.

Первый раздел диссертационных исследований посвящен обзору современного состояния электроразведочных методов при изучении перспектив нефтегазоности осадочных бассейнов. Рассмотрены возможности и современное состояние метода магнитотеллурических зондирований, актуальные проблемы МТЗ при решении нефтепоисковых задач, дано петрофизическое обоснование комплексной интерпретации геофизических данных.

На основе представленного в диссертации обзора применения метода МТЗ за рубежом и в Казахстане для решения геологических задач автором показано, что электроразведка методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ) является инструментом, который может успешно решать целый круг задач. Она позволяет:

- решить задачи выделения глубинных разломов, структур фундамента, крупных антиклинальных поднятий;
- выявить специфические аномалии удельного сопротивления, связанные с эпигенетическими изменениями пород над залежью углеводородов;
- на базе данных бурения и ГИС литологически расчленить осадочные комплексы;
- при наличии благоприятных внешних факторов косвенно выделить зоны улучшенных коллекторских свойств изучаемых продуктивных пластов.

В Казахстане в комплексе с аэромагнитной и гравитационной съемкой, сейсморазведкой и промыслово-геофизическими исследованиями, электроразведка в последние годы вносит значительный вклад в решение общих геологических задач, поисков и разведки нефтеносных и газоносных структур. Однако эффективность магнитотеллурической интерпретации находится в прямой связи с объемом априорной геолого-геофизической информации, в частности, с данными сейсморазведки, ГИС, магниторазведки и гравиразведки.

Петрофизический анализ района исследований показал, что геоэлектрическое строение осадочного чехла Прикаспийской впадины характеризуется благоприятными условиями для применения метода магнитотеллурических зондирований для решения геологических и прогнозных задач.

1. Основной особенностью является наличие трех геоэлектрических комплексов: надсолевого с проводимостью от единиц до первых десятков сименс, карбонатно-галогенного с поперечным сопротивлением около 10^7 Ом·м² и продольной проводимостью в единицы См и подсолевого с проводимостью от единиц до 15-20 См. Кристаллический фундамент впадины характеризуется как очень высокоомный пласт.

2. Высокое электрическое сопротивление плотных вмещающих пород осадочного чехла значительно отличается от сопротивления пластов-коллекторов.

3. Насыщение коллекторов высокоминерализованными флюидами обуславливает четкую корреляцию электрических свойств горизонтов и их емкостных параметров.

Во второй главе представлена краткая геологическая характеристика Каратон-Саркамысского блока с описанием основных стратиграфических интервалов и их физических характеристик, тектонического строения территории и нефтегазоносных комплексов. Выполнен обзор геолого-геофизической изученности исследуемой территории.

Обзор результатов геолого-геофизической изученности блока Каратон-Саркамыс показал высокую эффективность применения геофизических методов при изучении осадочных отложений и оценке нефтегазоперспективности района. Анализ изученности блока Каратон-Саркамыс показывает, что если площадь исследования хорошо исследована сейсмическими работами, то уровень изученности электроразведочными работами достаточно низкий.

Геологическое строение разведочного блока Каратон-Саркамыс характеризуется отражающими горизонтами «Ф» – (поверхность фундамента); ПЗ – поверхность, предположительно связанная с кровлей доверхнедевонских (досреднедевонских?) терригенных отложений; П₁ – кровля подсолевых отложений; П₂¹ – подошва башкирских отложений; П_{2д} – кровля девонских отложений; R – кровля девонского карбонатного резервуара; VI – поверхность соленосного кунгура; V – подошва юрского комплекса; III (подошва нижнего мела). Осадочный чехол представлен

разнородными терригенными и карбонатными породами, разделенными соленосными отложениями кунгурского яруса нижней перми на подсолевой и надсолевой комплексы.

Территория блока по особенностям нефтеносности надсолевого комплекса разделяется на три зоны: южную, западную и восточную. Согласно анализу геолого-геофизических материалов отмечается четко выраженная закономерность в пространственном размещении и стратиграфическом распределении нефтяных и газовых залежей;

Перспективы нефтегазоносности осадочных отложений на месторождениях Каратон-Саркамысского блока оцениваются положительно, но требуют более глубокого изучения с использованием данных 3D-МОГТ, МТЗ и увязки результатов этих съемок с материалами ГИС для возможного последующего моделирования залежи и выбора оптимальной схемы разработки.

В третьей главе показаны основные методические принципы исследования методом магнитотеллурических зондирования. Рассмотрены вопросы методики современных технологий полевых наблюдений, особенностей обработки и методика качественной и количественной интерпретации данных МТЗ.

Основные результаты и выводы по главе 3 заключаются в следующем.

1. Современные аппаратно-методические электроразведочные технологии МТЗ, позволяют получить результаты полевых измерений повышенной достоверности, благодаря своей точности, производительности, мобильности, помехозащищенности, уровню автоматизации.

2. Усовершенствованные технологии обработки и интерпретации магнитотеллурических исследований на основе современного программного обеспечения показало, что результаты МТЗ, выполненные на нефтегазоперспективных площадях, могут служить существенным дополнением к данным, получаемым сейсморазведкой и результатами бурения.

3. Современная методика интерпретации МТ-данных позволяет проводить 1D-инверсию эффективных кривых кажущегося сопротивления и фазы импеданса для выявления основных особенностей геоэлектрического строения осадочного чехла Каратон-Саркамысского блока.

4. Комплексирование методов МТЗ, метода МОГТ 3D и геофизических исследований скважин при поисках месторождений нефти и газа показывает хорошие результаты при решении региональных и, при благоприятных факторах, поисковых задач. Выделенные по данным МТЗ геоэлектрические горизонты совпадают с условными сейсмическими горизонтами и уверенно увязываются с геологическими реперами, установленными по данным ГИС.

5. Подошва соли, подсолевые отложения коррелируются с данными МТЗ достаточно условно. Причина несовпадения отражающих горизонтов и геоэлектрических границы состоит в том, что сейсмические границы формируются на границах смены акустического импеданса, причем, частота его смены по вертикали на порядок меньше, чем частота смены

геоэлектрических границ, формирующихся интегральными свойствами интервалов большой мощности.

В четвертой главе диссертационной работы рассмотрена методика комплексной интерпретации геофизических данных при изучении геологического строения и оценки нефтегазоносности Каратон-Саркамысского блока. Обоснованы целесообразность и эффективность применения дифференциально-нормированного и комплексного параметра при построении геологических разрезов по данным электро- сейсморазведки и глубокого бурения. Построены геоплотностные разрезы надсолевых и подсолевых отложений и уточнено положение магнитоактивных масс в составе верхнепалеозойских отложений и фундамента, апробирована методика привязки по глубине электроразведочных данных и материалов ГИС и керна. Построена физико-геологическая модель целевого разреза блока Каратон-Саркамыс по технологии «GeoVisor», реализующая комплексный анализ геолого-геофизической информации: данные ГИС, бурения, сейсморазведки, электроразведки, грави- и магниторазведки, в единой информационной среде (плоскости x, h или x, t_0).

Ведущее место в данном комплексе занимает сейсморазведка, обеспечивающая с высокой степенью достоверности решение структурных задач, без которых невозможно правильное истолкование природы наблюдаемых геофизических аномалий.

Электроразведка в силу своей высокой чувствительности к изменчивости литолого-фациальной характеристики отложений и, самое главное, к характеру флюидонасыщения их порового пространства, при наложении на временной сейсмический разрез обеспечивает возможность:

- дифференциации изучаемого разреза на проводящие и непроводящие комплексы и построения геоэлектрической модели среды;
- увязки и взаимной корректировки единых сейсмогеоэлектрических комплексов на основе скважинных данных;
- оценки нефтегазоносности перспективных интервалов разреза с целью «разбраковки» выявленных перспективных объектов на «пустые» и «продуктивные».

Гравиразведка дополнила сейсмогеоэлектрическую модель информацией о местоположении мульд, соляных структур, антиклинальных поднятий, рельефе гравиактивных границ и плотностных неоднородностях. Магниторазведка даст информацию о магнитоактивных комплексах пород и магнитных неоднородностях в отложениях осадочного чехла и кристаллического фундамента.

В пятой главе показаны геологические результаты исследований. На основе, рассмотренной выше физико-геологической модели, была выполнена геологическая интерпретация данных МТЗ, показана возможности метода МТЗ для локального прогноза нефтеносности надсолевых и подсолевых отложений района исследований.

На электроразведочной модели МТЗ по профилю А по электрическим признакам (с учетом разрешающей способности электроразведки МТЗ) в

изучаемой части разреза выделяются следующие геоэлектрические комплексы:

1. Комплекс Pg-K, объединяющий в себе отложения палеогена, неогена и мела.

2. Комплекс между сейсмическими границами III и V, включающий в себя отложения верхней, средней и нижней юры, характеризующийся дифференцией по латерали геоэлектрическими свойствами.

3. Комплекс между сейсмическими границами V и VI (P_{1kg}). Самый мощный пермтриасовый комплекс отложений, объединяющий в себе породы различного литологического состава и широкого стратиграфического спектра. Данный комплекс характеризуется переменчивыми геоэлектрическими свойствами и толщинами, на величину которых оказывает влияние солянокупольная тектоника.

4. Нижнепермский галогенный комплекс (кровлей которого является отражающий горизонт VI (P_{1kg})), объединяющий в себе соленосные отложения кунгура. На формирование его современной структуры большое влияние оказал соляной тектогенез, в процессе которого образовались соляные тела сложной изометрической формы, разделенные преимущественно бессолевыми мульдами. В электромагнитном поле проявляется как высокоомный комплекс, служащий хорошим репером для выделения первой жесткой отражающей границы (P_{1kg}) – кровли соли.

5. Нижнепермский подсолевой комплекс между сейсмическими границами P_1 и P_2 , сложен плотными, аргиллитами сакмаро-артинского возраста с низкоомными геоэлектрическими свойствами. Данный комплекс достаточно уверенно выделяется на кривых сопротивления и является региональным низкоомным репером, разделяющим высокоомные соленосные отложения нижней перми и высокоомные отложения башкирского яруса.

6. Подсолевой комплекс между сейсмическими отражающими границами P_2 и P_2^1 – связан с верхневизейско-башкирским карбонатным нефтегазоносным комплексом, представленным преимущественно пористыми, пористо-кавернозными, трещинными органогенными известняками. На изменчивость геоэлектрических свойств данного и других комплексов оказывают влияние, как литолого-фациальная изменчивость отложений, так и наличие залежей УВ в разрезе.

7. Позднетурнейско-ранневизейский комплекс отложений (кровлей является сейсмический горизонт P_2^1) также перспективен в нефтегазоносном отношении, что определяет изменчивость его геоэлектрических свойств по латерали.

8. Подсолевой комплекс верхнефранско-нижнетурнейский (третий нефтегеологический объект) (кровлей является сейсмический горизонт Dt) с меняющимися геоэлектрическими характеристиками по латерали.

9. Подсолевой комплекс эйфельско-нижнефранского карбонатно-глинистого комплекса (кровлей является сейсмический горизонт P_2d) сложен более низкоомными отложениями;

10. Фундамент F, представленный преимущественно высокоомными образованиями.

При оценке нефтегазоносности целевых интервалов разреза площади исследований была использована методика прогноза нефтегазоносности по комплексу данных сейсмо- и электроразведки технологии «GeoVisor» (Смилевец Н.П., «СК ГеоВизор», г. Москва). Прогноз нефтегазоносности перспективных интервалов модели основывался на расчете комплексного сейсмо-электроразведочного параметра (КП), учитывающего литолого-фациальную изменчивость отложений и отвечающего за изменение характера их флюидонасыщения и параметров вызванной поляризации, реагирующих на наличие залежи УВ в разрезе. Положительные аномалии комплексного параметра (Кп) соответствуют продуктивным интервалам разреза, отрицательные или близкие к нулю аномалии КП свидетельствуют о том, что вероятность обнаружения залежи УВ маловероятна.

На основе анализа параметра КП в **шестой главе** разработаны критерии выделения нефтегазоперспективных зон и даны рекомендации по применению магнитотеллурического метода при изучении осадочного чехла и выявления нефтегазоперспективных структур.

По результатам обработки и интерпретации данных МТЗ была построена результативная схема наложения комплекса параметров геофизических полей и сопутствующих расчетных факторов для оценки перспективных участков). Схема построена для трех горизонтов: 5 горизонт (надсолевой) – юрские отложения, 7 и 8 горизонты (подсолевой) верхнепалеозойские отложения.

На основе анализа геолого-геофизических данных известных месторождений блока Каратон-Саркамыс был разработан ряд косвенных признаков (факторов), по которым выделялись продуктивные области:

1. Структурный фактор по соответствию планового положения электроразведочных и сейсмических структур (ловушек);

2. Фактор по наличию тектонических ограничений структур;

3. Фактор наличия ловушек в интервале продуктивных зон, прогнозируемых по данным сейсморазведки;

4. По наличию структур (поднятий) фундамента по данным электроразведки;

5. Фактор соответствия структур аномалиям (повышению УЭС) электроразведки;

6. Фактор соответствия повышения УЭС аномалиям гравитационного поля;

Фактор соответствия повышения УЭС понижению значений магнитного поля.

В заключении отражены основные выводы по результатам исследований в соответствии с целью и решенными задачами, даны рекомендации на поисковое бурение.

1. Включение в комплекс поисковых и (при благоприятных условиях) разведочных работ метода магнитотеллурических зондирований на

нефтегазовых месторождениях Казахстана, могут повысить эффективность нефтегазопроисковых работ региона.

2. Результаты МТ-исследований, отличаются сравнительно хорошей достоверностью при изучении геологического строения надсолевых и (в меньшей степени) подсолевых структур, а в комплексе с сейсморазведкой позволяют оценить исследуемые объекты в отношении нефтегазоносности.

3. Проведение электроразведки МТЗ позволило создать современную цифровую геоэлектрическую модель блока Каратон-Саркамыс высокой точности. По блоку Каратон-Саркамыс:

- охарактеризовано строение палеозойских комплексов с выделением предполагаемых разрывных нарушений;
- выделены перспективные участки в мезозойских терригенно-осадочных комплексах горных пород;
- проведена оценка продуктивности выявленных сейсморазведкой структур и подтверждены участки профилей с улучшенными коллекторскими свойствами;
- на основании результатов МТ-исследований даны рекомендации дальнейших детальных геологоразведочных работ.