

На правах рукописи



Милей Евгения Сергеевна

**ПОИСКИ И РАЗВЕДКА СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ ЗАЛЕЖЕЙ УВ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ
ЧАСТИ ПАННОНСКОГО БАССЕЙНА НА ОСНОВЕ ТЕКТОНО-
СЕДИМЕНТАЦИОННОГО ПОДХОДА К ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ**

Специальность:

25.00.12 – Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

г. Москва, 2022

Работа выполнена на кафедре геологии месторождений нефти и газа ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Научный руководитель: **Бембель Сергей Робертович,**
доктор геолого-минералогических наук, профессор
кафедры геологии месторождений нефти и газа ФГБОУ
ВО «Тюменский индустриальный университет»,
г. Тюмень

Официальные оппоненты: **Пороскун Владимир Ильич,**
доктор геолого-минералогических наук,
заместитель генерального директора
ФГБУ «ВНИГНИ», г. Москва

Смирнов Олег Аркадьевич,
кандидат геолого-минералогических наук,
главный геолог ООО «ИНГЕОСЕРВИС», г. Тюмень

Ведущая организация: АО «ВНИИнефть», г. Москва

Защита диссертации состоится «9» сентября 2022 г. в 11 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 999.234.02 при ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Макляя, 23, зал диссертационного совета (каб. 5-17).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» и на сайте: <https://mgri.ru/science/scientific-and-innovative-activity/dissertation-council/diss-999-234-02/>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направить ученому секретарю диссертационного совета по указанному выше адресу.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2022 года

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 999.234.02,
кандидат геолого-минералогических наук



Иванов А.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В последнее время наблюдается значительное усложнение структуры разведываемых и разрабатываемых залежей углеводородного сырья (УВС). За счет повышения технологического уровня нефтегазодобывающих компаний появилась возможность «вскрывать» глубокие горизонты и исследовать новые геологические объекты, которые не были доступны для детального изучения. Но адресное описание механизмов формирования сложнопостроенных залежей углеводородов (УВ) отсутствует, а геологические модели, построенные на традиционных представлениях, не позволяют учесть природную гетерогенность свойств пластов. Данное обстоятельство приводит к накоплению противоречия между устоявшимися методами и полученной геолого-геофизической информацией нового качества, что препятствует открытию перспективных зон нефтегазонакопления. Работа со сложнопостроенными залежами УВС сводится к разработке новых методов исследования с целью понимания сложности строения и выявления перспектив нефтегазодобычи, в связи с этим **тема диссертации является актуальной.**

Объектами исследования являются залежи углеводородов в терригенных отложениях возраста верхнего и среднего миоцена, в базальных отложениях на контакте с породами фундамента, в метаморфических породах фундамента палеозойского возраста сербской части Паннонского бассейна (Северный Банат).

Предмет исследования – тектоно-седиментационный процесс формирования сложнопостроенных залежей нефти и газа в терригенных отложениях осадочного чехла и фундамента.

Цель работы заключается в определении поисковых критериев и повышении эффективности геологоразведочных работ в сербской части Паннонского бассейна на основе детального анализа геологического строения известных залежей.

Основные задачи исследования:

1. Обобщение, анализ и комплексная обработка (переосмысление в соответствии с классическими и современными научными представлениями) геологических данных по объектам исследования, полученных на ранее проведенных этапах геологоразведочных и научно-исследовательских работ.

2. Детальная корреляция продуктивных интервалов разреза по данным геофизических исследований скважин (ГИС) в соответствии с принципами электрофациального анализа (по В.С. Муромцеву).

3. Геологическая интерпретация временных разрезов с выделением разрывных нарушений, локализация выступов фундамента.

4. Анализ структурных особенностей пластов и определение их взаимосвязей с геодинамической обстановкой формирования ловушек и залежей УВ.

5. Построение детальных геологических моделей залежей УВ для прогноза новых зон нефтегазоносности, оценки коллекторских свойств, начальных и текущих геологических запасов нефти и газа.

Научная новизна работы:

1. Для месторождений Майдан Дубоко и Иджош Север обосновано положение границы между терригенными и метаморфизированными породами фундамента, которое подкреплено фактическими данными керна и данными азимутального электрического микроимиджера в скважинах, пробуренных до фундамента.

2. Выявлена взаимосвязь наличия продуктивных отложений в разрезе месторождения Иджош Север и положения локализованных субвертикальных зон деструкций горных пород.

3. Описана генетическая связь между тектоническими и седиментационными событиями, объясняющая сложность строения залежей Иджош Север и Майдан Дубоко по разрезу и по латерали.

4. Установлены тектоно-седиментационные особенности и критерии поиска перспективных участков для доразведки на территории месторождения Иджош Север и прилегающих территорий.

5. Созданы геологические модели среднемиоценовых отложений и фундамента месторождений Иджош Север, Майдан Дубоко с учетом блокового строения пород фундамента.

Практическая значимость работы:

1. Продемонстрировано практическое применение тектоно-седиментационного подхода при анализе режима тектонических движений, зафиксированных на основании интерпретации материалов 3Д сейсморазведки. Доказана блоковая структура залежей нефти и газа месторождений сербской части Паннонского бассейна (район Северный Банат).

2. Детальные геологические модели в двух- и трехмерном виде, представленные в формате проекта Petrel (ПО Schlumberger) и подкрепленные презентационными материалами, концептуальными схемами и расчетами, являются основным инструментом для оценки перспектив и принятия решений по бурению и испытанию скважин в компании ООО «НИС а.д. Нови Сад».

3. Практические рекомендации по доразведке месторождений и местоположению проектных скважин были приняты в компании и привели к открытию новых зон нефтегазоносности, в пробуренных по рекомендации автора скважинах получены промышленные притоки нефти.

Методы исследования и фактический материал: методы сейсмостратиграфии, структурно-тектонический и палеоструктурный методы, седиментологический и литологический анализ.

Анализ структурно-тектонических особенностей исследуемой территории основан на фундаментальных разработках, опубликованных в работах В.В. Белоусова, М.В. Гзовского, А.Н. Дмитриевского, Ю.И. Пиковского, Ю.М. Пушаровского, В.Е. Хаина. В ходе практической работы над изучением геологического строения залежей автором использованы идеи и гипотезы П.Н. Кропоткина, М.А. Усова и В.А. Обручева, разработки сербских и венгерских ученых И. Маджара, Д. Радивоевича.

Интерпретация материалов сейсморазведки выполнена с учетом методик, описанных Ю.Н. Воскресенским. Палеоструктурный (палеотектонический) анализ месторождений выполнен с использованием «метода мощностей», разработанного Н.С. Шатским, и в дальнейшем развивавшимся известными геологами В.В. Белоусовым, В.Е. Хаиным.

Седиментологический и литофациальный анализ проводился с учетом методик В.Т. Фролова, В.Г. Кузнецова, рекомендаций Е.А. Жуковской, М.А. Тугаровой, Р. Йовановича. Интерпретация материалов ГИС выполнялась с использованием классических методических приемов, опубликованных в работах В.А. Дахнова, В.С. Муромцева и др.

Основную идею комплексирования различных методов при анализе разноплановой информации автор почерпнула из методических разработок Н.П. Чамова, связанных с

исследованием тектоно-седиментационных систем, в которых показано, что комплексные тектоно-седиментационные модели обладают прогнозными возможностями. С учетом того, что «взаимовлияние тектонических и осадочных процессов» (Н.П. Чамов, 2013) имеет место на изучаемой территории Паннонского бассейна, автором было использовано «междисциплинарное изучение многокомпонентных систем» при изучении рассматриваемых залежей нефти и газа.

При анализе геологического строения сложнопостроенных залежей УВ и теоретическом осмыслении предмета исследования автор опиралась на исследования и концепции Р.М. Бембеля и С.Р. Бембеля, посвященные «процессам геодинамики, роли флюидных систем в образовании и преобразовании земной коры», анализу строения и принципам определения субвертикальных зон деструкций (СЗД), их связи со сложнопостроенными залежами УВ (Р.М. Бембель, 2003, С.Р. Бембель, 2016).

Исследование выполнено на основе геолого-геофизических данных, предоставленных ООО «НИС-НТЦ» и ООО «НИС а.д. Нови Сад» в рамках текущих проектов. Также были использованы материалы из геологических отчетов по предыдущим научно-исследовательским проектам компании ООО «НИС а.д. Нови Сад».

В основу работы положены следующие фактические материалы: данные по 28 скважинам, содержащие комплекс ГИС (месторождение Майдан Дубоко - 9 скважин, Иджош Север - 19 скважин); данные азимутального микроимиджера сопротивлений по трем скважинам месторождения Иджош Север; каменный материал по 12 скважинам (месторождение Майдан Дубоко – 9 скважин, Иджош – 3 скважины); данные интерпретации сейсморазведки 3Д (Иджош Север – 586 км², Майдан Дубоко – 222 км²).

Положения, выносимые на защиту

1. Механизм формирования малоразмерных залежей УВ в базальных отложениях юго-западной части Паннонского бассейна зависит от режима тектонических движений, зафиксированных на основании интерпретации материалов 3Д сейсморазведки. На локальном уровне подтвержден режим сжатия, осложненного сдвиговой и ротационной кинематикой. Установлена блоковая структура этих залежей.

2. Геологические модели базальных отложений региона Северный Банат, построенные с учетом принятых механизмов формирования, позволяют выявлять зоны флюидодинамической активности, перспективные с точки зрения нефтегазоаккумуляции. В локальных выступах фундамента формируются зоны дезинтеграции горных пород, которые под действием тектонических движений переносятся в гипсометрически пониженные зоны, заполняя склоны выступов продуктами переотложения.

3. Генетическая связь между тектоно-структурными и седиментационными особенностями строения залежи УВ. Наличие данной связи, установленной по результатам изучения залежей в пределах сербской части Паннонского бассейна, является предпосылкой для выполнения прогноза нефтегазоносности на основании комплексных тектоно-седиментационных моделей. Наибольшие перспективы связаны с локальными выступами фундамента, которые ограничены разломами, и близлежащими склонами, заполненными терригенными отложениями (пролювиальные конусы выноса, переотложенные породы фундамента, брекчии коры выветривания).

Личный вклад автора. Автором самостоятельно описан керновый материал, выполнена интерпретация отражающих горизонтов и разломов на сейсмических разрезах, сейсмогеологический анализ построенных карт-атрибутов, покважинная корреляция

продуктивных горизонтов и их частей, построение структурных каркасов, палеотектонические реконструкции изучаемых территорий, создание геологических моделей различной степени детальности, разработка тектоно-седиментационных моделей для района исследования.

Публикации и апробация результатов работы. Основные результаты и положения диссертационной работы, полученные автором, изложены в 12 опубликованных работах, в том числе 6 статей в изданиях из перечня ВАК РФ, и докладывались на российских и международных конференциях: Second conference on forward modelling of sedimentary systems (25-28.04.2016, Норвегия, Трондхейм); международная 81 конференция и выставка EAGE (The EAGE Annual 2019, the 81st Conference & Exhibition, Великобритания, Лондон, июнь 2019); 34 встреча международной ассоциации седиментологов IAS (34th IAS Meeting of Sedimentology, Италия, Рим, сентябрь 2019); «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли» (ГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт», г. Альметьевск, 12.11.2020); «Рассохинские чтения» (ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», 03-04.02.2022); XXIV Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова (г. Томск, 2020); «Нефть и газ: технологии и инновации» (ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, 19-20.11.2020); «Новые идеи в геологии нефти и газа» (МГУ, г. Москва, 25-28.05.2021).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав и заключения. Общий объем работы составляет 155 страниц, включая 51 рисунок, 4 таблицы и 1 приложение. Библиографический список включает 115 наименований.

Тема работы и содержание исследований соответствуют пунктам 1 и 2 области исследований, определяемой паспортом специальности 25.00.12 - «Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений»: пункт 1 - «Происхождение и условия образования месторождений нефти и газа» (геология нефтяных и газовых месторождений, типы месторождений, их классификация; резервуары нефти и газа, типы коллекторов и покрышек; условия формирования скоплений нефти и газа в земной коре; миграция углеводородов); пункт 2 - «Прогнозирование, поиски, разведка и геолого-экономическая оценка месторождений: методология прогнозирования, оценки ресурсов и подсчет запасов нефти и газа».

Благодарности. Автор благодарен научному руководителю – д.г.-м.н. С.Р. Бембелю – за чуткое руководство, бесценные советы, профессиональную поддержку, помощь в написании работы и веру в успех; к.г.-м.н. Е.А. Жуковскую – за наставничество по седиментологическому анализу керна на начальных этапах профессиональной деятельности, мотивацию к написанию квалификационной работы и рекомендации; д.г.-м.н. М.А. Тугаровой – за обучение особенностям комплексного анализа метаморфических пород фундамента и квалифицированную методическую поддержку; к.г.-м.н. А.П. Вилесову – за продуктивные беседы по тематике исследования, методологическую и научную поддержку в решении нетривиальных задач в области седиментологии в процессе работы над проектами.

Глубокую признательность выражает коллегам Е.Ф. Цукановой и А.С. Грицюку – за многолетнюю поддержку, плодотворное сотрудничество и обмен опытом. Автор выражает благодарность компании «НИС а.д. Нови Сад», в лице главного геолога М.А. Кузнецова –

за возможность использовать в настоящей работе материалы сейсморазведочных работ, геофизических методов исследования скважин, керновые исследования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Фактические материалы и методы исследования

К основным методам, использованным в процессе работы, относятся: линеаментный и структурно-тектонический анализ, седиментологический и литологический анализ. Выполнен анализ мощностей и распространение фаций изучаемых отложений. Структурный и сейсмогеологический анализ, построение геологических моделей выполнены с использованием программного пакета и технологий моделирования Petrel 2020 компании Schlumberger.

Фактический материал для настоящего диссертационного исследования собран в результате изучения залежей нефти и газа Паннонского бассейна, расположенных на территории Республики Сербия. Поэтапно рассматривается тектоно-седиментационный подход к изучению сложнопостроенных объектов, предложенный автором. Процедуры комплексного геологического анализа строения залежей УВ разделены на пять основных блоков (рис. 1).

Потоки данных, присутствующие при геологическом моделировании, выделены с целью формализации процесса работы со сложнопостроенными объектами и систематизации данных. Для структурирования этапов анализа и системной обработки геолого-геофизических и промысловых данных исследуемых территорий использованы принципы моделирования информационных систем.

По аналогии с процессом проектирования программного обеспечения, где диаграммы потоков данных представляют собой иерархию функциональных процессов, связанных потоками данных, составлена последовательность анализа сложнопостроенных залежей УВ с точки зрения различных предметных областей (рис. 1).

В результате выполнения предложенной последовательности должны быть получены два типа моделей, отличающиеся высокой степенью детальности и концептуальной основой:

1. Тектоно-седиментационная модель, объясняющая ключевые особенности изучаемого геологического объекта.

2. Литологическая модель, учитывающая коллекторские свойства объекта (возможно создание многовариантной модели).

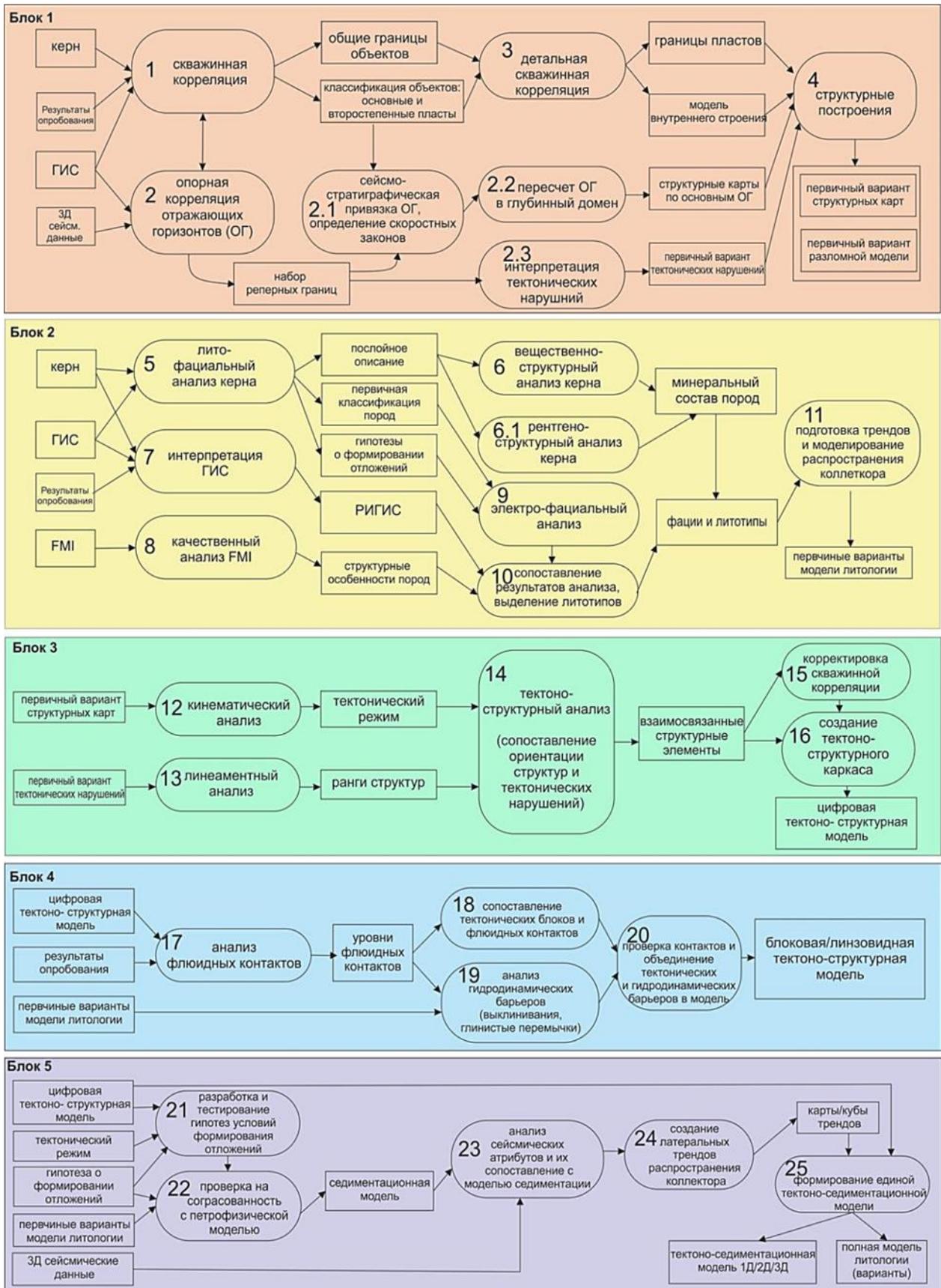


Рисунок 1 - Диаграмма потоков данных при тектоно-седиментационном подходе

Глава 2. Геологическое строение, нефтегазоносность и геодинамическая характеристика района исследования

Рассмотрены особенности залежей УВ, расположенных на территории Республики Сербии (с 1991 года), бывшей Югославии, на юго-востоке Европы. Исследуемая территория относится к Средиземноморскому складчатому геосинклинальному поясу (рис. 2). В ее пределах выделяются: Восточно-Сербская зона, Сербско-Македонский массив, Динарская складчатая система, участок Восточных Альп и Большая Венгерская (Паннонская) впадина. Рассматриваемые тектонические районы относятся преимущественно к Вардарской зоне - центральная часть массива Карпато-Балканид.

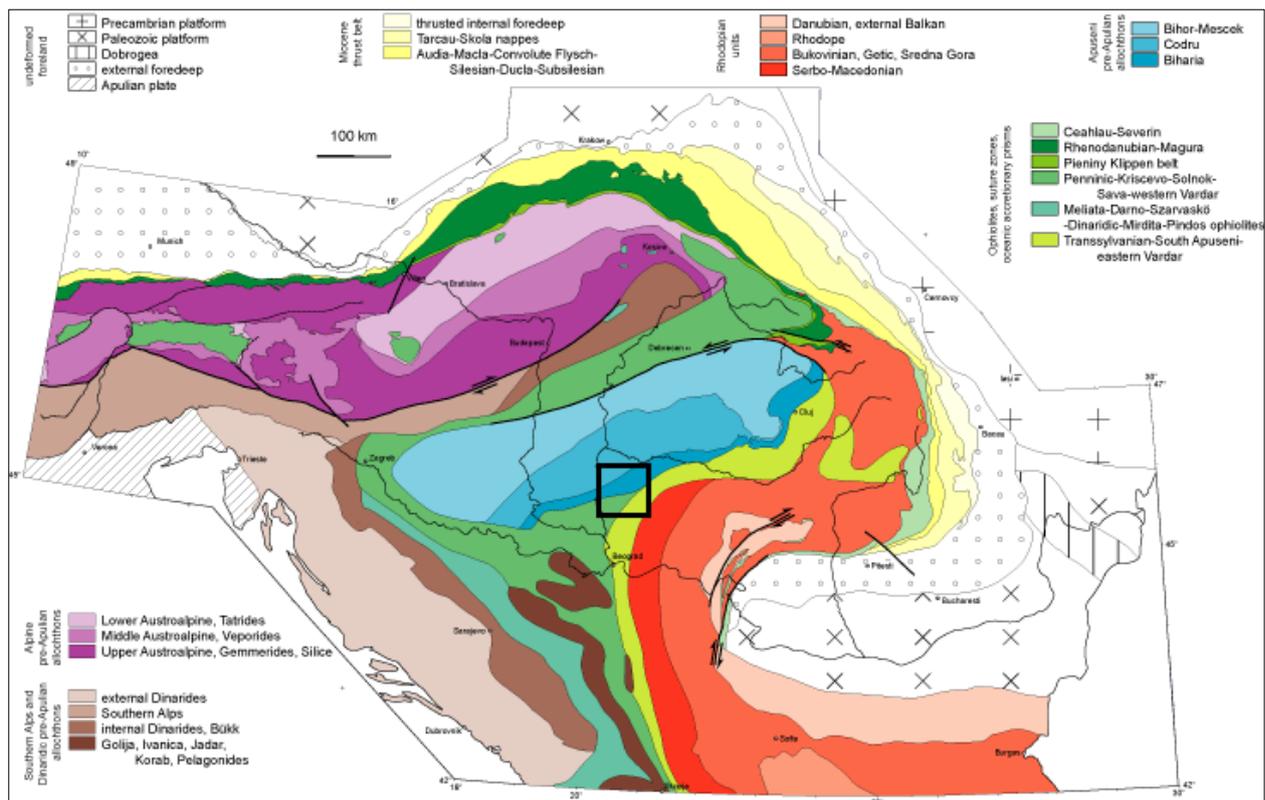


Рисунок 2 - Основные тектонические единицы Альп, Карпат и Динаридов (по Шмиду и Фюгеншу, Дубровник, Хорватия, 1-3 октября 2000 г.)

Дотретичный фундамент Паннонской бассейновой системы состоит из комплекса магматических, метаморфических и осадочных пород докембрия, палеозоя и мезозоя, которые были интенсивно деформированы у подножия Внутреннего Карпатского складчатого пояса (Csontos и др., 1992; Брезнянски и Хаас, 1989). При изучении краевых прогибов Ю.М. Пуцаровский в 1953 году отнес Паннонскую впадину к позднегеосинклинальным структурам и к числу впадин, развившихся на жестких массивах, которые отличаются наиболее крупными размерами.

Большинство структурных единиц донеогеновых комплексов Паннонского бассейна отделяются друг от друга глубинными разломами. К категории глубинных разломов относятся тектонические зоны, описанные А.В. Пейве, В.Е. Хаиным и обладающие тремя главными свойствами: 1) большой протяженностью, 2) значительной глубиной заложения, 3) длительностью и многофазностью развития, нередко с переменной знака перемещения по разрыву.

Основное формирование покровов происходило на рубеже палеогена и неогена (Хаин и др., 1977). В течение раннемелового времени на изучаемой территории произошло окончательное закрытие Мезотетиса, которое сопровождалось крупными фазами складчатости и покровообразования. Далее образовывались только флишевые прогибы. В период поздне мелового времени произошла окончательная стабилизация большей части территории, и на ней начали накапливаться мелководные отложения чехла, широко развитые в пределах Венгерского Среднегорья, Северного и Западного Баната, Трансильванской впадины.

Исследуемая территория характеризуется наличием стратиграфического несогласия в подошве неогена - на породах палеозойского фундамента несогласно залегают породы нижнего и среднего миоцена. На отдельных территориях Северного Баната подтверждено локальное распространение нижнего миоцена, далее - более масштабное распространение пород среднего миоцена (пород возраста баден и сармат). В эпоху верхнего миоцена завершен этап синрифта, породы верхнего миоцена - панон и понт накапливались в режиме компенсации, заполняя локальные депрессии проградационными сериями отложений.

Нефтяные, газовые и газоконденсатные залежи на территории Северный Банат выявлены бурением в стратиграфическом диапазоне от палеозоя до плиоцена, наиболее крупные из них - Мокрин, Кикинда Варош, Кикинда.

Проблемами структурно-тектонических особенностей строения Паннонского бассейна занимались геологи югославской школы с середины прошлого века, среди которых А. Грубич, Г.Л. Долтон, Р. Кеменечи, М. Марвич, Ф. Хорват, М. Чанович, Б. Чирич. Достаточно хорошо в литературе описана геология венгерской части Паннонского бассейна, благодаря исследованиям геологов И. Маджара, А. Гос-Макк. В середине XX века большое влияние на развитие представлений о геологическом строении Карпат и Паннонского бассейна оказали работы советских ученых А.А. Белова, В.Г. Николаева, М.Л. Коппа, Ю.М. Пуцаровского. В последние годы в рамках российско-сербского сотрудничества научных центров продолжают вносить вклад в исследование геологии Республики Сербии и соседних государств современные геологи и седиментологи И. Дулич, Р. Йованович, П. Цвиич, Д. Радивоевич, Е.А. Жуковская, М.А. Тугарова.

В большинстве работ перечисленных исследователей процессы седиментации рассматривались преимущественно регионально. В работах по подсчету запасов и оценке ресурсов УВС открытых месторождений выполнен детальный анализ на уровне пробуренных скважин, а механизмы формирования залежей остаются заимствованными из региональных исследований, либо приводятся литературные данные для использования в качестве примера. Таким образом, для сложнопостроенных залежей УВ сербской части Паннонского бассейна практически отсутствуют адресные геологические модели, которые бы включали описание процессов формирования залежей и их влияние на распределение фильтрационно-емкостных свойств.

Новые данные, накопленные за последние 10 лет, не укладываются в принятые представления о пластовых моделях залежей, заложенные в основу геологоразведки и разработки месторождений. Возникшие противоречия создают серьезные помехи как при разведке, так и при разработке залежей. Интеграция полученных данных, новых парадигм и традиционных подходов к геологическому анализу позволит усовершенствовать представления о механизмах формирования сложнопостроенных залежей УВ и, устранив возникшие противоречия, даст возможность повысить эффективность геологоразведочных работ и применяемых геолого-технических мероприятий.

Рассматриваемые в работе месторождения УВ Майдан Дубоко и Иджош Север находятся на севере Республики Сербии (рис. 3).



Рисунок 3 - Схема местоположения изучаемых участков

Особенности геологического строения месторождения Майдан Дубоко. Данные залежи относятся к малоразмерным и сложнопостроенным, обладают рядом характерных геологических особенностей. Первой отличительной чертой рассматриваемого месторождения является то, что залежи УВ приурочены к метаморфическим породам фундамента и являются тектонически экранированными. Следующая особенность относится к свойствам коллектора, который представлен метаморфическими породами гранитометаморфического комплекса протерозойско(?)–палеозойского возраста (ввиду температурных преобразований, которые претерпевали горные породы в процессе зеленосланцевого метаморфизма, точно установить возраст пород не представляется

возможным). Породы-коллекторы представляют собой милонитизированные и катаклазированные гранитоиды и метаморфиты.

Притоки пластовых флюидов, полученные в процессе испытаний, достигают следующих величин: нефти – от 2 до 22 т/сут, газоконденсата – до 5,5 тыс. м³/сут. Тип коллектора трещинный, каверно-трещинный, трещинно-поровый. Значения открытой пористости в пределах 4 %, при проницаемости – 5-8 мД. Тип выявленных залежей – тектонически экранированные.

Особенности геологического строения месторождения Иджош Север. Основным перспективным объектом с доказанной нефтеносностью на исследуемой территории является пласт Баден 2 (*Bd2*), приуроченный к терригенным отложениям (возраст, установленный по результатам палеонтологического анализа – средний миоцен). Объект имеет ряд особенностей геологического строения, которые в значительной степени контролируют распределение УВ по объему коллектора в пласте. Подошва пласта соответствует границе стратиграфического несогласия – брекчированным переотложенным метаморфическим породам фундамента, которые залегают непосредственно на палеозойском фундаменте. Присутствие пирита в целевом пласте Баден 2 связывается с эпигенетическими процессами, а мельчайшие вкрапления данного сульфида могли остаться в результате процессов переотложения горных пород, характерных для данного объекта.

Вторая особенность отражена в геометрии песчаных тел, подтвержденная результатами анализа сейсмических материалов. Геологические тела в плане представляют собой конусовидную форму с расширением в погруженную часть фундамента, которую обеспечивают склоны поверхности кровли пород фундамента. По мнению автора, причиной для образования таких отложений служат геодинамические явления – эндогенные процессы, вертикальные и горизонтальные движения, воздымание локальных блоков фундамента. В строении кристаллического фундамента отмечается наличие разломов, субвертикальных зон деструкций (СЗД) горных пород, выраженная мозаичность в морфологии поверхности кровли фундамента. Разломы играют не только структурообразующую роль, но и инициируют гравитационные процессы. Терригенный пласт Баден 2 характеризуется невыдержанной толщиной вследствие гравитационного характера седиментации отложений, что является третьей особенностью.

Четвертая особенность – блоковое строение залежи нефти в пласте Баден 2. На основе проинтерпретированных автором дизъюнктивных нарушений по данным 3Д сейсморазведки выделено 5 основных тектонических блоков, коллектор в которых характеризуется различными ФЕС. Часть разломов являются флюидоупорами, что, в свою очередь, приводит к наличию различных гипсометрических уровней флюидалных контактов между блоками. Описанные выше особенности послужили причинами перехода на блоковую модель строения залежи и разработки специальных подходов для работы с подобными залежами УВ сложного геологического строения.

Притоки пластовых флюидов (нефти), полученные в процессе испытаний, достигают до 17-20 т/сут. Тип коллектора поровый, порово-трещинный. Средние значения открытой пористости составляют 16-18 %, в отдельных блоках до 20 %, при проницаемости – 50-60 мД.

Глава 3. Этапы разработки тектоно-седиментационного подхода при анализе залежей со сложным геологическим строением

Рассмотрены основные принципы тектоно-седиментационного подхода на примере двух классов сложнопостроенных залежей УВ: залежи в породах фундамента и терригенных отложениях на границе с фундаментом. Описан комплексный геологический

анализ строения нефтегазоконденсатной залежи в интервале пород фундамента Майдан Дубоко и отложений базального горизонта месторождения Иджош Север, который был заложен в основу разработки тектоно-седиментационного подхода. *Предметом* изучения являются процессы формирования блоков в породах фундамента, процессы седиментации пролювиальных конусов выноса и их трансформация при тектонических движениях. Обсуждаются гипотезы формирования залежей и рассматриваются наиболее близкие геологические модели, позволяющие прогнозировать распределение перспективных зон нефтегазоносности.

Согласно результатам детализации геологического строения месторождения Майдан Дубоко залежи имеют гетерогенное строение в вертикальном и латеральном направлении. По вертикали выделяются три объекта, отличающиеся по вещественно-структурному составу и генезису:

1. Нижний объект – малоизмененные породы фундамента;
2. Средний объект – «тектонические брекчии» и брекчии коры выветривания;
3. Верхний объект – конгломераты и брекчии (перенесенные).

По латерали залежи имеют блоковое строение и представлены основными и второстепенными тектоническими блоками, разделенными дизъюнктивными нарушениями по площади (рис. 4).

Размер основного западного блока – 1,5x0,7 км. В западных блоках преобладают кристаллические зелено-черные породы. Размер основного восточного блока – 2,5x0,9 км. Восточный блок характеризуется наличием дизъюнктивных нарушений, фиксируемых при структурной интерпретации материалов 3Д сейсморазведки. Здесь отмечается более сложная комбинация по составу – серицитовые, амфиболовые кристаллические сланцы, черные очень плотные амфибол-мусковит-кварцевые кристаллические породы. Такое представление соответствует модели блоковой складчатости.

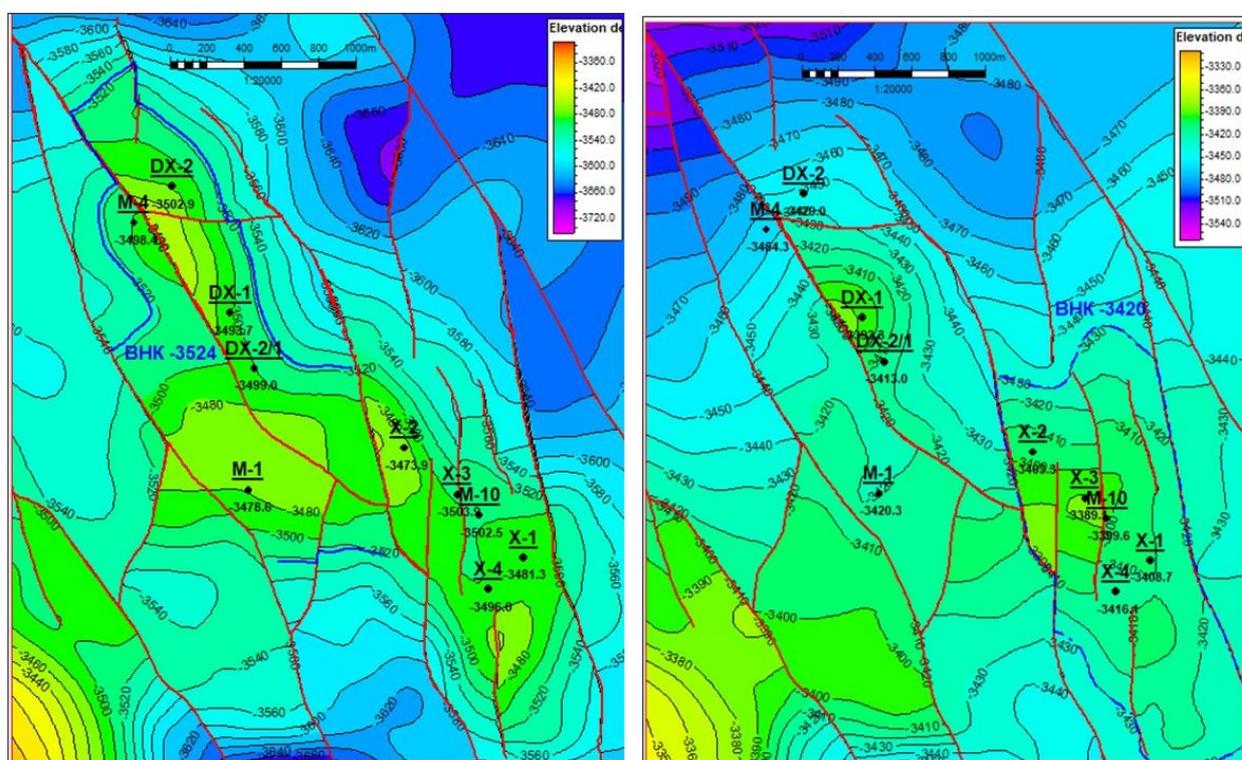


Рисунок 4 - Структурные карты по кровле нижнего объекта – метаморфические породы фундамента (слева), по кровле пласта верхнего объекта – конгломераты и брекчии (справа)

Обращая внимание на морфологию участка, необходимо отметить различное азимутальное направление простирания структур района скважин № DX-2, М-4, DX-2/1 (западной части) и структур района скважин № X-2, X-3, X-1, X-4 (восточной части). При детальном анализе положения выделенных разломов отмечается различное простирание поднятий: северо-западное и строго северное направление двух отмеченных структур и 30-40 градусное отклонение в простирании группы разломов друг от друга. Такое простирание еще раз подтверждает сдвиговую природу формирования структур в интервале метаморфизированных пород фундамента.

Для пород фундамента отсутствуют модели седиментации, однако в случае переотложенных пород (в данном случае «тектонической брекчии» и брекчии коры выветривания) представляется возможным локализовать выступы фундамента, зоны скопления брекчии, являющиеся перспективными резервуарами УВ, восстановить направление сноса (при наличии склона) и выполнить геометризацию залежи, связанную с переотложенными породами.

В целях детализации разреза по вертикали на «коренные» и переотложенные породы фундамента в работе выполнено восстановление палеорельефа, выделены главные и второстепенные объекты, определены структурно-кинематические характеристики (направление сдвигов, типы и механизм формирования структур, ловушек и залежей УВ). Уточненное положение границы между фундаментом и переотложенными породами позволяет точно планировать интервалы перфорации объектов с различными ФЕС. На примере месторождения Майдан Дубоко продемонстрировано первое защищаемое положение.

Первое защищаемое положение. Механизм формирования малоразмерных залежей УВ в базальных отложениях юго-западной части Паннонского бассейна зависит от режима тектонических движений, зафиксированных на основании интерпретации материалов 3Д сейсморазведки. На локальном уровне подтвержден режим сжатия, осложненного сдвиговой и ротационной кинематикой. Установлена блоковая структура этих залежей.

Далее рассматривается анализ залежи нефти Иджош Север со сложным геологическим строением и окончательное оформление тектоно-седиментационного подхода. Литолого-фашиальный анализ кернa с учетом региональной специфики бассейна седиментации позволил выделить основные фации и реконструировать историю формирования отложений среднего миоцена на исследуемой территории.

Коллектор приурочен к фации пролювиального конуса выноса, крышкой служат мелководно-морские отложения открытого мелководья. Вверх по разрезу залегают конгломераты неявно ритмично-слоистые, в подошве которых послойно расположены мелко-гравийные обломки полуокатанной и угловой формы. Первые четыре метра (2310-2306 м) представлены неокатанными обломками пород фундамента размером от 30 см до 1 м с трещинами, скорее всего, заполненными продуктами «переотложения». При переходе к более мелким обломкам пород фундамента – брекчиям и конгломератам размером от 40 см и меньше, установлена граница первого цикла тектонической активности.

Во второй разведочной скважине целевой пласт представлен буровато-серым конгломератом, характеризующийся неявной ритмичностью и неявной слоистостью (рис. 5).

По имеющимся данным микроимиджера сопротивления (FMI) можно видеть гетерогенность строения по вертикали. Выделяются интервалы темного цвета - низкоомные

вкрапления, предположительно глинистые, которые соответствуют породам нижнего миоцена («мусорные алевролиты»).

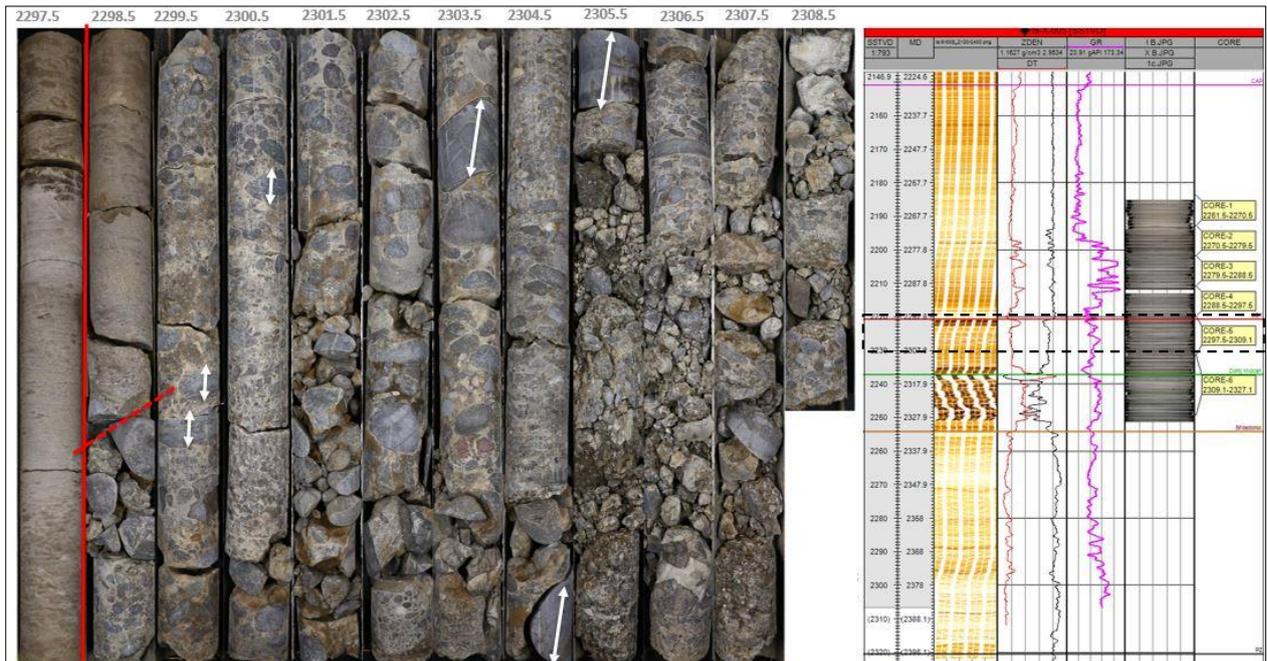


Рисунок 5 - Пример образцов керна из интервала глубин 2297,5-2308,5 м (слева) и планшет с данными микроимджера сопротивлений, ГИС, керна (справа)

На основании детального анализа территории и результатов бурения трех разведочных скважин автором была выдвинута первая гипотеза (с позиции седиментации) о том, что указанная перспективная область на западном крыле структуры Иджош Север может представлять перспективы вскрытия переотложенных отложений дистальной части пролювиального конуса выноса, как показано на рисунке 6, но осложненных тектоническими нарушениями.

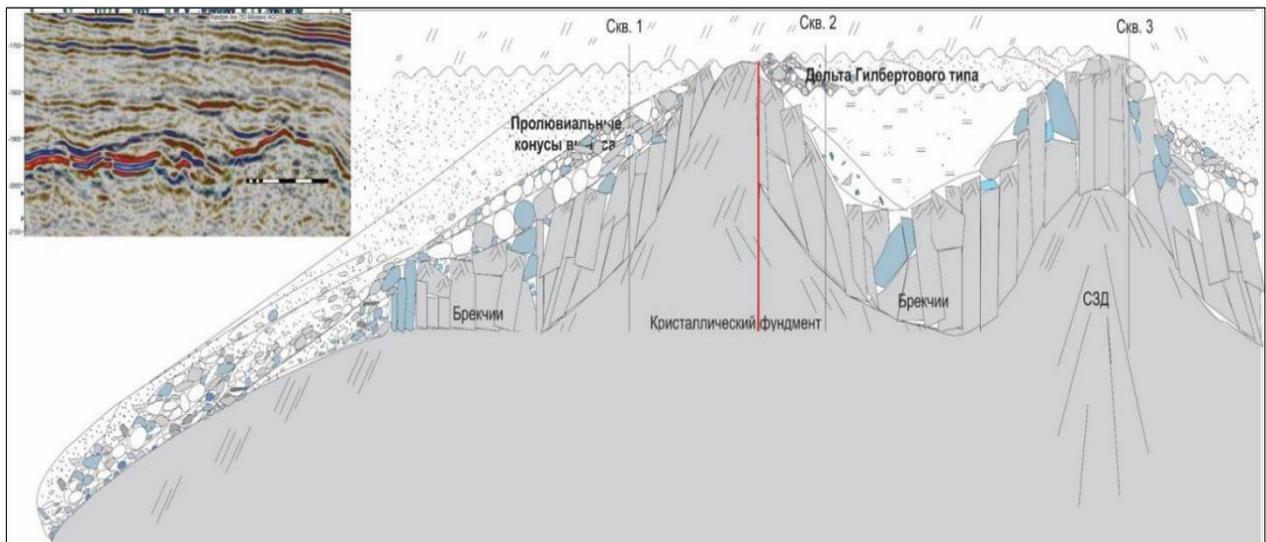


Рисунок 6 - Тектоно-седиментационная схема формирования отложений района залежи нефти целевого пласта Баден 2 месторождения Иджош Север

Расстояние между разведочными скважинами составляет 520 м. Тектоно-седиментационная схема, представленная на рисунке 6, отражает блоковое строение залежи – положение дизъюнктивного нарушения в породах фундамента между скважинами

прогнозировалось по данным интерпретации данных 3Д сейсморазведки и подтверждено бурением и уровнем ВНК второй разведочной скважины.

С целью выявления областей, подверженных тектоническим движениям, выполнено моделирование сдвиговых деформаций фундамента и осадочного чехла. В процессе интерпретации тектонических нарушений по площади проявлялись структурные парагенезисы - веерообразное расхождение разломов типа «конский хвост» (М.Л. Копп, 1997).

Выдвинуто предположение, что объекты осложнены процессами сдвигового характера. Тектонические процессы являются определяющим фактором при формировании данной залежи, что подтверждает каменный материал по скважинам. При сопоставлении регионального направления сдвига, ориентации запад-восток и близлежащих структур, разломов автором восстановлена схема сдвиговых нарушений в районе залежи.

Согласно сдвигово-ротационной концепции структурной эволюции Земли базовый фактор тектонического вращения отдельных блоков влияет на развитие разномасштабных сдвигово-ротационных и ротационно-сдвиговых структур. Так называемые «закрученные» структуры на геологических и тектонических картах разного масштаба часто проявляются в виде разновозрастных систем сдвиговых деформаций, которые наблюдаются и вдоль границ структур, и в пределах их внутренних областей в виде спиралевидных (кольцевых или дуговых) и вихревых (в том числе радиальных) структурно-кинематических и тектоно-динамических рисунков. В исследовании автором разрабатывается гипотеза, что в случае локальной структуры Иджош Север рост юго-восточной структуры происходил позднее основной и определялся как конседиментационный. Структура образована в геодинамически активной среде с преобладанием горизонтально-сдвиговых движений фундамента. Выделенные линеаменты, согласно классификации А.А. Борисова, отнесены к эндогенным (их образование обусловлено тектоническими процессами).

Второе защищаемое положение. Геологические модели базальных отложений региона Северный Банат, построенные с учетом принятых механизмов формирования, позволяют выявлять зоны флюидодинамической активности, перспективные с точки зрения нефтегазонакопления. В локальных выступах фундамента формируются зоны дезинтеграции горных пород, которые под действием тектонических движений переносятся в гипсометрически пониженные зоны, заполняя склоны выступов продуктами переотложения.

Глава 4. Применение тектоно-седиментационного подхода при анализе сложнопостроенных малоразмерных залежей нефти и газа и рекомендации по доразведке территории

Описаны результаты применения тектоно-седиментационного подхода для интегрированного анализа и детализации геологического строения залежи нефти Иджош Север. Автор обращает внимание на наличие локальных разрывов осей синфазности в верхней части отложений. Предполагается, что они связаны с дезинтеграцией пород вследствие конседиментационных динамических движений над зонами локальных выступов фундамента. Конфигурация рассматриваемой залежи нефти, приуроченной к отложениям пролювиальных конусов выноса, зависит не только от гравитационного процесса формирования осадочного слоя, но и от характера проявления тектонического фактора - локальных выступов фундамента, субвертикальных разломов в интервале фундамента и сложного сдвигового и ротационного движения блоков фундамента.

На основании принципов гравитационного механизма формирования отложений в областях, удаленных от очага геодинамической активности, предполагается скопление более мелкодисперсных фракций. Автор отмечает, что в предложенной гипотезе существует уязвимость - сложность объяснения наличия скопления УВ гипсометрически ниже основной залежи. Далее рассматривается влияние тектонических сил на формирование локальной залежи и сформулирована *вторая гипотеза* - с позиции тектоники. Гипотеза предполагает наличие тектонически экранированной ловушки, представленной переотложенными породами. Согласно гипотезе, разлом является экранирующим, поэтому в предложенной к бурению структуре, расположенной гипсометрически ниже основной залежи, ВНК также находится ниже (рис. 7).

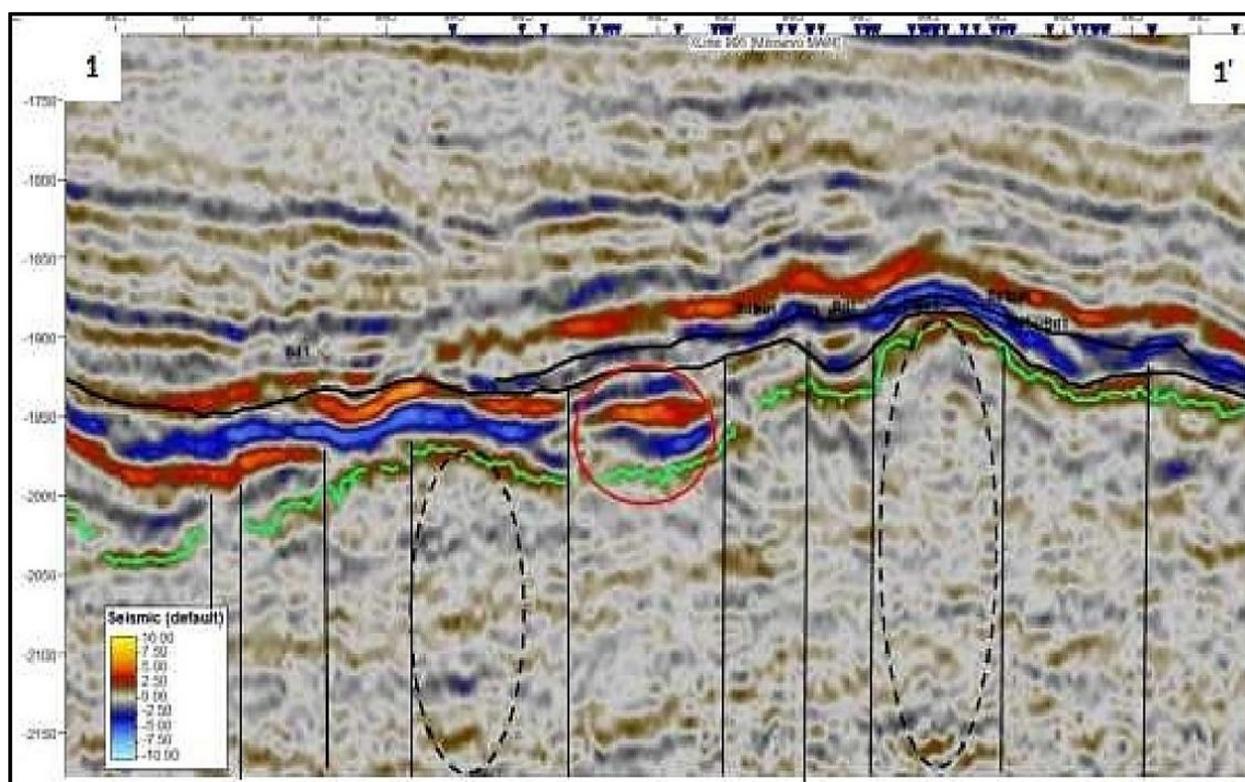


Рисунок 7 - Временной разрез с авторской интерпретацией кровли фундамента, разломов и выделением субвертикальных зон разрушения горных пород (пунктир) в районе месторождения Иджош Север и прилегающих блоков

В результате обновления тектоно-структурной модели после бурения новой скважины в район аномалии волнового поля над локальным выступом фундамента, обозначенного на рисунке 7 красным овалом, структурная карта по кровле фундамента отражает морфологию локального выступа фундамента в районе пробуренной скважины, при этом подтверждается блоковое строение залежи.

Предполагается, что образование нового западного тектонического блока, указанного на (рис. 8), связано с локальным выступом фундамента при региональном режиме сжатия.

Оценка характера изменения изопахит в интервале между кровлей фундамента и кровлей пород покрышек - баденских мелководных отложений показала, что на территории наблюдается сохранение увеличенных временных толщин, локализованных в областях

пониженного рельефа кровли фундамента с момента накопления базальных отложений до покрывающих карбонатов баденского времени.

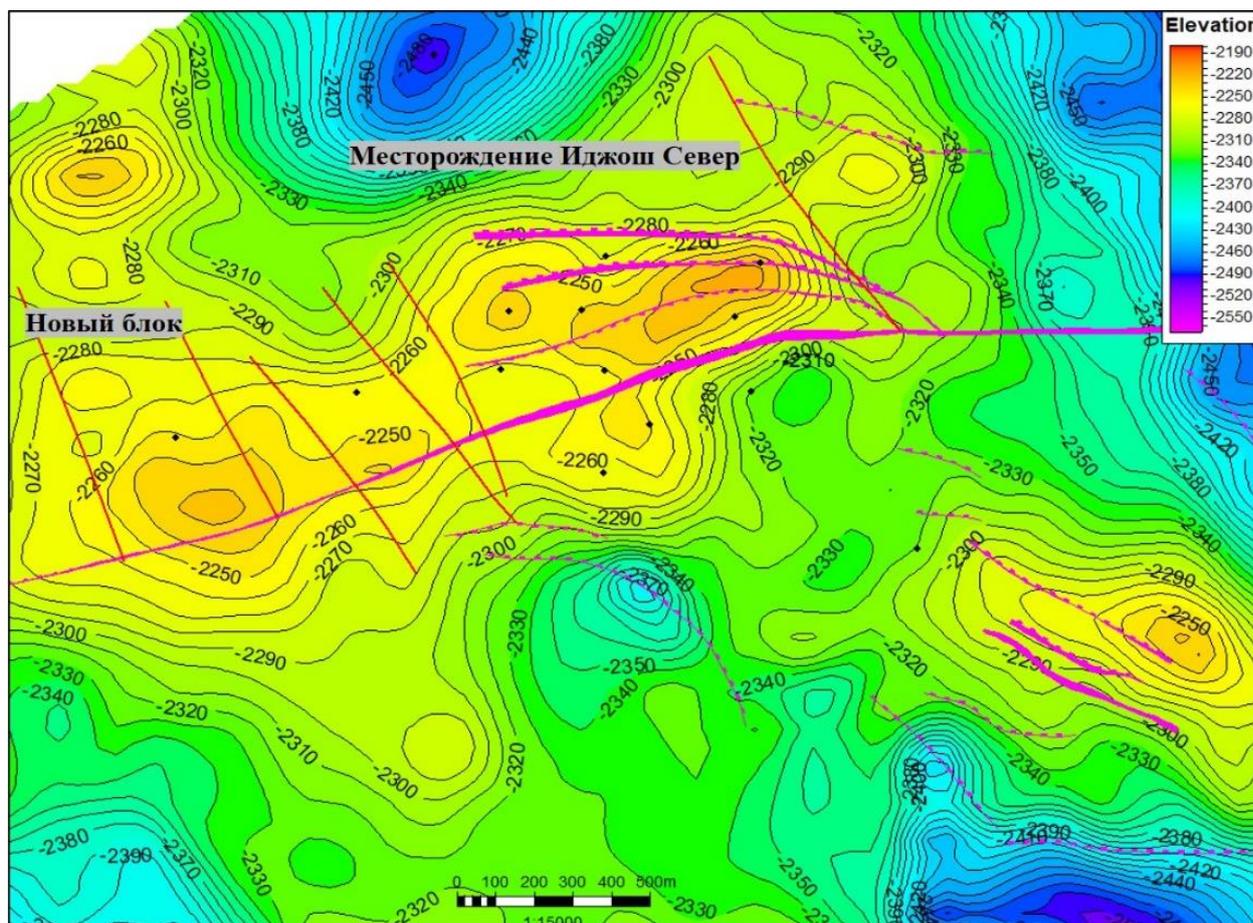


Рисунок 8 - Структурная карта по кровле фундамента месторождения Иджош Север

Заполнение локальных депрессий средней площадью 500 тыс.м², совпадает с региональным направлением движения покровов на север и на восток (рис. 9 б).

Характер отражений по кровле фундамента на разрезе 3Д атрибута среднеквадратичных амплитуд (рис. 9а) проанализирован на предмет соответствия положения локальных субвертикальных зон деструкций пород и соотношения осадочных пород в районе выступов фундамента. Примечательно, что усиление среднеквадратичных амплитуд во временном разрезе проявляется на выступах фундамента, где происходит интерференция между карбонатной толщей пород-покрышек и измененных пород фундамента, а в локальных депрессиях появляется дополнительное отражение, которые автор связывает с переотложенными породами (конгломераты и брекчии), подобные тем, которые были вскрыты скважиной № Is-19 и получен промышленный приток нефти. Это наблюдение предлагается использовать для дальнейшей оценки перспектив УВ потенциала изучаемой площади в качестве поискового признака.

Вышеизложенное демонстрирует первое защищаемое положение о механизме формирования залежи и второе защищаемое положение о выявлении перспективных зон нефтегазонакопления на основании принятых механизмов формирования залежей.

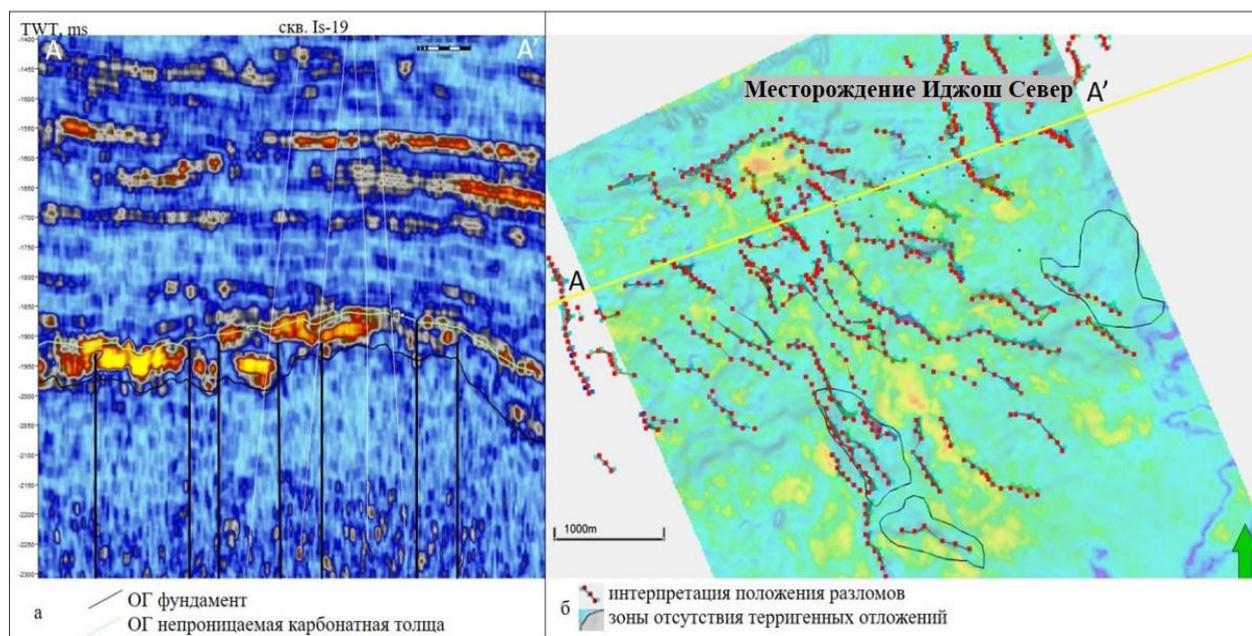


Рисунок 9 - Комбинация временного разреза по кубу атрибута RMS амплитуд (а) и карта максимальных амплитуд по кровле фундамента в окне 2 мс (б)

На основании проведенного анализа выявлены и апробированы *тектоноседиментационные критерии поиска малоразмерных залежей* на контакте с породами фундамента для района Северный Банат:

- субвертикальный выступ фундамента (локального характера);
- аномалия в характере сейсмической записи над локальным выступом фундамента;
- разлом и близость к нему целевого объекта;
- устойчивое присутствие отражающего горизонта, контролирующего распространение базальных отложений;
- наличие пород-покрышек.

Предложенные критерии впоследствии использованы автором при поиске залежей на других площадях Северного Баната, что привело к открытию нового месторождения нефти и газа Кикинда Северо-Запад с малоразмерными залежами в терригенных отложениях верхнего миоцена. В результате выполненных работ выполнен анализ распространения перспективных участков на расширение известных контуров нефтегазоносности в западном направлении и открытие новых залежей территории месторождения Иджош Север и близлежащих районов (рис. 10).

Выделенные контуры доразведки представляют собой малоразмерные блоки, разделенные между собой тектоническими нарушениями. В районе предполагаемых перспективных блоков выполнен атрибутный анализ для прогноза распространения коллекторских свойств, анализ сохранности пород-покрышек. На основании применения тектоно-седиментационных критериев поиска на прогнозной карте распространения коэффициента песчаности в интервале базальных отложений выделены перспективные зоны нефтегазонакопления №1 и №2, в которые заложены проектные скважины (рис. 11). Эффективность прогноза подтверждена положительными результатами бурения скважин в восточной области доразведки.

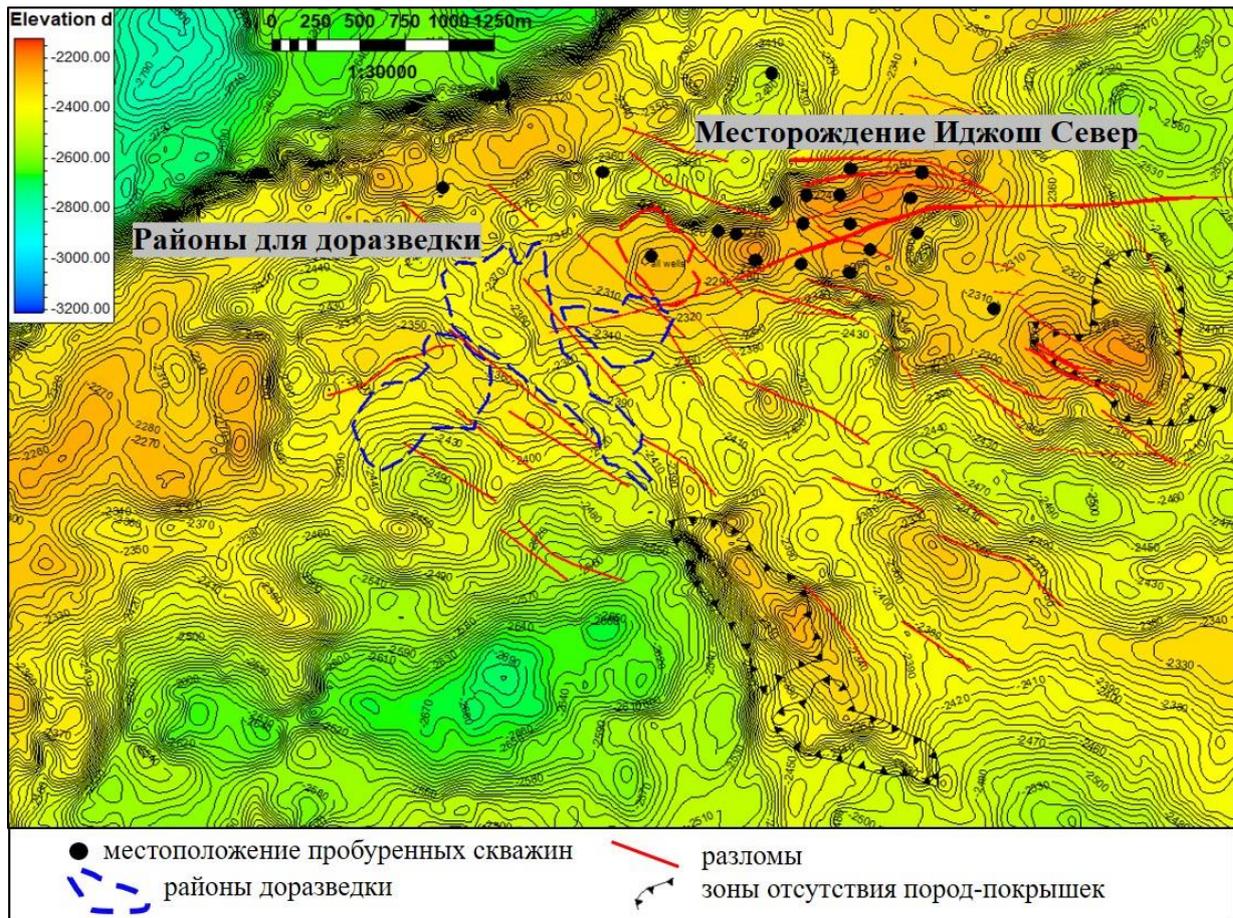


Рисунок 10 - Районы для доразведки территории месторождения Иджош Север на карте фундамента

Основные научные выводы и гипотезы, описанные в главе:

1. Сформулированы и критически рассмотрены две гипотезы формирования отложений на западе исследуемого участка - с позиции седиментации и с позиции тектоники. На основании анализа данных сейсморазведки и кернавого материала автором показано, что вторая, «тектоническая» гипотеза формирования является наиболее вероятной для данной территории.

2. Фактическими материалами подтверждено утверждение, высказанное д.г.-м.н. С.Р. Бембелем, что при локализации местоположения участков зон деструкции и определении высокой степени локальности свойств среды следует учитывать возможные существенно более дискретные коллекторские свойства. На примере месторождения Иджош Север показано, как в результате выделения локальных выступов и блоков фундамента выявлены новые малоразмерные залежи нефти.

3. Формирование складок нагнетания и локальный процесс нефтегазогенерации в каждой СЗД могут приводить к образованию залежей УВ с индивидуальным водонефтяным контактом, характером насыщения и коллекторскими свойствами в пределах даже одного месторождения.

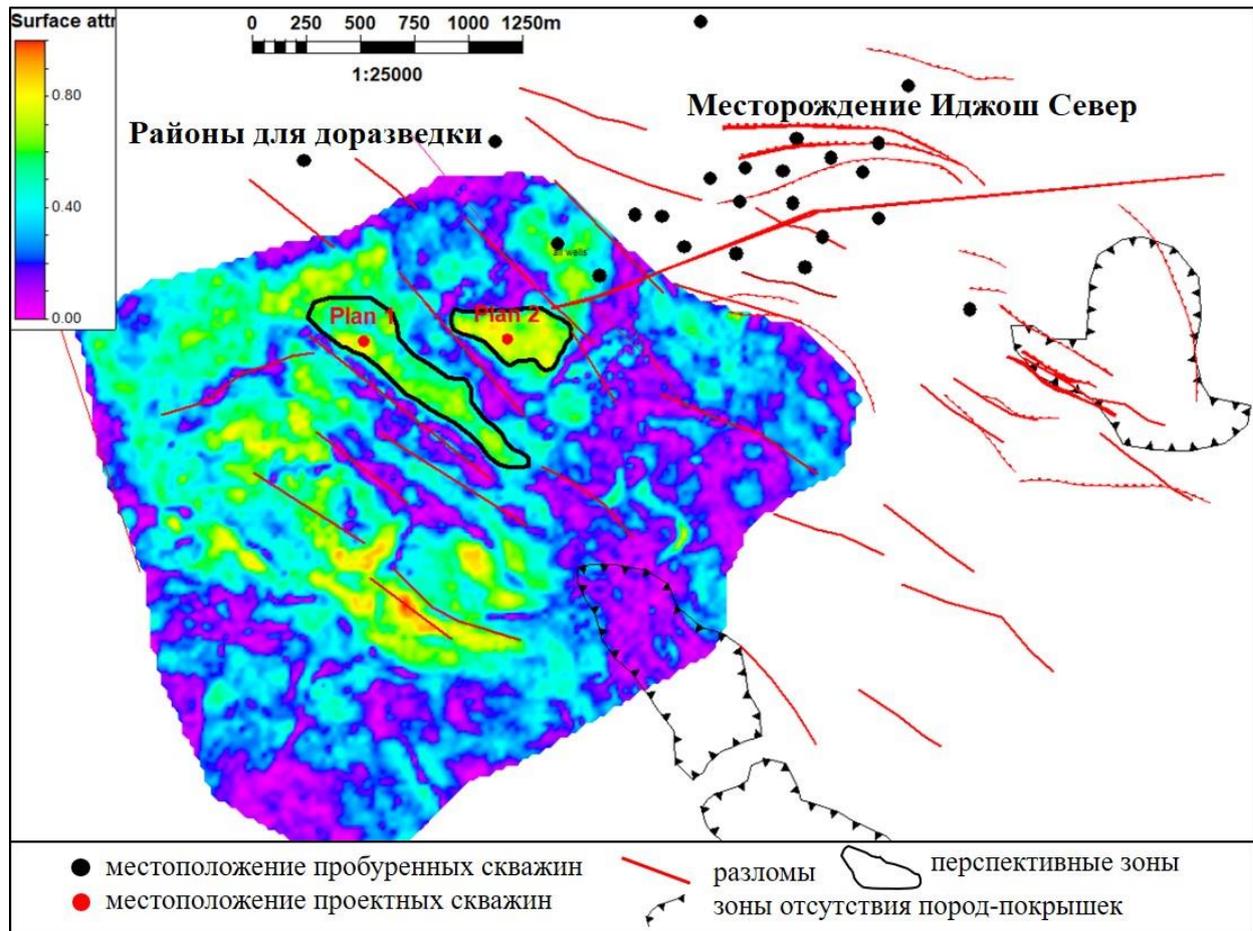


Рисунок 11 – Прогнозная карта распространения параметра коэффициента песчаности в районе доразведки

4. Склоны, расположенные между локальными поднятиями фундамента и отрицательными структурами, являются перспективными на открытие залежей УВ при наличии сохранных (не нарушенных) «пород-покрышек», так как склон обеспечен осадочным материалом, связанным с локальными выступами фундамента и приуроченными к ним зонами деструкции горных пород и наиболее вероятно насыщение пород-коллекторов УВ.

5. Для залежей УВ, расположенных вблизи разломных зон (с дизъюнктивными нарушениями), наблюдается наличие двух факторов. Первый - это наличие разлома, может обеспечивать миграцию УВ, что положительно влияет на формирование залежи - насыщение коллектора. Второй - это породы покрышки и/или коллектор могут быть разрушены в результате тектонических процессов и поэтому не могут сохранить залежь УВ, что приводит к проблемам «промытых ловушек».

Третье защищаемое положение. Генетическая связь между тектоно-структурными и седиментационными особенностями строения залежи УВ. Наличие данной связи, установленной по результатам изучения залежей в пределах сербской части Паннонского бассейна, является предпосылкой для выполнения прогноза нефтегазоносности на основании комплексных тектоно-седиментационных моделей. Наибольшие перспективы связаны с локальными выступами фундамента, которые ограничены разломами, и близлежащими склонами, заполненными терригенными отложениями (пролювиальные конусы выноса, переотложенные породы фундамента, брекчии коры выветривания).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных работ решена задача прогноза нефтегазонакопления в базальных отложениях для исследуемых территорий Северного Баната, составлены рекомендации дальнейших работ по доразведке территории месторождения Иджош Север и близлежащих участков.

Впервые для залежей нефти и газоконденсата Майдан Дубоко и Иджош Сервер выполнен интегрированный анализ геологического строения, установлены тектонические и седиментационные особенности базальных отложений, контролирующих зоны нефтегазонакопления. *Выявлены тектоно-седиментационные критерии для поиска малоразмерных залежей УВ, связанных с локальными выступами фундамента.*

1. На основании изученных геолого-геофизических данных по юго-западной части Паннонского бассейна показано, что сложнопостроенные малоразмерные залежи УВ расположены в непосредственной близости к сдвиговым и разломным зонам. Корректная интерпретация положения разломов на контакте фундамента и осадочного чехла и понимание механизма формирования близлежащих структур значительно повышает вероятность открытия новых залежей УВ.

2. Разработана схема анализа малоразмерных сложнопостроенных залежей УВ на основе адресного тектоно-седиментационного подхода, позволяющего интегрировать несколько направлений анализа, выявлять и учитывать особенности строения залежей, оказывающих наибольшее влияние на нефтегазоносность. Применение данного подхода на объектах района исследования повысило эффективность прогноза перспективных зон скопления УВ.

3. В работе представлены основные принципы тектоно-седиментационного подхода на примере двух классов сложнопостроенных залежей УВ: в метаморфизированных породах фундамента и в терригенных отложениях на границе с кристаллическим фундаментом. Указаны ключевые процессы комплексного анализа данных, которые играют важную роль при принятии дальнейших производственных решений.

4. Установлено, что при тектоно-структурном анализе необходимо учитывать возможные ротационные и сдвиговые механизмы при формировании структур, которые могут способствовать разрушению малоразмерных залежей или их формированию.

5. На примере изучения залежей УВ сербской части Паннонского бассейна показано, что правильное понимание и корректное воспроизведение механизма формирования сложнопостроенных малоразмерных залежей УВ, обусловленных сдвиговыми и ротационными тектоническими процессами, оказывают положительный эффект на результаты их разведки и разработки.

6. Установлено наличие режима сдвиговой и сдвигово-ротационной тектоники при формировании и трансформации залежей нефти и газоконденсата месторождения Майдан Дубоко, в результате которых были образованы сложнопостроенные объекты, имеющие блоковую структуру.

7. Выполненная детализация геологического строения залежи нефти месторождения Иджош Север позволила обосновать связь между тектоническими и седиментационными факторами формирования залежи, определить блоковую структуру месторождения и наметить перспективы дальнейшей доразведки и разработки месторождения.

Опубликованные работы по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. Милей Е.С. Модель седиментации базальных горизонтов терригенного комплекса среднего миоцена месторождения Иджош Север (Сербия) / Е.А. Жуковская, Е.С. Милей, Л.Г. Стулов // Геофизика, 2018. – № 4. – С. 67-74.
2. Милей Е.С. Тектоно-седиментационный подход как основа для изучения тонкослоистых коллекторов сложного геологического строения / Е.С. Милей, С.Р. Бембель // Известия вузов. Нефть и газ, 2020. – № 4. – С. 21-35.
3. Милей Е.С. Тектоно-структурный анализ залежей в отложениях контакта осадочного чехла и кристаллического фундамента / Е.С. Милей, С.Р. Бембель // Известия вузов. Нефть и газ, 2020. – №3. – С.8-19.

Публикации в изданиях Scopus:

4. Милей Е.С. Геологическое моделирование нефтяных залежей кристаллического фундамента Паннонского бассейна (на примере месторождения Майдан Дубоко) / Е.С. Милей, М.А. Тугарова, Б.В. Белозеров, М.А. Пилипенко // Нефтяное хозяйство, 2018. – №5. – С.24-29.
5. Милей Е.С. Новые перспективы разработки нефтегазового месторождения Кикинда (Сербия) / Е.А. Жуковская, Е.С. Милей, Е.Ф. Цуканова, К.А. Ежов, А. Гогич // Нефтяное хозяйство, 2018. – №12. – С.60-62.
6. Милей Е.С. Определение поисковых критериев для проведения геолого-разведочных работ на основании комплексного изучения месторождения-спутника (регион Северный Банат, Республика Сербия) / А.Ю. Попов, А.Е. Родионов, Е.С. Милей, И.Ю. Богатырев, А. Гогич, Б. Вучкович, Т.В. Ольнева // Нефтяное хозяйство, 2016. – №1. – С.24-27.
7. M. Pilipenko, E. Milei and M. Kuznetsov. Spiral Model of Asset Development on the Example of Green Field Idjosh, Pannonian Basin, Serbia, Conference Proceedings, Progress'19, Nov 2019, Volume 2019, pp. 1-5, European Association of Geoscientists & Engineers. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201953049>.
8. T.V. Olneva, E. Milei. Reservoir modeling of paleochannels based on seismic trend // Second Conference on Forward Modelling of Sedimentary Systems, Trondheim, Norway, April 2016. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201600371>.

Работы, опубликованные в других изданиях

9. Милей Е.С. Прогноз нефтегазоносности залежей в Паннонском бассейне на основе тектоно-структурного подхода / Е.С. Милей, С.Р. Бембель // Новые идеи в геологии нефти и газа. Новая реальность – 2021: сборник научных трудов (по материалам Международной научно-практической конференции). Отв. ред. А.В. Ступакова; МГУ имени М.В. Ломоносова. – Москва: изд-во «Перо», 2021. – С.357-360.
10. Милей Е.С. Картирование тектонических особенностей формирования залежей УВ Паннонского бассейна на основе комплекса геофизических исследований и керновых данных / Е.С. Милей, С.Р. Бембель // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIV Международного симпозиума им. академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. Том I / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – С.309-310.

11. Милей Е.С. Создание геологических моделей и прогноз нефтегазоносности на основе обобщения тектоно-структурного и седиментационного анализа / Е.С. Милей, С.Р. Бембель // Нефть и газ: технологии и инновации. Материалы Национальной научно-практической конференции. В 3-х томах. Отв. ред. Н.В. Гумерова. 2020. – С.27-29.

12. E. Zhukovskaja, E. Milei. Oil reservoirs in basal terrigenous sediments of the sedimentary cover of different types of basins // IAS Meeting of sedimentologists, Rome, September 10th-13th 2019. 83 p.