АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА

На правах рукописи

БАССЕЙНОВЫЙ АНАЛИЗ ЮЖНО-КАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ НА ОСНОВЕ НОВЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Специальность: 2521.01 - Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений

Отрасль науки: Науки о Земле

Соискатель: Абдуллаев Назим Расми оглы

ΑΒΤΟΡΕΦΕΡΑΤ

диссертации на соискание ученой степени доктора наук

БАКУ – 2024

Работа выполнена в Институте нефти и газа Министерства науки и образования Азербайджана

Научный консультант: доктор геолого-минералогических наук, академик

Гулиев Ибрагим Саид оглы

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, проф. Алиев Адиль Абас Али оглы

доктор геолого-минералогических наук, проф. Керимов Вагиф Юнус оглы

доктор геолого-минералогических наук, проф. Ахмедов Тофик Рашид оглы

доктор геолого-минералогических наук, доц. Алияров Рауф Юсиф оглы

Диссертационный совет ED 1.01 Высшей Аттестационной Комиссии при Президенте Азербайджанской Республики, действующий на базе Института Геологии и Геофизики Министерства науки и образования Азербайджана

Председатель диссертационного совета

Доктор геолого-минералогических наук,

академик // Фейзуллаев Акпер Акпер оглы

Ученый секретарь диссертационного совета

Танлидат технических наук, доцент Мирзоева Дильгуша Рамзей гызы

Председатель научного семинара

Доктор геолого-минералогических наук, член-корр. НАНА Гусейнов Дадаш Ага-Джавад оглы

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы и степень изученности темы.

Каспийский регион, в частности Южно-Каспийский бассейн (ЮКБ) Азербайджана, является одним из основных источников нефти и газа в настоящее время и в ближайшем будущем. Потенциал бассейна реализуется благодаря таким масштабным проектам, как трубопровод Баку-Тбилиси-Джейхан, Азери-Чираг-Гюнешли, Шах-Дениз. Тем не менее, динамичная углеводородная система ЮКБ еще мало изучена, и ее изучение принесет большие плоды в будущем. Немалые тайны хранят осадки, залегающие на больших глубинах. Нефтегазоносность этих осадков мало исследована. Бассейн ЮКБ совершенно уникален по истории своего формирования и эволюции. Он стоит особняком в числе многочисленных осадочных бассейнов мира. Изучение ЮКБ и прилегающих регионов и сравнение его с другими бассейнами мира показывает, насколько важным является нахождение закономерностей в заполнении бассейнов осадками и связи этих факторов с горообразованием и эрозией. Для понимания исключений из правил необходимо четко осознать собственно правила и закономерности.

В течение последних трех десятилетий национальной нефтяной компанией (SOCAR), а также многими зарубежными нефтяными компаниями, работающими в акватории Южно-Каспийского бассейна (ЮКБ), был собран и проинтерпретирован огромный фактологический материал. Создана региональная база высококачественных двумерных и трехмерных сейсмических данных, а также скважинных данных, собранных при разведочном бурении. Это позволило сформировать более четкую холистическую картину эволюции бассейна. За этот период накоплен большой опыт, в практику поисково-разведочных работ были внедрены новые подходы и технологии. Одним из подходов к изучению бассейна (basin analysis) является комплексный подход, основанный: на обобщении сейсмических, сейсмологических и геологических данных; на моделировании бассейна; на синтезе и анализе существующей литературы с использованием системного мышления. Автор, работая в компании British Petroleum (BP) более 20 лет, руководил многими региональными исследованиями, в основе которых лежала обработка и интерпретация новейших сейсмических данных, а также их корреляция со многими имеющимися сейсмическими, каротажными и керновыми данными по ЮКБ. Автором совместно с различными научными институтами были проведены исследования по изучению эволюции ЮКБ. Автором, совместно с коллективом геологов, впервые подсчитан абсолютный возраст пород ПТ. Результаты этих работ легли в основу научных изысканий автора за последние 10 лет.

Применение синтеза теории эволюции как для ЮКБ, так и для более 1000 других седиментационных бассейнов мира позволило выявить закономерности, связанные с формированием осадочного чехла бассейнов, развитием осадконакопления и определением типа бассейна и типа коры. В частности, построенная на основе синтеза геодинамическая модель эволюции бассейна позволяет объяснить некоторые особенности ЮКБ: неравномерность заполнения бассейна, включая различия по речным системам, заполнявшим бассейн осадками; изменение привноса осадочного материала в бассейн из этих речных систем во время накопления продуктивной толщи (ПТ), а также в верхнем плиоцене и в плейстоцене. Установление природы аномальности ЮКБ по сравнению с другими осадочными бассейнами мира является чрезвычайно актуальным вопросом для понимания задач, стоящих перед наукой об анализе бассейнов. Особая природа нефтегазоносности ЮКБ напрямую связана с этой аномальностью.

Объект и предмет исследования.

Объектом исследования является ЮКБ – уникальная «лаборатория» для понимания процессов эволюции осадочных бассейнов мира. Предмет исследования – геологическая эволюция ЮКБ и ее нефтегазоносность.

Цель и задачи исследования.

Установление закономерностей осадконакопления и развития осадочного чехла ЮКБ, на основе методов бассейнового анализа и бассейнового моделирования, а также сравнения ЮКБ с другими осадочными бассейнами мира в зависимости от их мощности, возраста, типа коры и нефтегазоносности. Прогнозирование нефтегазоносности и разведочных рисков в ЮКБ на базе новых геологических и геофизических данных и современных подходов и методов.

Задачи.

1. Изучение процесса эволюции осадочного чехла ЮКБ и близлежащих бассейнов на основе данных региональных сейсмических разрезов, карт изопахит и бассейнового моделирования, включая одномерные кривые погружения по скважинам, температурные данные и результаты гравимагнитного моделирования.

2. Методология и подсчет радиометрическим методом абсолютного возраста плиоценовой Продуктивной толщи ЮКБ и создание усовершенствованной возрастной модели ЮКБ.

3. Оценка объема осадков и скоростей осадконакопления в целом по бассейну и по регионам.

4. Анализ эволюции притока осадков в ЮКБ через дренажные системы, исследование скоростей денудации бортов бассейна в кайнозойскую эру и сравнительный анализ морфологии речных систем, впадающих в Каспийское море. Оценка скоростей эрозии в кайнозое и объяснение аномальности осадконакопления ЮКБ.

5. Сравнение эволюции осадочного чехла ЮКБ и других осадочных бассейнов мира. Выяснение различий между характеристиками бассейнов, а также объемами осадочной оболочки Земли согласно степенному распределению Парето. Объяснение важности степенных законов для геологических систем.

6. Исследование тектонической эволюции ЮКБ и близлежащих регионов с точки зрения теории плит с момента образования бассейна в юрский период и до сегодняшнего дня.

Методы исследования и фактический материал.

Настоящая работа носит теоретический и методологический характер.

Работа базируется на обзоре и обобщении современных геологических и геофизических данных, интеграции моделирования литосферы и осадочного чехла ЮКБ, а также на количественной оценке процессов заполнения бассейна осадками и их денудации на бортах бассейна. Создана также база данных, включающая около 1000 основных седиментационных бассейнов мира, изучены на основе опубликованных данных и подсчитаны объемы осадков в каждом из этих бассейнов. Эта база данных создана путем интегрирования баз данных по бассейнам из сайтов Earthbyte и CGG Tellus.

Основой фактологического материала по Южно-Каспийскому бассейну стало картирование большого количества сейсмических горизонтов, в том числе и на профилях с 20-секундной записью сейсмического материала. Автором совместно с коллективом геологов и геофизиков ВР была проведена интерпретация по обширной сетке 2-х мерных профилей и данных 3-х мерных сейсмических съемок. Региональные данные по региону центральной Азии и Кавказа (опубликованные карты и профиля) также были использованы в работе.

Еще одной основой послужили данные по скважинам ЮКБ и Куринского бассейна (в том числе замеры температур и стратиграфические отбивки).

Защищаемые положения.

1. Итеративная динамическая модель формирования и развития ЮКБ и прилегающих территорий.

2 Закономерности процессов прогибания коры и осадконакопления в ЮКБ с учетом уточненного абсолютного возраста пород.

3. Результаты сравнительного анализа статистических параметров осадочных бассейнов мира, включая нефтегазоносность.

4. Углеводородный потенциал ЮКБ на основе комплексного анализа и категоризации геологических рисков.

Научная новизна.

1. Определено, что ЮКБ является одним из уникальных бассейнов мира с аномальным значением усредненной мощности осадочного чехла. Выведена зависимость мощности осадков от площади бассейнов для разных типов бассейнов.

2. Впервые подсчитана скорость осадконакопления по эффективному объему осадков в бассейне путем использования усредненной мощности пород на различных участках бассейна. Изучен механизм денудации бортов ЮКБ и установлена связь скорости денудации со скоростью осадконакопления по каждой из речных систем, снабжавших ЮКБ осадками.

3. Показано, что наблюдаемый характер погружения и осадконакопления в ЮКБ является результатом процесса седиментационной нагрузки на утоненную кору океанического типа с загасающим термальным погружением.

4. Обосновано, что ЮКБ является одним из нескольких генетически близких друг к другу бассейнов, сформировавшихся вдоль задуговой границы Нео-Тетиса, таких как Больше-Кавказский бассейн (БКБ), Куринский бассейн (в т.ч. Евлах-Агджабединская депрессия ЕАД). Дано описание эволюции этих бассейнов с позиции теории тектоники плит.

5. Впервые детально измерен абсолютный возраст пород нижнеплиоценовой продуктивной толщи (ПТ) и показано, что ПТ отлагалась от 4 млн. лет до 2.7 млн. лет, а не от 6 млн. лет до 3.2 млн. лет, как считалось ранее.

6. Выведена корреляционная зависимость между мощностью консолидированной коры и мощностью осадочного чехла ЮКБ.

7. Для около 1000 нефтегазоносных бассейнов мира (НГБ) подсчитана зависимость между объемами осадочного чехла, мощностями осадков и объемами запасов углеводородов в этих бассейнах.

8. На основе степенного закона Парето подсчитаны диапазоны остаточных запасов в бассейнах мира и в ЮКБ.

9. По предложенной автором методологии разведочных рисков описаны степени геологических рисков по каждому из 15 НГР Южно-Каспийского бассейна.

Практическая значимость работы.

Установленные закономерности и характеристики осадочных бассейнов дают возможность понять взаимоотношения между различными геологическими типами бассейнов, включая ЮКБ. С помощью подобных закономерностей могут быть выявлены размеры и морфология осадочных бассейнов при отсутствии сейсмических данных, определяющих размеры бассейна.

Построенные итеративные модели погружения ЮКБ и

уточненный абсолютный возраст отложений плиоцена в бассейне могут быть использованы для выявления характерных особен-ностей литосферы и осадочного чехла. Они также могут быть использованы для построения более точной трехмерной модели теплового потока в центре ЮКБ, что создает основу для понимания процессов генерации и миграции углеводородов.

Результаты анализа тектонического строения бассейна и неравномерностей осадочного чехла ЮКБ могут быть использованы для прогнозирования наличия и протяженности коллекторов в бассейне, где скважинные данные ограничены.

Личный вклад соискателя. Все результаты, составляющие содержание диссертации, получены автором самостоятельно с использованием моделирующих пакетов компании Badleys по погружению "FlexDecomp" и "Stretch", пакета "GM-SYS" компании Geosoft для гравиметрического моделирования, пакета Petrel XField для гравимагнитного моделирования и пакета "Trinity" компании Zetaware для построения карт и бассейного моделирования, а также пакета "Spotfire" для визуализции.

Автор вместе с сотрудниками разведочной группы компании ВР принимал непосредственное участие в выполнении научных исследований в акватории ЮКБ, интерпретации сейсмических данных, построении карт изопахит (мощностей), палеогеографических карт и моделировании бассейна, которые послужили исходной базой данной работы. Автором подсчитан и впервые собран большой объем данных по бассейнам мира, из различных источников собраны карты мощностей осадочного чехла Земли и произведен синтез и обобщение всех этих данных. Все графики, демонстрирующие различные зависимости, использованные в работе, построены автором самостоятельно.

Апробация работы. По теме диссертационной работы имеются 22 публикации, из которых 12 статей в рецензируемых научных изданиях, включая 1 монографию. Положения диссертации докладывались на 10 международных конференциях и семинарах, из которых 8 состоялись за рубежом.

Название организации, где была выполнена работа. Диссертационная работа выполнена в Институте Нефти и Газа Министерства науки и образования Азербайджана.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, десяти глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 349 стр. текста и включает 5 таблиц, 135 рисунков и 308 наименований использованной литературы. Главы отражают основные защищаемые положения. Работа состоит из введения (13605 символов), 10 глав (1-я глава – 94030 символов, 2-я глава – 27397 символов, 3-я глава – 30674 символов, 4-я глава – 19531 символов, 5-я глава – 54573 символов, 6-я глава – 23443 символов, 7-я глава – 41386, 8-я глава – 21334 символов, 9-я глава – 26124 символов, 10-я глава – 83784 символов) и заключения (7541 символ). Общее количество символов в работе без учета списка литературы, подписей под рисунками и таблицами – 443422.

Научные результаты по первому защищаемому положению отражены в первой, второй, третьей и четвертой главах; по второму защищаемому положению отражены в пятой, шестой и седьмой главах; по третьему защищаемому положению отражены в восьмой и девятой главах; по четвертому защищаемому положению отражены в десятой главе диссертации.

Автор выражает глубокую благодарность научному консультанту, академику, вице-президенту НАНА, доктору геоло-го-минер. наук, проф. И.С.Гулиеву; академику НАНА, доктору геолого-минерал. наук, проф. П.З.Мамедову (АГНА); академику НАНА, директору Института Нефти и Газа, доктору геолого-минерал. наук, проф. Ф.З.Кадырову; академику НАНА, доктору геолого-минерал. наук А.А.Фейзуллаеву; академику НАНА, доктору геолого-минерал. наук Э.Г-М.Алиевой; доктокандидату геолого-минер. Г.Райли (BP); наук py А.С.Джавадовой (SOCAR); доктору Р.Саксенхофферу (университет Леобена, Австрия); доктору Д.Веберу (Университет Миссури, США); Крис Ван-Бак (Университет Утрехта, Голландия) за ценные советы, оказанную помощь и большое внимание при выполнении работы. Автор выражает благодарность компании ВР за разрешение опубликовать результаты выполненных исследований. Автор также выражает благодарность компании Badleys, в частности доктору А.Робертс, за предоставленную возможность использовать при выполнении данной работы программы по моделированию литосферы.

9

I Глава. Обзор тектонического строения и стратиграфии Каспийского региона.

Обзор эволюции осадочного чехла ЮКБ и пограничных регионов по опубликованным работам, включая предыдущие исследования автора, показывает необычную геотектоническую природу ЮКБ. Согласно сейсмическим данным ГСЗ и телеметрии (рис. 1) под мощным осадочным чехлом ЮКБ на глубине 25-27 км залегает тонкая консолидированная земная кора мощностью до 5-6 км в западной части и более 10 км в восточной части (без верхнего гранитного слоя). На территории Куринской низменности мощность консолидированной коры составляет 25 км. Кора имеет типичное континентальное строение с наличием базальтового и гранитного слоя. Все сказанное подтверждается многочисленными сейсмическими, гравиметрическими и термальными данными, а также результатами моделирования прогибания ЮКБ, выполненного автором.

Результаты работ по моделированию погружения показали, что при глубине фундамента 24-25 км (рис. 1 и рис. 2) общую мощность отложений в Южно-Каспийском бассейне можно объяснить процессом расширения пассивной континентальной окраины прото-ЮКБ и образованием океанического бассейна в период поздней юры, с последующим термальным оседанием в течение 145 млн. лет, сопровождавшимся отложением осадков, нагрузкой и уплотнением.

Осадконакопление в центре бассейна, вероятнее всего, началось сразу после образования задугового бассейна ЮКБ, которое мы относим к концу юрского периода (условно 145 млн. лет назад).

В работе также синтезируются результаты геотектонического моделирования, выполненного ранее по бассейнам нижней, средней и верхней Куры, которые связаны с ЮКБ. Предполагается, что эти бассейны также являются рифтами континентальной окраины задугового бассейна или предуговыми бассейнами, заполненными вулканогенными осадками, эродированными с массивов Малого Кавказа. По геофизическим данным консолидированная кора этих бассейнов имеет четко континентальную природу. Приводится сравнительный анализ истории этих бассейнов с учетом их геодинамических характеристик. Сравниваются как мощность осадков, так и мощность консолидированной коры по всему региону Каспия. Показано, что эти бассейны в целом имеют мощность, близкую к усредненным значениям континентальной коры в 20-30 км и характеризуются мощностями осадочного чехла не более 15 км.

На месте Большого Кавказского хребта также существовал задуговой бассейн перед пассивной окраиной (далее БКБ), открывшийся примерно в юрский период одновременно с ЮКБ. В этом задуговом бассейне накопилось до 15 километров осадков. Сейчас эти осадки обнажаются вдоль Кавказского хребта, эродируются и переотлагаются в ЮКБ. Варисканская (Палеозойская) метаморфическая кора этого бассейна обнажается в центре хребта.

Далее в первой главе приводится информация о породах юрского, мелового периодов, палеоцена и эоцена, а также приводятся карты, интегрирующие сушу Азербайджана и акваторию ЮКБ в единый ансамбль по новейшим данным. В этот период (от мела до миоцена) в ЮКБ происходило постепенное увеличение скорости осадконакопления, так как к бассейну приближались или становились активными источники сноса осадков. Эоценовые и олигоцен-миоценовые комплексы пород отличаются высоким содержанием органического материала. В это время резко увеличивались объем и скорость осадконакопления, достигая максимальных значений более 10 км за миллион лет (рис. 3). Это связано, возможно, с начавшимся поднятием Кавказских гор примерно в тот же период. Автор при описании цикличности плиоценового разреза ЮКБ, основываясь на своих предыдущих работах, использует терминологию стратиграфии последовательностей применительно к ЮКБ и показывает, что продуктивная толща (ПТ) нижнего плиоцена представляет собой тракт системы низкого уровня моря по терминологии стратиграфии последовательностей (lowstand systems tract). Он отделен несогласием от нижезалегающего тракта систем высокого уровня стояния моря. Мы видим, что осадконакопление в ЮКБ происходило неравномерно во времени и пространстве, что в свою очередь было связано с неоднородностями фундамента ЮКБ и

различным уровнем заполнения осадками из четырех палеоречных систем: Волги, Куры, Амударьи и Сефидруда. Обнаруженная автором неоднородность фундамента напрямую связана со всей последующей эволюцией бассейна.



Рис. 1. Мощность консолидированной коры по всему Каспийскому региону (в метрах). Линии профилей показаны на рисунке 2.



Рис. 2. Региональные профиля север-юг (А) и запад-восток (Б). Красными штрихованными линиями отмечены гранитный и базальтовый слой консолидированной коры. Желтым цветом выделен осадочный чехол.

II Глава. Моделирование прогибания и оседания коры и осадочного чехла ЮКБ.

Одним из основных элементов бассейнового анализа является анализ истории осадочного чехла с использованием прямого и обратного моделирования. В работе представлены результаты исследований по прогибанию фундамента и оседанию осадочного чехла ЮКБ. Автор придерживается идеи, что ЮКБ открылся в период между периодом верхней юры и середины мелового периода, что не противоречит результатам моделирования, представленным в данной работе. Чтобы понять эволюцию оседания Южно-Каспийского бассейна, автором было выполнено комбинированное структурное и стратиграфическое моделирование бассейна по трем региональным разрезам, пересекающим ЮКБ.

В работе дается описание процесса моделирования погружения бассейна, выполненного автором в предыдущих работах и продолженного в данной работе. Процесс моделирования, осуществленный автором применительно к геологическому разрезу Южно-Каспийского бассейна, состоял из 4 стадий: 1) Оценка основных факторов, влияющих на результат моделирования, путем построения простой угловой модели и вариации параметров; 2) Флексурный бэкстриппинг (разуплотнение и разгрузка) без моделирования термального оседания в программе Flex Decomp; 3) Прямое моделирование всей коры (и литосферы) с термальным оседанием (thermal subsidence) в программе Stretch; 4) Бэкстриппинг с использованием новых ограничений прямой модели, включая также профиль с суши. Автор в обратном моделировании применил полученную в результате прямого моделирования мощность угонченной коры, получив как результат «остаточную» палеобатиметрию бассейна ЮКБ на момент его образования. Гравиметрическое и магнитометрическое моделирование подтверждают результаты моделирования погружения бассейна.

Концептуальная модель, выдвинутая автором и подтвержденная наблюдениями и моделированием, показывает, что ЮКБ был раскрыт как рифт континентальной окраины задугового бассейна (continental margin rift/back-arc rift). Направление максимального значения бета-фактора (отношение мощности растяженной коры к полной мощности коры) отражает геометрию рифтовой оси (rift axis), ортогонально которой происходило раскрытие и расширение бассейна в синрифтовый период юры, формируя, возможно, маленькое океаническое окно вместе с Западно-Черноморским бассейном (рис. 3). К юго-востоку от рифтовой оси находилась континентальная окраина «массива Година», возможно, ограниченная глубинными трансформными разломами и, возможно, связанная генетически с Транскавказским массивом (TCM). Эти возможные глубинные разломы оказывали и продолжают оказывать влияние на осадконакопление.



Рис. 3. Региональные профиля север-юг (А) и запад-восток (Б). Красными штрихованными линиями отмечены гранитный и базальтовый слои консолидированной коры. Желтым цветом выделен осадочный чехол

Моделирование погружения подтвердило предположение о том, что явно выраженное утолщение мезозойско-палеогенового отдела с юга на север в Южно-Каспийском бассейне является результатом перехода от утоненной континентальной коры к океанической коре. В результате, в северной зоне предполагаемой океанической коры наблюдается большое значение бета-коэффициента и прогибание. Максимальные значения бета-фактора картируются по трем моделириванным профилям в субширотном направлении, южнее Абшероно-Прибалханского порога. Концептуальная геодинамическая модель, совместимая с этими наблюдениями, показывает, что Южный Каспий был раскрыт как рифт континентальной окраины на границе Нео-Тетиса. Направление максимального значения коэффициента расширения отражает геометрию рифтового трога, ортогонально которому происходило раскрытие и расширение бассейна в синрифтовый период юры.

Ш Глава. Тектоническое строение ЮКБ и Куринского бассейна Азербайджана на основе температурных, гравимагнитных и сейсмических данных.

Современный Южный Каспий и соседние бассейны (Среднекуринский, включая Евлах-Агджабединскую депрессию, и Вехнекуринский бассейн) представляют собой совершенно уникальный бассейн земного шара, характеризующийся большой мощностью отложений, благоприятными тектоническими и литолого-фациальными условиями, которые обуславливают высокие перспективы нефтегазоносности. Обобщение многочисленных температурных замеров, собранных и интерпретированных во многих работах, показывают, что распределение температур на эквивалентных глубинах в общих чертах отражает основные черты тектоники Южно-Каспийской впадины (далее ЮКБ). Например, снижение температур отчетливо проявляется от бортов впадины к ее центру. Локальные максимумы в верхах ПТ наблюдаются на краях Куринской депрессии, на площади Аджиноур (80^{0} С), Амирарх ($65-70^{0}$ С на глубине 2400 м), в то время как минимумы обнаруживаются в центре бассейна (Дуванны-Дениз и Хара-Зыря и, конечно Шах-Дениз, где температуры не превышают 50^{0} С на глубине 2500 м). Подобное изменение, конечно, связано с геотермическими градиентами. Мы исследовали геотермальные градиенты, выделенные из большого количества температурных измерений на месторождениях Азербайджана, как на суше, так и на море. Температурные данные из более 150 скважин с глубиной от 100 до 6000 метров были использованы в работе для подтверждения структуры бассейна ЮКБ. Мы проследили значительное изменение температурных градиентов вдоль границы ЮКБ, что связано с изменением как мощности консолидированной коры ЮКБ, так и мощности осадков в бассейне.

Известно, что мощность консолидированной коры значительно уменьшается в акватории ЮКБ. Мощность коры составляет 5-7 км. Она имеет океаническую природу. Как показано в этой работе, граница между корой океанического и континентального типа проходит по суше, в районе Абшеронского полуострова. В центре ЮКБ мощность осадков на океанической коре составляет 25 км (рис.1). В Среднекуринском бассейне мощность осадков составляет 15 км, а мощность консолидированной коры доходит до 30 км. Эти данные получены как по опубликованным источникам, так по результатам региональной интерпретации всего ЮКБ, проведённой автором. Региональный профиль, проходящий от западных границ Азербайджана до центра ЮКБ, демонстрирует изменение мощности осадочного чехла с запада на восток, а также резкое утонение коры к востоку от Западно-Каспийского разлома (WCF на рис. 2).

В работе также указано, как эти данные можно сравнить по разным геофизическим полям. Начнем с теплового потока и температурных измерений. Существует большое количество публикаций по этой теме. На рис. 4 представлено изменение температур с глубиной в различных регионах Азербайджана и акватории ЮКБ. В районах поднятия или значительной эрозии, таких как Абшеронский полуостров, изначальные температурные значения и их изменения на поверхности являются проблемными, поэтому этими значениями можно пренебречь для создания общей региональной картины изменений.

Температурное поле меняется от скважин на акватории ЮКБ с глубиной более 6 км, температурами превышающими 100°С и

геотермическими градиентами не более 15°С/км (например, Булла-Дениз) до скважин на западе Среднекуринской впадины, с геотермическими градиентами, превышающими 40°С/км. (рис. 4). Наиболее высокие значения геотермических градиентов наблюдаются на западе Азербайджана, особенно на месторождениях, близких к Малому Кавказу (например, Далимамедли, Гурзундаг).

Плотность теплового потока в бассейне зависит от температурных градиентов, измеряемых в скважинах, и от термальной проводимости пород, измеряемой в скважинах, на обнажениях, на дне Каспийского моря и в грязевых вулканах.

Результаты исследований также показывают особенности распределения теплового потока в Южном Каспии и Азербайджане. В пределах глубоководных частей этого региона наблюдаются относительно невысокие значения теплового потока от 20 до 50-60 мВт/м², при этом повышенные значения теплового потока (от 50-100 до 480 мВт/м²) приурочены либо к западной и северо-западной периферии ЮКБ, либо к относительно узким линейным зонам с аномальными геологическими условиями. Для Евлах-Агджабединского района величины плотности теплового потока тоже малы и колеблются в пределах от 20 до 50 мВт/м² (рис. 5). Изменения теплового потока часто связаны с радиогенной теплотой, генерируемой в мантии и земной коре.



Рис. 4. Зависимость геотермального градиента от мощности коры и осадочного чехла. Графики в левой части рисунка демонстрируют зависимости геотермального градиента от глубины фундамента и мощности консолидированной коры

Геотермические градиенты в центре ЮКБ имеют очень низкие значения, составляющие всего 12-13 ^оС/км, что соответствует наибольшей мощности осадочного чехла (более 25 км) по данным региональных профилей ОГТ. Необходимо отметить определенную зависимость геотермического градиента от мощности осадков и от глубины фундамента. На рис.4 показаны эти графики и зависимости, а также глубины фундамента. В синем круге выделено самое минимальное значение геотермального градиента в акватории ЮКБ, а в красном круге – максимальное значение. Они соответствуют глубине фундамента в 20-35 километров (менее 10 км мощности осадочного чехла) и 2-5 км (более 40 км мощности осадочного чехла) соответственно.

Изменение теплового поля во времени является функцией теплового затухания при образовании бассейна и последующего погребения и осадконакопления. Ощутимое изменение происходило в течение первых 50 млн. лет в процессе образования бассейна, после чего до начала олигоцена не наблюдалось значительных изменений теплового поля, как и скорости осадконакопления. Увеличение скорости осадконакопления в майкопе привело к уменьшению температуры. Дальнейшее уменьшение скорости осадконакопления копления в плиоцене, естественно, сопровождалось резким снижением температуры. На глубине 1 км температура снизилась примерно на 20°С, а на границе фундамент-осадки – более чем на 50°С. Современный тепловой поток (ТП) составляет на поверхности 27 мВт/м², а на фундаменте (глубинный ТП) – около 60 мВт/м² (рис. 5). Хорошо прослеживается изменение ТП в зависимости от скорости осадконакопления.

Изучение глубинного строения ЮКБ и Куринского бассейна проводилось также с использованием гравимагнитного моделирования на нескольких региональных сейсмогеологических профилях (рис 5,6,7,8,9). Выявлено, что построить единую корреляционную зависимость, позволяющую вычислить глубины залегания кристаллического фундамента, не представляется возможным из-за наличия вулканических тел.



Рис 5. Карта аномалии Буге и карта магнитной аномалии из работ [7.8]



Рис. 6. Региональный сейсмогеологический профиль А, построенный по результатам гравимагнитного моделирования



Рис. 7. Региональный сейсмогеологический профиль В, построенный по результатам гравимагнитного моделирования



Рис. 8. Региональный сейсмогеологический профиль С, построенный по результатам гравимагнитного моделирования





Профиль А на рис. 6 проходит от среднего Каспия через Абшеронский порог и погружающуюся океаническую кору ЮКБ в сам бассейн ЮКБ. Значительная негативная аномалия Буге связана с погружением относительно низко плотной коры ЮКБ под Абшеронский порог. Магнитная аномалия на севере профиля связана с поднятием фундамента к северу от ЮКБ.

Профиль В (рис. 7), проходящий от Тумарханлы и Новоголовки через Сарханбейли, Бабазанан, Кюровдаг и заканчивающийся на Дашгиле, пересекает различные тектонические блоки. В западной части профиль пересекает регион Саатлинской гравитационной аномалии, а также магнитный максимум. При увеличении мощности осадочного чехла значения гравитационной аномалии Буге падают. На этом же профиле резко уменьшаются средние значения геотермического градиента между Сарханбейли и Бабазанан, что прослеживается и на карте геотермических градиентов (рис. 4). Здесь проходит основная тектоническая граница, выявленная по многим сейсмологическим данным – Западно-Каспийский разлом. Разлом отделяет утоненную кору ЮКБ, возможно, океанического типа от континентальной коры смешанного типа (вулканической дуги).

Профиль С (рис. 8) проходит в пределах Евлах-Агджабединской депрессии от Советляр через Мурадханлы и потом выходит от него на Куринскую низменность и верхний Гобустан. На этом профиле Евлах-Агджабединская депрессия и Саатлинское погребенное поднятие представлены в виде небольшой положительной аномалии Буге (30-10мГал), которая сменяется значительной негативной аномалией, связанной с погружением Куринской депрессии под Большой Кавказ. Моделирование профиля демонстрирует утоненную континентальную и островодужную кору мощностью 15 км, подвигающуюся под герцинский фундамент Большого Кавказа. При этом мощность коры увеличивается до 40 км. В работе¹ указывается, что мощность консолидированной коры в Евлах-Агджабединской депрессии составляет не менее 25 км. Однако такой мощностью трудно объяснить геотермические градиенты и провести гравимагнитное моделирование, соответствующее такой мощности. Нам представляется, что кора утонена, скорее всего, в результате изначального рифтинга, что подтверждают данные ГСЗ. Магнитная аномалия на Мурадханлинском поднятии связана с вулканическими интрузиями островодужного порядка и определенным поднятием фундамента на краях предполагаемого рифтового бассейна. По данным гравимагниторазведки модели вулканогенной постройки СЗ бортовой части Евлах-Агджабединского прогиба

¹ Глумов, И. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря / И.Глумов, Я.Маловицкий, А.Новиков [и др.], - Москва: Недра, - 2004, - 343.

описаны в работе². Они вместе с эффузивными породами влияют на магнитную аномалию и её величину.

Сейсмогеологический профиль D проходит в верхней части бассейна через регион междуречья Куры и Габырры в грузинскую часть Верхнекуринского бассейна (рис. 9). В этой части профиля мощность консолидированной коры (по данным гравиметрическо-го моделирования) достигает 35 км под мощной толщей вулкано-генных осадков и коры Восточного Кавказа. Под самим осадочным чехлом в междуречье мощность консолидированной коры изменяется до 25 км. Геотермические градиенты в этом районе высоки - от 34° С/км до 30° С/км, что в принципе является нормальным проявлением радиогенной теплоты в коре мощностью не более 30-40 километров и небольшим осадочным слоем. Опубликованные данные показывают, что мощность консолидированной коры не превышает 40 километров, что согласуется с нашей моделью. Региональный сейсмогеологический профиль, соединяющий сушу и море Азербайджана, показан на рис. 10.



Рис. 10. Региональный сейсмогеологический профиль D на картах осадочного чехла

² Гадиров, В.Г. Гравимагнитные исследования распределения погребенных вулканогенных пород в Среднекуринской депрессии в связи с их нефтегазоносностью // Геолог Азербайджана. - 2002. № 7, - с. 130-141.

IV Глава. Синтез геодинамической эволюции и осадконакопления в ЮКБ.

Южный Каспий имеет сложное тектоническое строение и является центром сложных глубинных геодинамических процессов. За миллионы лет эти процессы изменили его от окраинного глубоководного задугового бассейна на северной границе Тетиса до закрытого межгорного бассейна с озерными и речными осадками.

Работа проводится путем изучения истории накопления осадков в бассейне. На базе моделирования температур, сейсмогеологических профилей, геотермических градиентов, гравимагнитных моделей и ряда других исследований автор приводит модель эволюции и образования ЮКБ и смежных геологических бассейнов, беря за основу и модифицируя предыдущие работы. Палегеографическая карта расположения бассейнов в период верхнего мела соответствует расположению магматических поднятий и магнитных аномалий. Необходимо отметить несколько основных параметров модели:

1) ЮКБ был образован на границе Нео-Тетиса как задуговый бассейн континентальной окраины Евразии вместе с Большим Кавказским бассейном (сейчас находящимся на месте Кавказских гор) в юрский период (БКБ и ЮКБ), отделяясь от него сочленением островодужных поднятий.

2) Западно-Каспийский разлом (WCF) является тектонической границей плиты ЮКБ на протяжении всей его эволюции. Возможно, разлом обозначал границу ЮКБ с юрским островодужным вулканическим материалом, который был выявлен на Саатлинском поднятии. Согласно данным GPS по разлому происходит современное движение векторов. По данным ГСЗ на этой границе наблюдается резкое утолщение консолидированной коры и уменьшение мощности осадочного чехла, на что указывают температурные данные.

3) Началом Евлах-Агджабединской депрессии является верхнемеловое междуговое растяжение (рифтинг), по времени совпадающее с образованием находящихся рядом задуговых бассейнов, таких как Восточно-Черноморский бассейн и бассейн Риони в Грузии. Евлах-Агджабединская депрессия является типичным примером междугового (fore-arc) бассейна. Об этом свидетельствуют мощные вулканогенные слои верхнемелового возраста на Мурадханлы и смежных месторождениях, вскрытых при бурении.

4) Поднятие Большого Кавказа в результате деятельности альпийской складчатости скрыло под собой значительную часть перехода от ЮКБ к БКБ и сочлененной дуги, изменив режим погребения на флексурный и наложив отпечаток на расположение седиментационных бассейнов.

Развитие осадочного чехла ЮКБ (в соответствии с имеющимися у нас представлениями об осадконакоплении в ЮКБ и других бассейнах и с учетом многих предыдущих исследований) можно условно разбить на несколько тектоностратиграфических стадий, с присущими им характеристиками, включая перспективы нефтегазоносности. Описание развития земной коры на этапах от раскрытия рифтогенного трога до современного межгорного бассейна может быть собрано в единую модель эволюции бассейна.

Автор сделал попытку создать модель эволюции бассейна, связав при этом образование бассейна и неравномерности развития фундамента с изменениями в скоростях осадконакопления и оседания бассейна, а также с привносом осадков. Надо отметить, что привнос осадков напрямую связан с горообразованием и долгосрочными изменениями климата.

Автор определил 5 тектоностратиграфических стадий эволюции ЮКБ согласно анализу всех факторов, влияющих на осадконакопление осадочного чехла (рис. 11):

1) образование бассейна в период средней юры параллельно с другими бассейнами окраины Нео-Тетиса, скорее всего с Большекавказским бассейном;

2) дивергентная стадия термального погружения, начавшаяся с юрского периода и продолжившаяся в меловом периоде, о которой свидетельствует вулканизм, обнаруженный на окраине бассейна в сверхглубокой Саатлинской скважине;



Рис. 11. Тектоностратиграфические стадии развития бассейна ЮКБ

3) пассивная стадия термального затухания боковой окраины, продолжавшаяся значительный период до образования горных кряжей Северного Кавказа в результате начинающейся коллизии;

4) конвергентная стадия субдукции и роста осадконакопления;

5) стадия терригенной лавинной седиментации ПТ;

6) стадия лавинной седиментации плейстоцена.

На первой стадии происходило погружение Нео-Тетиса под Североанатолийский блок и образование задугового бассейна в ЮКБ и, возможно, на Большом Кавказе, который также являлся глубоководным морским бассейном Евразийской окраины, окаймляемой океаном Тетис (Рис. 12).

Северный Кавказ является интерконтинентальной тектонической системой, которая образовалась в результате неогеновой инверсии палеозойско-мезозойского задугового бассейна в результате конвергенции Афро-Аравийской и Евразийской литосферных плит. Бассейн Северного Кавказа простирался от Черного моря до южной части Среднего Каспия. К востоку от Среднего Каспия также существовал бассейн, заполненный юрскими морскими осадками (прото-Копетдаг). Этот Больше-кавказский бассейн (далее БКБ) ограничивался к югу Транскавказским массивом (ТКМ), интерпретированным как окраина палео-островной дуги (island arc margin). Южной кромкой этой окраины являлся вулканический пояс, включавший в себя вулканическое Кюрдамир-Саатлинское поднятие. Поднятие Шацского в Черном море является подводным продолжением западной части ТКМ. Восточное продолжение ТКМ плавно перетекает в Куринский бассейн, сейчас большей частью покрытый флишевыми осадками и погруженный под надвиги Кавказских гор. Некоторая часть этого продолжения доходит до Талышских гор. Мощная толща осадков, более 10 километров терригенных и вулканических осадков среднего эоцена обнажаются в Талышских горах Азербайджана. Здесь вулканические базальты переходят к востоку в турбидитные потоки, направленные на юго-восток, в южную часть ЮКБ. Собственно, тот же эоценовый возраст можно дать и Евлах-

26

Агджабединской депрессии (ЕАД), находящейся между Талышскими горами и Саатлинским поднятием. Альтернативно ЕАД могла бы даже образоваться и ранее, например, в юрский период. Бассейн ЕАД по своей природе являлся, возможно, задуговым бассейном боковой окраины (back-arc island margin) или преддуговым бассейном (forearc basin).

Палео-океанический аллохтон офиолитового пояса являлся единым обдуцированным элементом, который развивался в мезозойское время. Океаническая кора несогласно перекрывается вулканогенно-осадочной свитой океанических дуговых лавовых потоков, перемежающихся с глубоководными осадками глубинных впадин. Изотопные и геохимические данные подтверждают алкалиновую и соответственно дугово-вулканическую природу лав. Несколько обдукций океанической коры на палео-окраины мезозойского Тетиса зафиксированы в: 1) апт-сеноманском офиолитовом комплексе Ипекских наппов; 2) апт-сеноманских офиолитах; и 3) коньяксантонских офиолитовых олисостромах Севанских гор.

В начале мезозоя океанический бассейн, разделяющий Арабскую плиту от Анатолийско-Иранской платформы, начал постепенно сужаться. Согласно реконструкциям многих исследователей в это время только Иранский массив был отделен от Гондваны, далее он мигрировал на Север и в конце Триаса столкнулся с Евразийским континентом (киммерейский эпизод). Таврический Анатолийский массив отделился от Гондваны позже, где-то в конце юрского периода. Формирование Нео-Тетиса произошло примерно в это время в среднем или позднем мезо-зое. Северное вытеснение Таврическо-Анатолийского массива вызвало его постепенный переход к Понтийско-Транскавказско-Иранской активной континентальной окраине, при этом сужая Тетис и превращая его в бассейн задуговой окраины и формируя шовный пояс между Таврическо-Анатолийским и Иранским массивами. К северу от шовного пояса формируется серия бас-сейнов: Паннонский, Восточно-Черноморский, Западно-Черноморский, Большекавказский, Куринский, ЮКБ и Копетдагский. Все это время продолжался вулканизм в дуговых районах, особенно он усилился в эоцене.

Все тектонические зоны Кавказа находятся к северу от офиолитовой шовной зоны. В период эоцена произошла остановка рифтообразования на всех задуговых бассейнах, таких как ЮКБ, БКБ, и Куринские бассейны, включая Евлах-Агджабединскую депрессию. Необходимо также отметить постепенную изоляцию водоемов задуговых бассейнов, которая привела сначала к образованию Паратетиса (рис. 12) – практически изолированной акватории, занимающей территорию от Австрии до Каспийского региона, а в плиоцене – и к полнейшей изоляции и осушению Каспийского моря с образованием Кавказских гор и заполнением ЮКБ осадками ПТ.



Рис. 12. Региональная палеогеография в аптский (115 млн. лет назад), майкопский периоды (29 млн. лет назад) и плиоцене (3 млн. лет назад)

V Глава. Новые данные о возрасте и источниках сноса осадков продуктивной толщи плиоцена, необходимые для построения модели эволюции ЮКБ.

Описание основных ключевых моментов эволюции и осадконакопления в ЮКБ невозможно без новых методов определения абсолютного возраста бассейна. Прогресс в деле абсолютной датировки пород различными радиометрическими методами позволил использовать эти методы для более точного моделирования возраста бассейна. Удалось также показать, как точное измерение абсолютного возраста бассейна влияет на осадконакопление.

В работе дается более точное описание абсолютного возраста пород продуктивной толщи ЮКБ. Для определения продолжительности разных геохронологических единиц существует множество способов, самыми основными из которых являются так называемые радиогеохронологические методы (они так же называются «радиологическими»). Эти методы позволяют установить абсолютный возраст пород с некоторыми погрешностями. Для установления абсолютного возраста горных пород используются различные радиоактивные элементы с длительными периодами полураспада, исчисляемыми миллионами или даже миллиардами лет.

Чаще всего используется уран-свинцовый метод (Pb/U). В основе этого метода лежит процесс радиоактивного распада изотопов урана 235U, 238U, 232Th на изотопы свинца. Уран-свинцовый метод наиболее надежен и употребляется для определения возраста древних пород в миллионы лет. Чаще всего для датировок уран-свинцовым методом используют кристаллы циркона (ZrSiO₄), который характеризуется большой прочностью, стойкостью к химическим воздействиям и высокой температурой закрытия – более 950-1000°С.

Вторым методом, использованным в работе, был гелиевый метод (He-Sm/Th), основанный на накоплении гелия при распаде урана и тория в апатитовых минералах.

Третьим методом, использованным в работе для датировки майкопских и миоценовых материнских пород, является недавно введенный в практику рениево-осмиевый метод (Re/Os), наибо-

лее пригодный для датировки глин с высоким содержанием органического материала.

Четвертым методом, результаты которого использованы во временной модели, разработанной автором, является аргон-аргоновый метод, который начали использовать в середине 1960-х годов. Практические достижения сейчас связаны именно с аргонаргоновым методом, который успешно позволяет датировать вулканические пеплы и широко используется в мировой практике. Методами подсчета возраста ЮКБ на обнажениях Гырма-

кинской долины являлись: уран-свинцовый метод (U/Pb) датирования на цирконовых детритовых зернах и гелиевый (Не-Sm/Th) – на апатитовых зернах. Зерна апатита и циркона были найдены в результате отбора геологического материала в обнажениях плиоцена продуктивной толщи в Гырмакинской и Ясамальской долинах. Как известно, большинство обломочного материала в этих обнажениях было привнесено в плиоцене Палео-Волгой, либо с Большого Кавказа. Более 1300 зерен апатита и циркона было найдено из более 100 отобранных образцов и проанализировано автором с коллективом соавторов. Из этих 1300 зерен для большей части установлен возраст кристаллизации, относящийся к их зарождению в протерозойский период на Восточно-европейской платформе, и подтвержден источник сноса (provenance) осадочных пород из Восточно-Европейской платформы до ЮКБ. Остальная часть пород согласно этим возрастам кристаллизации имеет источник сноса с Кавказского хребта. В работе установлено, что относительный вклад осадков с Восточно-Европейской платформы не превышал 60% при максимальных значениях и 30% при минимальных значениях.

Кроме того, было обнаружено около 100 зерен циркона, в которых возраст кристаллизации не превышал 5 миллионов лет. Такой же молодой возраст имели и некоторые зерна апатита. Иметь такой поздний возраст кристаллизации регион сноса осадков в докембрийской Восточно-Европейской платформе явно не мог. Поздний возраст кристаллизации этих зерен, скорее всего, связан с выбросами вулканов Малого Кавказа и Талышских гор, которые были активны в это время. Новые данные о возрасте плиоценовых толщ ПТ позволили нам создать более точную временную шкалу с некоторыми вариациями или сценариями (рис. 13). Все сценарии показывают, что скорости осадконакопления в этот период были значительно большими, чем было предсказано раннее. Скорость процесса отложения плиоцена ПТ занимала время от 1.3 км за млн. лет на бортах ЮКБ до 3.9 км за млн. лет в центре бассейна ЮКБ.



Рис. 13 Различные сценарии возрастного диапазона ЮКБ, исследованные в данной работе методами подсчета абсолютного возраста (черный цвет – Ar/Ar-ым, синий цвет – He-Sm/Th-ым, красный цвет – U/Pb-ым, желтый цвет – Re/OS-ым методами)

На рис. 13 показаны четыре возможных временных диапазона отложения ПТ плиоцена в ЮКБ и дается их сравнение с временным диапазоном из предыдущих исследований автора, который использовался вплоть до наших последних термохронологических измерений. Четыре временные шкалы на рис. 13 приводятся вместе с радиометрическими датами, обозначенными звездочками различного цвета.

Палеомагнитостратиграфия обнажений ПТ в Гырмакинской и Ясамальской долинах была также исследована. С ее помощью было определено время конца процесса отложения плиоцена ПТ. С помощью аргон-аргонового 40Ar/39Ar анализа пеплов в верхах ЮКБ была получена дата в 2.71 ± 0.02 Ма, которая совпадает с результатами изучения изотопной стадии (MIS) G6.

Четыре сценария временного диапазона плиоцена ПТ приведены ниже.

1.В сценарии 1 используется результат уран-свинцового U/Pb анализа цирконовых зерен, который уточняет возраст подгырмакинской свиты ПК не старше 4.0 млн. лет назад.

2.В сценарии 2 также используется результат уран-свинцового U/Pb анализа цирконовых зерен для подгырмакинской свиты ПК – до 4.0 млн. лет назад, при этом добавляется результат итог уран-гелиевого анализа сураханской свиты в Ясамальской долине, который датирует возраст сураханской свиты в 2.9 млн. лет назад.

3. Сценарий 3 также использует результат уран-свинцового U/Pb анализа цирконовых зерен для подгырмакинской свиты ПК – до 4.0 млн. лет назад, но добавляет итог уран-гелиевого анализа сураханской свиты в Ясамальской долине и дает ей возраст в 3.3 млн. лет назад (разница между сценариями 2 и 3 связана с несостыковками в подсчете усредненного возраста).

4. Сценарий 4 включает в себя мировую магнитостратиграфическую шкалу и сравнивает результаты палеомагнитостратиграфических съемок на обнажениях с результатом уран-свинцового U/Pb анализа цирконовых зерен для подгырмакинской свиты ПК. Комплексный анализ показывает, что подгырмакинская свита ПК моложе, чем 4.0 млн. и начинается с хрона 2An.3n (3.596 млн. лет назад).

Рисунок 13 показывает различные сценарии возрастного диапазона вместе с магнитостратиграфической шкалой. Большая часть этих сценариев значительно увеличивает скорость осадконакопления в ПТ по сравнению с предыдущими исследованиями автора.

Таблица 1 показывает временную модель, распределение измеренных возрастов и распределение временных интервалов в ЮКБ с указанием методов определения абсолютного возраста. Магнитная шкала и цикличность используется для распределения возрастов, не обладающих абсолютными значениями.

Таблица 1

Распределение измеренных возрастов и стратиграфических интервалов в ЮКБ с указанием радиометрических методов определения абсолютного возраста

			Средняя			Скорсть		Методы
		Возраст,	глубина в		Временной	осадконакопле	Место привязки	определения
	Сейсмические поверхности	миллион	центре ЮКБ		интервал	ния км за млн	к возрасту	абсолютного
Ψ	интерпретированные в работе 🔻	лет 👻	(без водного - Мощност		миллион ле 👻 лет 👻			возраста 🔻
Голоцен	Новокаспийская	0.00	0	250	0.15	1.67	Абшерон	Ar/Ar
	Мангышлаксая свита	0.15	250	250	0.15	1.67	Абшерон	Ar/Ar
Плейстоцен	Хвалынская свита	0.30	500	250	0.15	1.67	Абшерон	Ar/Ar
	Хазарская свита	0.45	750	250	0.15	1.67		
	Бакинская свита	0.60	1000	250	0.15	1.67		
	Тюрканская свита	0.75	1250	250	0.15	1.67		
	Абшеронская свита (Верхняя)	0.90	1500	250	0.15	1.67		
	Абшеронская свита (Верхняя)	1.05	1750	250	0.15	1.67		
	Абшеронская свита (Средняя)	1.20	2000	250	0.15	1.67		
	Абшеронская свита (Средняя)	1.35	2250	250	0.15	1.67		
	Абшеронская свита (Средняя)	1.50	2500	250	0.15	1.67		
	Абшеронская свита (Нижняя)	1.65	2750	250	0.15	1.67		
	Акчагыльская свита (Нижняя)	1.80	3000	100	0.91	0.11	скважины	Ar/Ar
Плиоцен	Кровля Продуктивной толщи	2.71	3250	550	0.08	7.24	скважины	Ar/Ar
	Верха ангидритного горизонта	2.79	3800	1200	0.07	16.22		
	Средне сураханская свита	2.86	5000	500	0.07	6.76		
	Нижне сураханская свита	2.93	5500	500	0.07	6.76		
	Сабунчинская свита	3.01	6000	250	0.07	3.38		
	Балаханская свита	3.08	6250	200	0.07	2.70		
	Балаханы VIII	3.16	6450	100	0.07	1.35		
	Балаханы Х	3.23	6550	200	0.07	2.70		
	Свита Перерыва	3.30	6750	200	0.07	2.70		
	нкг	3.38	6950	100	0.07	1.35		
	нкп	3.45	7050	300	0.07	4.05		
	KC	3.53	7350	150	0.07	2.03		
	пк	3.60	7500	250	0.80	0.31	Гырмакинская д	U/Pb
	Галинская свита	4.40	7750	300	0.98	0.31	Керн	U/Pb
Миоцен	Низы ПТ	5.38	8050	200	0.74	0.27	Локбатан	Ar/Ar
	Миоцен - Понтийский	6.12	8250	750	1.28	0.59	Локбатан	Ar/Ar
	Диатомовая свита (paper shale)	7.40	9000	500	9.80	0.05	Исламдаг	Re/Os
	Верхний Майкоп (Вебер С)	17.20	9500	250	12.90	0.02	Исламдаг	Re/Os
Олигоцен	(Соленовиан-Хадум)	30.10	9750	250	3.80	0.07	Исламдаг	Re/Os
Эоцен	(Средний Коун) - Перикешк	33.90	10000	1000	31.10	0.03	Перикешкюль	Re/Os
Палеоцен	Илхидагская Сумгаитская	56.00	11000	4000	89.00	0.04	Перикешкюль	
Мел	Меловой период	65	15000	3000	80.00	0.04		
Юра	Фундамент - Верхняя Юра	145	18000					

Современная задача геохронологии – калибровать абсолютные датировки в стратиграфической шкале времени с точностью 1%. Исследования автора близки к подобному результату, хотя в некоторых методах погрешности еще высоки. Со временем геохронологические методы все более замещают и вытесняют биостратиграфические методы определения возраста. Необходимо более полно исследовать все интервалы осадочного слоя ЮКБ на суше и в акватории бассейна, уделяя особое внимание продуктивной толще плиоцена, олиго-миоценовым и эоценовым породам.

VI Глава. Особенности свойств глин и песчаников осадочного чехла ЮКБ.

При моделировании погружения и подсчете объема осадков важным параметром является изменение пористости с глубиной. Для любого бассейнового анализа знание литологических характеристик уплотнения осадков является одним из самых ключевых параметров моделирования.

При моделировании надо учесть постоянный эффект уплотнения осадков с глубиной в связи уменьшением пористости. Литология ПТ ЮКБ в основном бинарная – разрез состоит из глин и песчаников. Рисунок 14 показывает распределение пористости с глубиной по скважинам в ЮКБ вместе с кривыми уплотнения. Эти кривые уплотнения, модифицированные из работ Л.Буряковского, показывают довольно хорошую корреляцию со значениями пористости из каротажных и керновых данных по ключевым скважинам акватории ЮКБ. Несмотря на значительные изменения по глинистости и типам песчаников в бассейне, четыре кривые довольно точно отражают процесс изменения пористости с глубиной. Кривые изменения пористости с глубиной использованы автором как для восстановления разреза, так и для подсчета мощностей пород. Отношения пористости ф к глубине погружения (*D*, в метрах), геологическому возрасту отложений (А в млн. лет) и литологии (отношение мощностей глин к общему отношению терригенных отложений R) было модифицировано из работ³

 $\Phi = \phi_0 * exp [-0.014(13.3 \log A - 83.25 \log R + 2.79) * 10^{-3}D$ где ϕ_0 – начальная пористость глинистых осадков (обычно около 60%). Среднестатическое значение R=0.6 наиболее хорошо увязы-

³ Buryakovksiy L. Petroleum Geology of the South Caspian Basin / Buryakovskiy L, Chilingar J, Aminzade F // 2001 Gulf Professional Publishing Copyright, Butterworth–Heinemann, -464 pgs 2001 ISBN 0-88415-342-8

вается с большинством плиоценовых кривых пористости (А=4 млн. лет), полученных из каротажных данных (рис. 14). Породы, слагающие бассейн, в основном представлены глинами и аргиллитами, где пелитовая фракция пород с размерам зерен менее 0.01 мм составляет почти 70% массы осадков, а песчанистые осадки составляют не более 1.5%. Несмотря на значительные аномальные давления в глинах, пористость все же уменьшается с глубиной, изменяясь от 20%-30% на глубине 2 км до 3-15% на глубине 12-15 км, нивелируя эффект АВПД. Эти кривые были использованы в модели для подсчета массы осадков без учета пористости по всему бассейну ЮКБ, с поправкой на разные регионы и литологии.



Рис. 14. График изменения пористости и уплотнения осадков с глубиной по бассейну. Каротажные данные покрываются кривыми уплотнения. Самая хорошая корреляция приходится на R=0.5.

VII Глава. Подсчет объема осадков и скоростей осадконакопления ЮКБ по речным системам, входящим в бассейн.

Подсчет объема осадков в бассейнах является важной частью бассейнового анализа. Количественная оценка основных параметров осадочного чехла и закономерностей в его эволюции очень важна для понимания всех аспектов развития бассейнов, включая их углеводородные системы.

В работе выполнены подсчет объема осадков в бассейне с момента его образования, а также подсчет денудации речных систем по географическому региону, окружающему ЮКБ. Объем накопившихся осадков в ЮКБ был подсчитан для 30 сейсмических интервалов по отдельности, а затем пересчитан для 8 сгруппированных временных интервалов с учетом разуплотнения и разных временных моделей, приведенных во второй главе. Объемы осадков и скорости осадконакопления в ЮКБ представлены по 8 временным интервалам (рис. 15):

- 145-36 млн. лет мезозой и палеоген, 0.04 км/млн. лет
- 36-6 млн. лет олигоцен и миоцен, 0.15 км/млн. лет
- 6-3.6 млн. лет нижняя часть ПТ, 2.3-5 км/млн. лет
- 3.6-3.0 млн. лет средняя часть ПТ, 4.8 км/млн. лет
- 3.0-2.7 млн. лет верхняя часть ПТ, 2.3 км/млн. лет
- 2.7-1.8 млн. лет акчагыльская свита, 0.03 км/млн. лет
- 1.8-0.9 млн. лет абшеронская свита, 0.7 км/млн. лет
- 0.9-0 млн. лет квартер, 0.34 км/млн. лет



Рис. 15. Скорости осадконакопления в ЮКБ, измеренные в модели по возрастному сценарию 1

Автор также разбил толщу осадочного чехла ЮКБ на регионы сноса по палеогеографическим картам основных стратиграфических единиц. Выполнена оценка объема осадков по каждой из основных речных систем, снабжавших ЮКБ осадками. Распределение изменений эффективного объема пород в ЮКБ по времени в процентах от общего значения указывает на постепенное уменьшение влияния Палео-Волги и увеличение влияния Палео-Аму-Дарьи на общее осадконакопление в ЮКБ (рис. 16). Отмечено, что приток осадков с Аму-Дарьи был всегда довольно значителен и полностью доминировал в объеме осадков плейстоцена.



Option 4 – max to 9000m/Ma

Рис. 16. Мгновенные скорости осадконакопления в ЮКБ, измеренные в модели по возрастному сценарию 4 (см. рис. 14)

Скорость эффективного осадконакопления, полученная в результате вычисления, является усредненной и обобщенной, поскольку автором используется усредненная по интервалам эффективная мощность пород. Продуктивная толща ПТ при анализе делиться на 3 интервала, для которых скорости усреднены: нижний интервал, верхний и средний. Для более коротких временных интервалов, полученных на основе сейсмического картирования между скважинами, скорость эффективного осадконакопления возрастает в разы. Скорость лавинной седиментации в ЮКБ могла достигать более 9000 м/млн. лет в определенный период времени в сураханской свите ПТ, привнесенной осадками Палео-Аму-Дарьи. Эти скорости седиментации являются одними из самых высоких в мире для бассейнов подобного типа (рис.16).

В работе также отмечается, что подобное увеличение скорости осадконакопления ПТ связано с глобальным изменением климата за последние 2-4 млн. лет и повсеместным увеличением скоростей осадконакопления по всему миру и в бассейнах Евразии, в частности. Кроме того, показано, что очень большая территория северной части Евразии, включая Среднюю Азию и даже Западную Сибирь, была эродирована в ЮКБ в плиоценовый период в связи с падением уровня Каспия и интеграцией.

VIII Глава. Сравнительный анализ бассейнов мира.

Сравнительный анализ бассейнов представляет собой череду сопоставлений в поиске сходств и различий, с учетом динамики и природы бассейнов. Сравнение бассейнов мира по различным параметрам позволяет вывести закономерности их развития, понять их структуру и категорировать их углеводородный потенциал.

В работе сравниваются бассейны мира, в том числе и ЮКБ, и дается описание эволюции осадочной оболочки Земли. Суммарный вклад осадочного материала в строение коры не превышает 8% от её общей массы, но осадочный чехол чрезвычайно разнообразен. Осадочная оболочка или «стратисфера» – это одна из важнейших составляющих Земли, с которой тесно связаны и океаны, и атмосфера, и биосфера, которая напрямую питает и питается из осадочной оболочки. Осадки (треть из которых являются карбонатными) занимают более 64% площади Земли. В деле изучения объема осадочной оболочки Земли много было сделано такими учеными, как А.Ронов, В.Хаин, Ф.Кюнен и другими. Данные этих авторов вместе с новейшими данными об объеме осадков в мире по различным бассейнам были использо-

ваны для обновленной количественной оценки объемов осадочной оболочки. Основным источником для построения карт мощностей осадков, карт мощности консолидированной коры и литосферы является pecypc⁴. Он содержит карту мощностей осадков, приведенную на рис. 17. А также онлайн pecypc Earthbyte (https://www.earthbyte.org/), на котором размещены данные о мощности отдельных бассейнов мира.

Общий объем пород осадочной оболочки по данным наших измерений составляет почти 10000 млн. км³, что соответствует около 11% объема планеты, а средние мощности стратосферы составляют 2.2 км, что совпадает с исследованиями А. Ронова и других.

ЮКБ из более 1000 бассейнов мира выделяется самой большой максимальной (26 км) и средней (13 км) мощностью осадочного чехла. Близкими к ЮКБ и такими же аномальными по мощностям являются: Прикаспийский бассейн, Восточное Средиземноморье, включая дельту Нила, и бассейны Черного моря. К бассейнам, содержащим самые большие объемы осадков, относятся: Бенгальский конус выноса, Мексиканский Залив, бассейны Арктики и Прикаспийский бассейн. ЮКБ находится на 60 месте по объёму осадков. Аномальность трех бассейнов Евразии, содержащих такие мощные осадки, объясняется как их утоненной корой и большой мощностью литосферы, так и близостью к источникам сноса осадков. Для бассейнов пассивных окраин в работе выводится зависимость между мощностями осадков и литосферы. Показано, что около 20% бассейнов мира содержат в себе примерно 80% всего объема осадков на планете. Кривые зависимости мощностей и объемов бассейнов мира указывают на исключительное значение ЮКБ по отношению к другим осадочным бассейнам мира и определенную зависимость мощностей осадков бассейнов от объема осадков и от мощностей литосферы.

⁴ Laske G.A. A global digital map of sediment thickness. University of California Sand Diego. Institute of Geophysics and Planetary Physics, USA, https://igppweb.ucsed.edu/~gabi/sediment.html



Рис. 17. Карта мощностей осадочной оболочки Земли, иллюстрирующая основные осадочные бассейны мира (источник - Earthbyte: earthbyte.org/Resources)



Рис. 18. Зависимости площадей и мощностей от объемов осадочных бассейнов осадочной оболочки Земли.

Зависимости наглядно отображают особое положение бассейна ЮКБ, как бассейна с самым мощным осадочным чехлом в мире (Earthbyte). Автором были изучены параметры мощностей более 1000 седиментационных бассейнов мира. Выявлена зависимость между осадочной мощностью бассейна, площадью и объемами осадков в этих бассейнах (рис. 18). Осадки, отложенные на океанической коре, были исключены из измерений, поскольку они не считаются находящимися в седиментационных бассейнах. Большинство седиментационных бассейнов располагаются на пассивных окраинах, активных и рифтовых окраинах, в кретоновых депрессиях или аулакогенах. Большинство осадков находятся в Евразии (почти 50%), за которым следует Северная Америка, Африка, Южная Америка, Австралия (рис. 17). Большая часть осадков, обнаруженных в фанерозое, в основном были глинами и одинаково распределялись в палеозое, мезозое и в мелу. Пассивные окраины и их бассейны содержат более 40% осадков. Четкая зависимость между объемами и площадью бассейнов хорошо описывается двумя логарифмическими функциями, приведенными внизу и на рис. 18:

- (1) Площадь (Х) и Объем (Х): Log₁₀(у)= 4.11+(0.65*Log₁₀ (х)) R2=0.75
- (2) Средняя мощность (Y) и Объем (X): Y=0.28+((43.54-0.28)/1.00-10^{0.32*(18.55-Log10(x))})

Четкая зависимость особенно проявляется в бассейнах пассивных окраин (passive margins), которые содержат более 40% объемов пород в мире, потому что в этих бассейнах наблюдается прямая линейная зависимость между мощностью осадочных пород в бассейне и их географической распространенностью. Эти бассейны имеют относительно плавную переходную зону между краями бассейна и центром осадконакопления и в основном не разграничены сильными разломами, при пересечении которых резко меняется мощность осадочного слоя.

IX Глава. Анализ нефтегазоносности бассейнов мира на основе статистических параметров.

В работе обсуждаются перспективы нефтегазоносности ЮКБ и предлагается новая методика оценки, классификации и районирования бассейна. Предлагается категоризация нефтегазоносности районов и временных интервалов ЮКБ, основанная на комплексном анализе осадконакопления, объема речных систем и глубины залегания коллекторов. В работе также дается выбор регионов, наиболее благоприятных для нефтегазонакопления, в пределах которых должны быть сконцентрированы поисково-разведочные работы в будущем. Приводится сравнение бассейнов мира и ЮКБ в связи с их нефтегазоносностью. Делается анализ процесса нефтегазообразования в ЮКБ на основе карт термального стресса по поверхности олиго-миоценовых нефтегазоматеринских пород (рис. 19).



Рис. 19. Зависимость извлекаемых запасов от объема осадков

Таблица 2

Объем запасов нефти и газа в 500 основных седиментационных бассейнах мира по данным USGS

Количество бассейнов	Запасы млрд баррель	% бассейнов	% запасов от общего
10	1744	2%	56%
20	2213	4%	71%
25	2360	5%	75%
30	2462	6%	79%
35	2541	7%	81%
50	2716	10%	87%
100	2960	20%	95%
200	3095	40%	99%
500	3131	100%	100%

В работе выведены и приведены зависимости между объемом осадков в бассейнах и извлекаемыми запасами бассейна. Извлекаемые запасы бассейнов мира получены из данных USGS⁵ по бассейнам мира (рис 20). Эти данные показывают, что логарифмическая зависимость между объемом осадков и нефтегазовыми извлекаемыми запасами бассейнов мира любых типов может быть довольно легко выведена. Это позволит применить подобную зависимость к другим, еще неизведанным бассейнам мира, если они располагают нефтегазовыми системами.

Также отмечается, что запасы в бассейнах мира измеряются согласно степенному закону Парето (power-law) или правилу 80/20 (рис. 20). Так на 5% (25 бассейнов) всех углеводородсодержащих бассейнов мира приходится 75% запасов углеводородов, а на остальные 475 бассейнов – 25% этих запасов. ЮКБ входит в состав 5% ведущих бассейнов и занимает 15 место.



Рис. 20. Распределение Парето по 500 основным нефтегазоносным бассейнам мира по данным USGS

⁵ Klett, T.R., Ahlbrandt, T.S., Schmoker, J.W. and Dolton, G.L., Ranking of the world's oil and gas provinces by known petroleum volumes. U.S. Geological Survey Open File Report, - 1997. - p. 97-463.

Х ГЛАВА. Перспективы нефтегазоносности ЮКБ и перспективные направления поисково-разведочных работ в Азербайджане.

Южно-Каспийский бассейн (ЮКБ) является нефтяной провинцией мирового значения, начиная с XIX века. Разведочные работы на море привели к открытию таких гигантских месторождений газоконденсата, как Шах-Дениз и Абшерон, что подтверждает наличие гигантской нефтегазовой системы.

ЮКБ и соседние с ним бассейны (Среднекуринский, Евлах-Агджабединская депрессия, Верхнекуринский) представляют собой совершенно уникальный бассейн на Земном шаре, характеризующийся большой мощностью отложений, благоприятными тектоническими и литолого-фациальными условиями, которые обуславливают высокие перспективы нефтегазоносности. Нефтегазоносные системы Южного Каспия необычны благодаря быстрому осадконакоплению, поскольку быстрое и неравномерное заполнение определяет динамичность системы ЮКБ и генерацию углеводородов.

Нефтегазоматеринские породы ЮКБ находятся за пределами возможности бурения из-за значительной глубины их залегания. Нефтегазоматеринские породы майкопской и диатомовой свит обнажаются на краю бассейна или содержатся в выбросах грязевых вулканов, откуда и берется информация для моделирования бассейна. В акватории ЮКБ геохимические данные флюидов в залежах дают наиболее ценную информацию о свойствах материнских пород под месторождениями, удаленных от аналогов на десятки километров. Это особенно важно в свете недавних исследований, которые выявили значительную степень географической изменчивости и качества этих материнских пород.⁶ В работе автором обсуждается геологический возраст майкопских отложений в бассейне и отмечено, что начало образования бассейна Паратетис совпадает с

⁶ Johnson, C.L., Hudson, S.M., Rowe, H.D. and Efendiyeva, M. A., Geochemical constraints on the Palaeocene-Miocene evolution of eastern Azerbaijan, with implications for the South Caspian Basin and eastern Paratethys. Basin Research, vol. 22 (5), - 2010. - p. 733-750.

границей эоцена и миоцена, где нормальные морские условия с глинами, насыщенными кальцием, были заменены более пресными стратифицированными водами. Майкопские и диатомовые слои очень пластичны и подвергались за последние 5 млн. лет значительному давлению на глубинах, превышающих 10 км, тем самым предотвращая нормальное вытеснение флюидов и создавая значительное избыточное давление.

Стратиграфия материнских пород в глубоководной и глубокопогруженной части Южно-Каспийского бассейна неясна. Описаны предыдущие стратиграфические исследования на краях Куринского бассейна. Согласно палеогеографическим картам считается, что центральная часть Южно-Каспийского бассейна состоит из более мощных слоев, отложившихся в аноксических условиях, в то время как слои майкопской свиты, находящиеся ближе к Большому Кавказу, содержат большую примесь обломочных осадков из источника отложений. В работу включены Re-Os геохронологические данные, полученные из анализов образцов майкопских отложений. Re-Os геохронология является относительно новым методом, впервые использованным для получения абсолютного возраста материнских пород.

Коллективом авторов, среди которых находился и сам автор данной работы, были проведены исследования по наиболее глубокой части Абшеронской нефтегазоносной зоны ЮКБ, где располагается месторождение Шах-Дениз. Диамондоиды, наиболее термически стабильная группа углеводородов, были найдены в высоких концентрациях (до 160 ppm 3- + 4-метилдиамантанов) в конденсате с гигантского месторождения Шах-Дениз. Как изотопный состав газа (δ13С1 - δ13С3), так и концентрации диамондоидов указывают на наличие породы-источника с высоким уровнем термической зрелости (1.5-2.0 эквивалента Ro), что обусловлено очень низкими геотермическими градиентами Южно-Каспийского бассейна (16-17° С/км на Шах-Денизе) и быстрым погружением бассейна.

В итоге моделирования и анализа результатов сделан вывод, что материнские породы должны быть захоронены на глубинах, превышающих 13 км в районе дренажа Шах-Дениз (Рис. 21). Из богатых нефтегазодобывающих бассейнов в мире только в глубоководном Мексиканском заливе материнские породы эффективны и активно генерируют углеводороды на подобной глубине. По нашим оценкам в результате термического крекинга приблизительно 5.5 миллиардов баррелей нефти (1 млрд. тонн у.е.) было преобразовано в 12 триллионов кубических футов газа в районе Шах-Дениз (3 млрд. тонн у.е.).

Это указывает на то, что материнские породы в этом районе, вероятно, становятся нефте- и газогенерирующими в более морской фации, чем на суше. Обратное моделирование объемов показывает, что значительная часть газа была образована путем крекинга нефти в газ на больших глубинах. Географическая распространенность материнских пород подобной модели в переходную зону мелководья вблизи Абшеронского полуострова и далее в глубоководный бассейн указывает на еще оставшийся значительный потенциал для геологической разведки на нефть и газ.



Рис. 21. Региональный профиль через 3Д модель (пакет Петромод), изображающий стратиграфическую разбивку и изолинии термальной зрелости (EASY%Ro).

Чтобы объяснить зрелость углеводородов полученным по анализам флюидов в бассейне, материнские породы в районе

месторождения Шах-дениз должны находиться на глубине свыше 13 километров

Районирование ЮКБ и близлежащих регионов согласно общим геологическим параметрам позволяет выделить 15 основных нефтегазоносных регионов (рис. 22), в каждом из которых выделяется 4 стратиграфических интервала (мега-последовательности), которые содержат основные коллекторские системы мезозойскую, палеогеновую, плиоценовую и плейстоценовую. Подавляющий объем углеводородов накоплен в плиоценовой системе в пределах продуктивной толщи ЮКБ.



2. НГР Бакинский Архипелаг 3. Южно-Каспийский НГР 4. НГР Туркменского Шельфа 5. НГР Иранского Каспия 6. Западно-Туркменский НГР 7. Средне-Каспийский НГР 8. Гусар-Дивичинский НГР 9. Шамахы-Гобустанский НГР 10. Нижнекуринский НГР 11. Кюрдамир-Саатлинский НГР 12. Аджиноурский НГР 13. Среднекуринский - Мурадханлы HIP 14. Среднекуринский - Евлах-Агджабеди НГР 15. Кура-Габырры НГР 16. Газах НГР

Рис. 22. Карта нефтегазовых районов (НГР) ЮКБ (исключая возможные НГР Большого и Малого Кавказа и Талыша)

В акватории ЮКБ выделены следующие районы (или НГР): 1) Абшеронская НГР (зона Абшеронского архипелага), 2) зона НГР Бакинского архипелага (Нижнекуринской впадины), 3) зона центральной части акватории ЮКБ (Южно-Каспийский НГР), 4) НГР Туркменского шельфа, 5) зона Предэльбурсского прогиба ЮКБ (Иранский сектор), 6) Западно-Туркменский НГР, 7) Средне-Каспийский НГР, 8) Гусар-Девечинский НГР, 9) Шамахы-Гобустанский НГР, 10) Нижнекуринский НГР, 11) Кюрдамир-Саатлинский НГР, 12) Аджиноурский возможный НГР, 13) Среднекуринский НГР – зона, включая Евлах-Агджабединкую депрессию и предгорья Малого Кавказа, 14) Среднекуринский НГР (Евлах-Агджабединская депрессия), 15) Верхнекуринский или Кура-Габырринский возможный НГР и 16) Возможный Газахский НГР.

Автор предлагает новую методику сравнительного анализа оценки перспектив нефтегазоносности, которая основана на определении соотношения между геодинамическим типом бассейна (океанический или континентальный), типом и источником осадков (И), мощностью осадков в метрах (М), скоростью осадконакопления в м/млн. лет (С.О), плотностью потенциальных ресурсов (П). Большинство параметров подсчета взято из предыдущих глав данной работы. Источники осадков обсуждаются в Главе 5, мощность и объем осадков – в Главе 3. Плотность ресурсов углеводородов определена на основе эталонных значений разведанных запасов на ряде месторождений.

Отмечается, что углеводородный потенциал осадочного разреза ЮКБ в каждой из 4 коллекторских систем и в каждом из НГР распределен неравномерно (Таблица 3). Наибольшая перспективность приурочена к разрезу плиоцена Предэльбурсского прогиба, центральной части ЮКБ, Туркменского шельфа и северо-западной части акватории ЮКБ. Эти разрезы характеризуются большой мощностью осадков, высокими скоростями осадконакопления в третичный период и повсеместным присутствием как материнских пород майкопской свиты, так и коллекторских пород свит ПТ, отложенных Палео-Волгой. По прогнозам из работ⁷ плотность ресурсов в северо-западной части ЮКБ достигает более 750 тыс. тонн на км, что близко к нашим прогнозам. Менее перспективными участками разреза являются юго-западная часть ЮКБ, где доминируют осадки куринской

⁷ Guliyev, I.S. Hydrocarbons potential of the Caspian region (expert review). / I.S.Guliyev, L.E.Levin, D.L.Fedorov, - Baku: Nafta-Press, - 2003. - 120. p.

фации с коллекторами низкого качества. Малоперспективными являются некоторые НГР суши Азербайджана, лишенные мощного осадочного покрова.

В работе приводятся карты термального стресса (по интервалам, картированным в ЮКБ), составленные по имеющимся температурным данным, на основе которых автор подсчитал углеводородный потенциал всего ЮКБ и объем выработанных углеводородов (рис. 23). Эти карты являются итогом синтеза работ по изучению углеводородной перспективности ЮКБ, которые проводились автором на протяжении многих лет.

Методика оценки рисков по балльной системе присваивает значения: более 100 – для НГР с низкими рисками и большими объемами углеводородов; значения от 10 до 100 – для НГР со средними рисками; значения менее 10 – для НГР с высокими рисками и малой перспективностью (Таблица 3).



Рис. 23. Карта термального стресса по ЮКБ и сопредельным бассейнам

Таблица 3

	Мощность				Риски					Оценка			
нгр 🔽	Площадь КМ 🗸	Общая	Мезозой	Палеоген	Плиоцен	Плейстоцен	Мат. Пород 🛫	Миграция •	Ловушки 🗸	Покрышки	Коллектора	Изученн ость	Балл
Иранский сектор ЮКБ	31.0	13.4	3.6	3	3.4	3.4	1	1	1	1	1.0	1.0	631
Глубоководный ЮКБ	29.9	17.1	3.9	5.1	5.3	2.8	1	1	1	1	1.0	1.0	594
Абшеронский Архипелаг	20.0	11.8	4	2.4	3.6	1.8	1	1	1	0.95	1.0	0.5	382
Бакинский Архипелаг	15.0	15.7	3.9	5.3	4.4	2.1	1	1	1	1	0.9	0.5	306
Туркменский Шельф	34.0	12.7	1.8	2.9	4.5	3.5	1	0.7	0.7	0.9	1.0	1.0	190
Западно-Туркменский НГР	12.4	9.1	2	0.9	2.8	3.4	1	1	1	0.9	1.0	0.7	142
Северно Абшеронский НГР	18.8	7.1	2.6	1	2.2	1.3	1	1	0.9	0.9	1.0	1.0	109
Нижнекуринский НГР	12.1	9.5	4.9	1.4	2.7	0.5	1	1	1	1	0.5	0.4	33
Среднекуринский HГР YAD	8.7	8.8	5.3	1.1	1.4	1.0	1	1	1	1	0.3	0.9	18
Гобустанский НГР	2.9	12.1	6.4	2.6	2.6	0.5	1	1	1	1	0.5	0.4	12
Среднекуринский HГP Mur	5.2	10.1	5.4	0.7	1.6	2.4	1	1	1	1	0.25	0.8	11
Гусар-Дивичи НГР	3.1	8.9	6.7	0.7	0.1	1.4	1	0.9	1	1	0.4	0.8	10
Кура-Габырры	9.2	6.9	4.3	0.7	1.1	0.8	0.9	1	1	0.6	0.25	0.8	7
Аджиноурский ВНГР	7.7	8.6	3.7	1	2.3	1.6	0.9	0.7	1	0.6	0.25	0.8	5
Кюрдамир-Саатлинский НГР	5.1	9.1	4.8	0.4	1.3	2.6	0.9	1	1	0.9	0.25	0.5	5
Газахский ВНГР	2.4	4.6	3	0.5	0.4	0.7	0.5	0.7	1	1	0.25	0.8	1

Оценочная таблица рисков по каждому НГР в ЮКБ

Выводы и рекомендации

В данной работе выявлена связь эволюции осадочного чехла ЮКБ с закономерностями осадочного заполнения других бассейнов мира. Определена особенность осадочного выполнения и скоростей осадконакопления ЮКБ по сравнению с другими осадочными бассейнами. На основе новейших алгоритмов моделирования, большого количества современного фактологического материала и синтеза предыдущих работ предложен комплексный подход к пониманию процесса эволюции бассейна. Этот подход, называемый бассейновым анализом, дает возможность более точно оценить перспективность различных участков бассейна и его место в иерархии бассейнов мира.

Первое защищаемое положение. Предложена итеративная модель строения и осадконакопления ЮКБ и прилегающих территорий. Результаты моделирования показывают, что наблюдаемый характер погружения и осадконакопления в бассейне можно объяснить процессом седиментационной нагрузки на утоненную кору океанического типа с загасающим термальным погружением. Моделирование подтверждает рифтогенез, как возможную причину образования ЮКБ и наличия коры океанического типа, а также расчерчивает границы потенциальной рифтовой оси.

Моделирование демонстрирует, что изначальная геомет-

рия бассейна обуславливает неравномерность дальнейшего заполнения бассейна осадками. Эта геометрия, унаследованная на момент отложения, обусловлена типом, мощностью коры, значением бета-фактора и объемом осадков, заполняющих бассейн после рифтогенеза.

Модель эволюции ЮКБ включает в себя синтез результатов моделирования погружения литосферы, изначальной геометрии бассейна на момент его образования, объема и денудации осадков по речным системам. В снабжении ЮКБ осадками большую роль играли климатические колебания, вызвавшие изменения стока воды и привноса осадков в бассейн из различных речных систем, впадающих в ЮКБ. Дренаж этих гидросистем зависел от скорости денудации бассейнов и горных кряжей.

В результате эволюции литосферы и осадочного чехла сформировался уникальнейший нефтегазоносный бассейн, развитие осадочного слоя в котором можно разделить на 5 основных этапов:

1) рифтогенез (мезозой, продолжительность 150-65 млн. лет);

2) термальное погружение пассивной окраины (продолжительность 65-34 млн. лет);

3) субдукция и отложение нефтематеринских пород (олигоцен – миоцен, продолжительность 34-6 млн. лет);

4) лавинная терригенная седиментация и отложение коллекторов ПТ (продолжительность 6-2.5 млн. лет);

5) сжатие, образование складок и миграция углеводородов в ловушки (верхний плиоцен и плейстоцен, продолжительность 2.5 млн. лет - 0).

Второе защищаемое положение. Проведена количественная оценка объема осадков, их мощностей, возраста и скоростей осадконакопления ЮКБ для выявления закономерности в процессах прогибания коры и осадконакопления. В работе подсчитан объем осадков, заполнявших ЮКБ за время эволюции. Основное количество осадков накопилось в бассейне с олигоцена до сегодняшнего дня, и усредненная скорость осадконакопления в этот период составляла от 500 до 600 м/млн. лет. Скорость осадконакопления достигает своего максимума в ПТ. Объем осадков, накопленный в ЮКБ за все время существования бассейна, составляет более 775000 км³. Цифры показывают, что ЮКБ является вторым бассейном после Бенгальского залива по объему осадков в плиоцене и первым по скорости осадконакопления.

Чтобы более точно подсчитать изменение скоростей осадконакопления в бассейне был детально измерен с помощью различных геохронологических методов абсолютный возраст пород плиоценовой продуктивной толщи (ПТ) и показано, что ПТ отлагалась от 4 млн. лет до 2.7 млн. лет, а не от 6 млн. лет до 3.2 млн. лет, как считалось ранее. Четыре сценария временной шкалы демонстрируют несколько вариантов скоростей осадконакопления, самый радикальный из которых превышает 9 км за 1 млн. лет.

Впервые в ЮКБ объем осадков был рассчитан по речным системам в отдельности. Осадки из двух речных бассейнов Палео-Волги и Палео-Амударьи сыграли наибольшую роль в заполнении ЮКБ. Они заполняли бассейн неравномерно во времени и в пространстве. В нижней части ПТ превалировали осадки Палео-Волги, а в верхней части и в плейстоцене – Палео-Амударьи, которая создала мощную проградационную дельту в ЮКБ. Осадки Палео-Волги мигрировали на север и их привнос резко уменьшился в плейстоцене. В плиоцене и плейстоцене превалировали осадки Палео-Амударьи и осадки с Кавказских гор. Осадки, привнесенные с горных систем Ирана, играли меньшую роль.

Объем осадков в Южно-Каспийском бассейне, отлагавшихся в ПТ и верхнем плиоцене, позволяет также предположить денудацию в больших масштабах и за очень короткое время, в сравнении с глобальными аналогами. Коэффициент денудации увеличивается со временем и достигает максимума в верхней части ПТ и в абшеронское время, когда более 300000 км³ осадков были внесены в бассейн за 1 млн. лет. Скорость денудации источников, питающих Каспий, сравнима со скоростью денудации рек, эродирующих Гималайские горы.

Дренаж (снос осадков) рек при падениях уровня моря увеличивается значительно в связи с ростом градиента на бортах бассейна. Автор затрагивает вопрос интеграции дренажа Аральского моря при подобном падении уровня моря. Падение же уровня Каспийского моря на уровень Аральского вызовет интеграцию всего дренажа Средней Азии в дренаж ЮКБ с помощью Палео-Узбоя.

Третье защищаемое положение. Произведен сравнительный анализ статистических параметров осадочных бассейнов мира, включая нефтегазоносность. В работе показано, что объемы осадков в осадочных бассейнах мира меняются согласно степенному закону Парето (так называемое правило 80/20), поскольку 80% процентов всего объема осадков содержатся в самых больших по размерам (20%) бассейнах мира. Подобная зависимость между размером бассейна и его объемом особенно четко наблюдается в бассейнах пассивных окраин и бассейнах растяжения (рифтах и вертикального погружения). Бассейны пассивных окраин в целом более распространены по миру, обладая до 40% всей мощности осадков мира. Пассивные окраины характеризуются в среднем мощностью 4 км, бассейны форланда – 3 км, а межкратоновые впадины – менее 2 км. Южно-Каспийский бассейн вместе с другими быстропогружающимися и ограниченными по площади бассейнами мира является определенно аномальным. Подобная аномалия объясняется сочетанием рифтовой природы бассейна, влияния флексурного эффекта, уменьшившего его территорию, и быстрого осадконакопления в плиоцене.

Четвертое защищаемое положение. Раскрывается углеводородный потенциал ЮКБ на основе комплексного анализа и категоризации геологических рисков. Несколько основных тем, раскрытых в работе, могут значительно изменить понимание перспектив нефтегазоносных систем ЮКБ.

Прежде считалось, что наиболее качественные материнские породы ЮКБ делятся на 3 основные стратиграфические единицы (нижний майкоп, средний майкоп и диатомовые породы верхний миоцен) Недавно полученные сведения об эоценовых глинах коунской свиты показывают, что они являются до сих пор мало исследованным интервалом с высоким содержанием органического материала (вплоть до 24% Сорг).

В связи с низкими геотермическими градиентами в ЮКБ и относительно высокими температурами, необходимыми для быстрого погребения и генерации углеводородов, материнские породы должны быть погружены на глубины более 13 км. В отсутствии свидетельств работающей мезозойской углеводородной системы на суше подобные глубины генерации могут указывать на увеличенные мощности пород палеогена, в особенности эоценовых материнских пород (эквивалента коунской свиты). Глубина генерации и высокое содержание органического материала в обнажениях эоцена свидетельствуют о ключевой роли эоцена в генерации гигантских объемов углеводородов в ЮКБ. Хотя интерпретация сейсмических профилей и не может точно указывать на возраст утолщенных пород в центре бассейна, мезозойская природа этих интервалов представляется нам менее вероятной, так как свидетельств мезозойских нефтяных систем в биомаркерах скважин в акватории ЮКБ не имеется.

По сравнению с эоценовыми майкопские породы олигоцена и нижнего миоцена содержат намного меньше органического материала (5% Сорг), но тоже могут принимать участие в генерации углеводородов. Верхнемиоценовые диатомовые глины содержат вплоть до 22% Сорг, однако часто не достигают зрелости в центре бассейна и на суше Азербайджана.

Метод оценки, предложенный автором, позволяет ранжировать углеводородный потенциал по нефтегазоносным зонам для каждого из НГР с помощью сравнительного анализа, используя систему баллов различных плей-элементов. Риски на каждый из этих плей-элементов оцениваются независимо, а затем объединяются. Метод показывает, что наибольшая углеводородная перспективность наблюдается в центральной части ЮКБ и в акватории Бакинского архипелага, что связано с большой мощностью осадков, высокими скоростями осадконакопления в третичный период и повсеместным присутствием как материнских пород эоцена и майкопской свиты, так и коллекторских пород ПТ, отложенных Палео-Волгой. Менее перспективными зонами разреза являются юго-западная часть ЮКБ и суша Азербайджана. Перспективность иранской части ЮКБ и Туркменской депрессии к югу от Абшеронского порога остается малоизученной, но разведочные работы, проводящиеся в этих регионах, заслуживают самого пристального внимания.

Нефтегазоносные системы Южного Каспия уникальны благодаря осадконакоплению, поскольку интенсивное и неравномерное заполнение осадками вызывало нестабильность системы ЮКБ. Углеводородный потенциал осадочного разреза ЮКБ на каждом из этапов распределен неравномерно, что связано с неравномерностью осадконакопления и типом погружения различных частей бассейна.

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

- Abdullayev, N.R. Kadirov, F.A., Guliyev, I.S. Subsidence history and basin-fill evolution in the South Caspian Basin from geophysical mapping, flexural backstripping, forward lithospheric modelling and gravity modeling // In: Brunet, M.-F., McCann, T. and Sobel, E.R. (Eds), Geological Evolution of Central Asian Basins and the Western Tien Shan Range // Geol. Soc. Lond., Spec. Publ., 2017. № 427, p. 175-196.
- Xukai Shen Li Jiang, Joseph Dellinger, Andrew Brenders, Chandan Kumar, Mika James, John Etgen, David Meaux, Richard Walters, Nazim Abdullayev / High resolution Full Waveform Inversion for structural imaging in exploration // SEG International Exposition and 88th annual Meeting, 2018, p. 1098-1102.
- 3. Abdullayev, N.R. Distribution of volume of rocks in sedimentary basins – unusual case of the South Caspian Basin // Geophysics News in Azerbaijan, Baku: 2018. № 4p. 29-33.
- Abdullayev, N.R. Detrital zircon and apatite constraints on depositional ages, sedimentation rates and provenance: Pliocene Productive Series, South Caspian Basin, Azerbaijan / Elmira Aliyeva, John Weber, Christiaan G.C. van Baak [et al.] // Basin Research, vol. 30, 2018, Iss.5, p. 835-862.
- Washburn, A.M., Hudson, Abdullayev, N., S.M. Selby, D., Shiyanova, N. RE-OS Geochronology and Chemostratigraphy of the Maikop Series Source rocks of Eastern Azerbaijan // Journal of Petroleum

Geology, London, Great Britain. vol. 41, 2018, № 3, p. 411-416.

- 6. Washburn, A.M., Hudson, Abdullayev, N., S.M. Selby, D., Shiyanova, N. Constraining the timing and depositional conditions of the Maikop formation within the Kura Basin, Eastern Azerbaijan, through the application of the Re-Os geochronology and chemostratigraphy // Journal of Petroleum Geology, London, Great Britain. vol. 42, 2019. № 3, p. 281-300.
- Abdullayev, N.R. Distribution and volume of rocks in sedimentary basins – unusual case of the South Caspian Basin, III International Conference "Geology of the Caspian Sea and adjacent areas"; Baku, Azerbaijan, 16-18 October 2019.
- Abdullayev, N.R., Goodwin, N.R.J., Volk, H., Riley, G. Diamondoids reveal one of the world's deepest petroleum systems, South Caspian Basin, Azerbaijan. AAPG Europe Regional Conference, Vienna-Austria, 26-27 March, 2019.
- 9. Abdullayev, N.R. Sediment Volumes and Sedimentation rates in the South Caspian Basin: distribution, sources and age constraints, AAPG Europe Regional Conference, Vienna-Austria, 26-27 March, 2019.
- Abdullayev, N.R., Huseynova, Sh.M. Distribution and volume of sedimentary rocks in World's basins – unusual case of the South Caspian Basin. AAPG Regional Conference: Exploration and Production in the Black Sea, Caucasus and Caspian Region. Batumi, Georgia, 18-19 September, 2019.
- Abdullayev, N., Guliyev I.S., Huseynova, Sh.M., Kadirov, F.A., Mukhtarov, A.Sh. Variations in geothermal gradient and understanding crustal structure of Kura Basin, onshore Azerbaijan // AAPG Regional Conference: Exploration and Production in the Black Sea, Caucasus and Caspian Region. Batumi: Georgia. September 18-19, 2019.
- 12. Nazim Abdullayev, Peter Cook and Aleksandra Kramtseva. Workshop explored static and dynamic model building, The Leading Edge, January 2020, p. 306-307.
- 13. Абдуллаев, Н.Р. Геологическое строение Южно-Каспийской впадины и суши Азербайджана на основе температурных данных и гравимагнитного моделирования // Аzərbaycan Neft Təsərrüfatı, 2020, № 06-07, с. 4-9.

- Abdullayev, N.R. Analysis of sedimentary thickness, volumes and geographic extent of the world sedimentary basins // ANAS Transactions, Earth Sciences, vol.1, 2020, p.28-36.
- 15. Abdullayev, N.R. Analysis of the sedimentary basins key association of the sedimentary thickness, sediment volumes and geometry // Geologist of Azerbaijan, 2020, № 24, p. 41-48.
- 16. Guliyev, I.S., Abdullayev, N.R., Huseynova, Sh. Distribution and volume of rocks in sedimentary basins unusual case of the South Caspian Basin // SOCAR Proceedings. 2020, № 3, p.4-10.
- Goodwin, N.R.J., Abdullayev, N., Djavadova, A., Volk, H., Riley, G. Diamondoids and basin modelling reveal one of the world's deepest petroleum systems South Caspian Basin, Azerbaijan // Journal of Petroleum Geology, Great Britain. vol. 43, 2020, № 2, p. 133-150.
- 18. Абдуллаев, Н.Р. Углеводородные ресурсы мира по различным статистическим параметрам // Azərbaycanda Geofizika Yenilikləri, 2021, № 1-2, с. 16-22.
- Abdullayev, N.R Hydrocarbons and plays of the South Caspian and adjacent basins - comparison to other sedimentary basins of the world. Europe Regional Conference, Revitalizing Old Fields and Energy Transition in Mature Basins, Budapest, 3-4 May 2022.
- 20. Abdullayev, N.R. Tale of three rivers how large parts of Northern Eurasia ended up in the South Caspian Basin, AAPG Exploration and Production in the Black Sea Region and Super-Basin Thinking, Trabzon, Turkey, 6-7 September 2022.
- Abdullayev, N.R, Bertoni, C., Javadova, A., Kazimova, S., Walker R., Huseynova, Sh. Evolution of the South Caspian Basin – Evidence from Offshore Seismic and onshore active tectonics // AN-AS Transactions, Earth Sciences, Special Issue, 2023, p. 37-40.
- 22. Guliyev, I., Afandiyeva, M., Huseynova, S., Javadova, A., Abdullayev, N., Shevchenko, T., Ryabokon, T. A new insight into the study of Oligocene-Miocene deposits within the southeastern edge of Greater Caucasus. 84th EAGE Annual Conference & Exhibition, Austria-Vienna, Jun 2023, p.1-5. DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.202310677

H

Защита диссертации состоится <u>0</u>июня 2024-го года в 14⁰⁰ на заседании Диссертационного совета ED 1.01 действующего на базе Института Геологии и Геофизики Министерства науки и образования Азербайджана

Адрес: АZ1143, г. Баку, Азербайджан, пр. Г.Джавида, 119

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Геологии и Геофизики Министерства науки и образования Азербайджана

Электронная версия автореферата размещена на официальном сайте Института Геологии и Геофизики Министерства науки и образования Азербайджанской Республики

Автореферат разослан по соответствующим адресам <u>10</u> мая 2024 года

Подписано в печать 30.04.2024 Формат бумаги 60х84^{1/16} Объем 79 383 Тираж 70 экз.