

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

*На правах рукописи*

*М.Я.*

**Ян Я**

**Условия формирования, коллекторские свойства песчаников  
в базальных отложениях нижнего эоцена юго-восточной  
части впадины Цзиян, Бохайвань, КНР**

Специальность 1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация  
нефтяных и газовых месторождений

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Москва, 2022

Работа выполнена на кафедре геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова

**Научный руководитель:** ***Конюхов Александр Иванович***  
доктор геолого-минералогических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** ***Лобусев Михаил Александрович***  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор кафедры общей и нефтегазопромисловой геологии РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина

***Немова Варвара Дмитриевна***  
доктор геолого-минералогических наук,  
начальник отдела геологического изучения  
трудноизвлекаемых объектов  
ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»

***Кравченко Мария Николаевна***  
кандидат геолого-минералогических наук,  
заведующий отделом «Ресурсов и запасов нефти и газа»  
ФГБУ «ВНИГНИ»

Защита диссертации состоится «20» января 2023 г. в 16:30 часов на заседании диссертационного совета МГУ.016.8 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, геологический факультет, ауд. 621.

E-mail: poludetkinaelena@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на сайте ИАС «ИСТИНА»: <https://istina.msu.ru/dissertations/518035497/>

Автореферат разослан «    » декабря 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат геолого-минералогических

наук  Е.Н. Полудеткина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Изучение литологического состава, фильтрационно-емкостных свойств, особенностей седиментогенеза и постседиментационных процессов, характерных для нижнеэоценовых отложений впадины Цзиян, является актуальной проблемой, так как определение генезиса песчаных пород, выявление закономерностей их распространения и оценка способности этих пород вмещать углеводороды позволят уточнить перспективы открытия новых залежей в пределах области исследований. Впадина Цзиян – одна из самых богатых углеводородами впадин в Китае, доказанные геологические запасы которой составляют 4,26 млрд тонн. В пределах этой впадины расположено второе по величине нефтяное месторождение Китая - месторождение Шэнли. Юго-восточная часть впадины Цзиян является наиболее богатой углеводородными ресурсами. Из-за сложности проведения разведочных работ изучение глубокопогруженных потенциальных коллекторов нижнеэоценовых базальных отложений свит Кондянь-1 и нижней части Шахэдие-4 шло крайне медленными темпами. В связи с постоянной интенсификацией геологоразведочных работ в регионе исследований и растущей потребностью в углеводородных ресурсах крайне необходимым является проведение поисково-разведочных работ на нефть и газ в юго-восточной части впадины Цзиян.

**Цель работы** заключалась в выявлении закономерностей формирования песчаных коллекторов базальных отложений и оценке их фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) путем изучения седиментационных процессов и постседиментационных преобразований с последующим выделением благоприятных районов для поисков и разведки нефти и газа в пределах юго-восточной части впадины Цзиян и соседних впадин бассейна Бохайвань.

**Задачи,** которые решались в процессе выполнения работы:

1. Макро- и микроскопическое изучение литологических характеристик пород, в том числе состава, типа цемента, контактных отношений частиц, порового пространства и т.д.
2. Генетическая типизация базальных отложений нижнего эоцена.
3. Реконструкция условий формирования нижнеэоценовых отложений и выполнение литофациального районирования территории исследований.
4. Анализ результатов петрофизических исследований кернa, выявление зависимости фильтрационно-емкостных характеристик пород от условий их накопления.

5. Изучение вторичных преобразований песчаных пород и их стадийность, анализ влияния постседиментационных преобразований на ФЕС песчаных пород.

6. Прогноз распространения песчаных коллекторов различного качества и определение перспективных направлений разведки нефти и газа в регионе исследований.

**Защищаемые положения:**

1. Накопление нижнеэоценовых песчаных отложений юго-восточной части впадины Цзиян происходило в условиях пологого склона озерного бассейна в виде пролювиальных конусов выноса, фан-дельт и песчаных баров, в которых различия условий седиментации транслируются в изменении гранулометрии, сортировке и минеральном составе обломочного материала. Грубообломочные несортированные породы пролювиальных конусов выноса развиты по периферии склона и имеют граувакковый состав; фан-дельты, выдвигавшиеся в сторону озерного мелководья, сложены среднесортированными граувакковыми аркозами; в составе песчаных баров, формировавшихся параллельно береговой линии озера под воздействием волн, преобладают аркозы с хорошей сортировкой обломочного материала.

2. Решающее влияние на цементацию песчаного материала, морфологию пустотного пространства и, соответственно, качество нижнеэоценовых коллекторов оказал карбонатный материал, накапливающийся в удаленных от побережья участках озера, где обитал многочисленный бентос, в том числе организмы с карбонатным скелетом, являющиеся основным источником вещества для карбонатного цемента. Активная цементация происходила в основном в нижних и в верхних частях пластов песчаников, которые контактировали с карбонатно-глинистыми прослоями. В середине песчаных пластов, как правило, исходные ФЕС сохраняются, при этом поровое пространство песчаников малых мощностей (меньше 10 метров) практически полностью подвергается процессам вторичной цементации.

3. Емкостной потенциал нижнеэоценовых отложений определяется их седиментационными характеристиками, а его вариации отвечают изменениям условий накопления обломочного материала. По сочетанию оценочных параметров качества коллекторов наилучшими свойствами обладают песчаники фронтальных частей фан-дельт, наихудшими – гравелито-песчаники пролювиальных конусов выноса.

**Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:**

Для нижнеэоценовых отложений юго-восточной части впадины Цзиян разработана авторская модель седиментации базальных отложений, иллюстрирующая смену обстановок осадконакопления во времени и пространстве.

Выявлено и проиллюстрировано влияние аридного климата на облик изученных отложений, характеризующийся пестрой окраской с преобладанием красного цвета, и реконструированы условия образования нижнеэоценовых эвапоритов.

Установлены закономерности изменения ФЕС песчаных коллекторов с учетом влияния седиментационных и постседиментационных процессов, определена роль этих процессов в формировании емкостного потенциала изучаемых пород, обоснованы механизмы образования в песчаниках вторичной пористости.

Комплексный анализ особенностей накопления нижнеэоценовых отложений и оценка их постседиментационных преобразований позволили осуществить типизацию песчаных коллекторов, послужившую основой для выделения в юго-восточной части впадины Цзиян наиболее перспективных для разведки залежей нефти и газа областей.

**Практическая значимость.** Установленные закономерности формирования песчаных коллекторов, а также прогноз их распространения на изучаемой территории способствуют выявлению новых объектов для поискового бурения и оптимизации геологоразведочных работ. Кроме того, использование полученных результатов обеспечит более достоверный подсчет запасов УВ в нижнеэоценовом комплексе юго-восточной части впадины Цзиян. Методические приемы, применяемые в работе, могут быть использованы для прогноза структур и свойств песчаных коллекторов в других нефтегазоносных областях.

**Фактический материал и методы исследования.** Работа выполнена по материалам собственных исследований автора, проведенных в лаборатории коллекторов китайского нефтяного университета. Для решения поставленных задач использовался комплекс методов исследования пород, включающий макроскопическое (кern по 20 скважинам) и микроскопическое описание осадочных отложений (более 300 шлифов), их минералогическое и петрофизическое изучение. Автором лично проинтерпретированы данные ГИС по 73 скважинам, проанализированы региональные сейсмические профили и данные петрофизических параметров (пористость и проницаемость пород) коллекции образцов (свыше 200 шт.).

**Степень достоверности результатов.** Достоверность и обоснованность представленных в работе результатов обеспечивается обширным фактическим

материалом, применением общепринятых методик, использованием современного программного обеспечения и лабораторного оборудования. Выводы базируются на установленных теоретических положениях и фактах и согласуются с опубликованными данными других исследователей.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа общим объемом 125 страниц состоит из введения, 6 глав и заключения, включает 43 рисунка, 4 таблицы, список литературы содержит 66 наименований.

**Благодарности.** Автор сердечно благодарен своему научному руководителю профессору, д.г.-м.н. Конюхову А.И. и заведующей кафедрой геологии и геохимии горючих ископаемых МГУ, д.г.-м.н. Ступаковой А.В. за постоянную помощь в работе над диссертацией, а также Балагурову М.Д. за научные консультации, поддержку и всестороннюю помощь при написании работы, Колесниковой Т.О. за помощь с русским языком и всему коллективу кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых Геологического факультета МГУ за поддержку, оказанную при написании данной работы. Автор также благодарит Гэ Синмин, доцента Китайского нефтяного университета, за его поддержку и помощь в обработке и интерпретации данных.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Глава 1. Геолого-геофизическая изученность

Геологические и геофизические исследования в бассейне Бохайвань начались в 1955 году. Уже более 60 лет, с тех пор как в скважине Хуа-8 были получены первые промышленные притоки нефти в 1961 году, в пределах впадины Цзиян проводятся разведочные работы и интенсивная разработка месторождений нефти и газа. В 1986 году годовая добыча нефти достигла своего пика во всей предшествующей истории разработки, дойдя до 30 миллионов тонн. К концу 2006 г. было пробурено более 5900 скважин. В юго-восточной части впадины Цзиян распространена нижнеэоценовая базальная толща, представленная континентальными и озерными отложениями, сложенными песчаниками с прослоями и пачками глин, окрашенными в красный, бурый и другие пестрые цвета, получившая название красноцветной формации. Успешное бурение скважины Ван-94 в 2013 г. привело к получению промышленного высокодебитного потока нефти из коллекторов нижнего эоцена юго-восточной части впадины Цзиян, что вызвало всплеск интереса исследователей.

## Глава 2. Геологическое строение региона

### 2.1. Стратиграфия отложений

В районе исследования присутствуют архей-нижнепротерозойский фундамент и палеозой-кайнозойский чехол, разделенные угловым несогласием. В разрезе отсутствуют отложения среднего и верхнего протерозоя, палеозойские отложения от верхнеордовикских до нижнекаменноугольных, а также отложения триасовой системы. Кайнозойская система представлена в полном объеме, палеоген-неогеновые отложения являются основными толщами заполнения бассейна Бохайвань. В разрезе кайнозоя по палеонтологическим и литологическим данным выделяются пять ярусов снизу вверх: Кондянь, Шахэдие, Дунин, Гуантао и Минхуачжэнь. Основными горизонтами данного исследования являются свиты Кондянь-1 и нижняя часть Шахэдие-4.

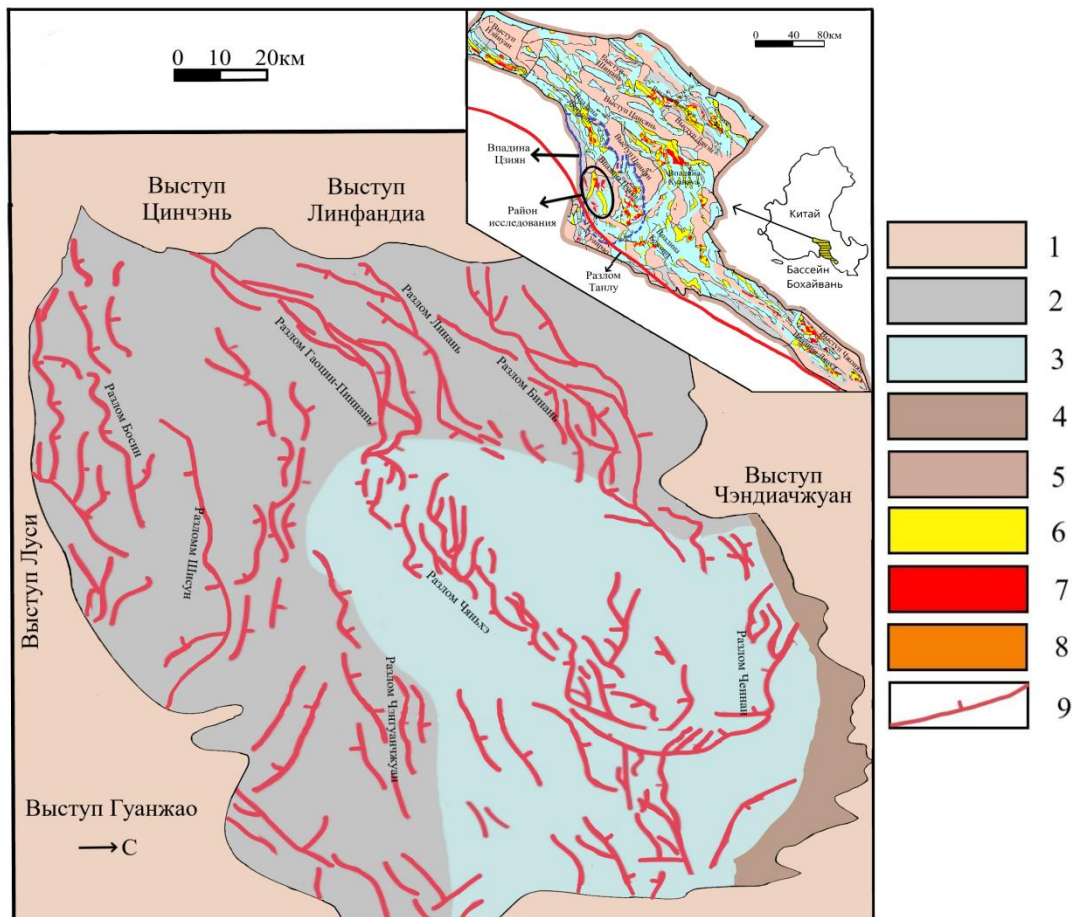


Рисунок 1. Схема тектонического строения юго-восточной части впадины Цзянь (У. Сао, 2013, с дополнениями и изменениями)

Условные обозначения: 1 – выступ; 2 – пологий склон; 3 – депрессия; 4 – крутой склон; 5 – поднятие; 6 – тектонические единицы второго порядка; 7 – нефтяные залежи; 8 – газовые залежи; 9 – тектонические нарушения

## **2.2. Тектоническое строение региона**

Бассейн Бохайвань представляет собой мезозойско-кайнозойский рифтогенный бассейн, приуроченный к Северо-Китайской платформе с кембрийским и палеозойским основанием. Впадина Цзиян расположена на юго-востоке бассейна Бохайвань и представляет собой рифтовую впадину, образованную в результате поднятия верхней мантии в поздне меловом периоде. Общая площадь впадины около 25000 квадратных километров. Объектом данного исследования является пояс пологих склонов с большим количеством нижнеэоценовых (ярус Кондянь-1 и нижняя часть Шахэдие-4) базальных красноцветных отложений на юго-востоке впадины Цзиян, который окружен областями эоценовых выступов: Линфандиа и Цинчэнь на западе, Чэндиачжуан на севере, Гуанжао на юго-востоке и Луси на юге (рис. 1). Впадина Цзиян является важным компонентом группы разломных бассейнов. Поскольку юго-восточная часть впадины близка к зоне разлома Танлу, трансформация сдвигового режима оказывает важное влияние на структуру бассейна. Разлом Ченнан контролирует развитие всего бассейна, а второстепенные разломы, такие как Линнань, Биннан, Гаоцин-Пиннань, Шицун и Босин, достигают пород фундамента (см. рис. 1).

## **2.3. Нефтегазоносность**

К настоящему времени в бассейне Бохайвань открыто 7 крупных нефтегазовых месторождений, среди них нефтегазовое месторождение Шэнли, расположенное в юго-восточной части впадины Цзиян, является одним из самых крупных месторождений Китая. Доказанные запасы углеводородов в юго-восточной части впадины Цзиян составляют около  $11 \times 10^8$  т, в изучаемых отложениях Кондянь-1 и нижней части Шахэдие-4 – порядка  $3 \times 10^8$  т. Углеводороды в основном поступают из нефтегазоматеринских толщ Кондянь-2 и верхней части Шахэдие-4.

## **Глава 3. Литологическая характеристика пород**

В юго-восточной части впадины Цзиян развиты различные типы пород базальных отложений в интервале от Кондянь-1 до нижней части Шахэдие-4, такие как терригенные грубообломочные, песчаные и алевритовые породы, глинистые породы и эвапориты.

### **3.1. Терригенные грубообломочные, песчаные и алевритовые породы**

По размерности зерен изученные отложения можно разделить на конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты. Объектом данного исследования являются



песчаные породы, являющиеся важнейшими коллекторами нефти и газа, преобладающие в разрезах нижнеэоценовых отложений. Размерность обломочного материала в песчаниках варьирует от 0,1 до 2 мм (максимально 4 мм). Большая часть зерен и обломков имеет окатанную, слегка вытянутую и угловатую форму. Наиболее широко в песчаниках распространены карбонатные цементы, образовавшиеся на ранней стадии литогенеза. Среди других следует упомянуть кремнистый, пиритовый, гипсовый, ангидритовый и скрытокристаллический гематитовый цементы.

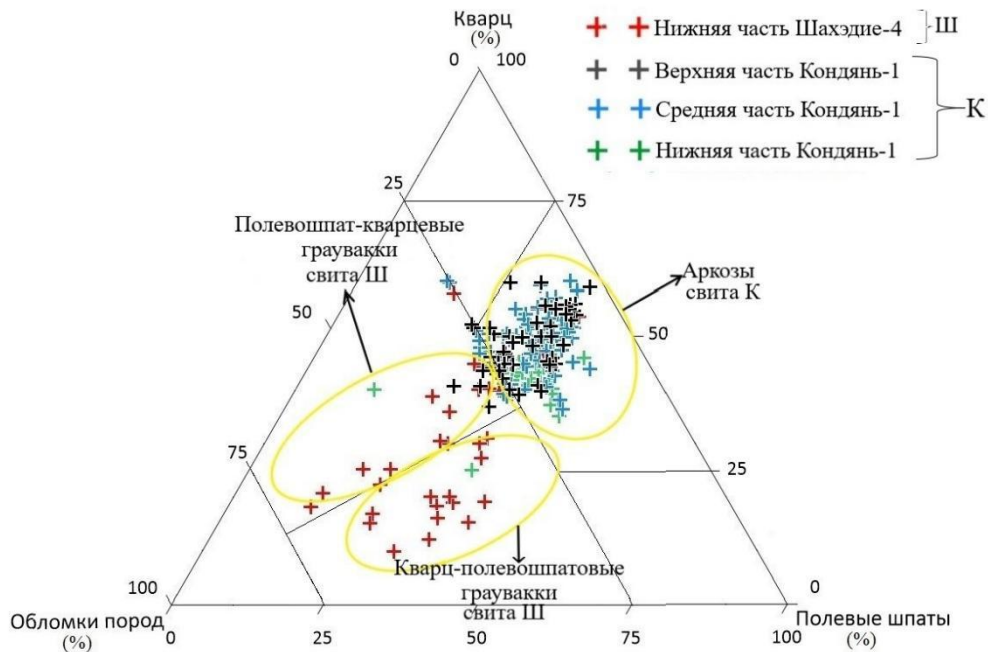


Рисунок 2. Состав песчаников базальных отложений Кондянь-1 и нижняя часть Шахэдие-4 (по Шванову, 1987)

Преобладающим типом песчаников, накопившихся в течение интервала времени Кондянь-1 – нижняя часть Шахэдие-4, являются аркозы, за которыми следуют кварц-полевошпатовые граувакки и полевошпатово-кварцевые граувакки. Проведенные исследования показали, что изученные песчаники отличаются более высоким содержанием кварца и низким обломков пород. Содержание зерен кварца варьирует от 10,1 до 61,7% (среднее 45,1%), тогда как количество полевых шпатов меняется в пределах 12,7-46,9% (среднее 35,7%), а обломков пород – от 1,2 до 68,3% (среднее 19,2%) (рис. 2). Обломки пород в основном представлены метаморфическими образованиями, а также магматическими, карбонатными и другими породами.

Содержание кварца и минеральная зрелость песчаников свиты Кондянь-1 постепенно увеличивается вверх по разрезу. Песчаники в разрезах нижней части Шахэдие-4 содержат очень большое количество обломков пород и характеризуются низкой степенью минералогической зрелости (см. рис. 2). Очевидно, что это связано с

активизацией тектонических движений в регионе на раннем этапе аккумуляции осадков нижней части Шахэдие-4, начавшейся в результате перераспределения полей тектонических напряжений.

### ***3.2. Глинистые породы***

Глинистые породы в районе исследований в основном встречаются в виде переслаивания с мелкозернистыми песчаниками или эвапоритами. Они окрашены в пурпурно-красные, красные, коричнево-красные, пестрые цвета, что отражает окислительную среду осадконакопления.

### ***3.3. Эвапориты***

Мощности эвапоритовых толщ в районе исследования велики, но диапазон распределения ограничен – в основном в центральной депрессии. Причина их образования связана с испарением в условиях аридного климата. Эвапоритовые толщи характеризуются хорошей экранирующей способностью, что оказывает значительное влияние на формирование залежей углеводородов в нижележащих песчаных породах.

## **Глава 4. Литолого-фациальные комплексы базальных отложений и обстановки их аккумуляции**

### ***4.1 Основные литолого-фациальные комплексы***

На процесс осадконакопления изученных отложений большое влияние оказали процессы затопления в условиях аридного климата. Исследования, проведенные в рамках данной работы, позволили выделить три литолого-фациальных комплекса и соответствующие им обстановки осадконакопления: пролювиальные конусы выноса, фан-дельты и песчаные бары.

В пролювиальных конусах выноса распространены конгломераты, песчанистые конгломераты, крупнозернистые песчаники, песчаники, красные глинистые породы и т.д. Присутствуют массивные текстуры и текстуры размывов. В составе песчаников 13,5-42,7% приходится на кварц, 15,6-36,2% на полевые шпаты и 31,7-65,1% на обломки пород. Размер гравийных и песчаных зерен варьирует от 0,01 до 3 мм (преобладающий – 0,2-2 мм). Отложения имеют плохую сортировку и низкую минералогическую зрелость и не могут рассматриваться в качестве хороших коллекторов.

В фан-дельтовых отложениях встречаются разнообразные типы горных пород: крупнозернистые, мелкозернистые песчаники и песчаники с прослоями серовато- и

коричневато-красных глинистых пород и т.д. Зачастую встречаются параллельная и косая слоистость и знаки ряби. Размерность большей части зерен концентрируется в интервале от 0,1 мм до 1 мм. В отложениях выделяются циклиты, внутри которых наблюдается уменьшение размера зерен вверх по разрезу, в подошве циклитов присутствуют конгломераты, крупнозернистые песчаники и др., в кровле – глинистые породы. Отложения фронтальной части фан-дельты отличаются высоким содержанием кварца (31,3-50,6%) и полевых шпатов (24,9-47,3%) по сравнению с содержанием обломков пород (8,3-28,3%), имеют высокую минералогическую зрелость и хорошую сортировку. Данные отложения могут служить отличными коллекторами нефти и газа в пределах изучаемой территории.

Материал, формирующий песчаные бары, в основном поступал из близлежащих песчаных тел фан-дельты. Размер зерен отложений песчаных баров средний, в основном это песчаники средне-мелкозернистые и алевролиты. Наблюдается высокое содержание кварца (39,4-65,2%) и полевых шпатов (24,9-45,1%), небольшое количество обломков пород (3,6-26,1%), минералогическая зрелость пород высокая. Для отложений песчаных баров характерны различные типы текстур (параллельная слоистость, биотурбация, знаки ряби). Размер зерен меняется от 0,01 мм до 0,25 мм. Отложения баров представлены циклитами обратной последовательности, местами встречаются нормальные циклиты.

#### ***4.2 Особенности пространственного распространения различных литолого-фациальных комплексов***

Множественные циклиты развиты в отложениях Кондьянь-1 и ярусов Шахэдие-4 (нижняя часть). В пределах одного циклита в разных областях бассейна были образованы различные типы отложений. Отложения пролювиальных конусов выноса и фан-дельт развиты в основном на пологой склоновой зоне бассейна, которые имеют более крупную зернистость в подошве циклитов, вверх по разрезу размерность зерен и мощность песчаных тел постепенно уменьшаются, в кровле циклита наблюдаются глинистые породы небольшой мощности. По направлению от краевой ко внутренней части бассейна мощность глинистых пород увеличивается, песчаных тел – уменьшается. Ближе ко внутренней части бассейна присутствуют песчаные бары, их формирование в основном контролируется волновой деятельностью и прибрежными течениями. Зернистость таких отложений относительно мелкая, мощность песчаных тел мала, они часто переслаиваются с эвапоритами и глинистыми породами. В центральной части впадины разрез в основном представлен переслаиванием глинистых пород и эвапоритов (рис. 3).

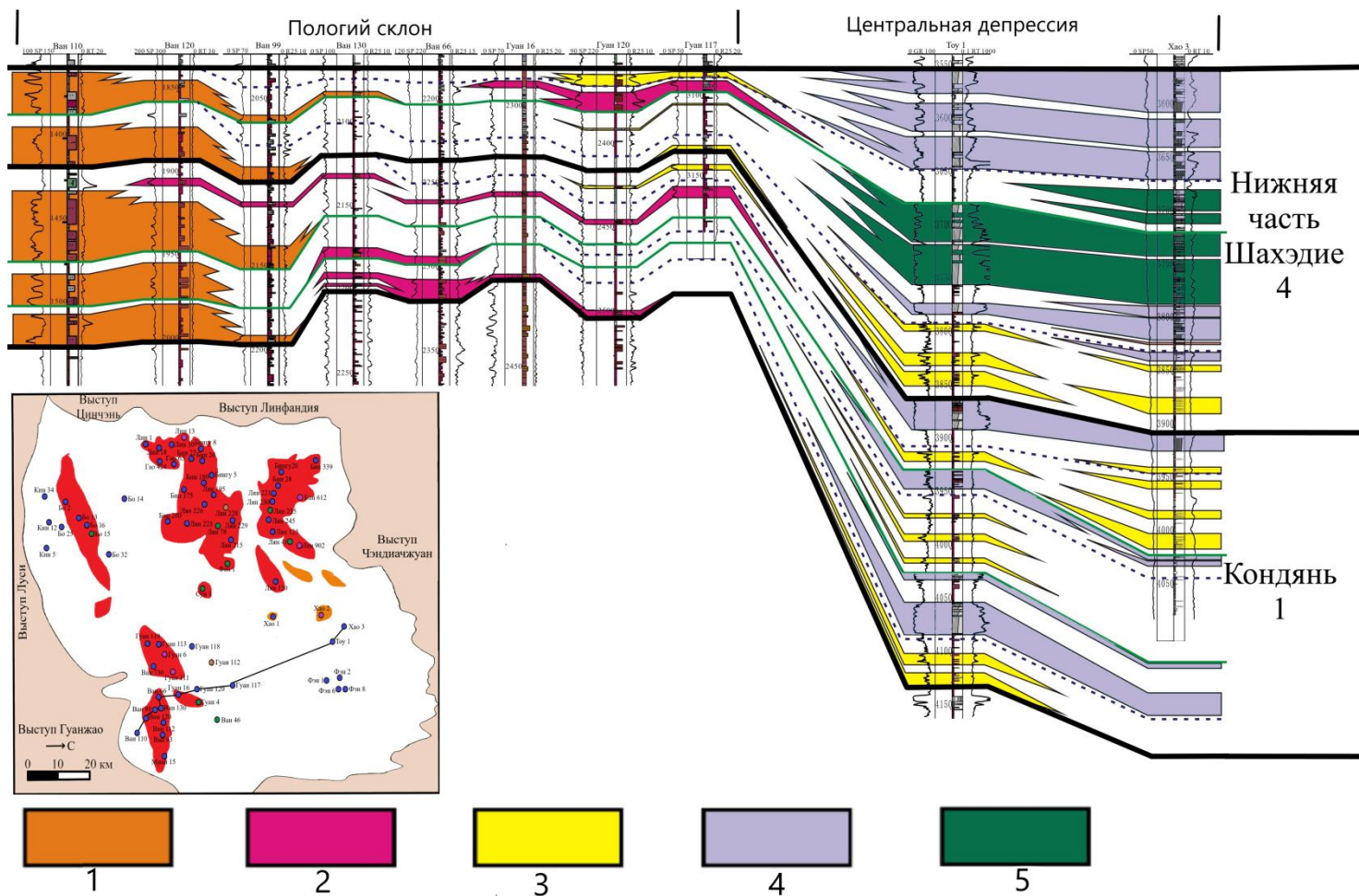


Рисунок 3. Фациальный разрез базальных отложений свит Кондянь-1 – нижняя часть Шахэдие-4  
 Условные обозначения: 1 – пролювиальные конусы выноса; 2 – фан-дельты; 3 – песчаные бары; 4 – переслаивания глинистых и эвапоритовых пород; 5 – эвапориты

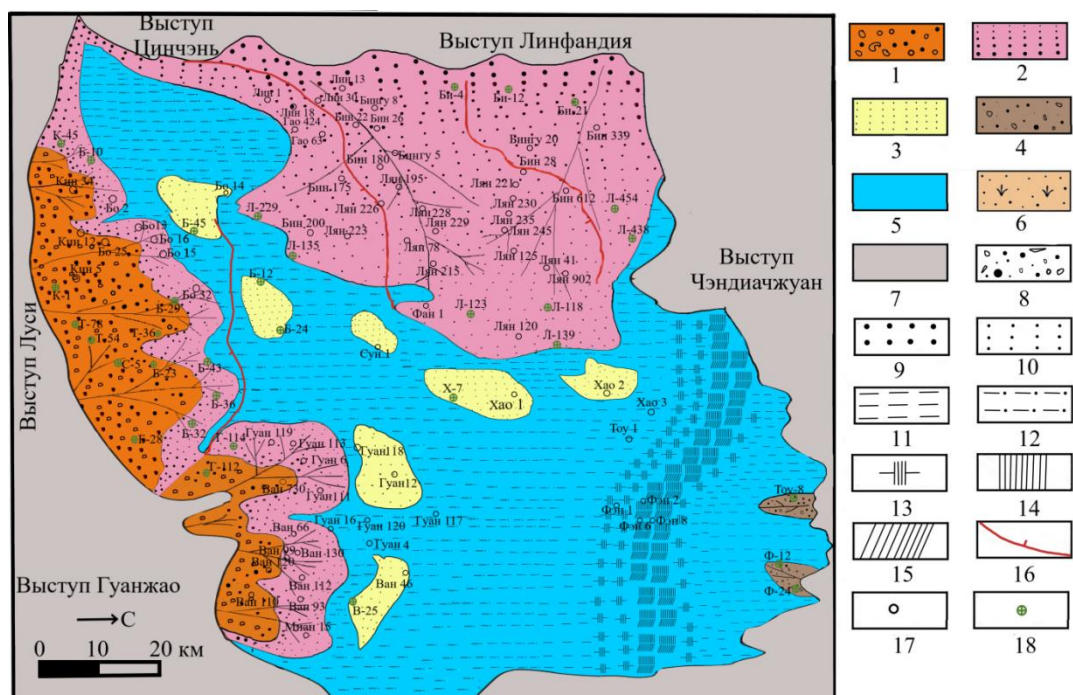


Рисунок 4. Схема литолого-фациального районирования базальных отложений свит Кондянь-1 – нижняя часть Шахэдие-4

Условные обозначения: 1 – пролювиальные конусы выноса; 2 – фан-дельты; 3 – песчаные бары; 4 – подводные конусы выноса; 5 – мелкое озеро; 6 – прибрежные равнины; 7 – выступы; 8 – гравелиты; 9 – песчаники; 10 – алевролиты; 11 – глинистые породы; 12 – глинистые песчаники; 13 – глинистые породы с содержанием эвапоритов; 14 – гипс; 15 – ангидриты; 16 – тектонические нарушения; 17 – фактические данные по скважине; 18 – литературные данные по скважине

### 4.3 Литолого-фациальное районирование

Во время накопления изучаемых отложений в регионе существовали три основные области сноса, которые обеспечивали поступление обломочного материала в район пояса пологих склонов: Линфандия, Цинчэнь на западе, поднятие Гуанжао на юго-востоке и поднятие Луси на юго-западе. Разломная активность в южной части поднятий Луси и Гуанжао выражена слабо, устойчивые водоемы не развиты. На юге образовалась масштабная область накопления отложений пролювиальных конусов выноса. Перед пролювиальным конусом выноса развит участок развития фан-дельтовых отложений. Ширина пояса пологих склонов на северо-западе способствовала тому, что при входе водотока в котловину поток резко расширялся и на большой площади растекался вперед, образуя веерообразное дельтовое осадочное тело. Вблизи фан-дельты деятельностью волн и прибрежных течений были образованы изолированные и рассеянные баровые песчаные отложения вдоль береговой линии озера. В центре озерной котловины накопились глинистые породы и эвапориты, образование эвапоритов связано с испарением (рис. 4).

#### 4.4 Модель седиментации

На основе анализа каротажных, сейсмических, геохимических данных и кернового материала, в сочетании с анализом палеогеоморфологических и осадочных особенностей, создана модель седиментации базальных красноцветных отложений.

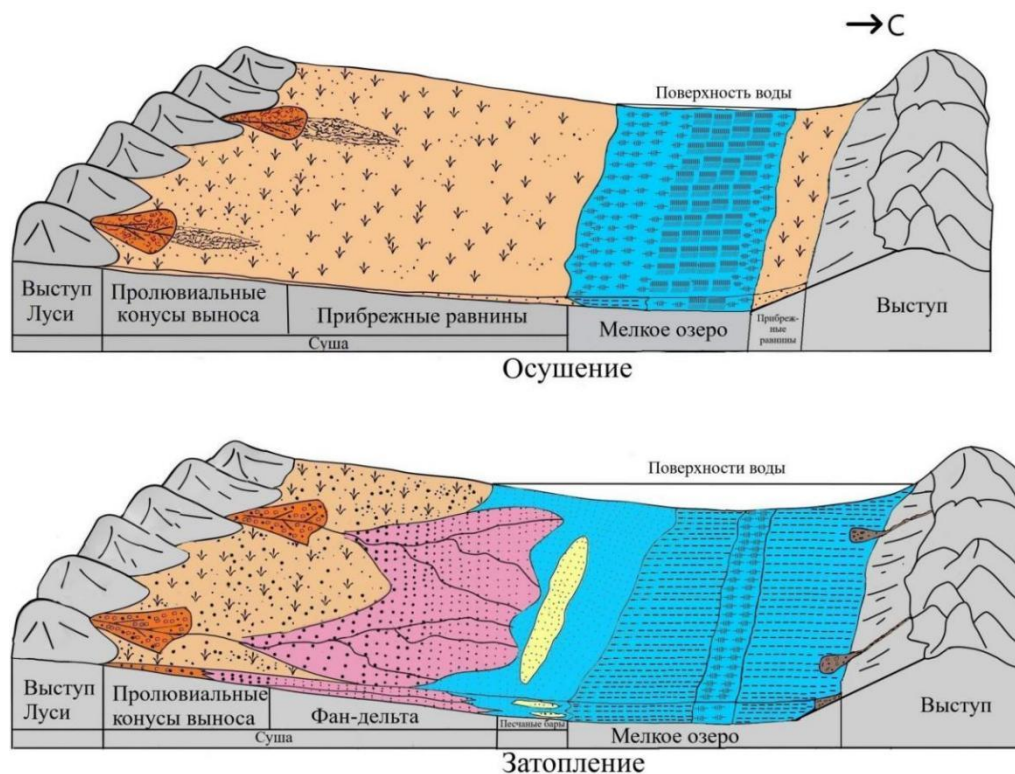


Рисунок 5. Седиментационная модель базальных отложений свит

Кондянь-1 – нижняя часть Шахэдие-4. Условные обозначения см. на рисунке 4

В период накопления отложений свит Кондянь-1 и нижней части Шахэдие-4 на площадь и глубину водоема в основном влияли процессы затопления. Ветры, которые дули в разных направлениях, удаляли с горных склонов тонкий глинистый и мелкоалевритовый материал. Во время повышения уровня воды на равнину помимо зерен кварца и полевых шпатов перемещались фрагменты почвы, своего рода дебрис-флоу (потоки обломков). Уровень воды в озере быстро поднимался, потоки воды несли большое количество терригенного материала, этот своеобразный набор частиц отличался слабой степенью окатанности и сортировки, он накапливался в зоне пологого склона впадины. На периферии зоны пологого склона откладывалось большое количество отложений пролувиальных конусов выноса, а внутри этой зоны развивались крупномасштабные фан-дельтовые отложения. Песчаные бары, образованные волновой деятельностью и озерными течениями, были изолированы и разбросаны по мелководью. Лишь в периоды самых сильных затоплений,

случавшихся очень редко, содержание сульфат ионов в воде значительно снижалось и поверхность фан-дельт покрывалась травянистой растительностью, о чем свидетельствуют отдельные углефицированные фрагменты гумусового облика, встречающиеся в породах.

Периодически объем воды в озере стремительно сокращался под воздействием испарения, уровень воды быстро падал, и песчаные отложения зоны пологого склона во время осушения оказывались выведенными над поверхностью воды, что привело к окислению. В условиях практически полного отсутствия реакционноспособного органического вещества (ОВ) железо находилось в форме оксидов и оксигидратов. Очевидно, что климатические условия предопределили облик исследуемых пород, обусловив пеструю окраску отложений с преобладанием красного цвета. В период осушения из-за меньшего сноса, только отложения пролювиальных конусов выноса формировались на краю бассейна, в это время в центре озера вода имела высокую соленость, что привело к образованию большого количества эвапоритов при последующих этапах испарения (рис. 5).

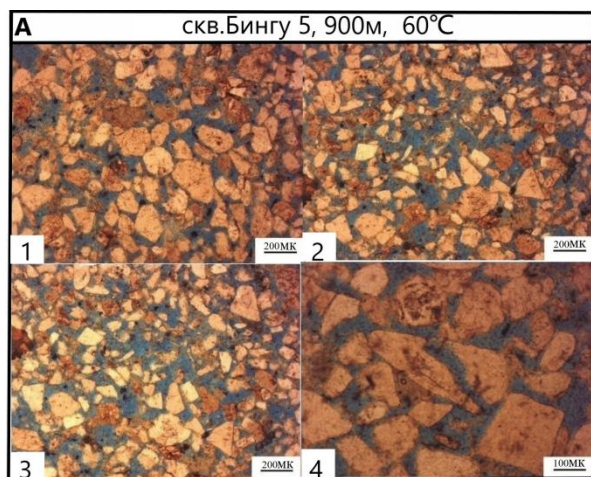
## **Глава 5. Постседиментационные преобразования песчаных коллекторов базальных отложений**

### ***5.1 Постседиментационные процессы***

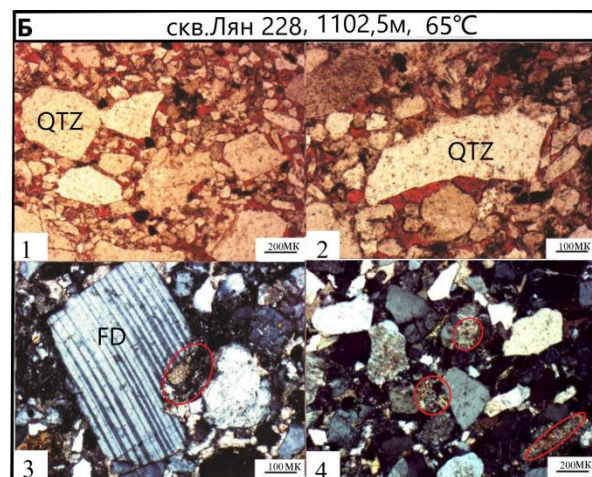
Базальные отложения во впадине Цзиян залегают на больших глубинах и в значительной степени подверглись постседиментационным преобразованиям, таким как уплотнение, цементация, образование новых минералов, перекристаллизация, метасоматоз, растворение и коррозия кварца, полевых шпатов, цементов, регенерация кварца и т. д.

### ***5.2 Стадийность вторичных преобразований***

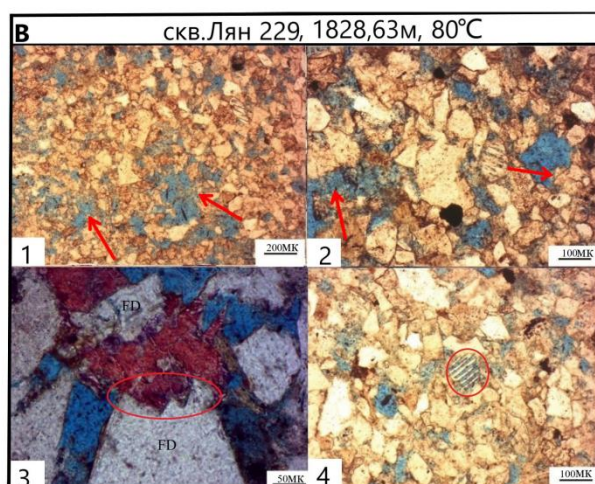
Изученные отложения по степени преобразованности находятся на стадиях протокатагенеза (градации ПК<sub>1</sub>-ПК<sub>3</sub>) и мезокатагенеза (градации МК<sub>1</sub>-МК<sub>3</sub>). При глубине залегания менее 1000 метров основное влияние на ФЕС коллекторов оказывает уплотнение и дренирование. В таких отложениях преобладающим типом пустот являются первичные поры (рис. 6, А). С увеличением глубины залегания появляется большое количество карбонатных, кремнистых цементов (рис. 6,Б). При глубине залегания более 1500 м и палеотемпературах выше 75°C разложение органического вещества становилось более интенсивным, кислотность пластовой воды продолжала увеличиваться, полевые шпаты и ранние цементы могли быть



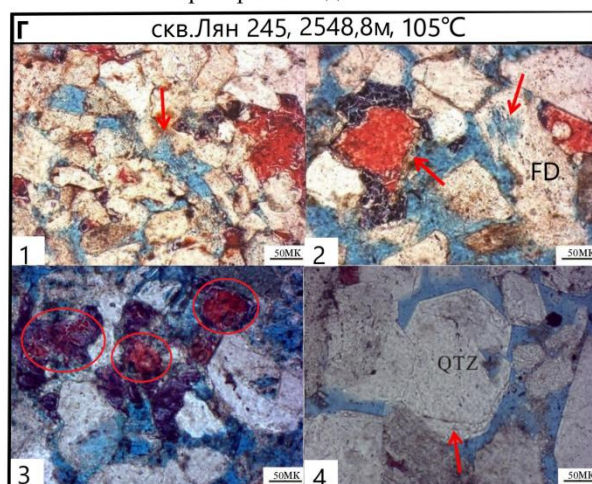
1,2,3,4 – песчаники с преобладанием первичных пор в структуре пустотного пространства



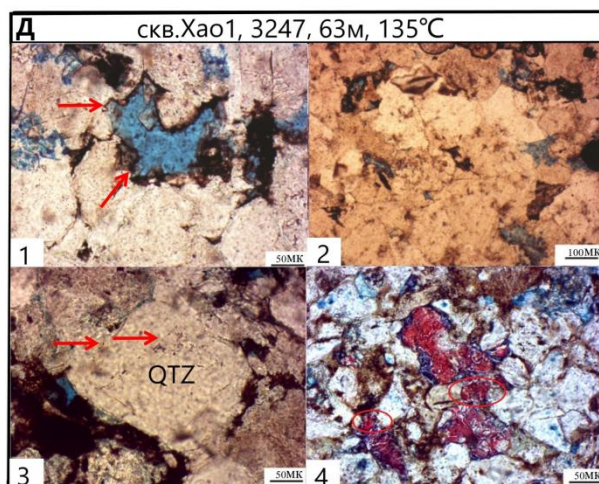
1,2 – карбонатный цемент: заполнение порового пространства кальцитом; 3 – замещение полевого шпата доломитом; 4 – заполнение порового пространства доломитом



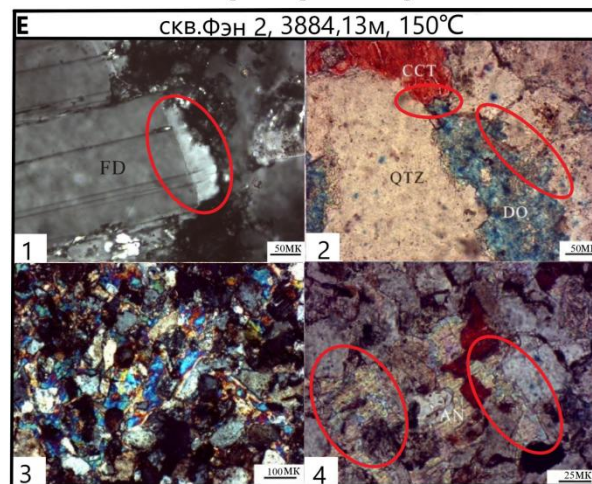
1,2,4 – поры растворения в полевых шпатах; 3 – замещение полевых шпатов кальцитом



1, 2 – поры растворения в полевых шпатах и кальците; 3 – карбонатный цемент: феррокальцит; 4 – регенерация кварца



1 – поры растворения в полевых шпатах; 2 – сильное уплотнение; 3 – многоступенчатая регенерация кварца; 4 – замещение полевого шпата анкеритом



1 – регенерация полевого шпата; 2 – замещение кальцита и полевого шпата анкеритом; 3 – гипсовый цемент; 4 – замещение полевого шпата гипсом

*Рисунок 6. Стадийность вторичных преобразований песчаников базальных отложений свит Кондянь-1 – нижняя часть Шахэдие-4 (QTZ- кварц, FD-полевой шпат, ДО-доломит, ССТ-кальцит)*



растворены, вследствие чего образовались вторичные поры (рис. 6, В). При глубине залегания от 2000 до 2700 м в песчаных породах присутствуют в большом количестве как первичные, так и вторичные поры. Ранние цементы, кальцитовый и доломитовый, также были растворены или постепенно превращены в более поздние – феррокальцитовый и анкеритовый. Также широко распространена регенерация кварца (рис. 6, Г). При глубине залегания свыше 2700 м, при палеотемпературах в пределах 130°C-190°C, пустотное пространство песчаных пород в основном представлено вторичными порами. Процессы цементации и уплотнения оказали значительное воздействие на породу: ранние поры растворения могут быть заполнены поздними цементами, частицы находятся в линейном и вогнуто-выпуклом контакте, встречаются вторичная или даже третичная регенерация кварца (рис. 6, Д). При глубинах залегания более 3000 метров гипсовые и ангидритовые цементы появляются в больших количествах, наблюдается регенерация полевых шпатов (рис. 6, Е).

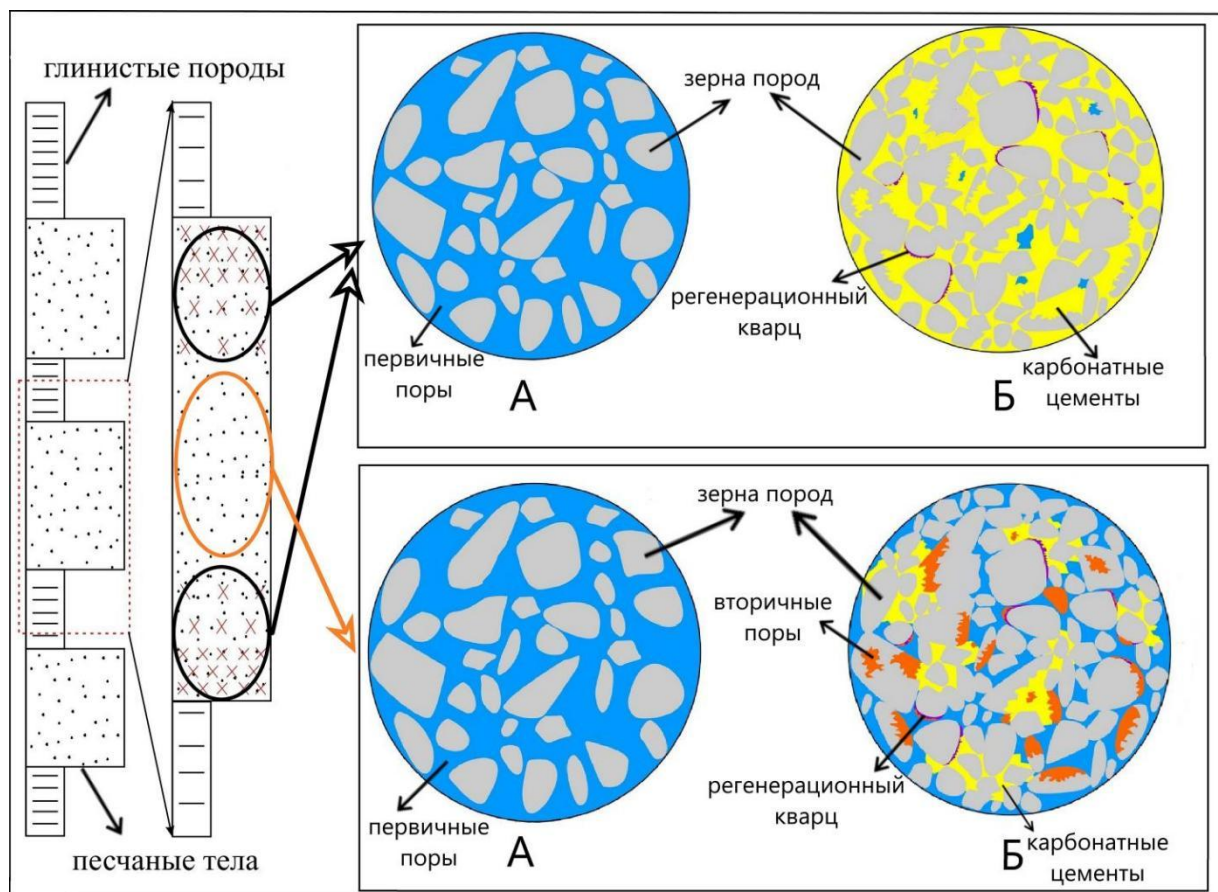
### ***5.3. Влияние постседиментационных процессов на формирование коллекторских свойств песчаных тел***

Базальные отложения Кондянь-1 и нижней части Шахэдие-4 в районе исследований в основном представляют собой переслаивание песчаных тел и глинистых пород. Литологические особенности отложений, а также мощность коллекторских прослоев оказали большое влияние на протекание различных постседиментационных процессов. Карбонаты в процессе диагенеза растворялись и с пластовой водой поступали в песчаные тела, в результате чего в этих песчаных телах происходило отложение карбонатных минералов, заполняющих поры. Постоянное уплотнение сопровождалось оттоком пластовой воды из глинистых отложений и большое количество катионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  вместе с водой поступало в песчаные тела из вмещающих глинистых пород, что привело к плотной цементации верхней и нижней частей этих песчаных тел. Концентрированность щелочной пластовой воды уменьшалась от края песчаного тела к его внутренней части, в результате чего мы видим в пределах одного мощного песчаного тела наилучшие коллекторские свойства в средней части и постепенное их ухудшение к краям (рис. 7). Если при большой мощности в середине песчаного тела еще сохраняется большое количество первичных пор, то при небольшой – порода оказывается полностью сцементирована.

При достижении значений пластовых температур более 75°C происходит активное преобразование органического вещества с выделением большого количества кислых веществ (органических кислот и фенолов), которые могут служить катализатором процессов вторичного порообразования (см. рис. 7). Для активации данного процесса необходимо наличие разрывных нарушений, выступающих в роли каналов миграции от нефтематеринской породы к коллектору. Для того чтобы

постседиментационные процессы в пределах песчаных тел получили широкое распространение и привели к положительным преобразованиям потенциальных коллекторов, необходимо соблюдение двух условий: 1) относительно большая мощность песчаного тела; 2) наличие крупных разрывных нарушений, соединяющих песчаные тела и нефтематеринские породы.

Песчаные тела отложений фронтальной части фан-дельты, распределенные в зоне пологого склона юго-восточной части впадины Цзиян, имеют одновременно большую мощность и сообщение с нефтематеринскими толщами через крупные разломы. Эти отложения характеризуются сохранением в ходе постседиментационных процессов большой доли первичной пористости и развитием большого количества вторичных пор. Зона пологого склона, где распространены отложения фронтальной части фан-дельты, может быть использована в качестве целевого объекта будущих разведочных работ.



*Рисунок 7. Модель преобразования песчаных тел базальных отложений Кондянь-1 – нижняя часть Шахэдие-4: А – до вторичного преобразования; Б – после вторичного преобразования*

## **Глава 6. Оценка коллекторских свойств песчаников базальных отложений**

### ***6.1 Пустотные пространства песчаных коллекторов***

Пустотное пространство коллекторов базальных отложений в основном состоит из пор и трещин. Поры представлены несколькими типами: первичные, вторичные и смешанные. Вторичные поры в основном образуются за счет растворения и коррозии кварца, полевых шпатов, обломков пород и цемента. Пустотное пространство песчаных коллекторов в районе исследования представлено не одним преобладающим типом пор, а несколькими, существующими в различных комбинациях. Наиболее распространенным является сочетание межзерновых пор и пор растворения минералов.

### ***6.2 Фильтрационно-емкостные свойства песчаных коллекторов***

В выборке образцов интервала разреза Кондянь-1 и нижняя часть Шахэдие-4 наиболее высокие значения пористости и проницаемости отмечаются в фан-дельтовых отложениях. Значения пористости песчаников в фан-дельтовых отложениях варьируют в широком диапазоне от 2 до 38% (среднее 20,9%), что касается проницаемости, то ее значения концентрируются в диапазоне от 5 до  $500 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. В фан-дельтовых отложениях наилучшими ФЕС обладают породы её фронтальной части (подводная часть), 90% образцов имеют пористость выше 20 % и проницаемость более  $10 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Отложения фаций песчаных баров обладают средне-высокой пористостью – для большей части выборки значения пористости составляют от 2 до 28% (среднее 15,8%). Значения проницаемости в основном меняются от 1 до  $100 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Отложения пролювиальных конусов выноса характеризуются более низкими ФЕС, их пористость в основном колеблется от 6% до 15%, со средним значением 9,8%, проницаемость – в пределах  $0,1-10 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Для базальных песчаных отложений Кондянь-1 и нижней части Шахэдие-4 в юго-восточной части впадины Цзиян характерна тенденция к ухудшению ФЕС при увеличении глубины, однако имеется несколько зон улучшения ФЕС: 1800-2200 м, 2700-3200 м, 3500-3800 м. Наличие этих зон связано с широким развитием процессов растворения полевых шпатов, кварца и карбонатного цемента.

### ***6.3 Прогноз пространственного распределения коллекторов***

Прогноз распространения песчаных коллекторов различного качества осуществляется на основе литофациального районирования с учетом постседиментационных преобразований. По итогам работы песчаные коллекторы были разделены на четыре типа (рис. 8). К лучшим песчаным коллекторам, выделенным как первый тип, на изучаемом участке относятся отложения подводных

каналов, склона, устьевых и приустьевых баров фронтальной части фан-дельты. Размер зерен песчаников от среднего до мелкого, характерны хорошая сортировка и высокая степень зрелости. При погружении толщи процессы уплотнения и цементации были умеренными, при этом растворение минералов проявилось в достаточно большом объеме, что способствовало, с одной стороны, одновременному сохранению большого количества первичных пор, с другой – развитию вторичной пористости. Значение пористости таких коллекторов превышает 20%, проницаемости – более  $10 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>.

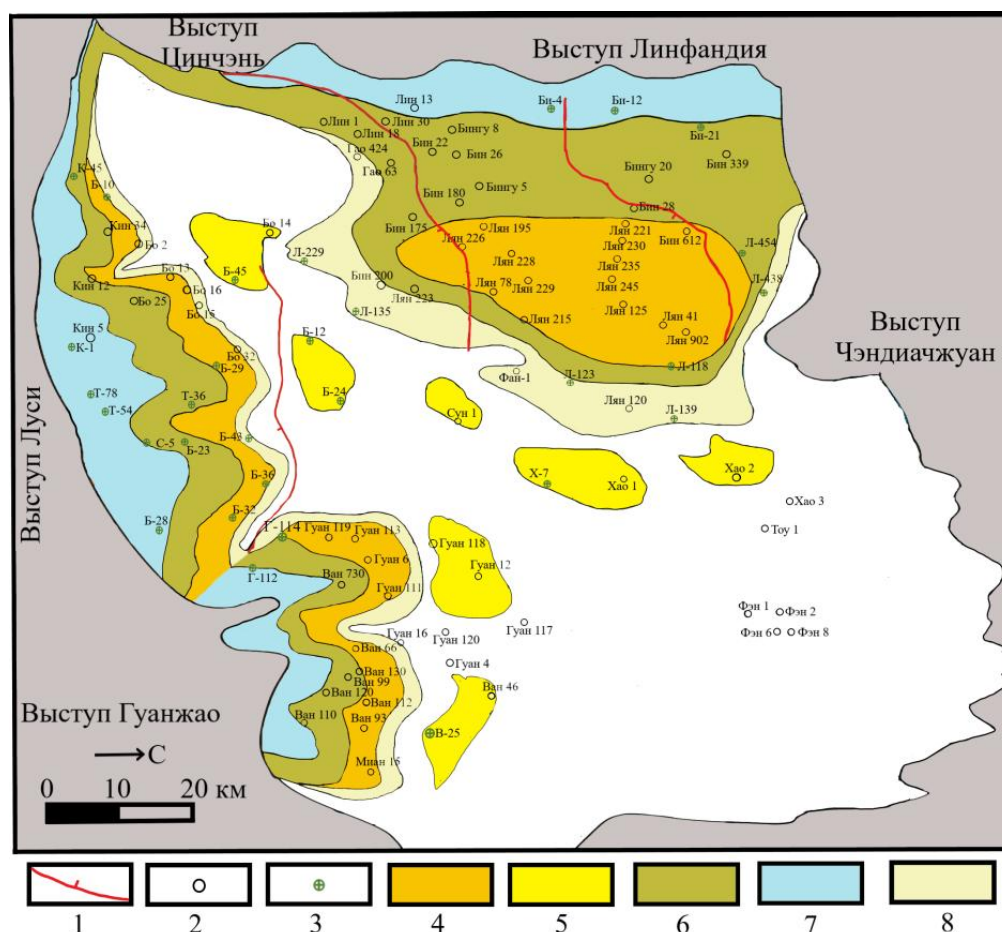


Рисунок 8. Схема относительного качества песчаных коллекторов интервала Кондянь-1 – нижняя часть Шахэдие-4

Условные обозначения: 1 - тектонические нарушения; 2 - фактические данные по скважине, 3 - литературные данные по скважине; 4 – хорошие коллекторы; 5 – средне-хорошие коллекторы; 6 – средние коллекторы; 7 – плохие коллекторы; 8 – неколлектор

Ко второму типу коллекторов были отнесены мелководные баровые песчаные тела. Они имеют отличную сортировку, минералогическую и структурную зрелость. Однако, из-за близости к центру впадины, коллекторы этого типа подверглись сильному уплотнению и цементации. Помимо этого, данные отложения

характеризуются незначительной мощностью и слабым проявлением в них процессов вторичного порообразования. В связи с вышеперечисленными особенностями данный тип коллекторов уступает по своим ФЕС первому: значения пористости варьируют от 10% до 20%, проницаемости – от 1 до  $100 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>.

Третий тип коллекторов – это русла рукавов, прирусловые бары или валы, распределенные в надводной части фан-дельтовой равнины. Осадки в этом районе выносились в периоды повышения уровня воды, были менее отсортированы и менее зрелы. В седиментогенезе не было образовано большого количества первичных пор. Поступление кислых веществ в области распространения данных отложений протекало неактивно, в связи с чем песчаники являются плохопреобразованными. Пористость от 10% до 15%, проницаемость изменяется от 1 до  $10 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>.

Песчаные тела проксимальной части пролювиального конуса выноса, расположенные на краю впадины, отличаются самыми плохими коллекторскими свойствами из-за плохой сортировки и малой зрелости. Характерные значения пористости и проницаемости для данного типа коллекторов составляют менее 10% и менее  $1 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> соответственно.

Для отложений в наиболее удаленной части фан-дельты (продельты), где в условиях пониженной гидродинамики происходило отложение тонкой фракции осадочного материала, характерны тонкозернистые илистые осадки (алеуриты и глины), что делает невозможным выделение этих отложений в качестве эффективных коллекторов.

### **Заключение**

В связи с достаточно хорошей степенью разведанности неглубоких пластов и их высокими показателями добычи в юго-восточной части впадины Цзиян, глубокозалегающие коллекторы нижнего эоцена становятся ценными объектами, способными обеспечить прирост запасов углеводородов в пределах области исследований. В ближайшее время нижнеэоценовые базальные отложения могут стать одним из основных объектов добычи нефти и газа в бассейне Бохайвань.

Песчаники в пределах района исследований представлены аркозами, кварц-полевошпатовыми и полевошпатово-кварцевыми граувакками. ФЕС песчаников в районе исследования определяются преимущественно наличием пор и трещин различного генезиса. Основой для прогноза качества песчаных коллекторов являются литолого-фациальное районирование и интерпретация данных ГИС с применением фациального анализа. На процесс седиментации в районе исследований большое влияние оказали процессы затопления, разнообразие фациальных условий обусловило наличие различных литолого-фациальных комплексов в пределах толщи нижнеэоценовых отложений (пролювиальных, фан-дельтовых и песчано-баровых),

предопределивших широкое распространение песчаных тел на пологом склоне и эвапоритов в центральной части района исследования. Среди них песчаники подводных русел, склона, устьевых и приустьевых баров, расположенные во фронтальной части фан-дельты отличаются высокой минералогической и структурной зрелостью и хорошей сортировкой.

Анализ влияния постседиментационных процессов на формирование коллекторов является ключом к уточнению прогноза качества песчаных коллекторов. Растворение карбонатных и кремнистых скелетов донных организмов, населявших области развития фан-дельтовых отложений, привело к заполнению крупных пор карбонатными и кремнистыми цементами. Активная цементация происходила в основном в нижних и в верхних частях песчаных тел, которые контактировали с карбонатно-глинистыми прослоями. В процессе увеличения глубины залегания большое количество органического вещества в нефтематеринских породах разлагалось с образованием кислых веществ, которые по разрывным нарушениям попадали в песчаные тела, образуя вторичные поры и улучшая коллекторские свойства песчаников.

На основе результатов анализа седиментационных процессов и постседиментационных преобразований песчаников базальных отложений был выполнен прогноз распространения песчаных коллекторов различного качества. Песчаные тела подводных каналов, склона, устьевых, приустьевых баров фронтальной части фан-дельты с пористостью более 20% и проницаемостью более  $10 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> выделены в качестве наиболее перспективных коллекторов в районе исследования.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Статьи, опубликованные в журналах Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защит в диссертационном совете МГУ по специальности 1.6.11.**

1. Ян Я, Конюхов А.И. Литологическая характеристика и коллекторские свойства песчаников базальных отложений нижнего эоцена юго-восточной части впадины Цзиян, бассейн Бохайвань, КНР // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2022. — № 1 (361). — С. 22-27. (авторский вклад – 80%). Импакт-фактор по РИНЦ, 2021: 0,391.

2. Ya Yang. Reservoir characteristics and controlling factors of the Lower paleogene sandstones in the southeast part of Jiyang Sag, BohaiBay Basin, China // AEJ - Alexandria Engineering Journal, издательство Alexandria University (Egypt). — 2022. — Т. 61. — № 12. — С. 10277-10282. (авторский вклад – 100%). Импакт-фактор по WoS: 2021: 6,626.

3. Ya Yang. Study on Sedimentary Facies of the Lower Eocene Basal Deposits in the Southeastern Part of the Jiyang Depression, Bohai Bay Basin, China // Mobile Information Systems. — 2022. — Т. 2022. — С. 1-8. (авторский вклад – 100%). Импакт-фактор по WoS: 2021: 1,863.

### **Статьи, опубликованные в журналах ВАК**

1. Ян Я. Диагенетические и катагенетические преобразования песчаников базальных отложений нижнего эоцена юго-восточной части впадины Цзиян (бассейн Бохайвань, Китайская Народная Республика) // Территория нефтегаз. — 2021. — № 9-10, — С. 38-42.

2. Ян Я, Сяо Дичан. Особенности формирования залежей нефти и газа в базальных отложениях нижнего эоцена юго-восточной части впадины Цзиян (бассейн Бохайвань, Китайская Народная Республика) // Территория нефтегаз. — 2021. — № 7-8. — С. 30-35.

### **Иные научные публикации:**

1. Ян Я. Анализ литолого-фациальных комплексов в красноцветных отложениях нижнего эоцена впадины Цзиян, Бохайский залив, КНР // Новые идеи в науках о Земле. Материалы XV Международной научно-практической конференции. — Т. 1 — Электронная библиотека научных публикаций (РИНЦ) МГРИ-РГГРУ, Москва, 2021. — С. 192-194.

2. Ян Я. Анализ факторов, влияющих на коллекторские свойства песчаников красноцветных отложений нижнего эоцена впадины Цзиян, бассейн Бохайского залива, КНР // Сборник тезисов 75-й Международной Молодежной Научной Конференции «Нефть и газ - 2021». — Т. 1. — Москва, 2021. — С. 118-119.

3. Ян Я, Конюхов А.И. Литологическая характеристика песчаников в красноцветных отложениях нижнего эоцена впадины Цзиян, бассейн Бохайского залива, КНР // Сборник тезисов докладов Ломоносовские чтения 2021 года. Секция Геология, Подсекция Геологии и геохимии горючих полезных ископаемых. — Т. 1. — МГУ, Москва, 2021. — С. 34-35.

4. Ян Я, Конюхов А.И. Коллекторские свойства песчаников в красноцветных отложениях нижнего эоцена впадины Цзиян, Бохайский залив, КНР. Сборник тезисов докладов GEOEurasia 2021. — Т. 2. — Москва, 2021. — С. 257-259.