

УДК 553.98:552.5:551.3
DOI 10.56525/UWAL2210

ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ И МИНЕРАЛОГО-ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЮРСКИХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНЫЙ ЖЕТЫБАЙ

Джайкиева С.С.

Филиал ТОО «КМГ ИНЖИНИРИНГ» «КазНИПИМунайгаз», Актау, Казахстан
e-mail: s.jaikiyeva@kmge.kz

Аннотация. В статье исследована вертикальная изменчивость продуктивных горизонтов юрских отложений месторождения Южный Жетыбай и установлены закономерности формирования их фильтрационно-емкостных свойств. На основе комплексного седиментологического, петрографического, минералогического и электронно-микроскопического (СЭМ) изучения кернового материала выявлена взаимосвязь между литофациальными особенностями пород, степенью их петрографической зрелости, вторичными катагенетическими преобразованиями и характером пустотного пространства.

В разрезе юрских отложений выделены 24 фации, объединенные в ряд фациальных ассоциаций, отражающих смену палеосред осадконакопления. Установлено, что коллекторские свойства пород определяются не только первичными седиментационными особенностями, но и последующими литогенетическими преобразованиями, включая уплотнение, изменение характера контактов между зернами, цементацию и перераспределение порового пространства. Показано преобладание в составе обломочной части кварца, полевых шпатов, обломков пород и слюд при низкой и средней степени сортировки и преимущественно угловатой–полуокатанных форме зерен.

Научная новизна исследования заключается в установлении закономерной связи между фациальной архитектурой юрских отложений, степенью зрелости зернового каркаса, характером катагенетических преобразований и формированием фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов. Выявленные закономерности позволяют уточнить условия формирования и пространственную неоднородность продуктивных горизонтов месторождения Южный Жетыбай и могут быть использованы при прогнозировании качества коллекторов и совершенствовании геолого-гидродинамических моделей залежей.

Ключевые слова: Южный Жетыбай, юрские отложения, породы-коллекторы, седиментогенез, гранулометрический состав, пористость, проницаемость, каолинит, карбонатизация, фронт дельты, биотурбация, сканирующая электронная микроскопия.

Введение

Эффективное прогнозирование емкостно-фильтрационных свойств (ЕФС) терригенных разрезов Южно-Мангышлакской нефтегазоносной области невозможно без детального понимания вещественного состава пород. Продуктивный юрский комплекс месторождения Южный Жетыбай характеризуется высокой макро- и микронеоднородностью, обусловленной циклической сменой обстановок седиментации. Настоящая работа посвящена комплексному анализу гранулометрического состава, карбонатности, минералогии каркаса, структуры аутигенного цемента и архитектоники пустотного пространства пород для выявления закономерностей формирования природных резервуаров.

Материалы и методы

Основой исследования послужили результаты макроописания керна, лабораторных анализов фракционного состава, карбонатности, шлифовой минералогии, ФЕС и результатов сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). По результатам седиментологического анализа в керне выделены 24 фации, объединённые в несколько фациальных ассоциаций, хорошо сопоставимые с региональными данными по Жетыбай-Узеньской ступени.

Сводная последовательность отложений и их седиментологическая привязка к каротажным диаграммам ГИС (гамма-каротаж GR) приведены на обобщающей схеме (рис. 5). Вертикальная смена фаций отражает направленную трансгрессивно-регрессивную эволюцию осадконакопления от континентальных к прибрежно-морским условиям:

Горизонты Ю-ХIII – Ю-Х: континентальная аллювиальная равнина с доминированием рек с разветвленными руслами (рис. 1, рис. 5). Характерная трехмерная архитектура представлена на блок-диаграмме концептуальной модели (рис.1), демонстрирующей распределение активных русел, боковых баров и пойменных комплексов.

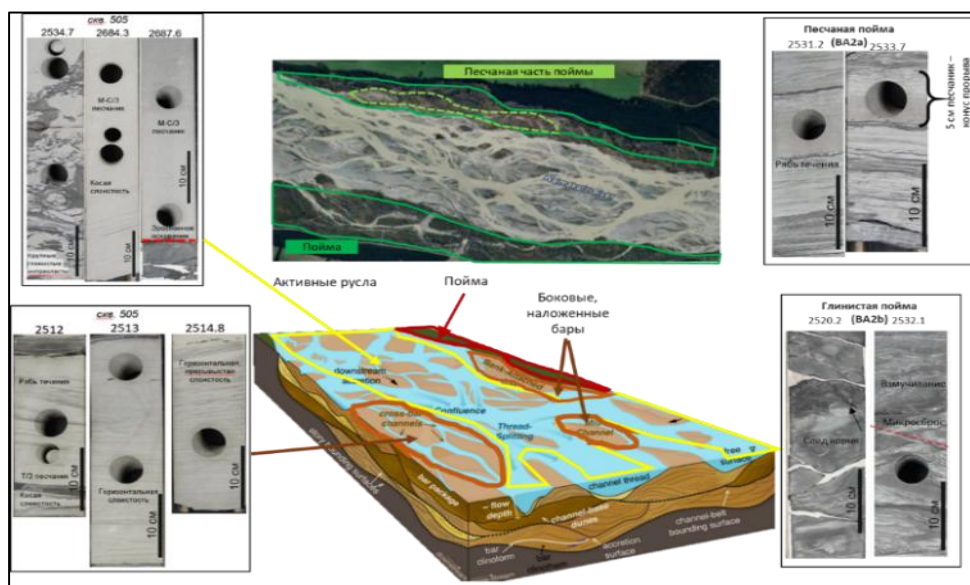


Рисунок 2. Концептуальная модель аллювиальной равнины с разветвлёнными руслами

Горизонты Ю-IX – Ю-VI: прибрежная дельтовая равнина (рис. 2, рис. 5). Блок-диаграмма концептуальной модели (рис. 2) характеризует закономерное сочетание фаций прирусловых валов, торфяных болот с углистыми пачками и межрусловых заливов.

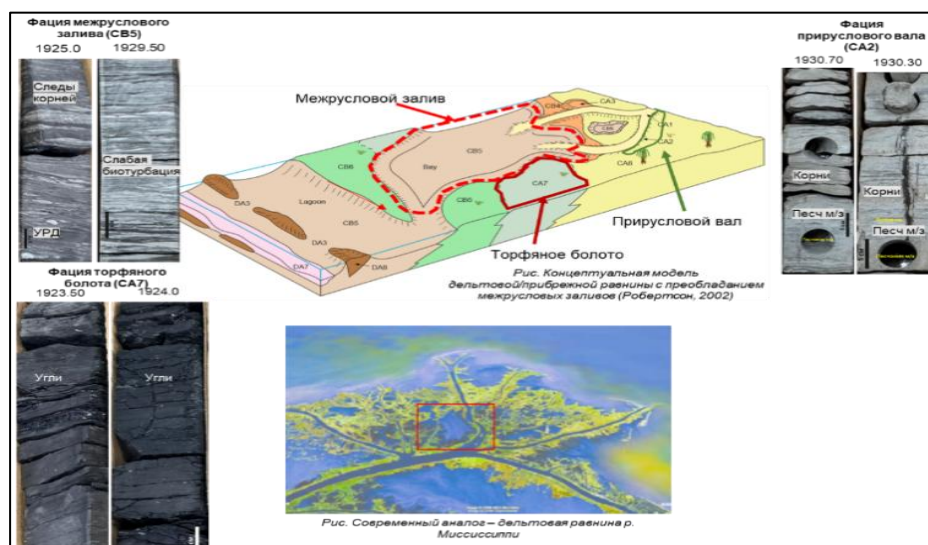


Рисунок 3. Концептуальная модель дельтовой / прибрежно-дельтовой равнины с болотами и заливами

Горизонты Ю-V' – Ю-ПБ: прибрежно-морские условия фронта дельты (авандельты) и эстуариев врезанных долин (рис. 3, рис. 5). Сложнопостроенная архитектура приливно-отливных баров и каналов отражена на моделях (рис. 3), а детальная латеральная зональность авандельты приведена на модели фронта дельты (рис. 4) от каналов до продельты.

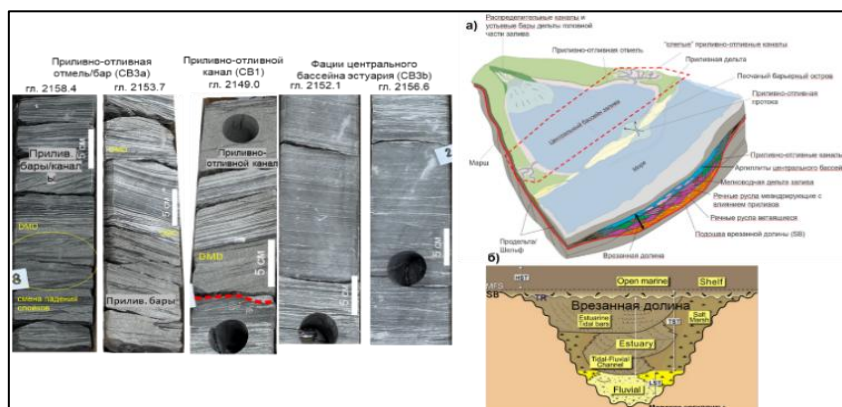


Рисунок 3. Концептуальные модели эстуарийной системы и фронта дельты врезанных долин

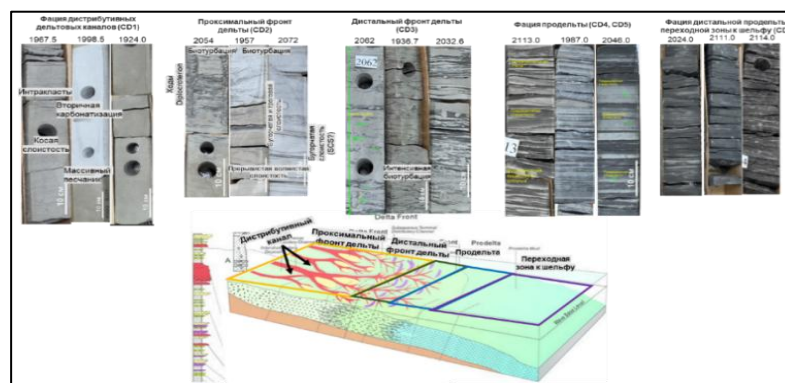


Рисунок 4. Концептуальная модель фронта дельты

Горизонт Ю-ПА2: прибрежная дельтовая равнина (рис. 5). Завершает разрез регрессивным циклом с возвратом углистых прослоев и песчано-алевритовых пачек смешанного типа.

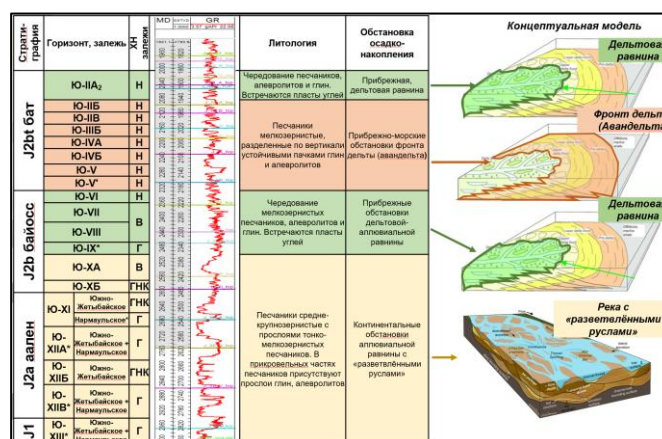


Рисунок 5. Концептуальная седиментологическая модель

Результаты

По результатам детального петрографического анализа установлено, что в составе обломочной части исследуемых пород повсеместно преобладают зёрна кварца, полевых шпатов, обломки пород и слюд. Форма кластических зерен варьирует от угловатой до полуокатанной при низкой и средней степени сортировки обломочного материала. Внутренняя геометрия каркаса сформирована преимущественно под воздействием гравитационного уплотнения: типы контактов зерен фиксируются в основном как линейные, реже точечные.

В породах регулярно наблюдаются тонко рассеянный растительный детрит и включения пирита в виде сыпи, конкреций и глобулей (рис. 7), что однозначно свидетельствует о седиментационно-диагенетическом генезисе в застойных восстановительных условиях дельты.

Верхний и средний комплексы (Горизонты Ю-II – Ю-V и Ю-IX – Ю-X)

По вещественному составу обломочного материала данные породы-коллекторы классифицируются как полимиктовые. Чистые разности в изученных пачках практически отсутствуют, доминируют смешанные алевропсаммитовые, псаммоалевритовые и пелитоалевритовые структуры. На микроструктурном уровне типичным представителем является средне-мелкозернистый песчаник горизонта Ю-5 (рис. 6): кварц: 30–60%, полевые шпаты: 10–25%, обломки пород: 15–40%, слюды: до 5%.

Как видно на петрографических снимках (рис. 6), порода сложена полуокатанными и угловатыми обломками с развитым межзерновым пространством, которое частично заполнено дисперсным глинистым цементом. На отдельных участках в дистрибутивных каналах фиксируется выраженная вторичная карбонатизация.

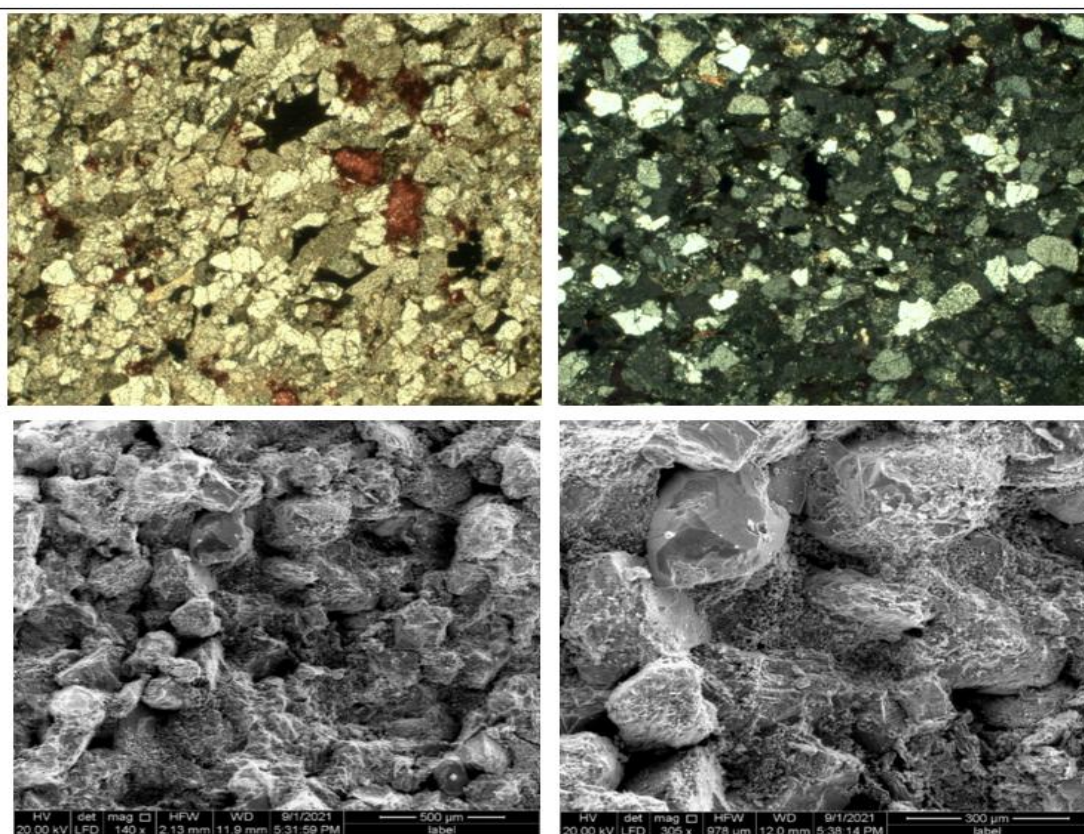


Рисунок 6. Песчаник средне-мелкозернистый. Скважина XX, глубина 2086,77 м, Ю-5 горизонт

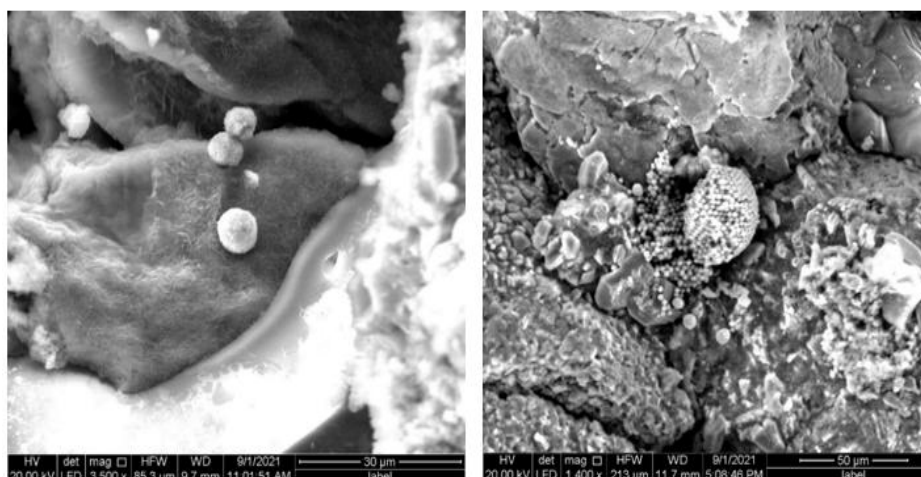


Рисунок 7. Глобулы пирита. Скважина УУ и ХХ, глубина 2035,55 м и 2086,77 м

Базальный комплекс (Горизонты Ю–XI – Ю–XIII)

В минералогическом отношении коллекторы базальных горизонтов сложены преимущественно кварцевым компонентом и являются преимущественно олигомиктовыми. Они представлены поровыми песчаниками (кварц – 60–70%, полевые шпаты – 25–40%, обломки – 5–20%), с которыми связана основная промышленная продуктивность разреза.

Обсуждение

Количественные данные лабораторных исследований фракционного состава показали, что крупнозернистая фракция достигает максимумов в горизонтах Ю–XII (2,54%) и Ю–XIII (2,69%). Среднезернистая фракция преобладает в горизонте Ю–XI (26,17%), а мелкозернистая – в горизонте Ю–IX (42,18%). Алевритовая (16,05–35,8%) и пелитовая (13,0–61,2%) фракции подтверждают тренд значительного увеличения глинистой матрицы вверх по разрезу. Среднее значение карбонатности пород колеблется от 1,22% до 9,63% с пиком в Ю–VI (3,81%).

По данным СЭМ глинистая составляющая цемента представлена тремя группами минералов: каолинит, смешанослойные и гидрослюда. На снимках СЭМ (рис. 8, 9, 10) четко фиксируются аутигенные скопления каолинита книжчатой и червеобразной формы, усложняющие геометрию пор.

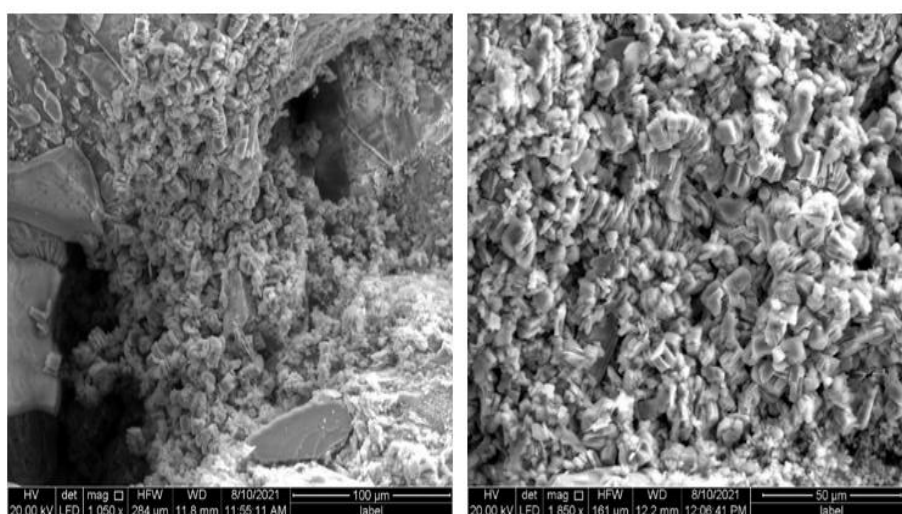


Рисунок 8. Каолининовый цемент. Скважина УУУ, глубина 2096,55 м

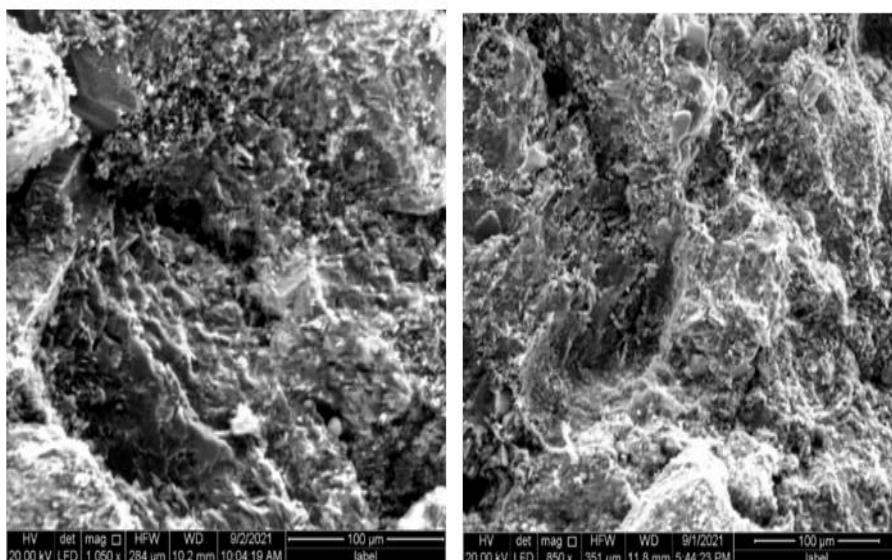


Рисунок 9. Каолинистый цемент. Скважина XX, глубина 2002,77 м и 2086,77 м

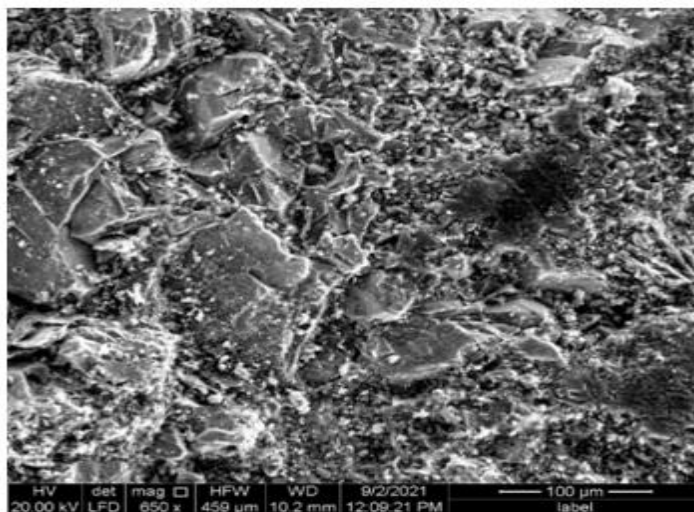


Рисунок 10. Каолинистый цемент. Скважина XX, глубина 2089,4 м

Фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) продуктивных горизонтов

Комплексное воздействие седиментационных факторов и постседиментационного катагенеза наглядно отражается на коллекторском потенциале продуктивных пластов. Сводные результаты петрофизических исследований кернового материала представлены в таблице 1.

Таблица 1. Фильтрационно-емкостные свойства образцов керна по горизонтам

Горизонт	Кол-во образцов	Диапазон Кп, д.ед.		Диапазон Кпр.*10 ⁻³ мкм ²		Сгл.,д.ед.	
		диапазон	среднее	диапазон	среднее	диапазон	среднее
Ю-I	28	0,01-0,25	0,12	0,01-18,88	7,19	0,07-0,87	0,6
Ю - II	213	0,03-0,28	0,16	0-248	44	0,03-0,93	0,33
Ю - III	112	0,04-0,23	0,15	0-228,7	30,62	0,04-100	0,04
Ю - IV	179	0,02-0,23	0,15	0-338,8	39,96	0,03-0,89	0,32
Ю - V	194	0,03-0,24	0,16	0-273,7	25,61	0,05-0,59	0,20
Ю - VI	17	0,03-0,19	0,13	0,01-16,2	2,92	0,29-0,82	0,56

Ю - VII	24	0,03-0,19	0,13	0,002-5,39	1,48	0,34-0,93	0,61
Ю - VIII	69	0,04-0,17	0,11	0,01-72,53	8,79	0,15-0,8	0,5
Ю - IX	52	0,05-0,17	0,13	0,01-23,66	5,5	0,17-0,43	0,3
Ю - X	44	0,06-0,20	0,12	0,39-14,56	6,9	0,12-0,57	0,37
Ю - XI	41	0,04-0,17	0,11	0,26-245,9	34,28	0,1-0,7	0,33
Ю - XII	74	0,02-0,3	0,11	0,02-310	27,3	0,1-0,73	0,29
Ю - XIII	128	0,02-0,17	0,9	0,006-13,68	1,03	0,09-0,40	0,20

Анализ петрофизической матрицы выявляет четкие закономерности: зона фронта дельты (Ю-II – Ю-V) характеризуется максимальной пористостью (0,15–0,16) и проницаемостью до $44 \cdot 10^{-3}$ мкм² благодаря выдержанности песчаных тел. Зона дельтовой равнины (Ю-VI – Ю-VIII) отражает резкое падение проницаемости (до $1,48 \cdot 10^{-3}$ мкм² в Ю-VII) на фоне пиковой глинистости (до 0,61). Базальный комплекс (Ю-XI – Ю-XII) при умеренной емкости обеспечивает высокие фильтрационные пути (до $310 \cdot 10^{-3}$ мкм² в Ю-XII) за счет руслового крупно-среднезернистого каркаса.

Морфология пустотного пространства и вторичные процессы (катагенез)

Пустотное пространство пород-коллекторов Южного Жетыбая представлено межзерновыми и внутризерновыми порами, а также микропорами в каолининовом цементе. В структурном отношении наиболее развита межзерновая пористость. Большинство пор хорошо соединены между собой и обладают высокой степенью сообщаемости (рис. 11), что обеспечивает высокие фильтрационные характеристики.

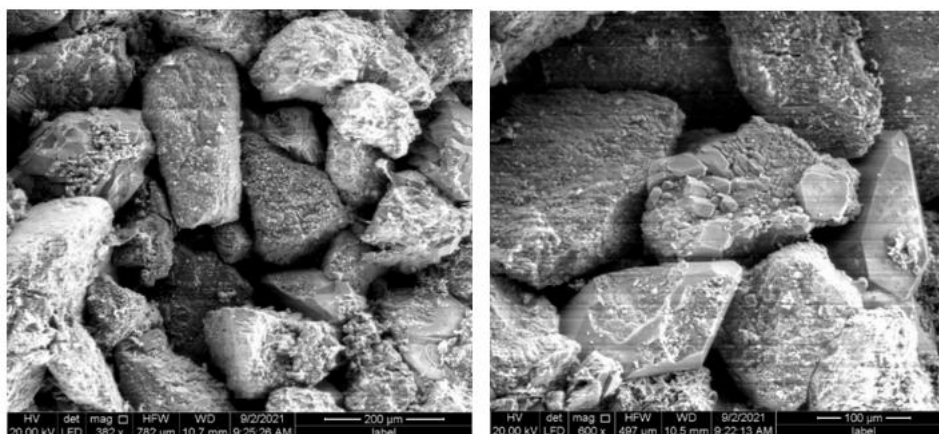


Рисунок 11. Межзерновые поры. Скважина 42, обр.25, глубина 2002,77 м

Формирование ФЕС проходило под влиянием вторичных процессов: регенерации кварца (рис. 11), растворения и серицитизации полевых шпатов, пелитизации, гидратации биотита и карбонатизации. Карбонатизация, проявляющаяся практически во всех пластах, носит негативный характер, запечатывая каналы и существенно ухудшая петрофизические показатели.

Заключение

Проведённый комплексный анализ литолого-фациальных, минералогических и гранулометрических характеристик юрских отложений месторождения Южный Жетыбай позволил установить закономерности формирования и пространственной неоднородности пород-коллекторов.

1. Выявлена выраженная литолого-фациальная зональность продуктивных юрских отложений, обусловленная изменением условий осадконакопления от русловых к дельтовым, болотным, пойменным и эстуарным обстановкам. Наиболее благоприятные условия для

формирования коллекторов связаны с базальным комплексом пластов Ю-ХІ–Ю-ХІІІ, сформированным преимущественно в палеорусловых условиях.

2. Установлена зависимость фильтрационно-ёмкостных свойств пород от их гранулометрического и минералогического состава. Более грубозернистые разности с хорошо развитым взаимосвязанным межзерновым пространством характеризуются повышенной эффективной пористостью и более благоприятными фильтрационными свойствами. По мере увеличения содержания тонкодисперсного материала происходит снижение качества коллекторов.

3. Средний дельтовый комплекс пластов Ю-ІХ–Ю-ІІ характеризуются повышенной литологической неоднородностью, связанной с чередованием русловых, пойменных и болотных фаций. Увеличение доли глинистого материала в данном интервале обуславливает локальное ухудшение фильтрационных характеристик и усложняет прогнозирование эффективных коллекторов.

4. Верхний комплекс пластов Ю-ІІ–Ю-ІІІ отличается сочетанием высокой ёмкостной характеристики и выраженной неоднородности коллекторских свойств. На их качество существенное влияние оказывают процессы глинизации и вторичной карбонатизации, способные приводить к локальному снижению эффективной пористости и проницаемости.

5. Полученные результаты свидетельствуют о том, что литолого-фациальная принадлежность, гранулометрическая дифференциация и вторичные преобразования пород являются ключевыми факторами пространственной неоднородности юрских коллекторов месторождения Южный Жетыбай. Их совместный учёт повышает обоснованность корреляции продуктивных интервалов, построения геологических и петрофизических моделей и прогноза распространения коллекторов.

Таким образом, установленная взаимосвязь между условиями осадконакопления, вещественным составом и коллекторскими свойствами юрских отложений формирует основу для более детального прогнозирования качества продуктивных интервалов и дифференцированного подхода к разработке месторождения.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стандартный и специальный комплекс исследований керна из оценочных скважин месторождений АО "Мангистаумунайгаз». Актау: Фонды КазНИПИМунайгаз, 2019г

2. Кожалакова А.А., Есполова Н.И. Sedimentological conditions of the Jurassic deposits of Southern Zhetybai and their role in the formation of productive horizons // Kazakhstan Journal for Oil & Gas Industry. 2025. DOI: 10.54859/kjogi108944.

3. Кожалакова А.А., Есполова Н.И. Седиментологические условия юрских отложений Южного Жетыбай и их роль в формировании продуктивных горизонтов // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2026. Том 8, №4. С. 128–154.

4. Кожалакова А. Sedimentological conditions of the Jurassic deposits of Southern Zhetybai and their role in the formation of productive horizons. — Kazakhstan Journal for Oil & Gas Industry.

5. Бөрібаев Ж.М., Асылбаева А.О., и др. Седиментологический анализ юрских продуктивных горизонтов на месторождении Жетыбай по результатам стандартных и специальных лабораторных исследований керна в 5-ти новых скважинах. Актау: Фонды КазНИПИМунайгаз, 2023.

6. Ni J., Zhao D., Liao X., Li X., Fu L., Chen R., Xia Z., Liu Y. Sedimentary Architecture Analysis of Deltaic Sand Bodies Using Sequence Stratigraphy and Seismic Sedimentology: A Case Study of Jurassic Deposits in Zhetybay Oilfield, Mangeshrak Basin, Kazakhstan // Energies. 2022. Vol. 15, No. 14. Article 5306. DOI: 10.3390/en15145306.

7. Assylbayeva et al. Identification of prospective oil-bearing areas in the peripheral parts of productive horizons U-12 and U-13 of the Zhetybai field.

8. Bassarbay A., Morozov V.N., Alexeyeva Y.V. Conceptual model for the formation of Jurassic deposits of the Zhetybay East field based on sedimentological analysis of core data.

6. Алексеев В.П. Литолого-фациальный анализ: учебно-методическое пособие к практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплине "Литология". Екатеринбург: Издательство УГГГА, 2002. 147 с.

9. Bassarbay A., Morozov V.N., Alexeyeva Y.V. Conceptual model for the formation of Jurassic deposits of the Zhetybay East field based on sedimentological analysis of core data // Kazakhstan Journal for Oil & Gas Industry. DOI: 10.54859/kjogi108953.

10. Кожалакова А.А. Анализ геологического строения месторождения Жетыбай Южный // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2025. Т. 7, № 2. С. 21–29. DOI: 10.54859/kjogi108755.

ОҢТҮСТІК ЖЕТЫБАЙ КЕН ОРНЫНЫҢ ЮРА КЕЗЕҢІНДЕГІ КОЛЛЕКТОР ЖЫНЫСТАРЫНЫҢ ЛИТОЛОГИЯЛЫҚ-ФАЦИЯЛЫҚ ЭВОЛЮЦИЯСЫ ЖӘНЕ МИНЕРАЛОГИЯЛЫҚ-ГРАНУЛОМЕТРИЯЛЫҚ ӘРТЕКТІЛІГІ

С.С. Джайкиева

«ҚМГ ИНЖИНИРИНГ» ЖШС «ҚазНИПИмұнайгаз» филиалы, Ақтау, Қазақстан
e-mail: s.jaikiyeva@kmge.kz

Андатпа. Мақалада Оңтүстік Жетыбай кен орнының юра шөгінділеріндегі өнімді горизонттардың тік бағыттағы өзгергіштігі зерттеліп, олардың сүзгілік-сыйымдылық қасиеттерінің қалыптасу заңдылықтары анықталды. Керн материалын кешенді седиментологиялық, петрографиялық, минералогиялық және электрондық-микроскопиялық (СЭМ) зерттеу негізінде тау жыныстарының литофациялық ерекшеліктері, олардың петрографиялық жетілу дәрежесі, кейінгі катагенездік өзгерістер және қуыстық кеңістіктің сипаты арасындағы өзара байланыс анықталды.

Юра шөгінділерінің қимасынан палеошөгінді жиналу ортасының ауысуын сипаттайтын 24 фация бөлініп, олар бірқатар фациялық ассоциацияларға біріктірілді. Тау жыныстарының коллекторлық қасиеттері тек бастапқы седиментациялық ерекшеліктермен ғана емес, сонымен қатар тығыздалу, түйірлер арасындағы түйісу сипатының өзгеруі, цементтелу және кеуектік кеңістіктің қайта бөлінуін қоса алғанда, кейінгі литогенездік өзгерістермен де анықталатыны белгіленді. Терригендік бөліктің құрамында кварцтың, дала шпаттарының, тау жыныстары сынықтарының және слюдалардың басым екені, ал түйірлердің сұрыпталу дәрежесі төмен және орташа болып, пішіні негізінен бұрышты–жартылай жұмырланғаны көрсетілді.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы юра шөгінділерінің фациялық архитектурасы, түйірлік қаңқаның жетілу дәрежесі, катагенездік өзгерістердің сипаты және тау жыныстары-коллекторлардың сүзгілік-сыйымдылық қасиеттерінің қалыптасуы арасындағы заңды байланысты анықтаудан тұрады. Анықталған заңдылықтар Оңтүстік Жетыбай кен орнының өнімді горизонттарының қалыптасу жағдайлары мен кеңістіктік әртектілігін нақтылауға мүмкіндік береді және коллекторлардың сапасын болжау, сондай-ақ мұнай-газ залеждерінің геологиялық-гидродинамикалық модельдерін жетілдіру кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: Оңтүстік Жетібай, юра шөгінділері, коллектор жыныстар, седиментогенез, гранулометриялық құрамы, кеуектілік, өткізгіштік, каолинит, карбонаттану, дельта фронты, биотурбация, сканерлеуші электрондық микроскопия.

LITHOFACIES EVOLUTION AND MINERALOGICAL–GRANULOMETRIC HETEROGENEITY OF JURASSIC RESERVOIR ROCKS IN THE SOUTHERN ZHETYBAY FIELD

S. Dzhaikieva

KazNIPImunaigas Branch of KMG Engineering LLP, Aktau, Kazakhstan
e-mail: s.jaikieva@kmge.kz

Abstract. This study investigates the vertical variability of productive horizons within the Jurassic deposits of the Southern Zhetybay Field and establishes the main controls on the development of their reservoir properties. Based on an integrated sedimentological, petrographic, mineralogical, and scanning electron microscopy (SEM) study of core samples, relationships were identified between lithofacies characteristics, the degree of petrographic maturity, secondary diagenetic and catagenetic alterations, and the characteristics of the pore space.

A total of 24 facies were identified within the Jurassic succession and grouped into several facies associations reflecting changes in depositional environments. The reservoir properties of the rocks were found to be controlled not only by their primary depositional characteristics but also by subsequent lithogenetic alterations, including compaction, changes in grain-contact relationships, cementation, and redistribution of pore space. The detrital fraction is dominated by quartz, feldspars, rock fragments, and micas, with poor to moderate sorting and predominantly angular to subrounded grain shapes.

The scientific novelty of the study lies in establishing a systematic relationship between the facies architecture of the Jurassic deposits, the maturity of the grain framework, the nature of catagenetic alterations, and the development of reservoir properties. The identified relationships provide a basis for refining the depositional conditions and spatial heterogeneity of the productive horizons of the Southern Zhetybay Field and can be applied to reservoir-quality prediction and the improvement of geological and dynamic reservoir models.

Keywords: Southern Zhetybay Field, Jurassic deposits, reservoir rocks, sedimentogenesis, grain-size distribution, porosity, permeability, kaolinite, carbonate cementation, delta front, bioturbation, scanning electron microscopy.