



LATE PALEOZOIC – MESOZOIC TECTONIC EVOLUTION AND PROSPECTS OF HYDROCARBON EXPLORATION IN THE ALAKOL SEDIMENTARY BASIN (KAZAKHSTAN)

V.V. Korobkin , A.Ye. Chaklikov ✉, A.A. Ismailov , Zh.S. Tulemissova 

Kazakh-British Technical University, 59 Tole bi St, Almaty 050000, Kazakhstan

ABSTRACT. Based on the analysis of stratigraphic, lithofacies, and geological and geophysical data, consideration is being given to the main stages in the formation of the basement and cover structures of the Alakol sedimentary basin. For this region, there was developed the substantiation of a scheme of tectonic zoning and there were proposed structural characteristics of faults and lithofacies features of the section. Evidence was found of a complex, multi-stage tectonic evolution. There were discovered potentially promising stratigraphic oil and gas complexes of the Late Paleozoic and Mesozoic. The deep-seated structure of the region is illustrated by a geological and geophysical section, spatially coincident with the "Turkestan" seismic profile. Based on the lithological and paleogeographic reconstructions, there were identified four major tectonic boundaries: Cambrian-Ordovician, Devonian-Carboniferous, Permian-Early Triassic, and Middle Triassic-Cretaceous. The correlation of the stratigraphic range of the hydrocarbon potential of the Alakol basin has been carried out. The criteria for forecasting hydrocarbon accumulations were substantiated.

KEYWORDS: Alakol basin; Junggar basin; tectonic and structural analyses; paleozooids; lithological-paleogeographic reconstructions; lithological-stratigraphic cross-section; stratigraphic correlation; hydrocarbon potential; probabilistic estimate

FUNDING: The work was supported by Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (grant AP09260097, contract 177/36-21-23, dated April 15, 2021).



RESEARCH ARTICLE

Correspondence: Akhan Ye. Chaklikov, a.chaklikov@kbtu.kz

Received: February 23, 2023

Revised: April 29, 2023

Accepted: May 12, 2023

FOR CITATION: Korobkin V.V., Chaklikov A.Ye., Ismailov A.A., Tulemissova Zh.S., 2023. Late Paleozoic – Mesozoic Tectonic Evolution and Prospects of Hydrocarbon Exploration in the Alakol Sedimentary Basin (Kazakhstan). *Geodynamics & Tectonophysics* 14 (5), 0717. doi:10.5800/GT-2023-14-5-0717

English version: see article page online

ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКАЯ – МЕЗОЗОЙСКАЯ ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКОВ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ В АЛАКОЛЬСКОМ ОСАДОЧНОМ БАССЕЙНЕ (КАЗАХСТАН)

В.В. Коробкин, А.Е. Чакликов, А.А. Исмаилов, Ж.С. Тулемисова

Казахстанско-Британский технический университет, 050000, Алматы, ул. Толе би, 59, Казахстан

АННОТАЦИЯ. На основании анализа стратиграфических, литолого-фациальных и геолого-геофизических данных рассмотрены главные этапы формирования структур фундамента и чехла Алакольского осадочного бассейна. Для данного региона обоснована схема тектонического районирования, приведены структурные характеристики разломов и литолого-фациальные особенности разреза. Установлена сложная многостадийная тектоническая эволюция. Выделены потенциально перспективные стратиграфические нефтегазоносные комплексы позднего палеозоя и мезозоя. Глубинное строение региона иллюстрируется геолого-геофизическим разрезом, пространственно совпадающим с сейсмическим профилем «Туркестан». На основании литолого-палеогеографических построений выделены четыре крупных тектонических рубежа: кембрийско-ордовикский, девонско-каменноугольный, пермско-раннетриасовый и среднетриасово-меловой. Проведена корреляция стратиграфического диапазона углеводородного потенциала Алакольского бассейна. Обоснован вероятностный прогноз на поиски углеводородного сырья.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Алакольский бассейн; Джунгарский бассейн; структурно-тектонический анализ; палеозойды; литолого-палеогеографические реконструкции; литолого-стратиграфический разрез; стратиграфическая корреляция; углеводородный потенциал; вероятностная оценка

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант AP09260097, контракт № 177/36-21-23 от 15 апреля 2021 г.).

1. ВВЕДЕНИЕ

Алакольский бассейн (АБ) расположен на юго-востоке казахстанского сегмента герцинской Джунгаро-Балхашской складчатой системы [Bespalov, 1971; Koshkin, 1974; Zonenshain et al., 1990; Bekzhanov et al., 2000; Iskaziyevev et al., 2015]. По периферии АБ ограничен Главными Джунгарским (ГДР) и Чингизским (ГЧР) региональными разломами (рис. 1). АБ является северо-западным окончанием Джунгарского нефтегазоносного бассейна Китая [Wang, 1985; Zonenshain et al., 1990; Dobretsov, 2003; Xiao et al., 2009].

АБ со всех сторон ограничен горными хребтами, сложенными преимущественно палеозойскими (от кембрийских до пермских) офиолитовыми, островодужными и аккреционными комплексами пород. Главными тектоническими элементами герцинской Джунгаро-Балхашской складчатой системы являются тектонические блоки, ограниченные разломами. Они состоят из фрагментов протерозойской континентальной коры и неопротерозойско-палеозойских субдукционно-аккреционных комплексов, зачастую перекрытых мезозойскими осадочными образованиями (рис. 1) [Wang, 1985; Zonenshain et al., 1990; Mossakovsky et al., 1993; Şengör et al., 1993; Didenko et al., 1994; Daukeev et al., 2002b; Windley et al., 2002, 2007; Dobretsov, 2003; Dobretsov, Buslov, 2007; Xiao et al., 2009, 2013; Ryazantsev et al., 2009; Bian et al., 2010; Korobkin, Buslov, 2011; Xiao, Santosh, 2014; Buslov, Cai, 2017; Gladkochub et al., 2019; Samygin, Kheraskova, 2019; Brunet et al., 2020; Sklyarov et al., 2020].

В истории развития рассматриваемой территории выделяются четыре крупных рубежа: кембро-ордовик-

ский, девонско-каменноугольный, пермско-раннетриасовый и среднетриасово-меловой. С пермско-юрским этапом связано погружение территории и формирование мощной (до 4 км) осадочной толщи Алакольского бассейна и в целом Джунгарского нефтегазоносного бассейна Китая.

Целью исследования является определение перспектив нефтегазоносности Алакольского бассейна. Для достижения цели проведена корреляция стратиграфического диапазона углеводородного потенциала АБ и Джунгарского бассейна Китая. Перспективность на нефть и газ АБ в зонах погружения фундамента обуславливают такие факторы, как (1) увеличенная мощность отложений карбона, перми, триаса, нижней юры, обогащенных органическим веществом, в разрезе которых имеются горизонты угля; (2) погружение кровли фундамента имеет ступенчатый характер и контролируется динамикой ГДР и ГЧР; (3) прогнозируемые ловушки различного типа будут концентрировать углеводороды на путях региональной миграции. Примененная методика структурного анализа, дополненная литолого-стратиграфическими исследованиями, определяет научную новизну данной статьи и обосновывает прогноз на поиски углеводородов.

2. СТРОЕНИЕ, ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗРЕЗА, ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ АЛАКОЛЬСКОГО БАССЕЙНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

В данном разделе приведены результаты геологических, тектонических, структурных, стратиграфических,

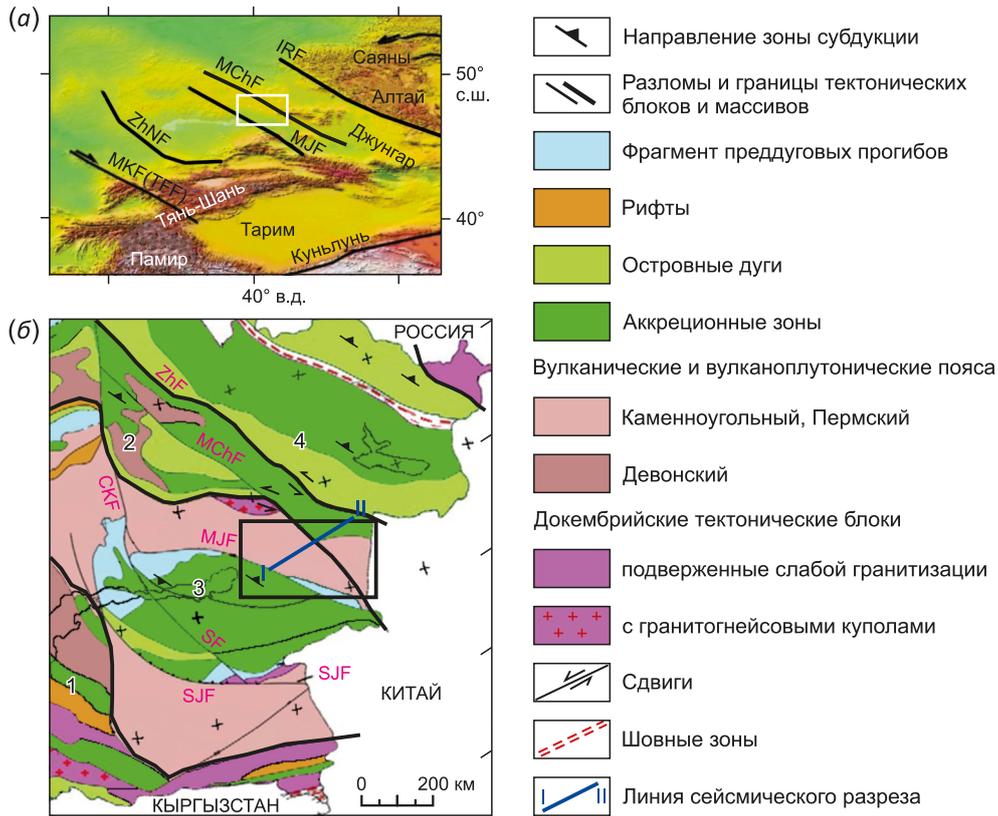


Рис. 1. Обзорная схема западного сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса (а) и тектоническая схема восточной части казахстанских палеозоид с указанием положения главных тектонических единиц (б).

Главные разломы: MKF – Главный Каратауский и TFF – Таласо-Ферганский, ZhNF – Джалаир-Найманский, MJF – Главный Джунгарский, MChF – Главный Чингизский, IRF – Иртышский. Складчатые системы: каледонские (Казахстанский составной континент): 1 – Кокшетау-Северо-Тянь-Шаньская, 2 – Чингиз-Тарбагатайская; герцинические: 3 – Джунгаро-Балхашская, 4 – Обь-Зайсанская. Прямоугольником показаны контуры Алакольского бассейна и прилегающих территорий.

Fig. 1. A schematic diagram of the western segment of the Central Asian fold belt (a) and a schematic tectonic map of the eastern part of the Kazakhstan paleozooids, indicating the position of the main tectonic units (b).

Main faults: MKF – Main Karatau and TFF – Talas-Fergana, ZhNF – Dzhalaïr-Naiman, MJF – Main Junggar, MChF – Main Chingiz, IRF – Irtysh. Folded areas: Caledonian (Kazakhstan composite continent): 1 – Kokshetau – North Tien Shan, 2 – Chingiz-Tarbagatay; Hercynian: 3 – Junggar-Balkhash, 4 – Ob-Zaysan. The rectangle shows the contours of the Alakol basin and adjacent territories.

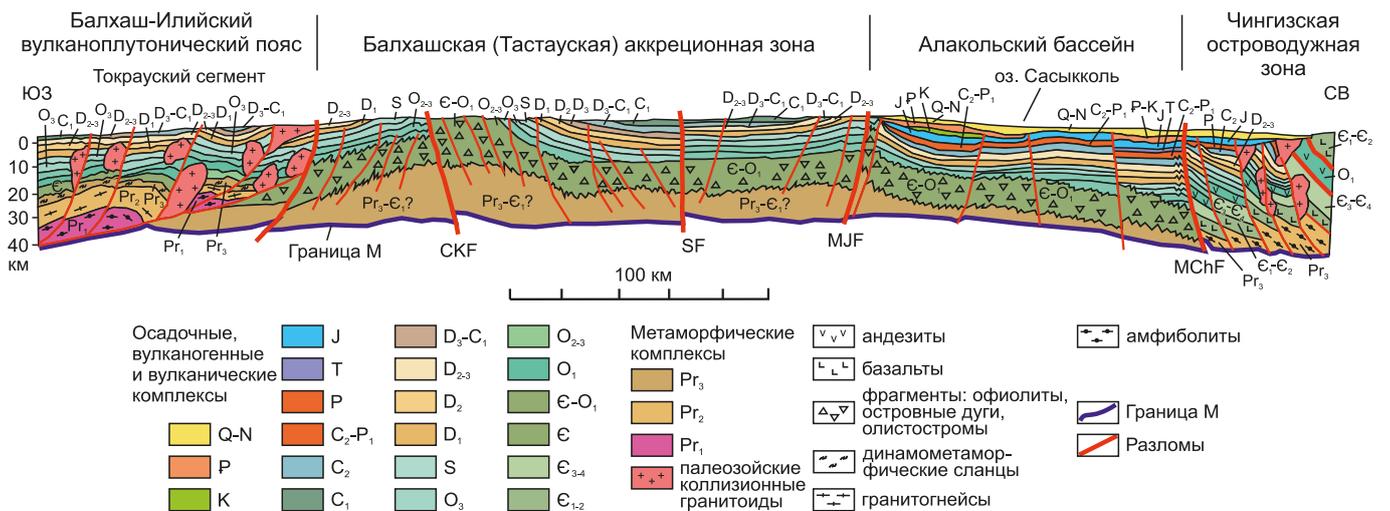


Рис. 2. Модель глубинного строения по сейсмическим профилям «Туркестанский» и «Талдыкорган – Усть-Каменогорск» (фрагмент). Разломы: СКФ – Центрально-Казахстанский, MJF – Главный Джунгарский, MChF – Главный Чингизский.

Fig. 2. A model of the deep-seated structure along the "Turkestan" and "Taldykorgan – Ust-Kamenogorsk" seismic profiles (fragment). Faults: СКФ – Central Kazakhstan, MJF – Main Junggar, MChF – Main Chingiz.

литолого-фациальных исследований Алакольского осадочного бассейна. На основе анализа тектоники (рис. 1, 2) и литолого-палеогеографических реконструкций региона (рис. 3) выявлена структурная гетерогенность земной коры, представленная автономно разви-

вавшимися тектоническими блоками, разделенными преимущественно раннемезозойскими сдвигами. АБ находится на границе двух региональных структур – палеозойского Балхашского бассейна и Чингиз-Тарбагатайской палеозойской островодужной системы

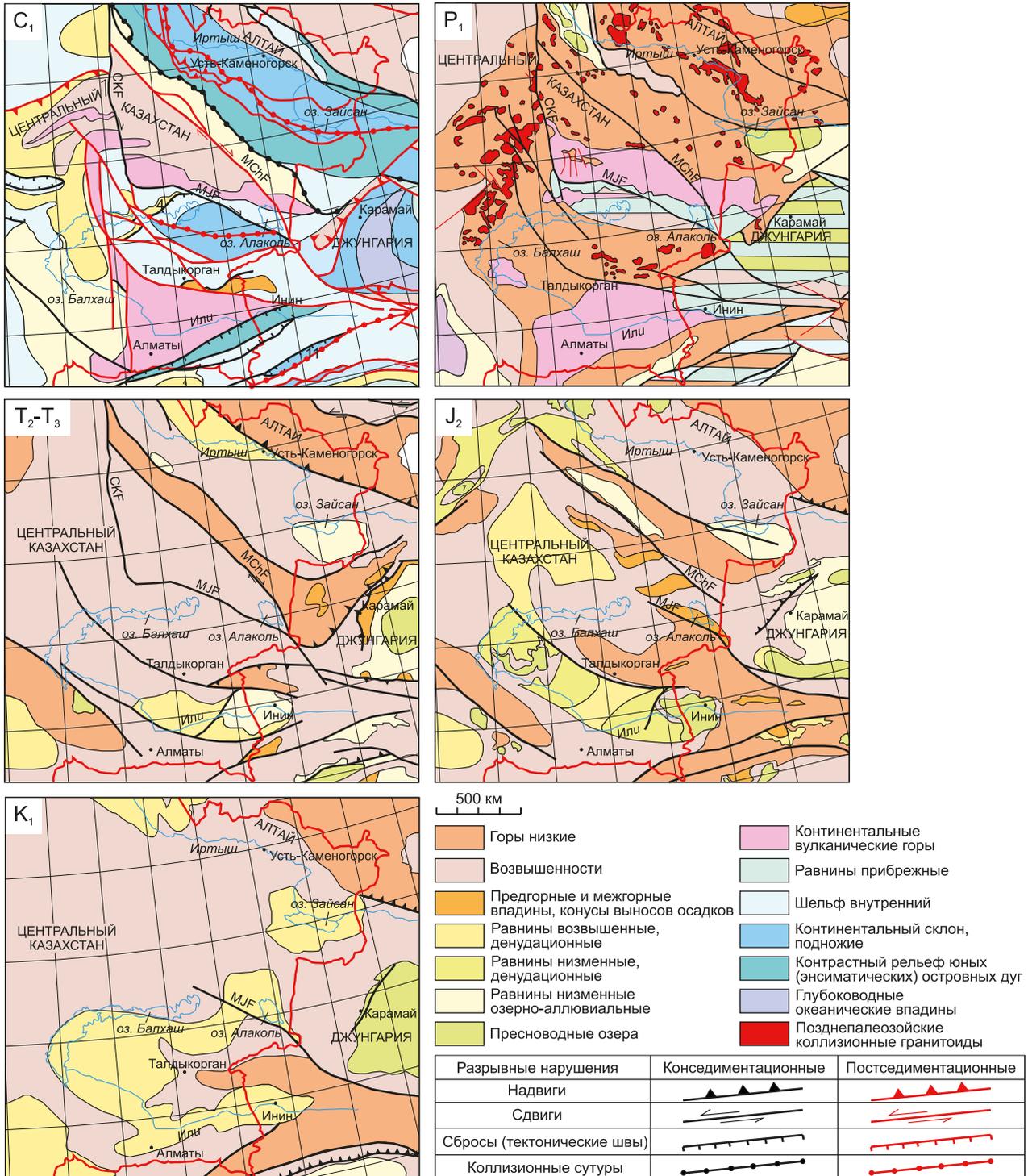


Рис. 3. Генерализованные литолого-палеогеографические карты Восточного Казахстана и прилегающих территорий с использованием данных [Daukeev et al., 2002b; Korobkin, Buslov, 2011]. Региональные разломы: МЖФ – Главный Джунгарский, МЧЖФ – Главный Чингизский, СКЖФ – Центрально-Казахстанский.

Fig. 3. Generalized lithological-paleogeographic maps of the East Kazakhstan and adjacent territories based on the data from [Daukeev et al., 2002b; Korobkin, Buslov, 2011]. Regional faults: МЖФ – Main Junggar, МЧЖФ – Main Chingiz, СКЖФ – Central Kazakhstan.

(см. рис. 1, 2). Фундамент АБ на западе сложен фрагментами аккреционного комплекса кембро-ордовикского возраста, на северо-востоке – кембрийско-раннеордовикскими базальтами, переходящими выше по разрезу в андезитобазальты островной дуги [Smirnov, Korobkin, 2003; Korobkin, Buslov, 2011; Kröner et al., 2014; Han et al., 2019]. Верхнеордовикско-силурийский разрез сложен терригенными и вулканогенными породами мощностью до 3.5 км (рис. 4, 5).

В конце силура происходит коллизия на границе Обь-Зайсанского герцинского океанического бассейна, что приводит к формированию пестроцветных моласс и гранитного пояса в Чингизе (см. рис. 3). В раннепозднедевонское (франское) время по периферии Джунгаро-Балхашского и Обь-Зайсанского океанов возникла система островных дуг (Восточно-Джунгарская и Жарма-Саурская) и междуговых бассейнов [Daukeev

et al., 2002b; Korobkin, Buslov, 2011]. В это время в процессе коллизии произошло закрытие бассейна и образование Центрально-Казахстанского ороклина. Джунгаро-Балхашский океанический бассейн был ограничен Центрально-Казахстанским вулканическим поясом.

В среднем и позднем девоне в тыловых частях вулканоплутонического пояса образуются межгорные впадины, в которых происходит формирование континентальных озерных, лагунных, речных накоплений мощностью свыше 5 тыс. м [Kurchavov et al., 2000]. В фаменско-пенсильванское время произошла деформация вулканических дуг, что в итоге привело к образованию ороклинных изгибов и повторению их фрагментов по сдвигам [Şengör et al., 1993; Windley et al., 2002; Buslov et al., 2003; Xiao et al., 2009; Bian et al., 2010; Korobkin, Buslov, 2011]. Важнейшим событием в формировании сдвигового коллажа террейнов следует считать

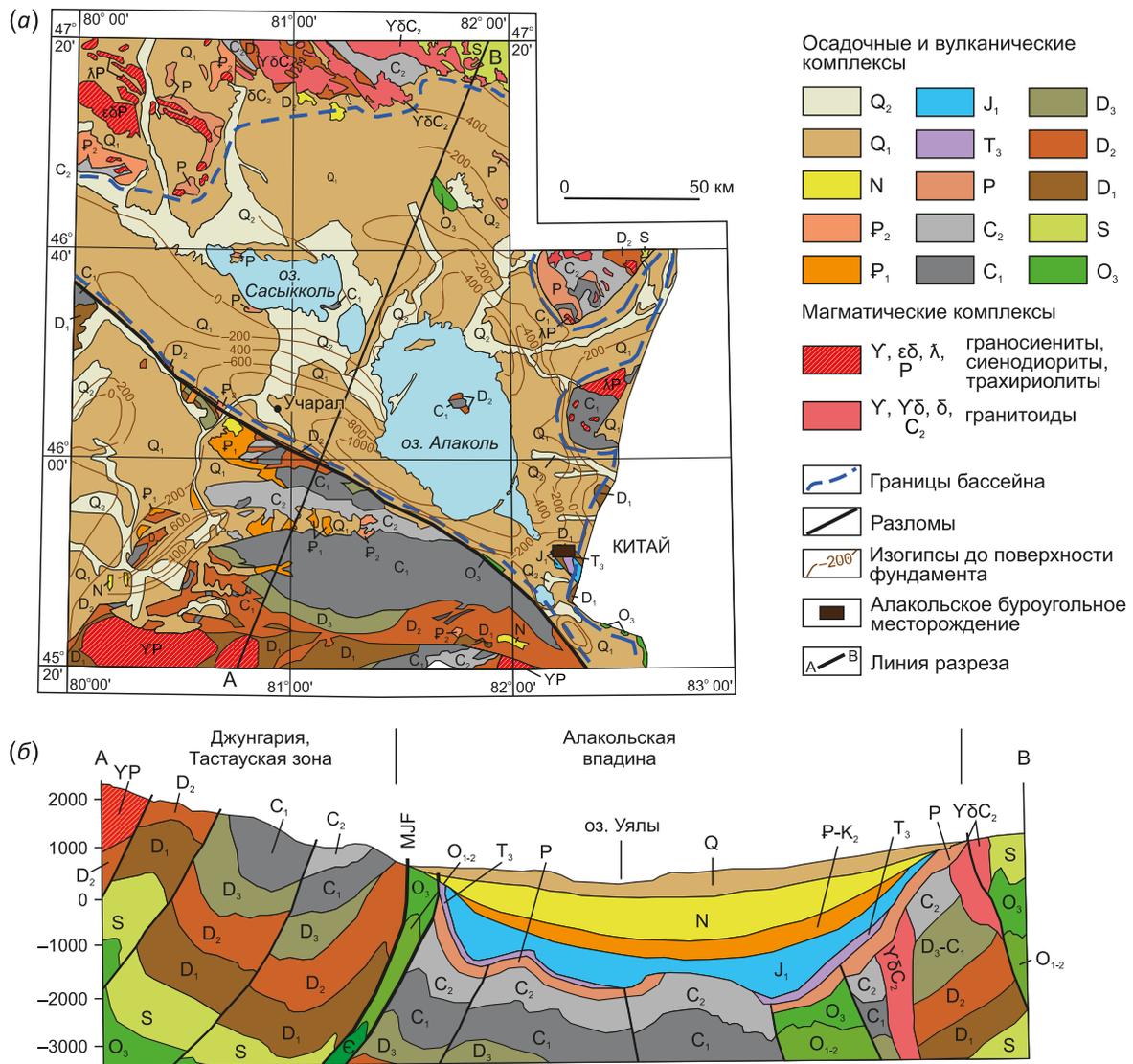
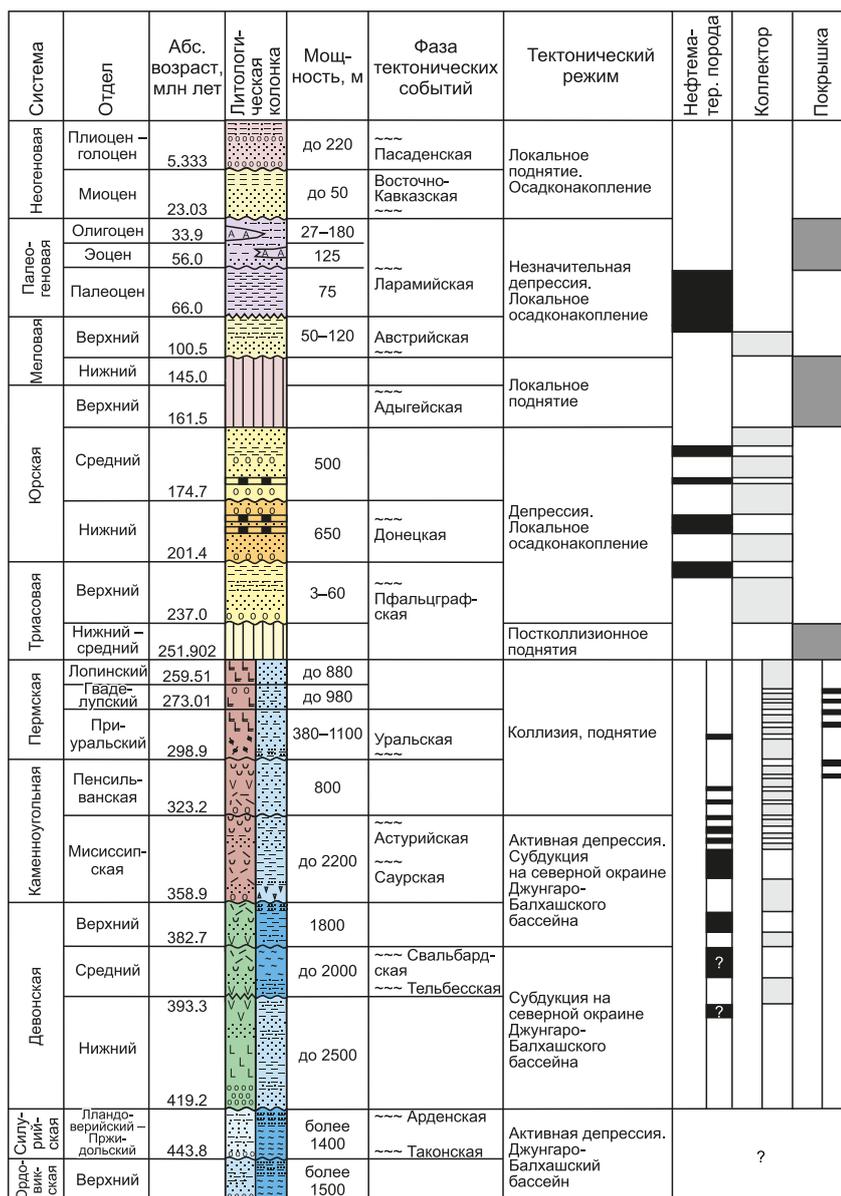


Рис. 4. Схема геологического строения АБ с использованием данных [Bekzhanov et al., 2000] (а) и геологический разрез по линии А–В (б).

Fig. 4. A map of geological structure of the Alakol basin and adjacent territories after [Bekzhanov et al., 2000] (a) and geological cross-section along the A–B line (b).



Палеогеографические обстановки

- Возвышенность
- Предгорные и межгорные впадины, конусы выносов осадков
- Равнины низменные озерно-аллювиальные
- Континентально-вулканические горы
- Пресноводные озера
- Озера с повышенной соленостью
- Контрастный рельеф зрелых островных дуг
- Шельф внешний
- Глубоководные океанические впадины
- Континентальный склон, подножие

Осадочные комплексы

- Осадочные брекчии
- Конгломераты
- Песчаники полимиктовые
- Алевролиты
- Аргиллиты (глины)
- Алевролиты и аргиллиты углеродистые (черные сланцы, угли)
- Фтаниты, кремни
- Известняки
- Гипсы и ангидриты, соли
- Турбидиты и флиш терригенный

Магматические комплексы и породы

- Риолиты
 - Трахириолиты и трахиты
 - Андезиты, андезибазальты
 - Базальты
 - Щелочные базальты
 - Туфы, туфоалевролиты, туфопесчаники
- Взаимоотношение стратиграфических комплексов
- Согласное
 - Несогласное
 - Перерывы в осадконакоплении

Рис. 5. Литолого-стратиграфический разрез Алакольского бассейна с детализацией литолого-палеогеографических обстановок. Показаны нефтематеринские отложения, коллекторы и покрышки.

Fig. 5. Lithological and stratigraphic section of the Alakol basin with lithological and paleogeographic environment details. Shown here are source rocks, reservoirs and seals.

правосторонние сдвиговые позднекаменноугольные и несколько позже в конце перми – левосторонние смещения [Buslov et al., 2003; Xiao et al., 2009; Buslov, 2011; Korobkin, Buslov, 2011].

Завершение коллизии в позднем карбоне и перми привело к закрытию Джунгарского и Обь-Зайсанского океанических бассейнов (см. рис. 3; рис. 5). В Балхаш-Илийском регионе происходит излияние большой по объему массы контрастных по составу лав мощностью до 6 тыс. м. Наряду с образованием горных коллизионных сооружений на территории Казахстана в перми продолжал формирование Джунгарский полузамкнутый глубоководный бассейн, в котором накапливался флиш и битуминозные сланцы суммарной мощностью до 5000 м (рис. 5) [Korobkin, Smirnov, 2006; Xiao et al., 2009; Bian et al., 2010; Zou et al., 2012; Zong et al., 2015; Han et al., 2019].

В перми – триасе в окончательном виде сформировался коллаж сдвиговых структур Центрально-Азиатского складчатого пояса, что привело к развитию сдвигов и рифтов на Тариме и Тянь-Шане. В ряде впадин Казахстана и Китая, таких как Чу-Сарысуйская, Джунгарская, Таримская, накапливались красноцветные отложения [Daukeev et al., 2002b; Xiao et al., 2009; Han et al., 2019].

В раннетриасовую эпоху Южная Джунгария и Северное Прибалхашье находились в орогенном развитии, выразившиеся мощным наземным вулканизмом. В среднем триасе вулканическая активность затухает, по палеозойским породам формируется кора выветривания латеритного типа [Korobkin et al., 2022]. Позднетриасовая эпоха характеризуется дифференцированными тектоническими движениями в АБ и Илийской впадине. Из краткого перечисления палеотектонических обстановок (см. рис. 3; рис. 5) видно, что образование вулканогенно-осадочных и осадочных

толщ триасового возраста происходило в зонах тектономагматической и тектонической активизации земной коры. Сдвиговая динамика взаимодействия главных тектонических единиц привела к крупноамплитудным сдвиговым смещениям между ними [Windley et al., 2002; Buslov et al., 2003; Bian et al., 2010; Alexeiev et al., 2017].

Специализированными структурными исследованиями [Buslov et al., 2003; Smirnov, Korobkin, 2003; Korobkin Smirnov, 2006; Feng et al., 2018] (см. рис. 1, 3; рис. 5, 6) показано, что такие региональные разломы, как Центрально-Казахстанский и ряд других, ограничивающих главные тектонические единицы Джунгаро-Балхашской складчатой системы, являются большей частью левосторонними сдвигами [Windley et al., 2002; Buslov et al., 2003; Smirnov, Korobkin, 2003; Alexeiev et al., 2017; Ji et al., 2021]. В этих разломах левосторонняя сдвиговая компонента фиксируется по ориентировке опережающих разрывов и горизонтальной линейности (Ib – структурно-кинематической системе Б. Зандера, где структурно-координатные оси: a – направление растяжения, b – ось складки, c – сжатия, ab – плоскость тектонического потока) [Rodygin, 2001]. Ширина зон деформированных пород (милонитов, филонитов) в шовной зоне Главного Джунгарского и Центрально-Казахстанского разломов достигает первых сотен метров, Главного Чингизского – один километр и более.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Структурный каркас АБ составляют: Южно-Алакольский, Северо-Алакольский и Эмельский грабены, Учаральский и Сасыкколь-Алакольский горсты и Уржарская моноклираль (рис. 6) [Bekzhanov et al., 2000; Iskaziyeve et al., 2015]. Южно-Алакольский грабен занимает юго-западную часть бассейна и линейно протягивается на северо-запад вдоль ГДР. Северо-Алакольский

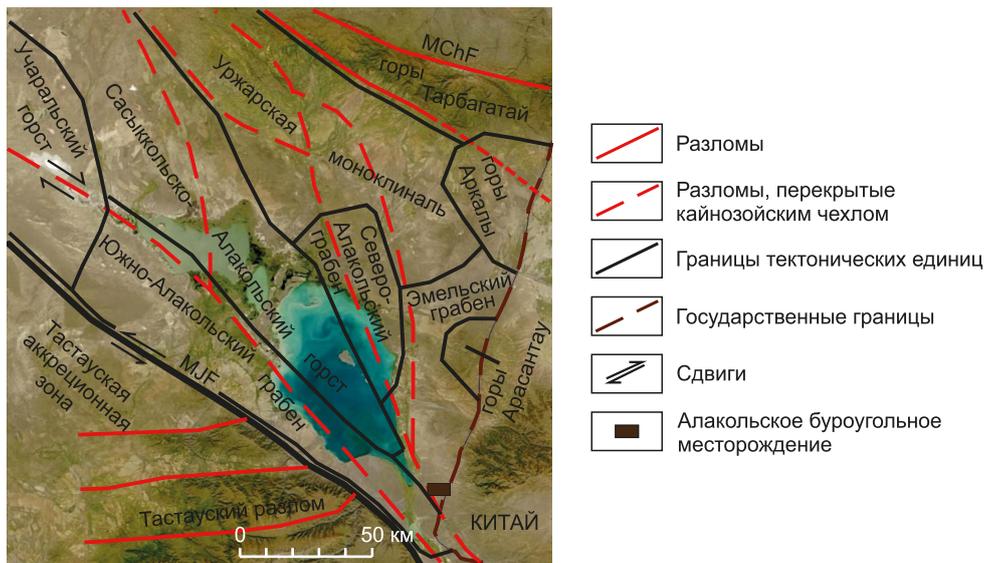


Рис. 6. Структурная схема Алакольского бассейна. Региональные разломы: МЖФ – ГДР, МЧФ – ГЧР.
 Fig. 6. A structural map of the Alakol basin. Regional faults: MJF – Main Junggar, MChF – Main Chingiz.

грабен расположен в северо-восточной части бассейна, также характеризуется линейной формой и ориентирован под углом относительно ГДР. Грабены разделены Сасыкколь-Алакольским горстом. В восточной части бассейна между горными сооружениями Аркалы и Арасантау расположен Эмельский грабен. В северо-западной части бассейна на продолжении Южно-Алакольского грабена находится Учаральский горст. В северной части бассейна располагается Уржарская моноклинал, ограниченная с юго-запада Чингизским разломом (рис. 6).

Литолого-стратиграфические обстановки АБ представлены на рис. 5. В тектоническом блоке, расположенном южнее Алакольского бурогольного месторождения на границе с Китаем (рис. 6, 7), отмечаются выходы конгломератов и песчаников, содержащих остатки флоры каменноугольно-пермского возраста, имеющих мощность 480 м. Выше по разрезу залегают конгломераты, песчаники, алевролиты мощностью до 750 м, относящиеся к нерасчлененным отложениям лопинского и гваделупского отделов. Выше по разрезу залегает майласаринская свита, с разрывом перекрывающая выше лежащие отложения и сложенная внизу конгломератами, песчаниками, алевролитами, вверху – туфами и лавами щелочных риолитов толщиной до 550 м. находки флоры указывают как на среднепермский (гваделупский) отдел, так и на раннетриасовый возраст отложений, палеокомплекс алевролитов нижней толщи характерен для раннего триаса [Zholtaev et al., 2021].

Мезозойский комплекс общей мощностью до 1500 м представлен континентальными терригенными мало мощными отложениями триаса и угленосными породами юры [Aubekerov et al., 2010; Zholtaev et al., 2021].

Юрские породы АБ представлены узунбулакской свитой. Она разделена на две подсвиты, из которых нижняя (геттангский – синемюрский века) более грубозернистая и представлена конгломератами, гравелитами

и песчаниками мощностью 80–150 м. Верхняя свита (плинбасхский век) сложена алевролитами, аргиллитами с прослоями конгломератов и песчаников мощностью до 250 м. Возраст свиты определен по наличию остатков раковин филлопод и флористическим остаткам. Меловые отложения мощностью до 120 м представлены осадками сасыккольской свиты, которая по остракодам датирована верхним мелом [Bekzhanov et al., 2000; Zholtaev et al., 2021].

Палеогеновые отложения представлены соленосными озерными отложениями, сложенными глинами, алевролитами, песками, мощностью до 380 м [Aubeke-rov et al., 2010; Iskazyiyev et al., 2015].

Проявление углеводородов в Северной Джунгарии Китая охарактеризовано во многих работах [Hendrix et al., 1995; Cao et al., 2010; He et al., 2010]. При разведке и эксплуатации нефтяных месторождений установлено, что они приурочены к отложениям триаса и нижней юры [Bian et al., 2010; Cao et al., 2010], которые коррелируются с одновозрастными породами разведанного Алакольского угольного месторождения в Казахстане.

4. УГЛЕВОДОРОДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

В бортовых частях АБ глубина залегания юрских отложений не превышает 1.5–2.0 км (см. рис. 4; рис. 8). Данные отложения не могли достичь уровня зрелости активной генерации углеводородов (зоны «нефтяного окна»). Органическое вещество в них преимущественно представлено остатками флоры, в связи с чем величина генерационного потенциала не может быть значительной [Daukeev et al., 2002a]. В осевых частях АБ глубина залегания юрских угленосных отложений достигает трех километров и более, где они способны генерировать углеводороды. Эти отложения рассматриваются авторами как нефтегазоматеринские.

Угленосная нижнеюрская толща на месторождении Алаколь имеет мощность 120 м (см. рис. 5; рис. 9) и

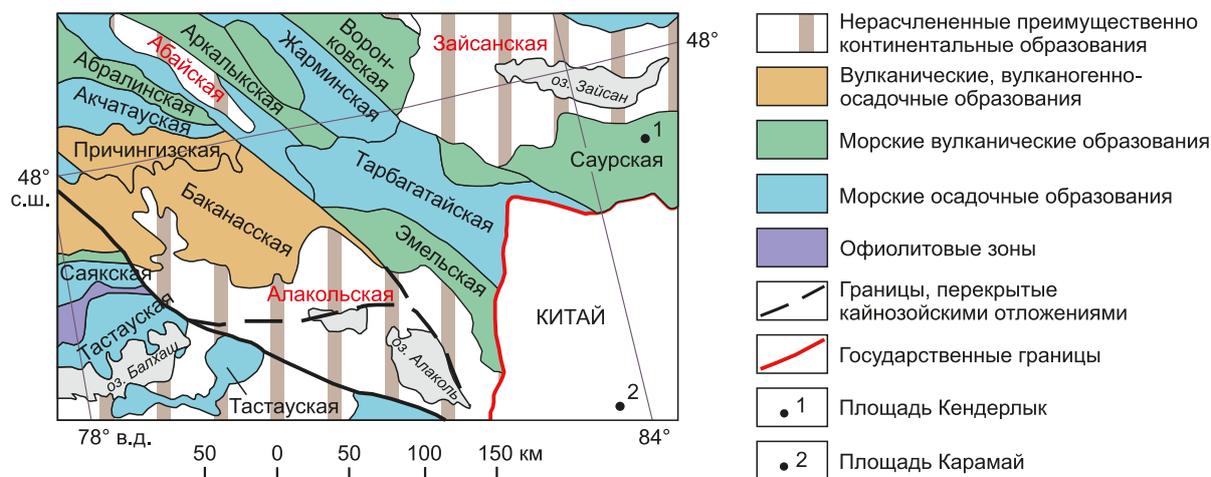


Рис. 7. Структурно-фациальные зоны без учета палинспастических реконструкций каменноугольного и пермского периода Баканас-Алакольского района [Zholtaev et al., 2021].

Fig. 7. Structural-facial zones without regard to palinspastic reconstructions of the Bakanas-Alakol region during the Carboniferous and Permian [Zholtaev et al., 2021].

состоит из восьми пластов угля, четыре из которых имеют рабочую мощность и промышленное значение. Средняя толщина пластов меняется от 1.0 до 5.7 м. Угли по составу гумусовые, переходящие от бурых к каменным, низкозольные (в среднем по пластам 6–10 %), относятся к группе малосернистых и малофосфористых. Общие разведанные запасы месторождения составляют 47 млн тонн, из них пригодные для

добычи открытым способом – около 8 млн тонн [Azizov, Vlasov, 1997].

Для оценки углеводородного потенциала Алакольского осадочного бассейна были определены параметры прогнозных ресурсов для верхнедевонско-каменноугольного и мезозойского комплексов: 1) площадь осадочного бассейна (см. рис. 3, 4); 2) мощности нефтематеринских комплексов (см. рис. 5); 3) содержание

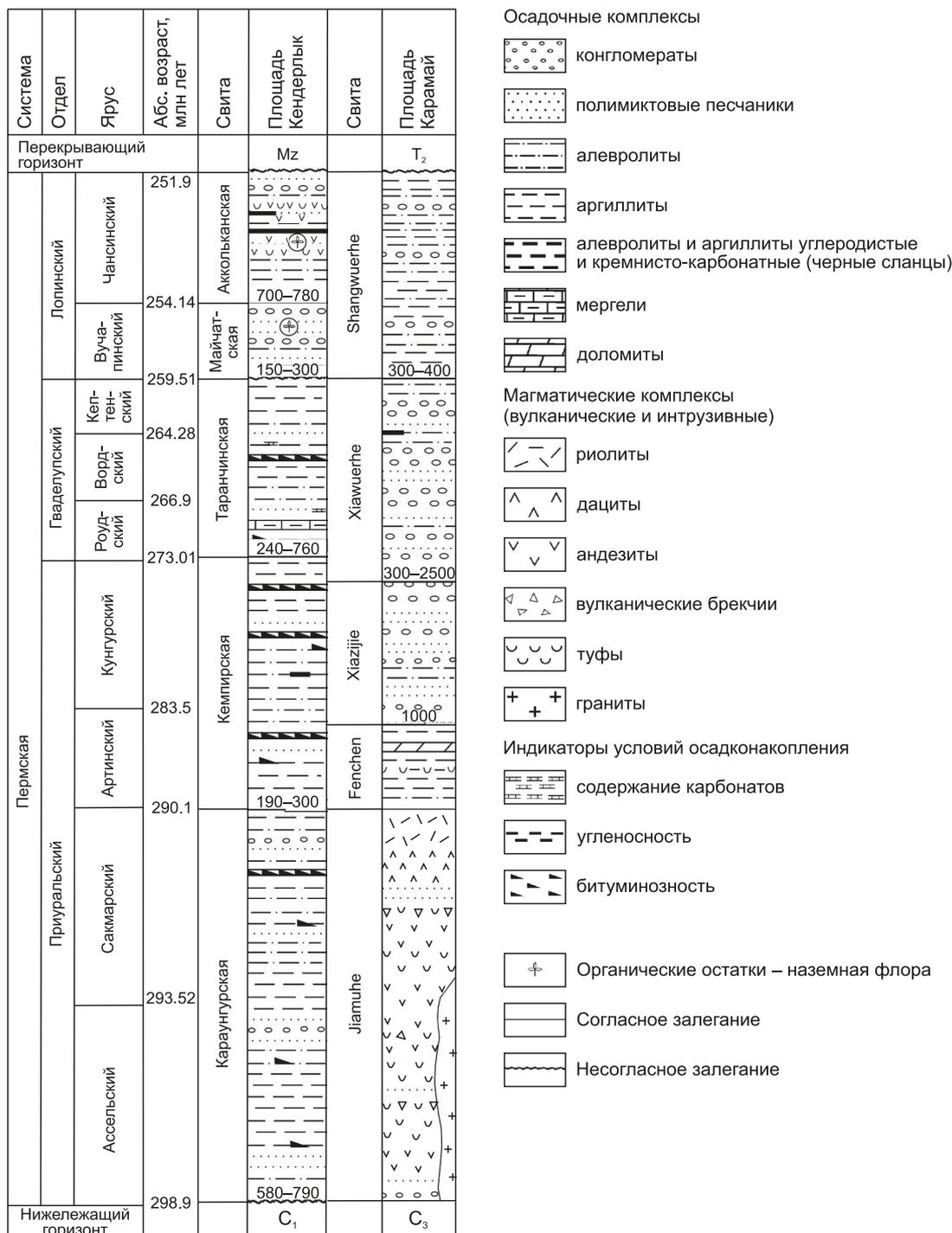


Рис. 8. Литолого-стратиграфический разрез Кендерлыкского (Зайсанский бассейн) и Карамайского (Джунгарский бассейн) районов.

Fig. 8. Lithological-stratigraphic cross-section of the Kenderlyk (Zaysan basin) and Karamay (Junggar basin) areas.

в нефтематеринских комплексах органического вещества; 4) объемы нефтематеринских пород (табл. 1). Данные по площадям осадочных бассейнов взяты по результатам построения литолого-палеогеографических и палинспастических карт, данные по мощности получены в результате проведения детальных литолого-стратиграфических исследований.

Из работ китайских геологов на сопредельной территории Джунгарского бассейна [Cao et al., 2010] были использованы данные по содержанию органического вещества по верхнетриас-юрскому [Azizov, Vlasov, 1997] и палеогеновому [Iskaziyeu et al., 2015] диапазонам. Подсчет прогнозных ресурсов был осуществлен объемно-статистическим методом по формуле Л.Г. Уикса [Akchulakov et al., 2002]:

$$Q=qv \cdot V, \tag{1}$$

где Q – начальные геологические ресурсы, тыс. тонн; qv – объемная плотность ресурсов, т/м³; V – объем осадочного выполнения, км³.

Вероятностная оценка углеводородного потенциала АБ (табл. 1) проведена на основе вышеизложенных параметров согласно действующим инструкциям по классификации запасов месторождений, перспективных и прогнозных ресурсов нефти и природного углеводородного газа в Казахстане [Akchulakov et al., 2002; Iskaziyeu et al., 2015; Daukeev et al., 2002a; Zholtaev, Ozdoyev, 2010; Khisamov et al., 2018].

Верхнедевонско-раннекаменноугольный (фамен-миссисипский) комплекс АБ Казахстана по данным литолого-палеогеографических построений [Korobkin, Buslov, 2011; Iskaziyeu et al., 2015; Korobkin et al., 2023] имеет площадь бассейна осадконакопления 20 тыс. км² (ориентировочные размеры осадочного бассейна 100×200 км) при мощности рассматриваемых отложений 3 км.

Мезозойский комплекс по данным литолого-палеогеографических построений развит на двух площадях: юго-запад Алакольской впадины и широтной полосы

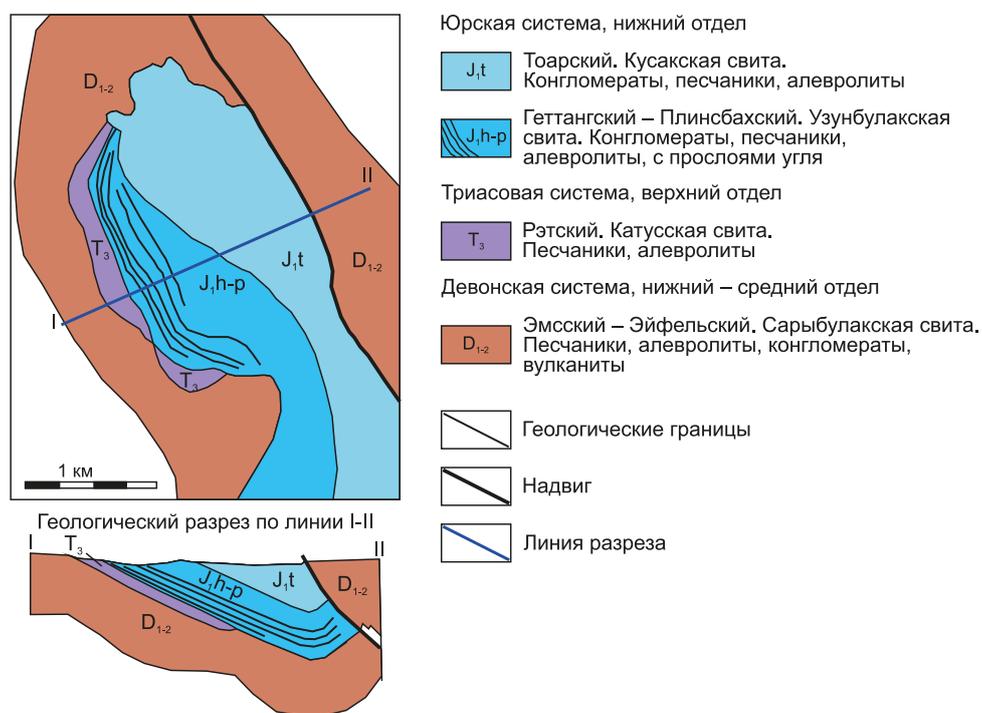


Рис. 9. Геологическая карта и разрез Алакольского бурогоугольного месторождения.

Fig. 9. The geological map and cross-section of the Alakol brown coalfield.

Таблица 1. Прогнозные ресурсы углеводородного сырья Алакольского бассейна

Table 1. Forecast hydrocarbon reserves of the Alakol basin

Элементы районирования	Категории ресурсов по классификации ГКЗ Казахстана	Категории ресурсов по классификации SPE – PRMS	Объем комплекса км ³	Всего (ресурсы), тыс. тонн	Стратиграфический диапазон	Литология коллекторов
Казахстанский сектор Алакольского бассейна	D ₀ – возможные запасы	P3 – возможные запасы	60000	720000	D ₃ -C ₁	терригенный
			36900	442800	T ₃ -J-Ф	терригенный
			Итого	1162800		

вдоль оз. Сасыкколь. Протяженность структур 200 и 150 км соответственно, при ширине 50 и 70 км и площадь соответственно 10000 и 10500 км², мощностью 2 км. Объемная плотность ресурсов с учетом допусков принята 12000 т/км³ [Vassoevich, 1988].

Таким образом, начальные извлекаемые запасы углеводородов – 1162800 тыс. тонн, извлекаемые запасы нефтепродуктов составляют 1/3 прогнозных ресурсов.

5. ОБСУЖДЕНИЕ

Глубокое бурение в центральных частях АБ и геохимические исследования с целью прогноза нефтегазонасыщенности не производились. Верхнедевонско-нижнекаменноугольные породы АБ залегают на глубине от 2.5 (кровля горизонта) до 4 км и глубже (подошва). Соответственно, они могли достичь уровня зрелости активной генерации углеводородов (зоны «газового окна») и являются потенциально перспективными. Палеозойские водоносные отложения содержат преимущественно пресные инфильтрационные воды с минерализацией 1–2 мг/литр. Такого же уровня минерализация характерна для юрских, меловых и палеогеновых отложений, однако с увеличением глубины залегания она возрастает до 20 г/литр [Li, 1975; Daukeev et al., 2002a; Akchulakov et al., 2002; Iskaziyevev et al., 2015; Zholtaev, Ozdoeyevev, 2010].

Алакольский бассейн, образованный вследствие опускания блока земной коры в позднем палеозое – мезозое (см. рис. 3, 4) по крупноамплитудным сбросо-сдвигам ГДР и ГЧР, характеризуется слабой вертикальной кинетикой с неглубоким залеганием фундамента. Наиболее глубокие Южно- и Северо-Алакольские прогибы заполнены верхнепалеозойскими терригенными отложениями (см. рис. 3, 5).

Показателем нефтеносности может служить самоизливающаяся вода с пленкой нефти из скважины в 5 км западнее пос. Жарбулак. Интересны названия, данные местным населением природным источникам, озерам, содержащие информацию о цветовых оттенках воды. Наиболее распространенным является черный цвет, т.е. цвет углеводородов – каракудук, карабулак, караколь, карасу.

Проведенные поисково-разведочные работы в пределах площади Джунгарского бассейна показали, что верхнедевонские и каменноугольные комплексы пород обладают большим потенциалом для обнаружения нефти и газа [Li et al., 2015; Zong et al., 2015; Zhu et al., 2022]. В каменноугольных отложениях северо-западной части Китая были открыты нефтегазовые месторождения Укайван, Шиси, Келамейли и Чепайзи, а также ряд нефтеносных участков месторождения Карамай. Высокий углеводородный потенциал имеют также пермские породы. В Зайсанском бассейне нефть и добываемые битумы извлекаются из пермских и юрских коллекторов. Пермские материнские породы показывают низкую степень зрелости. Палеогеновый газ является продуктом процессов биodeградации нефти

и нефтепродуктов. В Зайсанском бассейне были выделены две стадии нефтенасыщения и одна – газонакопления [Li et al., 2015; Zong et al., 2015; Zhu et al., 2022]. Первая стадия формирования углеводородов, вероятно, была 207 млн лет назад (поздний триас), когда материнская порода попала в температурный интервал «нефтяного окна» (глубина 1.6–4.0 км, температура 60–150 °С). Нефть мигрировала в пермские отложения, а резервуары впоследствии подверглись биodeградации. В последующем нефтяная миграция также произошла в верхнем мелу (70–100 млн лет назад) [Akchulakov et al., 2002; Iskaziyevev et al., 2015].

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение позднепалеозойской – мезозойской тектонической эволюции Алакольского бассейна свидетельствует, что породы – коллекторы верхнего девона – карбона – перми, юры и палеогена могли аккумулировать углеводороды. Вероятно, углеводородный потенциал АБ является следствием вторичной миграции углеводородов из подстилающих терригенных отложений.

Возможные перспективы Алакольского бассейна на углеводородное сырье в зонах погружения фундамента связаны с увеличением мощности отложений карбона, перми, триаса, нижней юры, обогащенных органическим веществом; погружением кровли фундамента АБ, имеющей ступенчатый характер поверхности и контролируемой динамикой ГДР и ГЧР и сопряженных с ними опережающих разломов на коллизионном и постколлизионном этапе, что, в свою очередь, приводит к формированию стратиграфических, литологических и структурно-экранированных ловушек.

Выявленные особенности регионального, локального строения, литолого-палеогеографических условий, литолого-фациального и вещественного состава пород Алакольского бассейна позволяют в определенной мере оптимистически оценивать перспективы его углеводородного потенциала. Прогнозируемые зоны с ловушками приурочены к опущенным частям грабенов.

7. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны М.М. Буслову и А.В. Куликовой за высококвалифицированное рецензирование статьи; высказанные замечания способствовали ее значительному улучшению.

8. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

All authors made an equivalent contribution to this article, read and approved the final manuscript.

9. РАСКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ / DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с этой рукописью.

The authors declare that they have no conflicts of interest relevant to this manuscript.

10. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Akchulakov U.A., Zhylkaidarov I.S., Zholtayev G., Zhylkaidarov S.Ye., Paragulgov Kh.Kh., Rabinovich A.A., 2002. Methodological Guidelines for the Quantification of Inferred Hydrocarbon Resources of the Republic of Kazakhstan. *Almaty*, 72 p. (in Russian) [Акчулаков У.А., Жылкайдаров И.С., Жолтаев Г., Жылкайдаров С.Е., Парагульгов Х.Х., Рабинович А.А. Методическое руководство по количественной оценке прогнозных ресурсов углеводородного сырья Республики Казахстан. Алматы, 2002. 72 с.]
- Alexeiev D.V., Bykadorov V.A., Volozh Yu.A., Sapozhnikov R.B., 2017. Kinematic Analysis of Jurassic Grabens of Southern Turgai and the Role of the Mesozoic Stage in the Evolution of the Karatau–Talas–Ferghana Strike-Slip Fault, Southern Kazakhstan and Tian Shan. *Geotectonics* 51, 105–120. <https://doi.org/10.1134/S0016852117020029>.
- Aubekerov B.Zh., Cirelson B.S., Bykadorov V.A., Popov V.A., 2010. Peculiarities of the Geological Structure and Prospects of Oil and Gas Potential of the Mesozoic-Cenozoic Sedimentary Basins of Southern Kazakhstan. *News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences* 3, 131–140 (in Russian) [Аубекеров Б.Ж., Цирельсон Б.С., Быкадоров В.А., Попов В.А. Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности мезозой-кайнозойских осадочных бассейнов Южного Казахстана // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2010. № 3. С. 131–140].
- Azizov T.M., Vlasov V.I., 1997. Coal and Oil Shale Basins and Fields of Kazakhstan. *Mineral Resources of Kazakhstan. Almaty*, 113 p. (in Russian) [Азизов Т.М., Власов В.И. Бассейны и месторождения углей и горючих сланцев Казахстана. Алматы, 1997. 113 с.]
- Bekzhanov G.R., Koshkin V.Ya., Nikitchenko I.I., Smirnov A.V., Skrinnik L.I., 2000. Geological Structure of Kazakhstan: Explanatory Note to the Map in Scale 1:1000000. *Academy of Mineral Resources of the Republic of Kazakhstan, Almaty*, 396 p. (in Russian) [Бекжанов Г.Р., Кошкин В.Я., Никитченко И.И., Смирнов А.В., Скринник Л.И. Геологическое строение Казахстана: Пояснительная записка к карте масштаба 1:1000000. Алматы: Академия минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2000. 396 с.]
- Bespalov V.F., 1971. Geological Structure of the Kazakh SSR. *Nauka, Alma-Ata*, 363 p. (in Russian) [Беспалов В.Ф. Геологическое строение Казахской ССР. Алма-Ата: Наука, 1971. 363 с.]
- Bian W., Hornung J., Liu Z., Wang P., Hinderer M., 2010. Sedimentary and Palaeoenvironmental Evolution of the Junggar Basin, Xinjiang, Northwest China. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments* 90, 175–186. <https://doi.org/10.1007/s12549-010-0038-9>.
- Brunet M., Sobel E.R., McCann T., 2020. Geological Evolution of Central Asian Basins and the Western Tien Shan Range. *Geological Society of London Special Publications* 427, 1–17. <https://doi.org/10.1144/SP427.17>.
- Buslov M.M., 2011. Tectonics and Geodynamics of the Central Asian Foldbelt: The Role of Late Paleozoic Large-Amplitude Strike-Slip Faults. *Russian Geology and Geophysics* 52 (1), 52–71. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2010.12.005>.
- Buslov M.M., Cai K., 2017. Tectonics and Geodynamics of the Altai-Junggar Orogen in the Vendian-Paleozoic: Implications for the Continental Evolution and Growth of the Central Asian Fold Belt. *Geodynamics & Tectonophysics* 8 (3), 421–427. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-3-0252>.
- Buslov M.M., Watanabe T., Smirnova L.V., Fujiwara I., Iwata K., de Grave I., Semakov N.N., Travin A.V., Kir'yanova A.P., Kokh D.A., 2003. Role of Strike-Slip Faults in Late Paleozoic – Early Mesozoic Tectonics and Geodynamics of the Altai-Sayan and East Kazakhstan Folded Zone. *Russian Geology and Geophysics* 44 (1–2), 49–75.
- Cao J., Wang X., Wei D., Sun P., Hu W., Jia D., Zhao Y., 2010. Complex Petroleum Migration and Accumulation in Central Region of Southern Junggar Basin, Northwest China. *Journal of Earth Sciences* 21, 83–93. <https://doi.org/10.1007/s12583-010-0004-5>.
- Daukeev S.Zh., Uzhkenov B.S., Abdulin A.A., Bespaev H.A., Vocalevsky E.S., Ljubetsky V.N., Mazurov A.K., Miroshnichenko L.A. (Eds), 2002a. Deep Structure and Mineral Resources of Kazakhstan. *Oil and Gas. Vol. 3. Almaty*, 248 p. (in Russian) [Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана: Нефть и газ / Ред. С.Ж. Даукеев, Б.С. Ужкенов, А.А. Абдулин, Х.А. Беспаяев, Э.С. Воцалевский, В.Н. Любецкий, А.К. Мазуров, Л.А. Мирошниченко. Алматы, 2002. Т. 3. 248 с.]
- Daukeev S.Zh., Ushkenov B.S., Miletchenko N.V., Morozov A.F., Leonov Yu.G., Futong W., Akhmedov N.A., Abdyllyayev E.K. et al. (Eds), 2002b. Atlas of Lithology-Paleogeographical, Structural, Palinspastic and Geoenvironmental Maps of Central Eurasia. *Scientific Research Institute of Natural Resources YUGGEO, Almaty*, 132 p. (in Russian) [Атлас литолого-палеогеографических, структурных, палинспастических и геоэкологических карт Центральной Евразии / Ред. С.Ж. Даукеев, Б.С. Ужкенов, Н.В. Милетченко, А.Ф. Морозов, Ю.Г. Леонов, В. Футун, Н.А. Ахмедов, Э.Х. Абдыллаев и др. Алматы: Научно-исследовательский институт природных ресурсов ЮГГЕО, 2002. 132 с.]
- Didenko A.N., Mossakovskii A.A., Pecherskii D.M., Ruzhentsev S.V., Samygin S.G., Kheraskova T.N., 1994. Geodynamics of the Central Asian Paleozoic Oceans. *Russian Geology and Geophysics* 35 (7–8), 59–75 (in Russian) [Диденко А.Н., Моссаковский А.А., Печерский Д.М., Руженцев С.В., Самыгин С.Г., Хераскова Т.Н. Геодинамика палеозойских океанов Центральной Азии // Геология и геофизика. 1994. Т. 35. № 7–8. С. 59–75].
- Dobretsov N.L., 2003. Evolution of Structures of the Urals, Kazakhstan, Tien Shan, and Altai-Sayan Region within the Ural-Mongolian Fold Belt (Paleoasian Ocean). *Russian Geology and Geophysics* 44 (1–2), 3–26.
- Dobretsov N.L., Buslov M.M., 2007. Late Cambrian-Ordovician Tectonics and Geodynamics of Central Asia. *Russian Geology and Geophysics* 48 (1), 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2006.12.006>.

Feng J., Dai J., Li X., Luo P., 2018. Soft Collision and Polyphasic Tectonic Evolution of Wuxia Foreland Thrust Belt: Evidence from Geochemistry and Geophysics at the Northwestern Margin of the Junggar Basin. *Journal of Geodynamics* 118, 32–48. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2018.05.004>.

Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Stanevich A.M., Pisarevsky S.A., Zhang S., Motova Z.L., Mazukabzov A.M., Li H., 2019. U-Pb Detrital Zircon Geochronology and Provenance of Neoproterozoic Sedimentary Rocks in Southern Siberia: New Insights into Breakup of Rodinia and Opening of Paleo-Asian Ocean. *Gondwana Research* 65, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2018.07.007>.

Han S., Sang S., Liang J., Wang W., Zhang G., Wang S., 2019. Characteristics and Genesis of Diachronous Carboniferous Volcano-Sedimentary Sequences: Insights from Geochemistry, Petrology and U-Pb Dating in the North Junggar Basin, China. *International Geology Review* 61 (4), 404–423. <https://doi.org/10.1080/00206814.2018.1428830>.

He D., Chen X., Kuang J., Yuan H., Fan C., Tang Y., Wu X., 2010. Distribution of Carboniferous Source Rocks and Petroleum Systems in the Junggar Basin. *Petroleum Exploration and Development* 37 (4), 397–408. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(10\)60041-9](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(10)60041-9).

Hendrix M.S., Brassell S.C., Carroll A.R., Graham S.A., 1995. Sedimentology, Organic Geochemistry, and Petroleum Potential of Jurassic Coal Measures: Tarim, Junggar, and Turpan Basins, Northwest China. *AAPG Bulletin* 79 (7), 929–959. <https://doi.org/10.1306/8D2B2187-171E-11D7-864500102C1865D>.

Iskaziyev K.O., Karabalin U.S., Akchulakov U.A. (Eds), 2015. Atlas of Oil and Gas Bearing and Prospective Sedimentary Basins of the Republic of Kazakhstan. Astana, 97 p. (in Russian) [Атлас нефтегазоносных и перспективных осадочных бассейнов Республики Казахстан / Ред. К.О. Исказиев, У.С. Карабалин, У.А. Акчулаков. Астана, 2015. 97 с.].

Ji J., Wu K., Pei Y., Guo W., Liu Y., Li T., 2021. Fault Sealing Evaluation of a Strike-Slip Fault Based on Normal Stress: A Case Study from Eastern Junggar Basin, NW China. *Energies* 14, 1468. <https://doi.org/10.3390/en14051468>.

Khisamov R.S., Safarov A.F., Kalimullin A.M., Dryagalkina A.A., 2018. Probabilistic-Statistical Estimation of Reserves and Resources According to the International Classification SPE-PRMS. *Georesources* 20 (3), 158–164 (in Russian) [Хисамов Р.С., Сафаров А.Ф., Калимуллин А.М., Дрягалкина А.А. Вероятностно-статистическая оценка запасов и ресурсов по международной классификации SPE-PRMS // Георесурсы. 2018. Т. 20. № 3. С. 158–164]. <http://doi.org/10.18599/grs.2018.3.158-164>.

Korobkin V.V., Buslov M.M., 2011. Tectonics and Geodynamics of the Western Central Asian Fold Belt (Kazakhstan Paleozoides). *Russian Geology and Geophysics* 52 (12), 1600–1618. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2011.11.011>.

Korobkin V., Chaklikov A., Tulemissova Z., Samatov I., Dobrovolskaya Y., 2023. Results of the Study of Epigenetic Changes of Famennian–Tournaisian Carbonate Rocks of the Northern Marginal Shear Zone of the Caspian Syncline

(Kazakhstan). *Minerals* 13 (2), 249. <https://doi.org/10.3390/min13020249>.

Korobkin V., Samatov I., Chaklikov A., Tulemissova Z., 2022. Peculiarities of Dynamics of Hypergenic Mineral Transformation of Nickel Weathering Crusts of Ultramafic Rocks of the Kempirsay Group of Deposits in Western Kazakhstan. *Minerals* 12 (5), 650. <https://doi.org/10.3390/min12050650>.

Korobkin V.V., Smirnov A.V., 2006. Paleozoic Tectonics and Geodynamics of Volcanic Arcs in Northern Kazakhstan. *Russian Geology and Geophysics* 47 (4), 458–470.

Koshkin V.Ya., 1974. Tectonic Position of the Balkhash-Ili Hercynian Volcanic Belt. In: M.V. Muratov, A.A. Belov, L.P. Zonenshain et al. (Eds), *Tectonics of the Ural-Mongolian Folded Belt: Proceedings of the Meeting*. Nauka, Moscow, p. 86–92 (in Russian) [Кошкин В.Я. Тектоническое положение Балхаш-Илийского герцинского вулканического пояса // Тектоника Урало-Монгольского складчатого пояса: Труды совещания / Ред. М.В. Муратов, А.А. Белов, Л.П. Зоненшайн и др. М.: Наука, 1974. С. 86–92].

Kröner A., Kovach V., Belousova E., Hegner E., Armstrong R., Dolgoplova A., Seltmann R., Alexeiev D.V., Hoffmann J.E. et al., 2014. Reassessment of Continental Growth during the Accretionary History of the Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research* 25 (1), 103–125. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.12.023>.

Kurchavov A.M., Granin M.S., Mal'chenko E.G., Zhukovskii V.I., Khamzin B.S., Mazurov A.K., Khamza S.Kh., 2000. Zoning, Segmentation, and Paleogeodynamics of the Devonian Volcanic Belt in Central Kazakhstan. *Geotectonics* 4, 32–43 (in Russian) [Курчавов А.М., Гранкин М.С., Мальченко Е.Г., Жуковский В.И., Хамзин Б.С., Мазуров А.К., Хамза С.Х. Зональность, сегментированность и палеогеодинамика девонского вулканического пояса Центрального Казахстана // Геотектоника. 2000. Т. 4. С. 32–43].

Li A.B., 1975. Tectonics and Prospects of Oil and Gas Potential of the Southern Kazakhstan. Nauka, Alma-Ata, 220 p. (in Russian) [Ли А.Б. Тектоника и перспективы нефтегазоносности Южного Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1975. 220 с.].

Li D., He D., Santosh M., Ma D., Tang J., 2015. Tectonic Framework of the Northern Junggar Basin. *Gondwana Research* 27 (3), 1089–1109. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.08.015>.

Mossakovsky A.A., Ruzhentsev S.V., Samygin S.G., Kheraskova T.N., 1993. Central Asian Fold Belt: Geodynamic Evolution and Formation History. *Geotectonics* 6, 3–33 (in Russian) [Моссаковский А.А., Руженцев С.В., Самыгин С.Г., Хераскова Т.Н. Центрально-Азиатский складчатый пояс: геодинамическая эволюция и история формирования // Геотектоника. 1993. № 6. С. 3–33].

Rodygin A.I., 2001. *Dynamically Metamorphosed Rocks*. Publishing House of the Tomsk University, 356 p. (in Russian) [Родыгин А.И. Динамометаморфические породы. Томск: Изд-во Томского университета, 2001. 356 с.].

Ryazantsev A.V., Degtyarev K.Ye., Kotov A.B., Sal'nikova E.B., Anisimova I.V., Yakovleva S.Z., 2009. Ophiolites and Island-Arc Complexes of the Zhalaier-Naiman Zone and the

Chu-Kendykta Massif (South Kazakhstan): Position in the Structure, Substantiation of the Age and Setting of Formation. *Doklady Earth Sciences* 427, 902–906. <https://doi.org/10.1134/S1028334X09060038>.

Samygin S.G., Kheraskova T.N., 2019. Geological Structure and Stages of Tectonic Evolution of the Paleozooids of Kazakhstan. *Lithosphere* 19 (3), 347–371 (in Russian) [Самыгин С.Г., Хераскова Т.Н. Геологическое строение и этапы тектонической эволюции палеозоид Казахстана // Литосфера. 2019. Т. 19. № 3. С. 347–371]. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2019-19-3-347-371>.

Şengör A.M.C., Natal'in B.A., Burtman V.S., 1993. Evolution of the Altiid Tectonic Collage and Paleozoic Crustal Growth in Eurasia. *Nature* 364, 299–307. <https://doi.org/10.1038/364299a0>.

Sklyarov E.V., Lavrenchuk A.V., Fedorovsky V.S., Pushkarov E.V., Semenova D.V., Starikova A.E., 2020. Dismembered Ophiolite of the Olkhon Composite Terrane (Baikal, Russia): Petrology and Emplacement. *Minerals* 10 (4), 305. <https://doi.org/10.3390/min10040305>.

Smirnov A.V., Korobkin V.V., 2003. Tectonic Map of Kazakhstan in Scale 1:1000000 (Mapping Principles and Methods). *News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences* 2, 77–89 (in Russian) [Смирнов А.В., Коробкин В.В. Тектоническая карта Казахстана масштаба 1:1000000: (принципы и методика построения) // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2003. № 2. С. 77–89].

Vassoevich N.B., 1988. Oil and Gas Potential of Sedimentary Basins. *Selected Works*. Nauka, Moscow, 260 p. (in Russian) [Вассоевич Н.Б. Нефтегазоносность осадочных бассейнов: Избранные труды. М.: Наука, 1988. 260 с.].

Wang H.Z., 1985. *Atlas of the Paleogeography of China*. Cartographic Publishing House, Beijing, China, 168 p.

Windley B.F., Alexeiev D., Xiao W.J., Kröner A., Badarch G., 2007. Tectonic Models for Accretion of the Central Asian Orogenic Belt. *Journal of Geological Society* 164 (1), 31–47. <https://doi.org/10.1144/0016-76492006-022>.

Windley B.F., Kröner A., Guo J., Qu G., Li Y., Zhang C., 2002. Neoproterozoic to Paleozoic Geology of the Altai Orogen, NW China: New Zircon Age Data and Tectonic Evolution. *Journal of Geology* 110 (6), 719–737. <https://doi.org/10.1086/342866>.

Xiao W.J., Santosh M., 2014. The Western Central Asian Orogenic Belt: A Window to Accretionary Orogenesis and Continental Growth. *Gondwana Research* 25 (4), 1429–1444. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.01.008>.

Xiao W.J., Windley B.F., Allen M.F., Han C.M., 2013. Paleozoic Multiple Accretionary and Collisional Tectonics of the

Chinese Tianshan Orogenic Collage. *Gondwana Research* 23 (4), 1316–1341. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.01.012>.

Xiao W.J., Windley B.F., Huang B.C., Han C.M., Yuan C., Chen H.L., Sun M., Sun S., Li L., 2009. End-Permian to Mid-Triassic Termination of the Accretionary Processes of the Southern Altaids: Implications for the Geodynamic Evolution, Phanerozoic Continental Growth, and Metallogeny of Central Asia. *International Journal of Earth Sciences* 98, 1189–1217. <https://doi.org/10.1007/s00531-008-0407-z>.

Zholtaev G.Zh., Nikitina O.I., Zhaimina V.Ya., Seitmuratova E.Yu., Pirogov T.E., Ivanova N.I., Fazylov E.M., Musina E.S., Nigmatova S.A., Baishashov B.U., 2021. Modernization of the Phanerozoic Stratigraphic Schemes of Kazakhstan Based on the International Chronostratigraphic Scale – 2016–2021. LPP "378", Almaty, 139 p. (in Russian) [Жолтаев Г.Ж., Никитина О.И., Жаймина В.Я., Сейтмуратова Э.Ю., Пирогова Т.Е., Иванова Н.И., Фазылов Е.М., Мусина Э.С., Нигматова С.А., Байшашов Б.У. Модернизация стратиграфических схем фанерозоя Казахстана на основе Международной хроностратиграфической шкалы – 2016–2021. Алматы: ТОО «378», 2021. 139 с.].

Zholtaev G.Zh., Ozdoyev S.M., 2010. Prospects of Oil and Gas Potentials of the Alakol Sedimentary Basin. *News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences* 3, 122–127 (in Russian) [Жолтаев Г.Ж., Оздоев С.М. Перспективы нефтегазоносности Алакольского осадочного бассейна // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2010. № 3. С. 122–127].

Zhu X., Shen C., Zhao B., Hu S., Ge X., Wang L., 2022. Multi-Stage Hydrocarbon Migration and Accumulation of Permian Petroleum System in the Zaysan Basin, NE Kazakhstan. *Journal of Petroleum Sciences and Engineering* 208, 109291. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109291>.

Zonenshain L.P., Kuzmin M.I., Natapov L.M., 1990. *Geology of the USSR: A Plate Tectonic Synthesis*. American Geophysical Union, Washington, 242 p. <https://doi.org/10.1029/GD021>.

Zong R., Fan R., Gong Y., 2015. Advances in the Research on Carboniferous Deep-Water Marine Deposits in Western Junggar, Northwestern China. *Geological Journal* 50 (2), 111–121. <https://doi.org/10.1002/gj.2532>.

Zou C., Hou L., Tao S., Yuan X., Zhu R., Jia J., Zhang X., Li F., Pang Z., 2012. Hydrocarbon Accumulation Mechanism and Structure of Large-Scale Volcanic Weathering Crust of the Carboniferous in Northern Xinjiang, China. *Science China Earth Sciences* 55, 221–235. <https://doi.org/10.1007/s11430-011-4297-8>.