

УДК 551.77(574.42)

## СТРАТИГРАФИЯ КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ И ИСТОРИЯ НОВЕЙШЕГО ЭТАПА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ЗАЙСАНСКОЙ ВПАДИНЫ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)

© 2023 г. Я. И. Трихунков<sup>1, \*</sup>, А. С. Тесаков<sup>1</sup>, Д. М. Бачманов<sup>1</sup>, Е. В. Сыромятникова<sup>2, 3</sup>,  
А. В. Латышев<sup>4, 5</sup>, С. А. Буланов<sup>6</sup>, А. Ж. Азельханов<sup>7</sup>, Е. С. Суйекпаев<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Геологический институт РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

<sup>5</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Москва, Россия

<sup>6</sup> Институт географии РАН, Москва, Россия

<sup>7</sup> ТОО “AG Project Company”, Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>8</sup> ТОО “Mine Database Company”, Алматы, Казахстан

\*e-mail: jarsun@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.07.2022 г.

После доработки 27.12.2022 г.

Принята к публикации 17.02.2023 г.

Зайсанская впадина, расположенная между горными сооружениями Алтая и Саур-Тарбагатая, представляет собой уникальную геологическую структуру, сохранившую наиболее полный архив осадочных пород позднего мезозоя и большей части кайнозойской эры. Столетие исследований принесло обширные данные по стратиграфии и геологической истории зайсанской осадочной последовательности. Научный прогресс последних лет позволил уточнить кайнозойскую стратиграфическую шкалу региона. В статье представлены результаты детального морфоструктурного анализа Зайсанской впадины и предложено ее морфотектоническое районирование на основе современных тектонических и геодинамических представлений. Приводятся новые результаты магнитостратиграфического расчленения разреза Калмакпай – наиболее полного и концентрированного разреза осадочных толщ впадины – и его сопоставления с данными бурения осевой части впадины. Путем синтеза магнитостратиграфии с богатой региональной биостратиграфической летописью уточняется кайнозойская стратиграфия региона, динамика тектонических движений и развития рельефа, а также ландшафтов Зайсанской котловины и ограничивающих ее высокогорных структур Саур-Тарбагатая.

**Ключевые слова:** Зайсанская впадина, стратиграфия, магнитостратиграфия, биостратиграфия, неотектоника, морфотектоника, палеогеография

**DOI:** 10.31857/S0869592X23060121, **EDN:** OFYZIE

### ВВЕДЕНИЕ

Зайсанская впадина входит в состав обширного Центрально-Азиатского орогенного пояса и занимает промежуточное положение между горными системами Алтая на севере и северо-востоке и Саур-Тарбагатая на юге и юго-западе. Это одна из крупнейших межгорных впадин в пределах вышеуказанного подвижного пояса, имеющая широкий выход как на запад, в сторону Казахского мелкосопочника, так и на восток, где постепенно сливается с северной периферией Джунгарской котловины.

Зайсанский межгорный прогиб унаследованно развивается между горно-складчатыми соору-

жениями Саур-Тарбагатая и Алтая с позднего палеозоя. Новейшая история развития прогиба начинается с длительного этапа планации рельефа на рубеже мезо-кайнозоя с формированием региональной поверхности выравнивания (Василенко, 1961; Зайсанская..., 1962; Борисов, 1963; Ерофеев, 1969; Карта..., 1971). Установлено поднятие данной поверхности почти до 4 км на хребте Саур и опускание на 1.5 км в центральной части Зайсанской впадины, где еще в начале кайнозоя началось озерное осадконакопление, сформировавшее осадочный чехол впадины (Трихунков и др., 2020).

Геолого-геоморфологическому строению, био- и магнитостратиграфии, палеонтологии и истории развития Зайсанской впадины посвящены

многочисленные работы советского и постсоветского времени. Тектоника и структурный рельеф впадины освещены в работах (Арган, 1935; Ерофеев, 1969; Равнины..., 1975; Обухов, 1990, 1997; Халимов и др., 1991; Хаин, Яблонская, 1997; Трихунков и др., 2020; Трифонов и др., 2021). Расчленение осадочных разрезов впадины опирается главным образом на работы (Нехорошев, 1932, 1941; Лавров, Ерофеев, 1958; Лавров, Бажанов, 1959; Борисов, 1963, 1984; Великовская, 1964; Ерофеев, 1969; Лискун, 1975; Венус и др., 1980; Обухов, 1990, 1997; Халимов и др., 1991; Зыкин, 2012 и др.). Биостратиграфия региона разработана в публикациях (Криштофович и др., 1956; Борисов, 1963, 1984; Чхиквадзе, 1973, 2008; Толстикова, 1976; Шевырева, 1976; Ильинская и др., 1983; Ахметьев, 1985; Akhmetiev et al., 2005; Вангенгейм и др., 1993; Lucas et al., 1995, 2009 и др.). Важные палеонтологические материалы по мезо-кайнозойским позвоночным Зайсанского региона представлены в серии фундаментальных публикаций (Чхиквадзе, 1973; Шевырева, 1976, 1984; Gabounia, 1977; Gabounia, Chkhikvadze, 1997; Сычевская, 1986; Тлеубердина, 1988; Lucas et al., 1996; Emry et al., 1998; Ербаева, 1999; Ербаева, Тютюкова, 1999; Зажигин, Лопатин, 2000 и других). Фундаментальное значение для изучения палеоботанической истории Азии приобрели работы по третичным листовым и пыльцевым флорам Зайсана (Палибин, 1933; Криштофович и др., 1956; Ильинская, 1983 и многие другие). Для палеогеновых отложений Зайсана стратиграфическое значение имеют также ассоциации харофитов (Кянсеп-Ромашкина, 1980; Zhamangara, Lucas, 1999). Магнитостратиграфические работы проводились под руководством Н.Ф. Данукалова, В.Л. Яхимович (Данукалов и др., 1987; Яхимович и др., 1993), а позднее Томасом с соавторами (Thomas et al., 2002). Благодаря этим работам Зайсанский регион стал опорным при изучении геологической истории Центральной Азии. Однако как со стороны стратиграфии, так и со стороны истории геологического развития региона остался ряд нерешенных вопросов.

В постсоветское время объемы исследовательских работ резко сократились, однако появились новые возможности дистанционных исследований с привлечением цифровых моделей рельефа и геоинформационных систем (Consortium..., 2017; Google..., 2022). В последние годы существенно пополнились региональные палеонтологические данные, особенно о сопредельных территориях Китая (Meng et al., 2008; Deng et al., 2018; Wang et al., 2019), переработана биостратиграфическая шкала (Lucas et al., 2009; Spreijer et al., 2020), опубликована сводка по истории палеонтологических исследований Зайсанской впадины (Байшашев и др., 2016), каталогизированы местонахождения мезо-кайнозойских позвоночных Зайсана (Местона-

хождения..., 2017). Появляются и спорадические публикации с переработкой старых материалов по неогену Зайсана (Kovalchuk et al., 2023). Кроме этого, проводятся палеомагнитные исследования на новом уровне детальности с использованием высокочувствительных криогенных магнитометров типа SQUID.

В данной статье представлены результаты стратиграфических и структурно-геоморфологических исследований центральной части Зайсанской впадины и ее горного обрамления, характеризующихся наибольшим размахом кайнозойского прогибания и орогенных поднятий. Именно в этой части впадины за кайнозойское время накопился наиболее полный осадочный разрез. Отложения описаны и опробованы в разрезах моноклинали южного борта впадины и сопоставлены с данными бурения ее осевой части. Литолого-стратиграфическая корреляция разрезов впадины, сочетание высокоразрешающей биостратиграфии и магнитостратиграфии вместе с синтезом материалов предшественников позволили существенно уточнить хронологию новейшего развития региона.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Проведен морфоструктурный анализ впадины, основанный на интерпретации цифровых моделей рельефа (Consortium..., 2017) с разрешением 3 с, разнообразных структурно-геоморфологических и геолого-геофизических материалов (Государственная..., 1959, 1961a, 1961b; Геоморфологическая..., 1987). Комплексная обработка данных с помощью различных ГИС-программ позволила уточнить выраженность в рельефе тектонических структур, для оценки положения и неотектонического значения которых требуется сочетание обзорности рассмотрения с детальностью дешифрирования. В полевых условиях были изучены детали структурного рельефа внутренних районов впадины и ее южного борта. В результате представлена новая оригинальная схема ее неотектонического районирования. Описанные в статье элементы новейшей структуры были выделены по признакам контроля ими новейших отложений и выраженности в рельефе.

Полевые работы проводились в центральной части Зайсанской впадины, в основном в моноклинали ее южного борта, где вскрыты наиболее полные разрезы кайнозойских отложений. Детально изучен и опробован стратотипический разрез Калмакпай в предгорьях хребта Сайкан, содержащий почти все стратиграфические элементы впадины и достигающий полукилометровой мощности. Отдельные элементы осадочного чехла описаны в долинах рек Аксыир, Тайжуген и Кусто в предгорьях Манракского поднятия. Исследованы гранулометрические характеристики, степень окатанно-

сти и качество сортировки обломочного материала, что позволило уточнить генетические особенности отложений. Структурно-фациальный анализ помог выявить условия формирования отложений, их фациальные соотношения внутри осадочной толщи и на ее контактах со структурами борта впадины, зафиксировать многочисленные несогласия, поверхности выравнивания и коры выветривания.

Для оценки возраста горных пород использовалось сочетание методов био- и магнитостратиграфии. Палеонтологические образцы, рассмотренные в данной статье, были извлечены с использованием массовой промывки ручными ситами с размером ячеек 0.5 мм. Фракции большего размера обрабатывались во время полевых работ, фракции меньшего размера сортировались в лаборатории. Отобранные фаунистические образцы были сопоставлены с актуальной биостратиграфической шкалой кайнозоя Центральной Азии ALMA (Lucas et al., 2009; Deng et al., 2018; Wang et al., 2019; Speijer et al., 2020).

Палеомагнитные образцы были отобраны вручную в виде ориентированных блоков коренных пород. Отбор проб в некоторых местах требовал подготовки канав и траншей глубиной до 0.5 м, достаточной для достижения невыветрелых и недеформированных склоновыми процессами коренных отложений. Ориентация образцов определялась с помощью геологического компаса. Ориентированные образцы были искусственно сцементированы разбавленным силикатным клеем и отобраны с помощью землеройных инструментов. В лаборатории ориентированные каменные блоки были разрезаны на кубики 2 × 2 см. Локальное магнитное склонение было рассчитано с использованием модели IGRF. Образцы были подвергнуты ступенчатому размагничиванию переменным магнитным полем с использованием размагничивающей установки, встроенной в криогенный магнитометр 2G Enterprise в Лаборатории главного геомагнитного поля и петромагнетизма Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук. Размагничивание переменным полем выполнялось в 7 шагов до 130 мТл с постепенным увеличением шага. Остаточную намагниченность образцов измеряли с помощью криогенного магнитометра 2G Enterprises. Выделение компонент естественной остаточной намагниченности (NRM) проводилось с использованием программного пакета (Enkin, 1994) методом главных компонент (Kirschvink, 1980).

Сочетание палеонтологических и палеомагнитных данных позволило получить непротиворечивую модель стратиграфического расчленения осадочного разреза южной части впадины и сопоставить ее с данными бурения центральной части впадины.

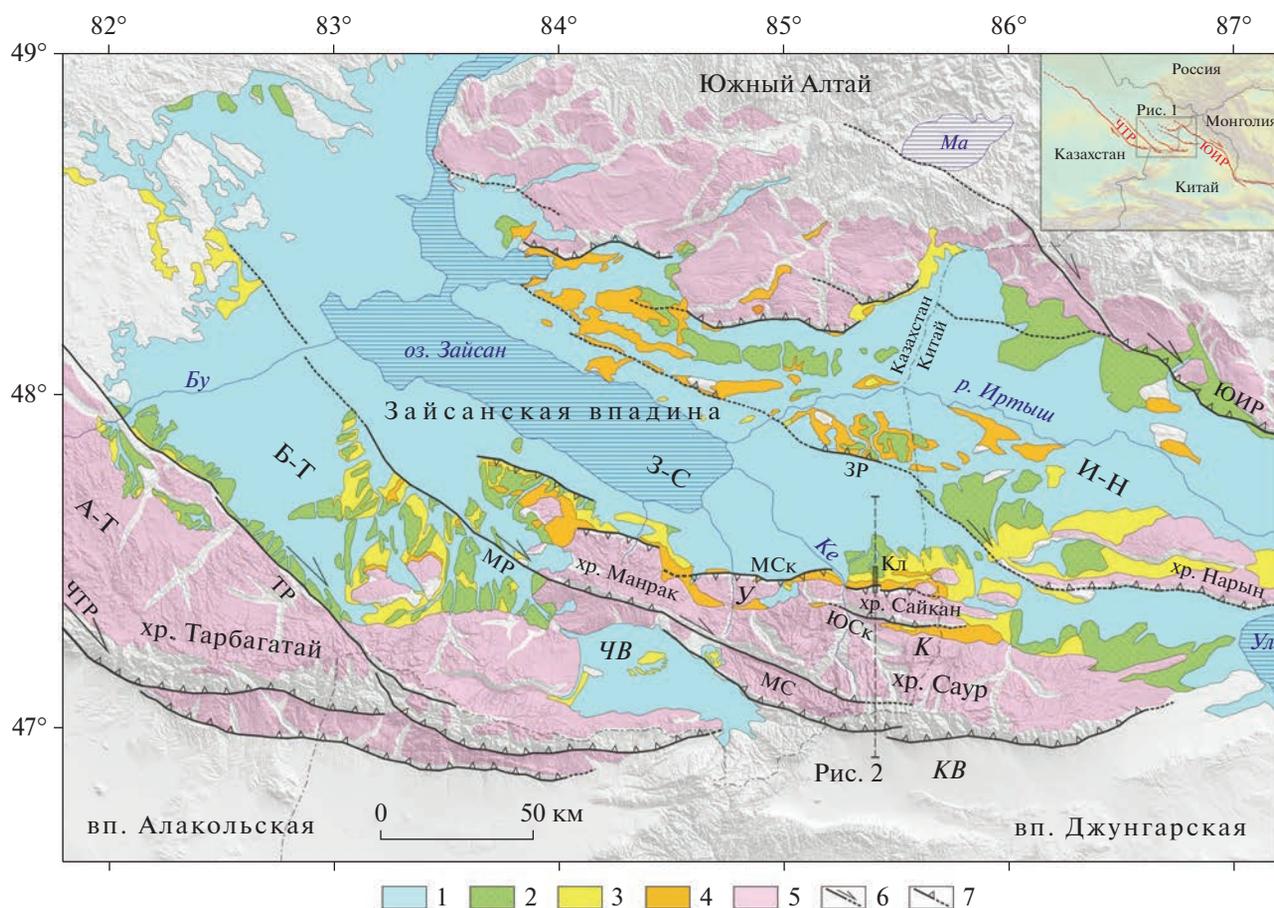
Общую координацию исследования осуществлял Я.И. Трихунков. В полевых работах участвовали: Я.И. Трихунков, Е.В. Сыромятникова, А.В. Латышев, С.А. Буланов, А.Ж. Азельханов, Е.С. Суйекпаев. Лабораторную обработку палеомагнитных образцов проводил А.В. Латышев, палеонтологические данные были обобщены Е.В. Сыромятниковой и А.С. Тесаковым. Работу с цифровыми картографическими материалами выполнил Д.М. Бачманов.

## ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЗАЙСАНСКОЙ ВПАДИНЫ

**Структурно-геоморфологическая характеристика.** Зайсанская впадина соответствует крупному, сложно построенному, длительно живущему межгорному прогибу, унаследованно развивающемуся между горно-складчатыми сооружениями Саур-Тарбагатая и Алтая с позднего палеозоя. Хребты Саур-Тарбагатая, непосредственно примыкающие к району полевых работ, сложены комплексом дислоцированных и прорванных интрузиями эффузивных и метаморфических пород позднего палеозоя; аналогичное строение имеет также и фундамент Зайсанской впадины.

Новейшая структура Зайсанского прогиба и его горного обрамления сформирована в условиях меридионального сжатия (Хаин, Яблонская, 1997; Буланов, 2005; Трихунков и др., 2020; Трифонов и др., 2021) при сочетании сводово-глыбовых деформаций фундамента с подчиненным значением складчатых нарушений кайнозойского осадочного чехла. Сводовая структура отчетливо отражена в деформациях верхнемеловой поверхности выравнивания, покрытой корой выветривания (Карта..., 1971; Трихунков и др., 2020). Поверхность дешифрирована Д.М. Бачмановым на хребте Саур на высотах до 4 км и падает на север под разными углами вплоть до 45° и более (Трихунков и др., 2020). В свою очередь, внутри впадины в устье р. Аксыир кора вскрыта бурением на глубине 250 м, а в центральной части впадины в районе пос. Даирово – на глубинах 1574–1576 м (Зайсанская..., 1962; Ерофеев, 1969). Подобные положительные и отрицательные пликативные структуры большого радиуса сравнимы со складками основания тянь-шаньского типа (Трифонов и др., 2021).

Описанные сводовые деформации осложнены тектоникой блоков, разделенных кулисным рядом новейших правосторонних сдвигов СЗ–ЮВ ориентировки. В южном борту впадины в зоне контакта с Джунгарской микроплитой сдвиги переходят в компенсирующие их широтные взбросы. Поднятые крылья взбросов отвечают главным хребтам Саур-Тарбагатаяйской горной системы (Трихунков и др., 2020). Фактически, новейшее развитие впадины контролируется серией взбросо-сдвигов, подставляющих друг друга кулисно:



**Рис. 1.** Геолого-геоморфологическая карта Зайсанской впадины и ее горного обрамления.

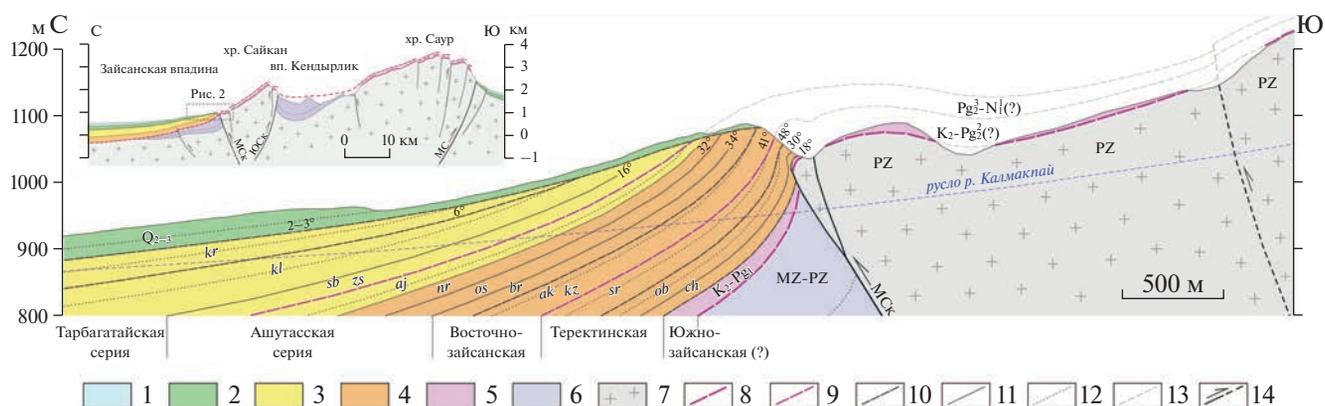
1 – средне-верхнечетвертичные отложения; 2 – нижне-среднечетвертичные отложения; 3 – неогеновые отложения; 4 – верхнемеловые–палеогеновые отложения; 5 – ареал распространения останцов мел-палеогеновой поверхности выравнивания в пределах горного обрамления Зайсанской впадины; 6, 7 – главные разрывные нарушения и их кинематический тип: 6 – сдвиги, 7 – взбросы и надвиги. Буквами обозначены: тектонические домены: А-Т – Аягоз-Тарбагатайский, Б-Т – Бугаз-Тарбагатайский, З-С – Зайсан-Саурский, И-Н – Иртыш-Нарынский; межгорные и внутригорные впадины: ЧВ – Чиликтинская, К – Кендерлыкская, КВ – Кобукская; разломы: ЧТР – Чингиз-Тарбагатайский, ТР – Тарбагатайский, МР – Манракский, ЗР – Зайсанский, ЮИР – Южно-Иртышский; зоны разломов: МСК – Манрак-Сайканская, МС – Манрак-Саурская, ЮСК – Южно-Сайканская; озерные котловины: Ма – Маркаколь, Ул – Улюнгур; реки: Ке – Кендерлык, Бу – Бугаз; Кл – разрез Калмакпай, изображенный на профиле на рис. 2.

Чингиз-Тарбагатайского, Тарбагатайского, Манрак-Саурского, Зайсанского и Южно-Иртышского. Главными, наиболее амплитудными из них, являются Чингиз-Тарбагатайский и Южно-Иртышский сдвиги, обрамляющие впадину с запада и востока соответственно (рис. 1).

Взбросо-сдвиги делят впадину на три ромбовидных диагональных блока СЗ–ЮВ ориентировки. Чтобы подчеркнуть их роль в новейшем развитии впадины, мы используем термин “тектонический домен”. Северная часть каждого из них в пределах впадины опущена, а южная – поднята взбросами и входит в состав Саур-Тарбагатайской горной системы (рис. 1). В пределах впадины домены разделены невысокими едва различимыми присдвиговыми поднятиями, постепенно воздымающимися и достигающими высокогорных вы-

сот в южном борту. Данные домены выделены впервые и названы нами по наиболее крупным гидрологическим объектам в их опущенных частях, а также по горным хребтам на их южной периферии: Бугаз-Тарбагатайский (Западный), Зайсан-Саурский (Центральный) и Иртыш-Нарынский (Восточный, расположенный преимущественно на территории Китая).

В западной части впадины между Чингиз-Тарбагатайским и Тарбагатайским сдвигами выделяется еще один ромбовидный домен, который мы предлагаем назвать Аягоз-Тарбагатайским. Данный блок занимает промежуточное положение между структурами Зайсанской впадины и Казахского мелкосопочника. В его восточной части отмечается ингрессионное распространение кайнозойских осадочных толщ Зайсанской впадины,



**Рис. 2.** Геолого-геоморфологический профиль южного борта Зайсанской впадины в пределах Центрально-Зайсанской структурно-фациальной зоны (Зайсан-Саурского тектонического домена).

1 – средне-верхнечетвертичные отложения; 2 – нижне-среднечетвертичные отложения; 3 – неогеновые отложения; 4 – палеогеновые отложения; 5 – верхнемеловые-нижнепалеогеновые отложения; 6 – пермские и триасовые отложения; 7 – палеозойские отложения; 8 – мел-палеогеновая поверхность выравнивания с корой выветривания; 9 – другие коры выветривания; 10 – поверхности несогласий; 11 – границы описанных в тексте свит; 12 – срезаемые несогласиями маркирующие горизонты; 13 – предполагаемые границы размытых нижнекайнозойских отложений; 14 – разрывные нарушения. Буквами обозначены свиты: *ch* – чакпактасская, *ob* – обайлинская, *sr* – сарыгамысская, *kz* – кызылкаинская, *ak* – аксыирская, *br* – буранская, *os* – ошагандинская, *nr* – нурина, *aj* – акжарская, *zs* – зайсанская, *sb* – сарыбулакская, *kl* – калмакпайская, *kb* – карабулакская; зоны разломов: *МСк* – Манрак-Сайканская, *МС* – Манрак-Саурская, *ЮСк* – Южно-Сайканская.

что может свидетельствовать о распространении сюда Зайсанского озерного бассейна в кайнозой. Однако на современном этапе Аягоз-Тарбагатайский домен отличается низко-среднегорными высотами и, судя по уклону р. Аягоз в сторону Алакольской впадины, имеет общий юго-западный наклон. Эти факты не позволяют отнести его к Зайсанской впадине и рассматривать в настоящей статье.

На протяжении развития впадины все выделенные нами тектонические домены оказывали влияние на развитие осадочных бассейнов в ее пределах. Данная статья посвящена главным образом Зайсан-Саурскому тектоническому домену, отличающемуся наиболее контрастными новейшими движениями. Здесь находится наиболее опущенная часть впадины, занятая современным озером Зайсан, и наиболее поднятая саурская часть Саур-Тарбагатайской горной системы с вершиной Музтау (3816 м). Именно в пределах данного домена наблюдаются максимальные мощности кайнозойских отложений впадины и максимальные новейшие деформации суммарными амплитудами более 5 км. Низкая центральная часть Зайсан-Саурского домена зажата между встречными Манрак-Сайканским и Зайсанским взбросо-сдвигами. В структурном отношении она, фактически, представляет собой рамп-синклиналь (Трихунков и др., 2020).

В зоне сочленения горной системы Саура и впадины развит кулисный ряд передовых глыбовых хребтов: Манрак, Уйдене, Сайкан. Эти блоки с севера ограничены сегментами древнего Ман-

рак-Сайканского взброса (Халимов и др., 1991), а с юга подорваны амплитудными ретронадвигами и взбросами. В связи с этим их следует относить к структурам типа клиньев выжимания (рис. 2, врезка). В зоне контакта передовых хребтов с впадиной развиты крутые флексуры и брахискладки в ее осадочном чехле.

**Стратиграфия кайнозойских отложений.** В основу нашей работы положена система стратиграфического расчленения отложений Зайсанской впадины, разработанная Б.А. Борисовым (Борисов, 1963, 1984). Рассматриваемый нами Зайсан-Саурский домен в своей опущенной зайсанской части соответствует выделяемым этим автором Центрально-Зайсанской и Южно-Зайсанской структурно-фациальным зонам. Мы также используем эти понятия.

Ввиду глубоких изменений в стратиграфических шкалах кайнозоя за последние 30 лет и дискусионности датировок многих элементов осадочного разреза впадины, вначале мы приведем возрастные характеристики отложений в достаточно широком диапазоне и подробно рассмотрим эти вопросы ниже.

В Центрально-Зайсанской структурно-фациальной зоне развиты преимущественно песчано-глинистые озерные и аллювиально-пролювиальные кайнозойские отложения мощностью более 1.5 км в осевой части впадины, залегающие на глубоко эродированных породах палеозоя. В южной части Зайсан-Саурского сегмента на границе с передовыми Манракским, Уйдененским и, частично, Сайканским поднятиями выделяется Юж-

но-Зайсанская структурно-фациальная зона, отвечающая более глубокой и древней Карабулакской впадине, существовавшей еще с конца палеозоя. Учитывая вскрытые Сарыбулакской скважиной пермо-триасовые отложения, мощность осадочного разреза этой части впадины достигает 4859 м (Халимов и др., 1991).

Отложения Зайсанской впадины залегают на верхнемеловой поверхности выравнивания, местами покрытой красноцветной корой выветривания (Борисов, 1963; Ерофеев, 1969; Suiekraev et al., 2019, 2021). Она широко распространена во впадине и во многих местах формирует водораздельные поверхности Манрак-Саурского поднятия (Трихунков и др., 2020). Поверхность и кора моноклинально падают на север в сторону осевой части впадины (рис. 2).

На верхнемеловой (далее — базальной) поверхности выравнивания лежат отложения *южнозайсанской серии*, распространенные преимущественно в Южно-Зайсанской структурно-фациальной зоне (по Б.А. Борисову). Состав отложений варьирует от серых кварцевых песков до кирпично-красного элювия, развитого по верхнепалеозойским эффузивам, а также по каолинистым или монтмориллонитовым, местами гидрослюдистым глинам. В составе серии выделяются сходные по составу манракская и тайжузгенская свиты мощностью 25 и 18 м соответственно (Борисов, 1963). Отложения серии распространены преимущественно в юго-западной части Зайсан-Саурского домена у подножия Манракского хребта. Здесь в долинах Кусто и Тайжузген нами встречен наибольший по мощности (до первых метров) кирпично-красный элювий, ассоциируемый с позднемеловой-палеоценовой корой выветривания, развитой по региональной поверхности выравнивания. Отложения серии также вскрыты бурением в основании Даировской скважины (Зайсанская..., 1962) в центральной части впадины, а восточнее у подножья хребта Сайкан имеют ограниченное распространение.

Отложения *северозайсанской серии* обнажаются только севернее Зайсанского разлома в пределах Северо-Зайсанской структурно-фациальной зоны по Б.А. Борисову, соответствующей Иртыш-Нарынскому домену впадины. Они представлены преимущественно песчанистыми глинами, алевролитами и кварцевыми песками с прослоями ожелезненных песчаников на глинисто-кремнистом цементе (Борисов, 1963). Их возраст оценивается как палеоцен-эоценовый (Лавров, Ерофеев, 1958). В составе серии выделяются актобинская, дюсюмбаевская и киинкеришская свиты суммарной мощностью около 80 м, разделенные размывами.

*Теректинская серия* нижнего-среднего эоцена залегают несогласно на породах палеозоя, а также на отложениях южно- и северозайсанской серий

и распространена преимущественно в пределах Зайсан-Саурского и Иртыш-Нарынского доменов. Полный разрез теректинской серии вскрыт опорной Даировской скважиной (Зайсанская..., 1962), а в обнажениях хорошо представлен в северных предгорьях хр. Сайкан и будет детально описан ниже (рис. 3). Это преимущественно зеленые, рыжие и коричневые монтмориллонитовые и гидрослюдистые глины с прослоями алевролитов и песков суммарной мощностью около 115 м в моноклинали южного борта впадины.

*Восточнозайсанская серия* верхнего эоцена-нижнего олигоцена развита главным образом в восточной части Зайсан-Саурского домена, где несогласно перекрывает южнозайсанскую и теректинскую серии, а иногда залегают непосредственно на породах палеозоя. Восточнозайсанская серия сложена переслаиванием палевых, зеленых, красноватых и коричневых преимущественно монтмориллонитовых, гидрослюдистых глин, палевых алевролитов и охристых песчаников суммарной мощностью до 240 м (Борисов, 1963). Стратотип серии представлен в разрезе Калмакпай, который будет детально описан ниже.

*Ашутасская серия* верхнего олигоцена-низов верхнего миоцена в восточной части Зайсан-Саурского домена с размывом залегают на восточнозайсанской серии, в западной — непосредственно на палеозойских породах, а также широко развита в пределах Иртыш-Нарынского домена. Отложения ашутасской серии имеют более пестрый гранулометрический и минеральный состав в сравнении с породами нижележащих серий. В них участвуют зеленые, красные и коричневые преимущественно монтмориллонитовые и гидрослюдистые глины, белые и коричневые алевролиты, желтые кварцевые и полимиктовые пески, а также конгломераты. Все свиты данной серии развиты в разрезе Калмакпай и будут описаны ниже.

Разрез дочетвертичных отложений Зайсанской впадины венчают породы *тарбагатайской серии* верхнего миоцена, распространенные преимущественно в пределах Бугаз-Тарбагатайского и Зайсан-Саурского доменов. Их общим отличием является развитие красноцветных отложений калмакпайской и карабулакской свит с присутствием карбонатных глин. Две эти свиты формируют половину мощности кайнозойского осадочного разреза впадины и отличаются резким погребением осадков до гравелитов и галечных конгломератов в верхней части карабулакской свиты.

К четвертичным отложениям Зайсанской впадины, по Е.В. Ерофееву, относятся четыре свиты: устьубинская, красная, рорская, новошуйбинская, а также нерасчлененные верхнеплейстоцен-голоценовые отложения (Ерофеев, 1969). Широко распространенные галечно-ва-



**Рис. 3.** Отложения теректинской и восточнозайсанской серий в нижней части разреза Калмакпай (фото Я.И. Трихункова). Буквенные индексы и другие условные обозначения см. на рис. 2. Штрихпунктирной линией обозначены разрывные нарушения Манрак-Сайканской разломной зоны.

лунные конгломераты с плотным известковым цементом, лежащие с глубоким размывом на отложениях различных элементов разреза впадины (верхнегобийские конгломераты, по Б.А. Борисову), В.С. Ерофеев не выделяет в качестве самостоятельного стратиграфического подразделения и включает в состав краснорювской свиты (Ерофеев, 1969).

### МАГНИТО- И БИОСТРАТИГРАФИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЗАЙСАНСКОЙ ВПАДИНЫ (НА ПРИМЕРЕ СТРАТОТИПИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА КАЛМАКПАЙ)

Наиболее полные и концентрированные разрезы осадочного чехла Зайсанской впадины сосредоточены в ее южной части, в пределах Зайсан-Саурского домена (рис. 1). Максимально полным естественным обнажением среди них является разрез Калмакпай, в той или иной степени описанный всеми основными исследователями стратиграфии региона (рис. 4). Разрез расположен в моноклиальной зоне южного борта впадины, прорезанной долиной р. Калмакпай, стекающей с северного склона передового хребта Сайкан. Разрез представлен чередованием преимущественно песчано-глинистых отложений эоцена—квартера суммарной мощностью около 500 м, то есть втрое меньшей в сравнении с осевой частью впадины.

**Палеогеновые отложения.** Разрез осадочного чехла впадины начинается с верхнемеловых—палеоценовых отложений южно- и северозайсанской серий (Борисов, 1963; Ерофеев, 1969), описанных выше и отсутствующих в разрезе Калмак-

пай. Здесь на верхнемеловой коре выветривания залегают отложения теректинской серии нижнего—среднего эоцена. Разрез начинается с песчано-глинистых пород чакпактасской свиты (рис. 2) мощностью до 29 м, содержащих в нижней части прослойки и линзы кварцевых песков и галечников (рис. 5). Фауна рептилий включает черепа *Paraplastomenus cf. mlynarskii* и *Grayemys sp.* Из базальной части свиты описан *Altaytrionyx devjatkini* (Данилов и др., 2017). Возможно, из этой же свиты происходят остатки крокодила *Pristichampsus kuznetzovi* (Скучас и др., 2015). Фауна млекопитающих содержит остатки уинтатерид (*Gobiotherium*), а также тапирообразного *Insectolophus*, соотносится с аршантским веком млекопитающих азиатской биохронологической шкалы и датируется началом среднего эоцена (Габуня и др., 1983; Lucas et al., 2009) или второй половиной иппра (Wang et al., 2019; Speijer et al., 2020). В этом возрастном контексте отложения, намагниченные преимущественно отрицательно в нижней части разреза и положительно — в верхней, соотносятся нами с одним из магнитохронов конца раннего—начала среднего эоцена, например с С22. Это подтверждается также положением свиты в сводном разрезе впадины и соотношением с датированными частями разреза.

Выше с небольшим размывом залегают желтовато-коричневые преимущественно глинистые породы обайлинской свиты суммарной мощностью до 27 м. Обайлинская свита неоднородна и характеризуется несколькими этапами развития фауны (Габуня и др., 1983). Фауна черепах демонстрирует высокое разнообразие и позволяет выделять нижнеобайлинскую, среднеобайлин-

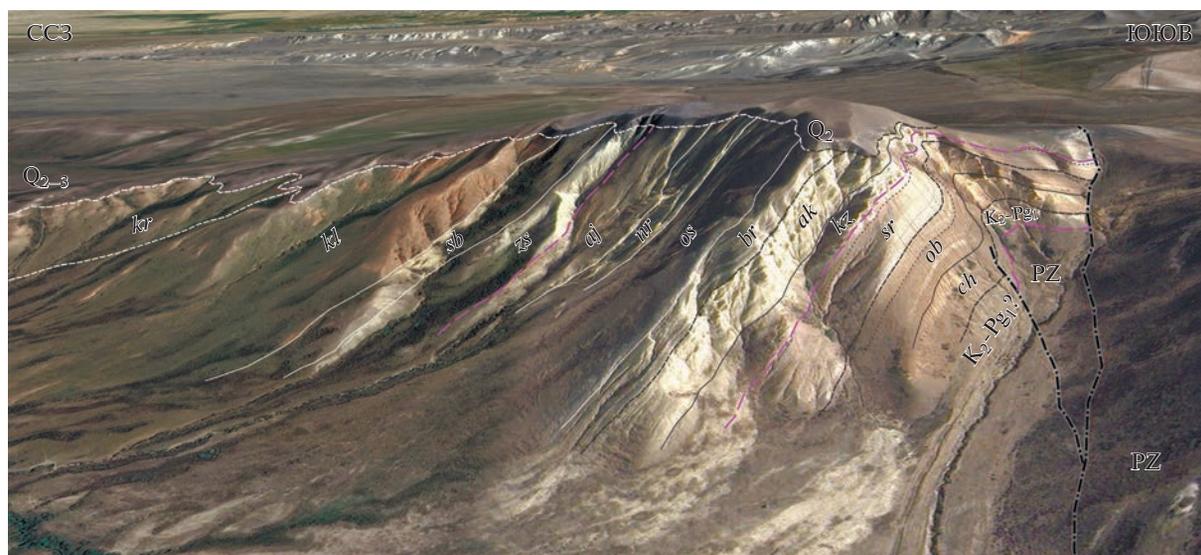


Рис. 4. Общий вид разреза Калмакпай (изображение создано с помощью программы Google Earth). Буквенные обозначения и типы стратиграфических границ см. на рис. 2. Штрихпунктирной линией обозначены разрывные нарушения Манрак-Сайканской разломной зоны.

скую и верхнеобайлинскую подсвиты (Чхиквадзе, 1999). Фауна черепах разреза Калмакпай происходит из нижней и средней частей обайлинской свиты и, по-видимому, различна по составу: *Paraplastomenus mlynarskii*, *Zaisanonyx jimenezfuentesi*, *Grayemys amoena* (из нижней части свиты), *Altaytrionyx burtshaki*, *Grayemys zevsi*, *Nadrianus obailiensis* (из средней части свиты). “*Adocus*” *kazakhstanica* встречается по всей свите в данном разрезе (Данилов и др., 2017). Верхняя часть обайлинской свиты характеризуется видовой стадией *Altaytrionyx gabunii*, не выявленной в разрезе Калмакпай. Описаны крокодилы *Dollosuchus zajsanicus* и *Manracosuchus isolatus* (Скучас и др., 2015). Богатая фауна млекопитающих включает разнообразную ассоциацию непарнокопытных *Breviodon*, *Lophialetes*, *Rhodopagus*, *Teleolophus*, *Forstercooperia*, а также грызунов ктенодактилид и впервые появляющихся зайцеобразных (Габуния, 1984; Lucas et al., 2009). Обайлинская териофауна коррелируется с ирдинманским веком млекопитающих (Lucas et al., 2009), что определяет время существования обайлинской фауны в интервале самого конца раннего или начала среднего эоцена (ипр–лютет; 49–44 млн лет) и соотносится с магнитохроном C21 и нижней частью C20.

Преимущественно глинистые отложения сарыгамысской свиты суммарной мощностью 36 м также с разрывом залегают на обайлинской свите. В разрезе чередуются зеленые и светло-коричневые монтмориллонитовые глины и серые алевролиты. Литологическая характеристика и горизонтальная слоистость отложений позволяют предполагать их озерный генезис. Фауна позвоночных сарыгамысской свиты включает обедненную ассоциацию

обайлинского типа (Lucas et al., 2009), в том числе носорогов *Triplopus* и *Forstercooperia*. Черепахи также малочисленны и характеризуются видовой стадией *Grayemys minutissima*, однако в отложениях свиты разреза Калмакпай остатки рептилий не выявлены. Среди мелких млекопитающих отмечены мимотониды, первые охотониды, разнообразные ктенодактилидные грызуны (*Gabounia*, *Chkhikvadze*, 1997). Эта фауна также коррелируется с ирдинманским веком млекопитающих, что позволяет определить ее возраст как лютетский. Отрицательная намагниченность в нижней части свиты и положительная в верхней (рис. 6а) позволяют соотнести ее с ортозоной C20 и лютетским ярусом среднего эоцена.

Во время накопления отложений теректинской серии происходили подвижки по одной из ветвей Манрак-Сайканской зоны разломов, вызвавшие развитие конседиментационной Калмакпайской антиклинали. Судя по соотношению деформированных и недеформированных частей разреза, движения происходили в обайлинское и сарыгамысское время (рис. 3). Несколько слоев этих свит выпадают из разреза Калмакпай на западном крыле антиклинали. После накопления осадков теректинской серии наблюдался длительный перерыв, в ходе которого сформировалось угловое несогласие в  $7^\circ$ , а также красноцветная кора выветривания. В осевой зоне Калмакпайскую антиклиналь срезает поверхность выравнивания, и выше по разрезу складка не проявлена. Вероятно, угловое несогласие объясняется этим эоценовым этапом тектонической активизации.

В результате в разрезе Калмакпай отсутствуют горизонтально-слоистые, преимущественно озерные отложения конуркуринской, а также чайбулакской (восточнозайсанская серия) свит. Возраст последней, согласно палинологическим и палеофлористическим данным, определяется как позднеэоценовый (Борисов, 1963). Косвенно оценить интервал перерыва можно по выпадению из фаунистической последовательности териофаун шармуриинского века млекопитающих позднего эоцена, продолжительность которого оценивается от 40 до 42 млн лет (Wang et al., 2019; Speijer et al., 2020).

Восточнозайсанская серия в разрезе Калмакпай представлена породами кызылкаинской, аксыирской и буранской свит. В прежних схемах серия относилась к нижнему олигоцену (Борисов, 1963, 1984; Габуня, 1984), но в последние годы датируется поздним эоценом (приабонем) по фаунистическим критериям (Lucas et al., 2009). Серо-белые, местами с сиреневыми прослоями пески кызылкаинской свиты представлены в урезанном виде, их мощность не превышает 18 м. Обильная малакофауна и палинологические характеристики позволяют отнести отложения свиты к верхам эоцена. С учетом датирования вышележащей аксыирской свиты, а также палеомагнитной структуры (рис. 6б) кызылкаинскую свиту можно коррелировать с магнитохронами C18–C17 баргонского и низов приабонского ярусов Международной стратиграфической шкалы (МСШ).

Выше залегают серые, местами зеленовато- или коричневатые глинисто-алевритистые отложения аксыирской свиты суммарной мощностью около 75 м. Озерный генезис подтверждается горизонтальной слоистостью и многочисленными находками пресноводной фауны. Свита богата остатками черепах, позволяющих выделять как минимум три ее уровня (Чхиквадзе, 1999). В нижней части (нижнеаксыирская подсвита) преобладают *Zaisanemys longicervicalis* и *Echmatemys orlovi*, тогда как в верхней части (верхнеаксыирская подсвита) отмечены *Ulutrionyx ninae*, *Echmatemys borisovi*, *Francedebroinella minuscula* (Данилов и др., 2017). В верхней и средней частях свиты появляются исполинские саламандры *Zaissanurus*, не выявленные в разрезе Калмакпай. Находки прединдрикотериевой фауны (Лавров, Бажанов, 1959; Lucas et al., 2009) и палинологические данные (Борисов, 1963) указывают на позднеэоцено-

вый возраст отложений. Фауна аксыирской свиты с гигантскими носорогами *Zaisanamynodon* коррелируется с байинским/эргильским веком млекопитающих Азии (34–37 млн лет; Wang et al., 2019; Speijer et al., 2020) и относится к приабону МСШ. Частый характер (более 9 раз) смены знака намагниченности, длительность и последовательность эпизодов прямой намагниченности позволяют нам отнести отложения свиты к магнитохронам C17–C16 (рис. 6в).

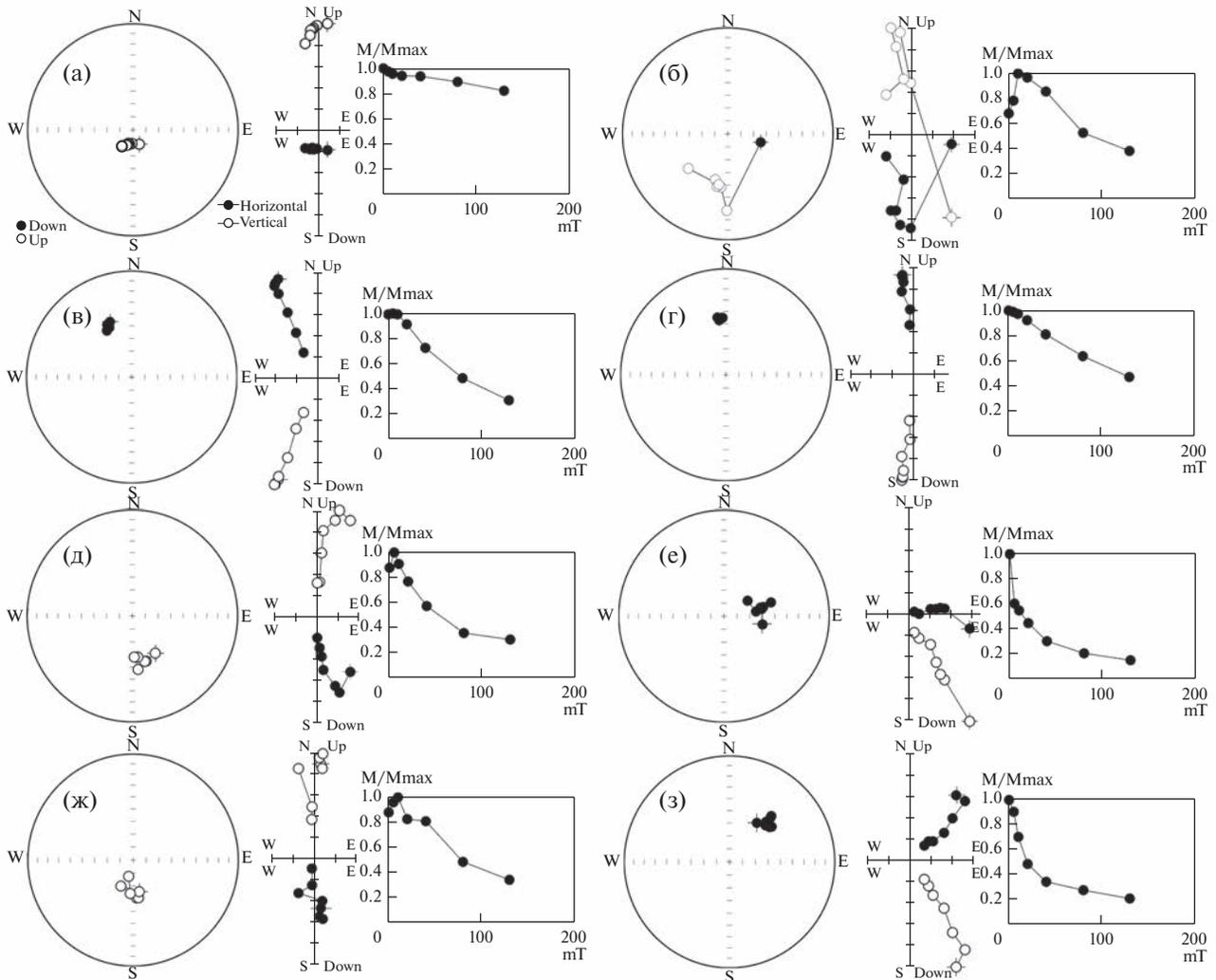
В предгорьях хребта Сайкан, в частности в разрезе Калмакпай, отсутствуют глинисто-алевритистые отложения кустовской свиты, достигающие в восточной части Зайсанской впадины мощности 45 м и относившиеся ранее к среднему олигоцену (Борисов, 1963). В контексте современных корреляций данные отложения могут быть отнесены к терминальному эоцену (приабону). Фауна кустовской свиты, найденная в других разрезах Призайсанья, позволяет оценить интервал перерыва в 2–3 млн лет. Эта фауна включает бронто-териев cf. *Epmanteoceras*, аминоконтных носорогов *Cadurcodon*, энтелодонтов, заподид, хомячков *Eucricetodon* и др. (Gabounia, Chkhikvadze, 1997; Lucas et al., 2009). Фауна рептилий кустовской свиты из других местонахождений Зайсана также очень богата и по таксономическому составу черепах во многом сходна с таковой для верхнеаксыирской подсвиты (Чхиквадзе, 1999). Фауна кустовской свиты может быть отнесена к верхам эргильского/байинского века азиатской биохронологической шкалы и сопоставлена с магнитохронами C15–C13 приабонского яруса верхнего эоцена.

Буранская свита мощностью около 20 м с размывом залегают на аксыирской свите и представлена светло-серыми, местами зеленовато-серыми песками и глинами озерного и, реже, озерно-речного генезиса. В отложениях буранской свиты впервые в кайнозойской истории обильными становятся остатки карповых рыб (Сычевская, 1986). Буранская свита разреза Калмакпай не охарактеризована остатками рептилий, однако они многочисленны в других местонахождениях этой свиты и включают около 6 различных таксонов черепах, а также остатки исполинских саламандр *Zaissanurus*, бесхвостых амфибий, ящериц и змей (Чхиквадзе, 1999). Разнообразная фауна млекопитающих включает аминоконтид *Cadurcodon*, гиенодонов, разнообразных кротовых, гетеросорид *Gobiosorex*, зайцеобразных *Desmatolagus* и

**Рис. 5.** Палеомагнитная и литологическая колонки по результатам опробования разреза Калмакпай южного борта Зайсанской впадины (Восточный Казахстан).

1 – глинистые отложения; 2 – песчаные отложения; 3 – галечные отложения; 4 – поверхность размыва; 5 – несогласия; 6 – коры выветривания; 7–9 – намагниченность пород: 7 – прямая, 8 – обратная, 9 – не определена. Схема расчленения разреза и названия свит приняты по (Борисов, 1963). Сокращенные названия свит на рис. 5, 7 и 8: Акж – ажарская, Акс – аксыирская, Бур – буранская, Зай – зайсанская, Кар – карабулакская, Клм – калмакпайская, Кус – кустовская, Кыз – кызылкаинская, Нур – нуриинская, Оба – обайлинская, Ошг – ошагандинская, Сар – сарыбулакская, Срг – сарыгамысская, Тур – турангинская, Чак – чакпактаская.





**Рис. 6.** Результаты магнитной чистки переменным полем. Примеры типичных стереограмм, диаграмм Зийдервельда и диаграмм размагничивания. Система координат стратиграфическая.  
 (а) – обр. 24, сарыгамысская свита; (б) – обр. 35, кызылкаинская свита; (в) – обр. 59, аксыирская свита; (г) – обр. 73, буранская свита; (д) – обр. 95, нурина свита; (е) – обр. 135, зайсанская свита; (ж) – обр. 140, сарыбулакская свита; (з) – обр. 159, калмакпайская свита.

Gobiolagus, а среди грызунов – хомяков *Cricetops* и *Eucricetodon*, ктенодактилид *Tataromys*, *Karakaromys* и *Вounomys*, аплодонтид *Prosciurus* и другие формы (Gabounia, Chkhikvadze, 1997; Lucas et al., 2009). Буранская фауна относится к шандгольскому веку (ранний олигоцен) млекопитающих Азии, нижняя возрастная граница которого оценивается в 33 млн лет (Spreijer et al., 2020). Верхним возрастным контролем служит отнесение ошагандинской свиты к хаттскому веку на основании палеофлористических данных (Борисов, 1963). Таким образом, буранская свита попадает в интервал рупельского яруса Международной стратиграфической шкалы. Небольшая мощность и простая палеомагнитная характеристика (рис. 6г) позволяют коррелировать свиту с магнитохронами C12–C11 (34–28 млн лет; Lucas et al., 2009).

**Переходная зона от палеогена к неогену.** Породы ашутасской серии отличаются весьма пестрым литологическим и гранулометрическим составом с преобладанием алевритов и глин, с присутствием песков, реже гравийников и галечников. Серия начинается отложениями ошагандинской и нурина свит – серыми песками и алевритами с прослоями зеленоватых или коричневатых глин, общей мощностью до 23 м, залегающими на отложениях буранской свиты с разрывом. В основании серии повсеместно описывается слой галечников-валунников мощностью до 1 м. В связи с этим В.Л. Яхимович подразумевает длительный, до 6 млн лет, перерыв в осадконакоплении и этап тектонической активизации региона (Яхимович и др., 1993). На этом основании отложения ошагандинской и вышележащей нурина свит с обильными флористическими и фаунистическими

ми сборами В.Л. Яхимович склонна относить к аквитанскому ярусу миоцена (ортозона С6В). В галечниках содержатся описанные В.С. Зыкиным ветрогранники, подтверждающие предположение о длительном перерыве в осадконакоплении на границе буранской и ошагандинской свит (Зыкин, 2012). Песчано-глинистые озерные отложения нуринской свиты мощностью до 36 м залегают выше с размывом. Следует отметить постепенное истончение гранулометрического состава осадков от песков до алевроитов в их средней части и до глин — в верхней.

Мы склонны вслед за Б.А. Борисовым относить ошагандинскую свиту к верхнему олигоцену, а нуринскую — к верхам хатского яруса—аквитану по целому ряду причин. Во-первых, возраст ошагандинско-нуринского седиментационного интервала четко контролируется сверху биостратиграфическим возрастом подошвы вышележащей акжарской свиты (20 млн лет) и снизу возрастом кровли буранской свиты, оцениваемым в 29 млн лет (Lucas et al., 2009). При этом следует указать, что точное положение границы олигоцен—миоцена внутри нуринской свиты не может быть установлено достоверно. Во-вторых, подтверждением этих датировок служит оценка возраста широко известной ашутаской флоры, коррелируемой с хатским ярусом МСШ (23–27 млн лет). В-третьих, мы не обнаружили выраженного углового несогласия между отложениями буранской и ошагандинской свит, которое могло бы отвечать столь длительному (6 млн лет) этапу тектонической активизации (рис. 2). К тому же осадки обеих свит имеют озерный характер и, помимо пласта конгломератов в их основании, не содержат признаков грубой молассы. Обе свиты имеют чрезвычайно сложное магнитостратиграфическое строение (рис. 5, бд) и, учитывая приведенные выше фаунистические датировки, охватывают целый ряд ортозон в диапазоне от С10 до С6А.

**Неогеновые отложения.** Выше, также с размывом, залегают отложения акжарской (=жамангоринской) свиты нижнего миоцена. Отложения представлены желто-серыми, серыми озерными песками, истончающимися вверх по разрезу до серых или зеленовато-серых глин. Возраст данной свиты оценивался Б.А. Борисовым по фауне пресноводных моллюсков как ранне-среднемиоценовый. В.Л. Яхимович считала, что отложения свиты относятся к бурдигальскому (сакараульскому) ярусу миоцена (Яхимович и др., 1993). Герпетофауна акжарской свиты в разрезе Калмакпай не выявлена и представлена бедно в других местонахождениях, однако фауна черепах демонстрирует общие таксоны (*Kazachemys zaisanensis*, “*Testudo*” *paraskivi*) с таковой аральской свиты раннего миоцена. В акжарской свите найдены остатки териофауны шанваньского века, включающие *Alloptox*, *Bellatona*, *Sinologomys*, *Castoridae*, *Di-*

*stylomys*, *Heterosminthus*, *Protalactaga*, *Megacricetodon* и др. (Ербаева, 1994; Жажигин, Лопатин, 2000). Териофауна шанваньского века млекопитающих азиатской биохронологической шкалы, обнаруженная в акжарских отложениях, позволяет оценить их возраст в интервале от 20 до 15 млн лет (Deng et al., 2018). Находки шанваньской фауны и в вышележащей зайсанской свите дают возможность сузить оценку возраста акжарской свиты до интервала 20–19 млн лет. Палеомагнитная характеристика отложений свиты может соответствовать верхам ортозоны С6А, а главным образом ортозоне С6 — наиболее продолжительной нормально намагниченной ортозоне в пределах бурдигальского яруса нижнего миоцена. По отложениям акжарской свиты развита мощная (до 5 м) красноцветная кора выветривания.

Разрез наращивается серо-зелеными озерными глинами зайсанской свиты с сульфатно-карбонатным химическим составом, мощностью до 25 м, залегающими с глубоким размывом и угловым несогласием более чем в 16° на осадках акжарской свиты. Следует отметить, что все вышележащие отложения, вплоть до верхних карабулакских, отличаются повышенной карбонатизацией, что может свидетельствовать об аридизации климата. С учетом датирования нижележащей акжарской свиты в интервале 19–20 млн лет и очевидного стратиграфического перерыва между акжарскими и зайсанскими отложениями (кора выветривания и значительное угловое несогласие) мы датировем зайсанскую свиту концом раннего миоцена в интервале от 16 до 18 млн лет. Палеомагнитная характеристика с четырехкратной сменой полярности позволяет коррелировать свиту с магнитохрономиями C5D–C5C.

Выше, также с размывом, залегают отложения сарыбулакской свиты: желтые пески с прослоями и линзами гравийно-галечных конгломератов. Судя по погрубению отложений, мы предполагаем, что в эту эпоху тектонические движения усилились и осадконакопление происходило со значительными перерывами. Свита датируется по характерной фауне (Lucas et al., 2009) тунгурского века (15–11.5 млн лет) млекопитающих азиатской биохронологической шкалы ALMA (Deng et al., 2018). В дополнение к известным находкам, включающим *Alloptox*, *Bellatona*, *Amphilagus*, *Miopetaurista*, *Tschalimys*, *Microdyromys*, *Miodyromys*, *Prodryomys*, *Protalactaga grabaui*, *Cricetodon*, последних *Heterosminthus* и др. (Шевырева, 1971; Ербаева, 1994; Kowalski, Shevyreva, 1997; Shevyreva, Baranova, 2003), нами были найдены остатки белки *Atlantoxerus*, находки которых известны в смежном районе Джунгарской впадины в Северо-Западном Китае в отложениях халамагайской формации низов среднего миоцена (Wei, 2010). В сарыбулакской свите разреза Калмакпай найдены “*Trionyx*” *jakhimovitchae* и *Protestudo darewskii*, ха-

рактерные и для других одновозрастных местонахождений Казахстана (Данилов и др., 2017). Несмотря на небольшую мощность свиты и ее относительно простую палеомагнитную характеристику с преобладанием обратной полярности, мы считаем, что время ее накопления соответствует одному из отрезков шкалы в интервале ортозон C5B, C5A, а также нижней части C5 (лангий, серравалий).

Разрез надстраивают залегающие также с несогласиями отложения калмакпайской и карабулакской свит тарбагатайской серии. Самые мощные в разрезе (до 120 м) красновато-коричневые глины калмакпайской свиты сформировались в результате относительно непродолжительного эпизода зайсанской озерной ингрессии. Тонкообломочные осадки свиты залегают на сарыбулакских песках с разрывом, но без углового несогласия, что свидетельствует о временном затихании тектонических движений. Датировки свиты ограничиваются ее положением в разрезе между перекрывающими осадками карабулакской свиты преимущественно мессинийского возраста и подстилающими среднемиоценовыми сарыбулакскими отложениями. Эти данные позволяют оценить время накопления калмакпайских осадков в интервале от 11 до 8 млн лет. Палеомагнитные данные дают возможность соотнести эти отложения с ортозонами C5–C4. Отметим обширную зону прямой намагниченности в нижней и средней частях свиты, которая соотносится нами с продолжительным интервалом прямой полярности в пределах ортозоны C5.

На калмакпайской свите с глубоким разрывом залегают отложения карабулакской свиты. Свиты разделены угловым несогласием, описанным в (Борисов, 1963; Зыкин, 2012). Данное несогласие оценено нами в  $10^\circ$  и является вторым по величине после несогласия между акжарской и зайсанской свитами. Отложения карабулакской свиты отличаются погрубением гранулометрического состава вверх по разрезу от глин до галечно-валунных конгломератов. Возраст свиты долгое время оценивался как плиоценовый (Борисов, 1963; Ерофеев, 1969; Яхимович и др., 1993; Трихунков и др., 2020). Вместе с тем данные Э.А. Вангенгейм и соавторов (1993) позволяют относить карабулакскую свиту к позднему миоцену. Эта точка зрения в настоящее время нам представляется наиболее обоснованной.

Стратиграфически важные формы млекопитающих включают *Adcrocuta eximia*, *Hyenictitherium*, *Machairodus kurteni*, *Hipparion elegans*, *Sinotherium zaisanense*, *Palaeotragus* и др. Из карабулакской свиты в разрезе Калмакпай описаны птица *Urmiornis orientalis* и черепаха *Protestudo illiberialis*. Последняя также обнаружена в рытовской свите раннего плиоцена Павлодара (Данилов и др., 2017). Однако в Павлодаре, по-видимому,

из этих же слоев известна фауна, относимая к новостаничной свите (Гайдученко, Чхиквадзе, 1985), ныне датируемой самым концом миоцена (Зыкин, 2012). Миоценовый возраст свиты подтверждается также сопоставлением фауны с подразделением китайской биохронологической шкалы — веком Баоде (5.3–7.25 млн лет), соответствующим европейскому туролию, т.е. понту–мессинию. Полученная нами палеомагнитная характеристика с учетом биостратиграфического контроля позволяет датировать карабулакские отложения в диапазоне от верхов ортозоны C4 до низов C3, что также противоречит возрастным оценкам В.Л. Яхимович с соавторами (1993).

Грубый, вплоть до галечно-валунных конгломератов, характер карабулакских отложений в разрезе Калмакпай, а также большое угловое несогласие с нижележащими элементами разреза свидетельствуют о самом интенсивном этапе тектонической активизации региона. За ним следует наиболее длительный перерыв в осадконакоплении, продолжительностью во весь плиоцен–ранний плейстоцен.

Верхи разреза сложены галечно-валунными конгломератами, лежащими с глубоким разрывом на отложениях карабулакской свиты (верхнебайские конгломераты по Б.А. Борисову). Эти осадки лишены фауны, но по положению в разрезе впадины коррелируются с красноярской свитой среднего плейстоцена (по Ерофеев, 1969). Прямая намагниченность матрикса конгломератов позволяет отнести их к эпохе Брюнес и подтверждает вывод В.С. Ерофеева.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

**Сравнение магнитостратиграфических данных.** Сравнение новых палеомагнитных данных с данными предшественников (Данукалов и др., 1987; Яхимович и др., 1993) позволяет сделать несколько замечаний.

На данном этапе исследования мы воздерживаемся от сравнения палеогеновой части разреза по причине несоответствия в описываемых мощностях эоценовых–олигоценых отложений. Так, в работе В.Л. Яхимович и соавторов (1993) приводится палеомагнитная характеристика кустовской свиты. Однако известно, что в разрезе Калмакпай данные отложения не представлены (Борисов, 1963; наши наблюдения). Поэтому остаются непонятны детали корреляции с данными Яхимович и соавторов. При этом аксырская свита олигоцена сопоставляется хорошо. И в данных предшественников, и в наших она характеризуется мощной зоной прямой полярности (рис. 7).

Гораздо более надежная корреляция наблюдается в палеомагнитной записи олигоценых и миоценовых свит разреза Калмакпай. В верхней

части неогенового разреза основной проблемой корреляции является отнесение Яхимович и др. (1993) карабулакского интервала к эпохе Гильберт. Именно из этого авторы данной статьи исходили в возрастной интерпретации своих палеомагнитных данных, что, в свою очередь, повлияло и на возрастную оценку нижележащих свит. Хотя уже к 1990-м гг. прошлого века стало ясно, что фауна карабулакской свиты относится к позднему миоцену, а не к раннему плиоцену (Вангенгейм и др., 1993). Как отмечалось выше, с учетом биохронологических данных, карабулакский интервал можно сопоставить с магнитохронами С3 и С4. Отсюда следует удревание калмакпайской свиты, имеющей менее информативную биостратиграфическую характеристику. Несоответствия в интерпретации положения границы олигоцен—миоцена Яхимович и др. и авторами настоящей работы описаны выше.

В целом можно заключить, что характеристики намагниченности пород, полученные предшественниками и нами, сходны; отличается лишь их возрастная оценка. Однако одних палеомагнитных данных недостаточно для возрастной интерпретации. Ввиду полного отсутствия в разрезах впадины материалов для определения абсолютного возраста пород, датирование отложений опирается на биостратиграфию в сочетании с магнитостратиграфией. При этом палеомагнитные данные чаще всего позволяют лишь уточнить биостратиграфические. Ввиду значительных изменений в биостратиграфии региона за последние 30 лет мы смогли существенно скорректировать и магнитостратиграфические оценки возраста отложений Зайсанской впадины.

**История новейшего развития Зайсанской впадины.** Формированию современной Зайсанской впадины предшествовал длительный мезозойский этап планации герцинских складчатых сооружений. Его результатом стало формирование позднемиоценовой поверхности выравнивания и структурного элювия южнозайсанской свиты. Установлено наличие данной поверхности на водоразделах Саура и Тарбагатая, а также присутствие ее и перекрывающей коры выветривания на дне наиболее опущенного Зайсан-Саурского домена впадины (рис. 2, 8). Это свидетельствует об отсутствии впадины и окружающих ее горных сооружений на предорогеном этапе вплоть до начала палеоцена. Этот вывод согласуется с утверждением А.Н. Обухова о том, что все впадины Джунгарии в начале кайнозоя составляли единую осадочную депрессию, сочленявшуюся на юге с Таримским бассейном (Обухов, 1997).

В палеоцене локализация осадконакопления южнозайсанской свиты, представляющей собой переотложенный элювий, свидетельствует о начале формирования Саур-Тарбагатаяйского свода, первичном прогибании Зайсанской мульды и по-

явлении в ней первичного озера. Вероятно, причиной заложения свода стало усиление латерального давления со стороны Джунгарской микроплиты. К середине раннего эоцена эти процессы привели к расширению Зайсанского озерного бассейна до границ современной впадины, а местами и дальше на юг в пределы нынешних предгорий Саура-Тарбагатая.

В конце раннего—начале среднего эоцена вдоль южного борта Зайсанской мульды активизировались движения по древней широтной Манрак-Сайканской разломной зоне. Это доказывается формированием конседиментационных приразломных складок в осадках обайлинской и сарыгамысской свит. Мы предполагаем, что данные подвижки на рубеже среднего—позднего эоцена привели к незначительному поднятию южного борта впадины и перерыву в озерном осадконакоплении. Результатом этого стало выпадение из разреза Калмакпай конуркуринской и чайбулакской свит, а также формирование углового несогласия в 7° и коры выветривания по отложениям сарыгамысской свиты. Также мы предполагаем, что положение Манрак-Сайканской разломной зоны в вогнутой части Зайсан-Саурской складки основания ограничило возможности вертикальных разломных смещений (рис. 2). Их накопленная амплитуда за кайнозойское время не превышает 200–300 м.

На протяжении бартона—раннего бурдигала череда озерных трансгрессий Зайсана покрывала все домены впадины вплоть до подножий современных Южного Алтая на севере и Саур-Тарбагатая на юге. Территория современной Манрак-Сайканской зоны поднятий полностью перекрывалась озером, что свидетельствует об отсутствии передовых хребтов Манрак, Уйдене и Сайкан на этом этапе. Это доказывается наличием озерных толщ возрастом вплоть до раннего миоцена в Чиликтинской, Кендерлыкской и Уйдененской внутригорных впадинах. Озерные осадки всех свит данного стратиграфического интервала в разрезе Калмакпай залегают друг на друге с размывом вследствие частых регрессий, что указывает на слабое прогибание впадины и малые глубины озерного бассейна. Медленные поднятия на южном борту впадины продолжались, о чем свидетельствуют небольшие угловые несогласия между свитами этого стратиграфического интервала.

Новый этап в неотектоническом и палеогеографическом развитии региона начался с середины бурдигала. В разрезе Калмакпай он отражен в самом крупном угловом несогласии в 16° между акжарской и зайсанской свитами, сформировавшемся за относительно короткий временной интервал около 1 млн лет (рис. 5). По осадкам акжарской свиты развита красноцветная кора выветривания, и все вышележащие элементы разреза отличаются

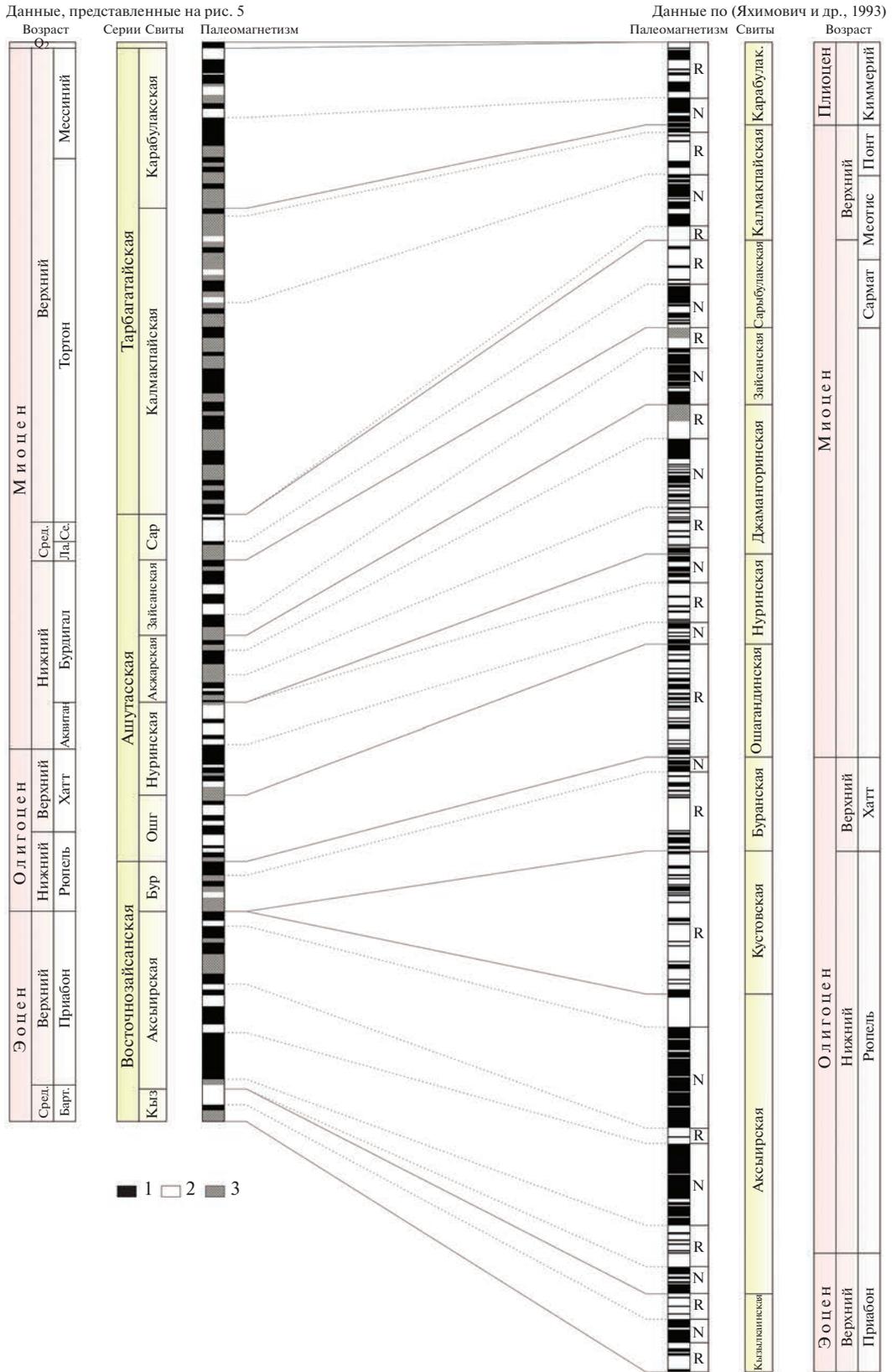


Рис. 7. Сопоставление результатов палеомагнитного опробования разреза Калмаклай с данными предшествующих исследований (Яхимович и др., 1993). Намагниченность пород: 1 – прямая, 2 – обратная, 3 – не определена. Сокращенные обозначения свит см. на рис. 5.

повышенной карбонатизацией. Эти факты могут свидетельствовать об аридизации климата, в условиях которого орогенные деформации не произвели больших объемов грубой молассы. Этим можно объяснить тонкий характер озерных отложений вышеназванных свит, разделенных столь амплитудным несогласием.

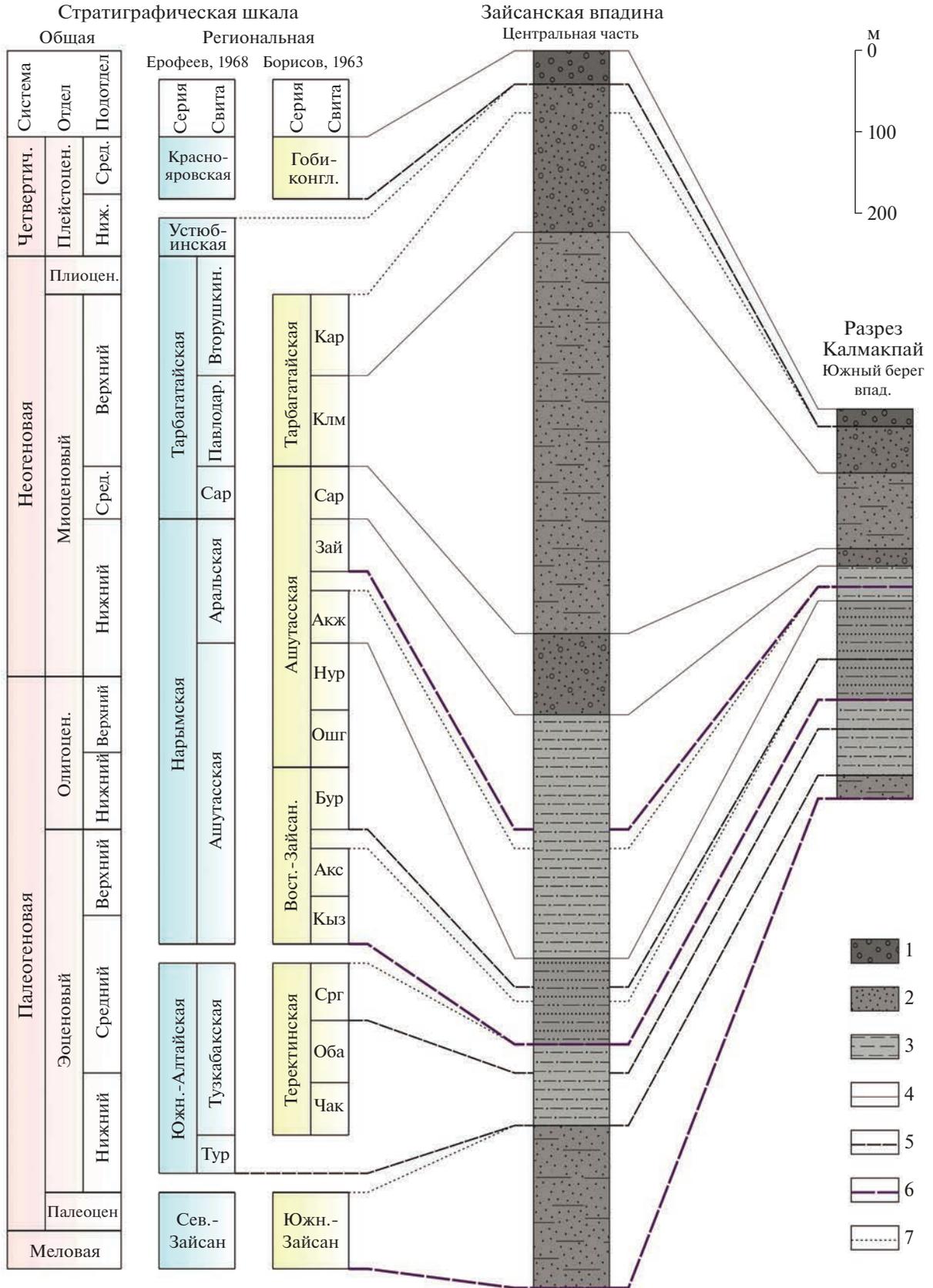
На этом же этапе происходит обособление доменов внутри впадины, вызванное активизацией региональной Чингиз-Тарбагатайской праводвиговой зоны: крайние Аягоз-Тарбагатайский и Иртыш-Нарынский домены стали испытывать воздымание относительно центра впадины. Аягоз-Тарбагатайский домен был поднят до среднегорных высот и, фактически, выведен из состава впадины. В пределах Иртыш-Нарынского домена прервалось озерное осадконакопление, и отложения тарбагатайской серии в его пределах не развиты (рис. 1). Два центральных домена – Бугаз-Тарбагатайский и особенно Зайсан-Саурский – испытали дополнительное погружение. Отчасти оно может объяснить феномен накопления здесь мощнейшей тарбагатайской серии. Ее формирование заняло относительно короткий временной промежуток от 11 до 5 млн лет, однако при этом в осевой части впадины за данный период накопилась половина ее осадочного разреза (рис. 8). Также это может объясняться обособлением хребтов Саура и Тарбагатая, разделивших на блоки единый прежде Саур-Тарбагатайский свод. Хребты заложилась в поднятых крыльях надвигов, компенсирующих сдвиговые смещения по ветвям Чингиз-Тарбагатайской зоны (рис. 1), и замкнули впадину с юга, что могло послужить причиной аридизации климата вследствие возникновения котловинного эффекта. Аридизация доказывалась формированием красноцветной коры выветривания по акжарской свите, красноцветностью самой мощной во впадине калмакпайской свиты, а также повышением карбонатизации озерных осадков тарбагатайской серии в целом. В свою очередь, иссушение климата могло привести к сокращению проективного покрытия растительности внутри впадины и усилению эрозии временных водотоков. Область размыва в пределах впадины увеличилась, а площадь озерного бассейна, напротив, сократилась. Усилившийся размыв поднимавшихся бортов впадины, сложенных рыхлыми отложениями области недавней озерной седиментации, обеспечил аномальную скорость осадконакопления, максимальную мощность и при этом тонкий характер осадков в пределах центральных доменов, особенно Зайсан-Саурского.

В конце данного этапа происходит поглубение отложений тарбагатайской серии, вплоть до галечно-валунных конгломератов верхов карабулакской свиты. Это свидетельствует о начале ускорения поднятий хребтов, окружающих впадину. Этот процесс происходил импульсно: выделяются фазы

активизации в сарыбулакское и позднекарабулакское время, которым в разрезе отвечают наиболее грубые фракции осадков (рис. 5) и угловые несогласия; очевидно, время накопления зайсанской и калмакпайской свит отвечает периодам относительного тектонического покоя.

Следующий этап развития впадины, охватывающий весь плиоцен и ранний плейстоцен, охарактеризовался перерывом в накоплении разреза Калмакпай. Мы связываем это с подъемом передовых Сайканского, Уйдененского и Манракского хребтов. Плиоцен-четвертичный возраст хребтов доказывается antecedentным характером пересекающих их долин рек Кендерлык, Уйдене, Тайжуген, Кусто и других, при учете того, что во внутригорных впадинах к югу от этих хребтов переречисленные реки размывают неогеновые озерные осадки (рис. 1). Передовые поднятия привели к еще большему сокращению озерного бассейна и его локализации в пределах центрального Зайсан-Саурского домена, фактически в современных очертаниях оз. Зайсан. Обособление и поднятие передовых хребтов объясняется распространением дифференцированных блоковых движений, осложняющих Саур-Тарбагатайский свод, внутрь впадины. Наиболее поднятый передовой хребет Сайкан имеет асимметричный поперечный профиль, поскольку заложен в поднятом крыле амплитудного Южно-Сайканского ретронадвиг Манрак-Сайканской зоны разломов (рис. 2). Данный разлом наследует ослабленную зону на северном ограничении эпигерцинской Кендерлыкской впадины. Наибольшее поднятие хребта Сайкан среди передовых хребтов Зайсанской впадины объясняется унаследованным развитием данного разлома, а также расположением хребта на главной оси латерального сжатия между Джунгарской микроплитой и Алтайским орогеном. Структуры типа Сайкана можно охарактеризовать как клинья выжимания (рис. 2).

Современный этап развития впадины начался в среднем плейстоцене. Он характеризуется, во-первых, еще большим ускорением орогенных поднятий, во-вторых, похолоданием и началом череды плейстоценовых оледенений. Эти факторы привели к повсеместному распространению мощной толщи грубой молассы, генезис которой различен в разных областях ее накопления. В сайканском сегменте грубообломочные аналоги верхнегобийских конгломератов не могут считаться мореной или продуктами ее переотложения по следующим причинам. На хребте Сайкан отсутствуют следы четвертичных оледенений (кары, троговые долины и др.), широко распространенные на хребте Саур. Ледники Саура и их отложения не распространялись за пределы северного склона этого хребта. Продукты перемыва морены могли выноситься в Зайсанскую впадину только через единственное в хребте Сайкан antecedentное ущелье



**Рис. 8.** Сопоставление разрезов центральной части Зайсанской впадины (Даировская скважина) и южного борта впадины (разрез Калмакпай).

1 — галечные отложения; 2 — песчаные отложения; 3 — глинистые отложения; 4 — перерывы и незначительные размывы; 5 — значительные размывы с несогласием; 6 — коры выветривания; 7 — нижние границы интервалов разреза, отсутствующих в пределах борта впадины (в разрезе Калмакпай). Сокращенные обозначения свит см. на рис. 5.

р. Кендерлык (рис. 1). Эта долина располагается в 11 км западнее разреза Калмакпай и отделена от последнего несколькими возвышенными водоразделами. Таким образом, происхождение грубообломочных верхнегобийских конгломератов в разрезе Калмакпай может быть объяснено только активизацией роста и размыва хребта Сайкан в среднем плейстоцене.

Усиление роста горных сооружений в раннем и, особенно, в среднем плейстоцене, помимо Саура-Тарбагатая, также установлено на Большом Кавказе (Trikhunkov et al., 2021) и в других частях Альпийско-Гималайского пояса. Это подтверждает идею о плейстоценовом ускорении роста внутриконтинентальных орогенов Евразии. Причины этого ускорения В.Г. Трифонов и соавторы не связывают напрямую с коллизионным сжатием, а объясняют воздействием активной астеносферы закрывшегося Тетиса, распространившейся под орогенические пояса южной и центральной Евразии. Изостатическая реакция на разуплотнение верхов мантии и иные глубинные преобразования, вероятно, обусловили в плиоцене—квартере также углубление ряда впадин и усиление поперечной сегментации пояса (Трифонов и др., 2012).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования и анализ полученных данных привели к следующим выводам:

1. Зайсанский прогиб и его южное горное обрамление в региональном масштабе представляют собой результат пологого изгиба земной коры (складку основания большого радиуса) на главной оси латерального сжатия между Джунгарской микроплитой и Алтайским орогеном. Внутренняя структура впадины осложнена тектоникой диагональных взбросо-сдвигов — ветвей Чингиз-Тарбагатая зоны разломов, делящих впадину на систему ромбовидных доменов. Различное развитие доменов на новейшем этапе контролировало эволюцию Зайсанского озерного бассейна и осадконакопление в пределах впадины.

2. История развития Зайсанской впадины делится на несколько этапов. Установлено, что на рубеже мела—палеоцена на месте впадины располагался пенеплен с корой выветривания. К палеоцену относится первичное прогибание Зайсанской мульды и появление озерного бассейна, который к началу эоцена распространился на территории, занятые современными подножиями Алтая на севере и Саур-Тарбагатая на юге. Медленное

малоамплитудное сводовое поднятие бортов и прогибание центра впадины, а также череда трансгрессий-регрессий Зайсанского озерного бассейна происходили вплоть до раннего миоцена.

В середине бурдигала активизация подвижек по ветвям Чингиз-Тарбагатая зоны разломов привела к делению впадины на домены с разным характером развития. Озерная седиментация локализовалась в пределах двух центральных доменов, южные части которых начали подниматься в виде первичных хребтов Саура и Тарбагатая, усиливших изоляцию впадины и аридизацию ее климата. Сокращение озерного бассейна, усилившийся и увеличившийся по площади размыв поднимающихся бортов впадины, сложенных рыхлыми отложениями области недавней озерной седиментации, обеспечили лавинное осадконакопление, максимальную мощность и при этом тонкообломочный характер осадков тарбагатая серии. Плиоцен-раннеплейстоценовый этап развития охарактеризовался перерывом в осадконакоплении на бортах впадины и сокращением озера до очертаний, близких к современным. Мы связываем это с началом подъема передовых Сайканского, Уйдененского и Манракского хребтов.

3. Современный этап развития впадины начался в среднем плейстоцене и характеризуется, во-первых, еще большим ускорением орогенных поднятий, а во-вторых, похолоданием. Оба этих фактора стали причиной череды плейстоценовых оледенений Саур-Тарбагатая и Алтая. Это согласуется с данными о среднеплейстоценовом ускорении роста других горных сооружений Альпийско-Гималайского и Центрально-Азиатского подвижных поясов.

4. Синтез био- и магнитостратиграфии кайнозой разреза Калмакпай позволяет уточнить положение границы эоцена и олигоцена между аксырской и буранской свитами, границы олигоцена и миоцена между буранской и акжарской свитами, а карабулакскую свиту в полном объеме отнести к позднему миоцену.

**Благодарности.** Коллектив авторов выражает благодарность

**М.М. Кравченко**

**Е.М. Сапаргалиеву** (Алтайский геолого-экологический институт, г. Усть-Каменогорск, Казахстан), а также В.Г. Трифонову (Геогический институт РАН, г. Москва, Россия) за ценные консультации и помощь в организации полевых работ и подготовке данной статьи.

**Источники финансирования.** Анализ общей геологической ситуации выполнен в рамках работ по бюджетной теме ГИН РАН № FMMG-2023-0006. Привязка разрезов отложений к Международной стратиграфической шкале выполнена в рамках работ по бюджетной теме ГИН РАН № FMMG-2023-0001. Все остальные исследования проведены и статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ № 20-05-00441.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арган Э. Тектоника Азии. М.—Л.: ОНТИ, 1935. 265 с.
- Ахметьев М.А. Флоры Зайсанской впадины на рубеже эоцена и олигоцена // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1985. № 11. С. 76—85.
- Байшашов Б.У., Мелдебеков А.М., Абдрахманова Л.Т. К истории палеонтологических исследований кайнозоя Зайсанской впадины // Изв. НАН Респ. Казахстан. Сер. биол. и мед. 2016. № 2. С. 5—13.
- Борисов Б.А. Стратиграфия верхнего мела и палеоген-неогена Зайсанской впадины // Материалы по геологии и полезным ископаемым Алтая и Казахстана. Л.: ВСЕГЕИ, 1963. С. 11—75.
- Борисов Б.А. Стратиграфия ниже-среднеэоценовых отложений Зайсанской впадины // Флора и фауна Зайсанской впадины. Тбилиси: Мецниереба, 1984. С. 142—180.
- Буланов С.А. Рельеф Центрально-Азиатского горного пояса и механизмы его формирования. Автореф. дисс. ... докт. географ. наук. М.: ИГРАН, 2005. 37 с.
- Вангенгейм Э.А., Вислобокова И.А., Година А.Я., Дмитриева Е.Л., Жезалло В.И., Сотникова М.В., Тлеубердина П.А. О возрасте фауны млекопитающих из формации Карабулак реки Калмакпай (Зайсанская впадина, Западный Казахстан) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1993. Т. 1. № 2. С. 38—45.
- Василенко В.К. Геологическая история Зайсанской впадины. Л.: Гостоптехиздат, 1961. 276 с.
- Великовская Е.М. Плиоценовые отложения юго-западного Алтая и Зайсанской котловины. М.: Изд-во МГУ, 1964. 80 с.
- Венус Б.Г., Верзилин Н.Н., Кянсеп-Ромашкина Н.П., Мироненко О.А., Толстикова Н.В., Стариков В.П., Станкевич Е.С., Шевырева Н.С., Чхиквадзе В.М. Палеолимнология Зайсана. Л.: Наука, 1980. 184 с.
- Габуня Л.К. Краткий обзор фаун палеогеновых млекопитающих Зайсанской впадины // Флора и фауна Зайсанской впадины. Тбилиси: Мецниереба, 1984. С. 124—141.
- Габуня Л.К., Гуреев А.А., Ефимов М.Б., Сычевская Е.К., Толстикова Н.В., Чхиквадзе В.М., Шевырева Н.С., Борисов Б.А. Фауна палеогена Зайсанской впадины // Стратиграфия фанерозоя СССР. Л.: Недра, 1983. С. 98—115. (Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. Т. 322).
- Гайдученко Л.Л., Чхиквадзе В.М. Первая находка остатков каймановой черепахи в неогеновых отложениях Павлодарского Прииртышья // Геология и геофизика. 1985. № 1. С. 116—118.
- Геоморфологическая карта СССР. Масштаб 1 : 2500000. М.: ГУГК, 1987. 16 л.
- Государственная геологическая карта СССР. Серия Чингиз-Саурская. Лист L-44-VI, XII. Масштаб 1 : 200000. Ред. Поникаров В.П. Всесоюзный Аэрогеологический трест, 1959.
- Государственная геологическая карта СССР. Серия Чингиз-Саурская. Лист L-45-I. Масштаб 1 : 200000. Ред. Авров Д.П. Восточно-Казахстанское геологическое управление, 1961а.
- Государственная геологическая карта СССР. Серия Чингиз-Саурская. Лист L-45-II. Масштаб 1 : 200000. Ред. Хисамутдинов М.Г. Восточно-Казахстанское геологическое управление, 1961б.
- Данилов И.Г., Сыромятникова Е.В., Суханов В.Б. Ископаемые позвоночные России и сопредельных стран. Ископаемые рептилии и птицы. Ч. 4. М.: ГЕОС, 2017. С. 27—395.
- Данукалов Н.Ф., Яхимович В.Л., Кондручина Л.С. Палеомагнитная характеристика карабулакской и калмакпайской свит опорного разреза на р. Калмакпай в Зайсанской впадине // Аллохтонные структуры в земной коре и связь с ними полезных ископаемых. Уфа: БФАН СССР, 1987. С. 19—26.
- Ербаева М.А. Стратиграфическое распространение зайцеобразных (Lagomorpha, Mammalia) в третичных отложениях Зайсанской впадины (Восточный Казахстан) // Палеотериология. М.: Наука, 1994. С. 65—78.
- Ербаева М.А. Палеогеновые зайцы (Leporidae, Lagomorpha) из Зайсанской впадины // Палеонтол. журн. 1999. № 5. С. 83—87.
- Ербаева М.А., Тюткова Л.А. Пищуховые (Ochotoniidae, Lagomorpha) из местонахождений Зайсанской впадины (Восточный Казахстан) // Селевиния. 1999. № 12. С. 134—139.
- Ерофеев В.С. Геологическая история южной периферии Алтая в палеогене и неогене. Алма-Ата: Наука (КазССР), 1969. 167 с.
- Зайсанская опорная скважина: Восточно-Казахстанская область. Ред. Василенко В.К., Левченко И.Г. Л.: Гостоптехиздат, 1962. Вып. 187. 150 с.
- Зажигин В.С., Лопатин А.В. История Dipodoidea (Rodentia, Mammalia) в миоцене Азии. 1. Heterosminthus (Lophocricetinae) // Палеонтол. журн. 2000. № 3. С. 90—102.
- Зыкин В.С. Стратиграфия и эволюция природной среды и климата в позднем кайнозое юга Западной Сибири. Новосибирск: Гео, 2012. 487 с.
- Ильинская И.А., Кянсеп-Ромашкина Н.П., Панова Л.А., Борисов Б.А. Палеогеновая флора Зайсанской впадины // Стратиграфия фанерозоя СССР. Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. 1983. Т. 322. С. 116—127.
- Карта поверхностей выравнивания и кор выветривания СССР. Масштаб 1 : 2500000. Ред. Герасимов И.П., Сидоренко А.В. М.: Мингео СССР, АН СССР, 1971. 8 л.
- Криштофович А.Н., Палибин И.В., Шапаренко К.К., Ярмоленко А.В., Байковская Т.Н., Грубов В.И., Ильинская И.А. Олигоценовая флора горы Ашутас в Казахстане // Тр. БИН АН СССР. 1956. Т. 8. № 1. С. 1—180.
- Кянсеп-Ромашкина Н.П. Харовые водоросли // Палеолимнология Зайсана. Ред. Мартинсон Г.Г., Кянсеп-Ромашкина Н.П. Л.: Институт озероведения АН СССР, 1980. С. 97—124.
- Лавров В.В., Бажанов В.С. Результаты геолого-палеонтологических исследований третичных толщ Зайсанской впадины (предварит. сообщ.) // Вестник АН КазССР. 1959. № 1. С. 55—59.

- Лавров В.В., Ерофеев В.С. Стратиграфия третичных толщ Зайсанской впадины // Вестник АН Каз. ССР. 1958. № 11. С. 68–82.
- Лискун И.Г. Эоплейстоцен межгорных впадин Центральной Азии. М.: Наука, 1975. 171 с. (Труды Геол. ин-та АН СССР. Вып. 227).
- Местонахождения ископаемых позвоночных фанерозоя Казахстана. Ред. Глеубердина П.А. Справочник для палеонтологов, геологов, биологов. Алматы: Министерство образования и науки Республики Казахстан, 2017. 300 с.
- Нехорошев В.П. Четвертичные отложения хребта Саура и прилегающей части Зайсанской котловины и их связь с оледенением // Труды комиссии по изучению четвертичного периода. 1932. Вып. II. С. 29–46.
- Нехорошев В.П. Хребет Саур // Очерки по геологии Сибири. Л.: Ин-т геол. наук АН СССР, 1941. Вып. 9. 212 с.
- Обухов А.Н. Манракская взбросо-надвиговая зона в Зайсанской впадине и ее нефтегазоносность // Геология и геодинамика нефтегазоносных бассейнов СССР. М.: ВНИГНИ, 1990. С. 151–158.
- Обухов А.Н. Гравитационная геодинамика нефтегазоносных бассейнов подвижных зон земной коры. Автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук. М.: ИГиРГИ, 1997. 52 с.
- Равнины и горы Средней Азии и Казахстана. Отв. ред. Коржуев С.С. М.: Наука, 1975. 264 с.
- Палибин И.В. К изучению ископаемой флоры Аштутаса // Флора и систематика высших растений. Докл. Ботанического ин-та АН СССР. 1933. Вып. 1. С. 47–51.
- Скучас П.П., Резвый А.С., Ефимов М.Б. Надотряд Stogyliiformes // Ископаемые позвоночные России и сопредельных стран. Ископаемые рептилии и птицы. Ч. 3. Ред. Курочкин Е.Н., Лопатин А.В., Зеленков Н.В. М.: ГЕОС, 2015. С. 17–45.
- Сычевская Е.К. Пресноводная палеогеновая ихтиофауна СССР и Монголии. М.: Наука, 1986. 157 с.
- Глеубердина Ф.А. Основные местонахождения гиппарионовой фауны Казахстана и их биостратиграфическая корреляция // Материалы по истории фауны и флоры Казахстана. Алма-Ата: Изд-во КазССР, 1988. Т. 10.
- Толстикова Н.В. Моллюски древних озер Зайсанской впадины (юго-восточный Казахстан, мел, палеоген, миоцен) // Ископаемые пресноводные моллюски и их значение для палеолимнологии. Л.: Наука, 1976. С. 51–232.
- Трифонов В.Г., Иванова Т.П., Бачманов Д.М. Новейшее горообразование в геодинамической эволюции центральной части Альпийско-Гималайского пояса // Геотектоника. 2012. № 5. С. 3–21.
- Трифонов В.Г., Соколов С.Ю., Бачманов Д.М., Соколов С.А., Трихунков Я.И. Неотектоника и строение верхней мантии Центральной Азии // Геотектоника. 2021. № 3. С. 31–59.
- Трихунков Я.И., Буланов С.А., Бачманов Д.М., Сыромятникова Е.В., Латышев А.В., Сапаргалиев Е.М., Кравченко М.М., Азельханов А.Ж. Морфоструктура южной части Зайсанской впадины и ее горного обрамления // Геоморфология. 2020. № 2. С. 85–101.
- Хаин В.Е., Яблонская Н.А. Неотектоника Азии: 75 лет после Эмиля Аргана // Геотектоника. 1997. № 6. С. 3–15.
- Халимов Э.М., Силич А.М., Обухов А.Н. Результаты нефтепоисковых работ в Зайсанской впадине // Геология нефти и газа. 1991. № 10. С. 11–14.
- Чхиквадзе В.М. Третичные черепахи Зайсанской котловины. Тбилиси: Мецниереба, 1973. 92 с.
- Чхиквадзе В.М. История развития палеогеновой герпетофауны СНГ // Проблемы палеобиологии (Тбилиси). 1999. Т. 1. С. 256–279.
- Чхиквадзе В.М. Событийная геология: “Grand Coupure” в Казахстане на рубеже эоцена и олигоцена // Магтер. научно-практической конф. “Палеонтологические памятники природы – природное наследие: изучение, перспективы исследований и проблемы сохранения”. Павлодар, 2008. С. 112–117.
- Шевырева Н.С. Первая находка в СССР грызунов семейства Mylagaulidae // Сообщ. АН ГССР. 1971. Т. 62. С. 481–484.
- Шевырева Н.С. Палеогеновые грызуны Азии. М.: Наука, 1976. С. 1–96 (Тр. Палеонтол. ин-та АН СССР. Т. 158).
- Шевырева Н.С. Новые раннепалеогеновые грызуны Зайсанской впадины // Флора и фауна Зайсанской впадины. Тбилиси: Мецниереба, 1984. С. 77–114.
- Яхимович В.Л., Борисов Б.А., Сулейманова Ф.И., Данукалов Н.Ф. Магнитостратиграфическая шкала кайнозоя Зайсанской впадины и ее биостратиграфическое обоснование. Уфа: УНЦ РАН, Ин-т геологии АН Респ. Башкортостан, 1993. 68 с.
- Akhmetiev M.A., Lopatin A.V., Sytchevskaya E.K., Popov S.V. Biogeography of the Northern Peri-Tethys from the Late Eocene to the Early Miocene: Part 4. Late Oligocene–Early Miocene: Terrestrial Biogeography, Conclusions // Paleontol. J. 2005. V. 39. Suppl. 1. P. S1–S54.
- Consortium for Spatial Information (CGIAR-CS1), SRTM 90m Digital Elevation Database v 4.1, 2017. Available from: URL. <http://srtm.csi.cgiar.org>. Accessed: March 10, 2022.
- Deng Chenglong, Hao Qingzhen, Guo Zhengtang, Zhu Rixiang. Quaternary integrative stratigraphy and timescale of China // Science China. Earth Sciences. 2018. V. 62. P. 1–25.
- Emry R.J., Lucas S.G., Tjutkova L., Wang B. The Ergilian–Shandgolian (Eocene–Oligocene) transition in the Zaysan basin, Kazakhstan // Bull. Carnegie Museum. 1998. V. 34. P. 298–312.
- Enkin R.J. A Computer Program Package for Analysis and Presentation of Paleomagnetic Data. Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada, 1994.
- Gabounia L. Contribution a la connaissance des Mammifères paléogènes du Bassin de Zaïssan (Kazakhstan central) // Geobios. 1977. V. 10. Suppl. 1. P. 29–37.
- Gabounia L., Chkhikvadze V. Aperçu sur les faunes de vertébrés du Paléogène de la région de Zaïssan (Kazakhstan de l’est) // Actes du Congrès Biochrom’97. Mémoires et Travaux de l’E.P.H.E. Eds. Aguilar J.-P., Legendre S., Michaux J. Institut de Montpellier. 1997. V. 21. P. 193–203.
- Google Earth. URL. <http://www.earth.google.com>. Accessed: May 10, 2022.
- Kirschvink J.L. The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data // Geophys. J. R. Astronom. Soc. 1980. V. 62. P. 699–718.
- Kovalchuk O., Divay J.D., Barkaszi Z., Sinita M.V., Vasilyan D., Stefaniak K. New data on the Miocene vertebrate assemblage of the Zaysan Basin (Central Asia) with implications for biostratigraphy, paleoecology, and paleobiogeography // J. Vertebrate Paleontol. 2022. V. 42. P. 1–18.
- Kowalski K., Shevyreva N.S. Gliridae (Mammalia: Rodentia) from the Miocene of the Zaysan Depression (Eastern Kazakhstan) // Acta Zool. Cracov. 1997. V. 40. № 2. P. 199–208.

- Lucas S.G., Kordikova E.G., Emry R.J. Upper Cretaceous–Paleocene stratigraphy and vertebrate paleontology in the Zaysan Basin, Kazakhstan // *J. Vertebrate Paleontol.* 1995. V. 15. P. 41A.
- Lucas S.G., Emry R.J., Bayshashov B.U. Zaisanamynodon, a late Eocene amynodontid (Mammalia, Perissodactyla) from Kazakhstan and China // *Tertiary Res.* 1996. V. 17. P. 51–58.
- Lucas S.G., Emry R.J., Bayshashov B.U., Tyutkova L.A. Cenozoic mammalian biostratigraphy and biochronology in the Zaysan Basin, Kazakhstan // *Papers on geology, vertebrate paleontology, and biostratigraphy in honor of Michael O. Woodburne.* Ed. Albright L.B. III. Flagstaff, Museum of Northern Arizona Bull. 2009. V. 65. P. 621–633.
- Meng J., Ye J., Wu W.-Y., Ni X.-J., Bi S.-D. The Neogene Dingshanyanchi Formation in Northern Junggar Basin of Xinjiang and its stratigraphic implications // *Vertebrate Palasiatica.* 2008. V. 46. P. 90–110.
- Shevyreva N.S., Baranova G.I. Sciuromorpha (Rodentia) from the Miocene of Zaisan Depression, Eastern Kazakhstan // *Russ. J. Theriol.* 2003. V. 2. № 1. P. 1–13.
- Speijer R.P., Pälike H., Hollis C.J., Hooker J.J., Ogg J.G. The Paleogene Period // *Geological Time Scale.* Ed. Gradstein F.M. 2020. V. 2. P. 1087–1140.
- Suiekpayev Y., Sapargaliyev Y., Dolgopolova A., Seltmann R., Raspopov A., Bekenova G., Predictive estimate of Ti–Zr placer deposits in Mesozoic and Cenozoic sediments at NW margins of the Zaysan basin, East Kazakhstan // *News of the Academy of Sciences. Series of Geology and Technical Sciences of the Republic of Kazakhstan.* 2019. V. 434. № 2. P. 6–14.
- Suiekpayev Y.S., Sapargaliyev Y.M., Dolgopolova A.V., Pirajno F., Seltmann R., Khromykh S.V., Bekenova G.K., Kotler P.D., Kravchenko M.M., Azelkhanov A.Zh. Mineralogy, geochemistry and U–Pb zircon age of the Karaotkel Ti–Zr placer deposit, Eastern Kazakhstan and its genetic link to the Karaotkel-Preobrazhenka intrusion // *Ore Geol. Rev.* 2021. V. 131. P. 1–23.
- Thomas J.C., Lanza R., Kazansky A., Zykin V., Semakov N., Mitrokhin D., Delvaux D. Paleomagnetic study of Cenozoic sediments from the Zaisan basin (SE Kazakhstan) and the Chuya depression (Siberian Altai): tectonic implications for Central Asia // *Tectonophysics.* 2002. V. 351. P. 119–137.
- Trikhunkov Ya.I., Kengerli T.N., Bachmanov D.M., Frolov P.D., Shalaeva E.A., Latyshev A.V., Simakova A.N., Popov S.V., Bylinskaya M.E., Aliyev F.A. Evaluation of Plio-Quaternary uplift of the South-Eastern Caucasus based on the study of the Akchaglyan marine deposits and continental molasses // *Quaternary Int.* 2021. V. 605–606. P. 349–363.
- Wang Y.Q., Li Q., Bai B., Jin X., Mao F.Y., Meng J. Paleogene integrative stratigraphy and timescale of China // *Science China. Earth Sciences.* 2019. V. 62. P. 1–23.
- Wei Y.P. Atlantoxerus from the Middle Miocene of northern Junggar basin and their environmental significance // *Vertebrata Palasiatica.* 2010. V. 48. № 3. P. 220–234.
- Zhamangara A.K., Lucas S.G. Revision of some Eocene Charophytes from the Zaysan Basin, Eastern Kazakhstan // *Austral. J. Botany.* 1999. V. 47. P. 297–304.

Рецензенты В.С. Зыкин, А.К. Маркова

## Stratigraphy of Cenozoic Deposits and the History of the Latest Stage of Geological Development of the Zaisan Depression (Eastern Kazakhstan)

Ya. I. Trikhunkov<sup>a, #</sup>, A. S. Tesakov<sup>a</sup>, D. M. Bachmanov<sup>a</sup>, E. V. Syromyatnikova<sup>b, c</sup>, A. V. Latyshev<sup>d, e</sup>, S. A. Bulanov<sup>f</sup>, A. Zh. Azelkhanov<sup>g</sup>, and E. S. Suyekpaev<sup>h</sup>

<sup>a</sup> Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>b</sup> Borissiak Paleontological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>c</sup> Zoological Institute, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

<sup>d</sup> Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>e</sup> Lomonosov Moscow State University, Geology Department, Moscow, Russia

<sup>f</sup> Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>g</sup> TOO “AG project company”, Oskemen, Kazakhstan

<sup>h</sup> TOO “Mine Database Company”, Almaty, Kazakhstan

<sup>#</sup>e-mail: jarsun@yandex.ru

The Zaisan Basin is a unique geological structure that preserves a most complete sedimentary archive of late Mesozoic through most of the Cenozoic era. A century of studies brought very rich data on the stratigraphy and geological history of the Zaisan sedimentary sequence. The recent scientific progress made it possible to refine the Cenozoic stratigraphic scale of the region. Here we present the results of a detailed morphostructural analysis and propose morphotectonic zoning of the Zaisan Basin based on the modern tectonic and geodynamic concepts. New results of magnetostratigraphic dissection of the Kalmakpai stratotypic section, the most complete section of the sedimentary strata of the depression, and its comparison with the drilling data of its axial part are presented. By the synthesis of magnetostratigraphy with the rich regional biostratigraphic record we refine the stratigraphy of the region and clarify dynamics of tectonic movements and the development of relief and landscapes of the Zaisan Depression and the bounding alpine structures of Saur-Tarbagatai during the Cenozoic.

**Keywords:** Zaisan Basin, stratigraphy, magnetic stratigraphy, biostratigraphy, neotectonics, morphotectonics, paleogeography