

НАУЧНЫЕ  
СООБЩЕНИЯ

УДК 551.432.24(574.4)

МОРФОСТРУКТУРА ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЗАЙСАНСКОЙ ВПАДИНЫ  
И ЕЕ ГОРНОГО ОБРАМЛЕНИЯ© 2020 г. Я. И. Трихунков<sup>1,2,\*</sup>, С. А. Буланов<sup>3</sup>, Д. М. Бачманов<sup>1</sup>, Е. В. Сыромятникова<sup>4</sup>,  
А. В. Латышев<sup>5,6</sup>, Е. М. Сапаргалиев<sup>7</sup>, М. М. Кравченко<sup>7</sup>, А. Ж. Азельханов<sup>7</sup><sup>1</sup> Геологический институт РАН, Москва, Россия<sup>2</sup> Географический факультет МПГУ, Москва, Россия<sup>3</sup> Институт географии РАН, Москва, Россия<sup>4</sup> Палеонтологический институт имени А.А. Борисяка РАН, Москва, Россия<sup>5</sup> Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия<sup>6</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет,  
Москва, Россия<sup>7</sup> Алтайский геолого-экологический институт, Усть-Каменогорск, респ. Казахстан

\*E-mail: jarsun@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.05.2019 г.

После доработки 17.09.2019 г.

Принята к публикации 17.12.2019 г.

Проведен морфоструктурный анализ южной части Зайсанской впадины и ее горного обрамления, основанный на полевых структурно-геоморфологических исследованиях и анализе новейших дистанционных данных высокого разрешения. Выделен ряд широтных линейных сводово-разрывных и осложняющих их поперечных блоковых морфоструктур. В истории развития региона с позднего палеозоя сочетаются общая унаследованность дифференцированных движений земной коры и прерывистость, выраженная в фазах их активизации. Морфоструктура Зайсанской впадины и ее горного обрамления сформировалась в условиях латерального сжатия земной коры. Оно реализовывалось в сводово-взбросовых деформациях региональной предрогенной поверхности выравнивания палеоценового времени, поднятой почти до 4 км на хребте Саур и опущенной на 1.5 км в Зайсанской впадине, где в результате началось озерное осадконакопление. В миоцен-плиоценовое время ее прогибание ускорилось. На их юго-восточной периферии взбросовая компенсация сдвигов вызвала ускорение поднятия Тарбагатай и Саура в плиоцен-четвертичное время. За четвертичное время по Тарбагатайской и Манрак-Саурской зонам разломов северо-западного простирания произошли правосдвиговые перемещения с минимальной амплитудой в 1 км. На стыке с Джунгарской плитой в своих юго-восточных периферийных частях Манрак-Саурский и Тарбагатайский правые сдвиги компенсируются системой широтных взбросов, контролирующих развитие Зайсанской, Кендырлыкской, возможно, Чиликтинской впадин как рамп-синклиналей, а также глыбовых хребтов Саур, Манрак, Сайкан и Тарбагатай как клиньев выжимания.

*Ключевые слова:* морфоструктурный анализ, неотектоника, история развития рельефа, дистанционное зондирование, Зайсанская впадина, Саур-Тарбагатайское поднятие

DOI: 10.31857/S043542812002008X

## ВВЕДЕНИЕ

В ансамбле морфоструктур Центральной Азии Зайсанская впадина занимает особое положение. С одной стороны, по мнению большинства исследователей региона, она является частью обширного орогена, протянувшегося от Памира на юго-западе до

восточных окраин евразийского континента, который еще с конца XIX века обозначается как Центральноазиатский горный пояс. При этом Зайсанская впадина служит соединительным элементом между двумя основными частями пояса. На севере она граничит с горной системой Алтая, принадлежащей горам Южной Сибири, а на юге — с горами Среднеазиатского региона, частью которых орографически и историко-генетически являются хребты Саур и Тарбагатай. С другой стороны, Зайсанская впадина — одно из крупнейших межгорных понижений в пределах вышеуказанного горного пояса и имеет широкий выход как на запад, в сторону Казахского мелкосопочника, так и на восток, где постепенно сливается с северной периферией Джунгарской котловины.

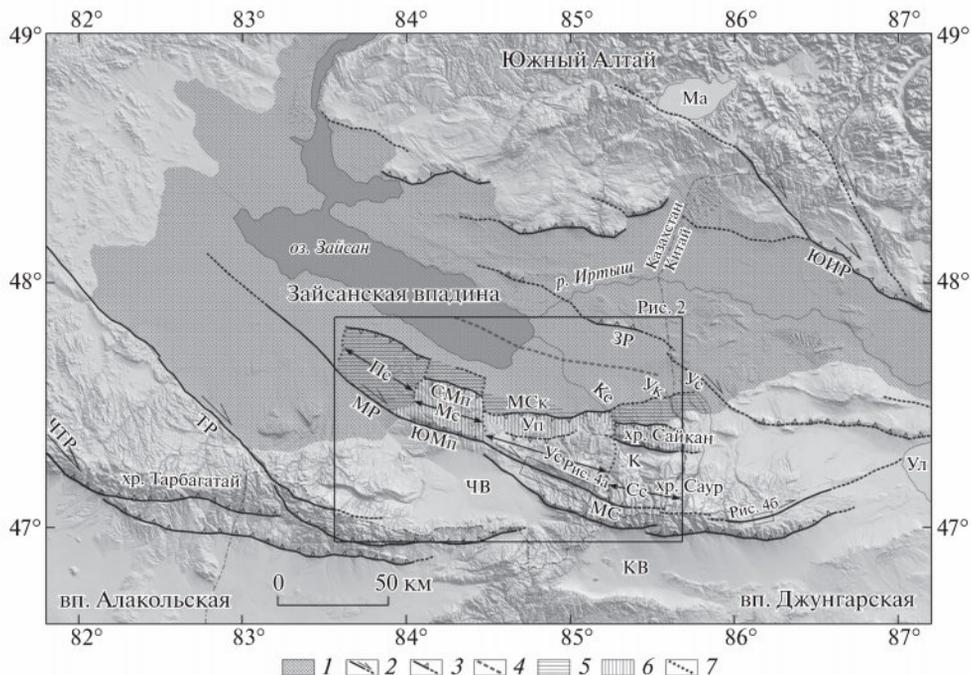
Такое “перекрестное” положение впадины в орографии Центральной Азии не случайно. На него обращали внимание все исследователи этой обширной области, начиная с Н.М. Пржевальского, который использовал ее как удобный проход для старта своих экспедиций в Тибет и прилегающие к нему районы. Классические представления о морфоструктуре Центральной Азии были сформированы в 60–70 годах XX века. Они наиболее полно отражены в монографии “Равнины и горы Средней Азии и Казахстана”, а также на Геоморфологической карте СССР м-ба 1:2500000 [1, 2]. Зайсанская впадина охарактеризована на ней как комплекс наклонных, субгоризонтальных и ступенчатых равнин, находящихся в зоне сочленения платформенных равнин и орогенов. Горные сооружения Саура и Тарбагатай отнесены преимущественно к денудационно-тектоническим глыбовым и сводово-глыбовым хребтам и массивам, возрожденным в области распространения палеозойских и допалеозойских складчатых комплексов, с различной интенсивностью новейших поднятий. Вместе с тем на указанной карте содержится ряд неточностей: так, наиболее высокая часть Саура показана как “наклонные равнины и возвышенности”, а внутригорная Кендырлыкская впадина — как “аккумулятивная равнина”, что не соответствует действительности.

Указанная выше характеристика морфоструктуры не отвечает данным новейших исследований, поскольку базировалась на идейных предположениях господствовавшего в то время фиксизма. Первая геодинамическая мобилистская интерпретация особенностей орографии и внутреннего строения региона принадлежит Э. Аргану, который предложил объяснить горообразование сжатием литосферы внутри континента [3]. Во второй половине XX века данная идея была поддержана и получила дальнейшее развитие в работах многих геологов [4–7], которые трактовали латеральное сжатие в регионе как следствие общего сближения Сибирского и Индостанского кратонов. Важнейшим следствием этого процесса явилась миграция (выжимание — по М.Л. Коппу [8]) зажатых между ними литосферных масс в стороны от оси сжатия.

Геоморфологический аспект внутриконтинентальной подвижности литосферы был также рассмотрен в ряде работ, где подчеркивалось, что горообразование в Центральной Азии от Копетдага до Байкала контролируется системой крупных кулисообразно расположенных правосторонних сдвигов [4, 8–10]. Аналогичные структуры имеют место и в рассматриваемом нами регионе. Они выделяются в результате крупномасштабного геоморфологического картографирования [11], отчетливо дешифрируются на космических изображениях (рис. 1).

В данной статье рассматривается зона контрастных новейших движений, которая охватывает южную, наиболее опущенную часть Зайсанской впадины и прилегающую к ней наиболее поднятую саурскую часть Саур-Тарбагатайской горной системы. Границами этой зоны являются на севере — осевая часть впадины, на юге — Манрак-Саурская зона разломов. Западная граница проводится нами по меридиану пос. Кабанбай, где отмечаются крайние западные проявления Манрак-Сайканской и Манрак-Саурской рельефообразующих разломных зон. Восточная граница условно проведена по китайско-казахстанской границе.

До недавнего времени специальные морфоструктурные исследования Зайсанской впадины и ее горного обрамления, как и работы по восстановлению истории развития



**Рис. 1.** Структурно-геоморфологическая схема Зайсанской впадины и ее горного обрамления.

1 – область распространения кайнозойских отложений Зайсанской впадины; *главные разрывные нарушения и их кинематический тип*: 2 – сдвиги, 3 – взбросы и надвиги; 4 – ось Зайсанской впадины; *продольные морфоструктурные зоны южной части Зайсанской впадины и хребта Саур*: 5 – моноκлиально-складчатая денудационная зона южного борта впадины, 6 – Манрак-Сайканское передовое среднегорное сводово-глыбовое поднятие; 7 – границы поперечных сегментов южной части Зайсанской впадины и хребта Саур. *Буквами обозначены межгорные и внутригорные впадины*: ЧВ – Чиликтинская, К – Кендырлыкская, КВ – Кобукская; *разломы*: ЧТР – Чингиз-Тарбагатайский, ТР – Тарбагатайский, МР – Манракский, ЗР – Зайсанский, ЮИР – Южно-Иртышский; *зоны разломов*: МСк – Манрак-Сайканская, МС – Манрак-Саурская; *поперечные сегменты*: Пс – периклиальный, Мс – Манракский, Ус – Уйденский, Сс – Саур-Сайканский; *поднятия*: СМп – Северо-Манракское, ЮМп – Южно-Манракское, Уп – Уйденское; *озерные котловины*: Ма – Маркаколь, Ул – Улюнгур; *реки*: Ке – Кендырлык, Ук – Улькен-Уласты, Ус – Уласты.

рельефа, проводились недостаточно детально. В 2013 г. нами были проведено геолого-геоморфологическое изучение указанного района, позволившее детализировать его морфоструктурное районирование и установить этапы формирования элементов его эндогенного рельефа.

### МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В полевых условиях был изучен структурный рельеф внутренних районов впадины и ее южного борта. Исследованы отложения краевой части Зайсанской впадины и их дислокации на границе с глыбовым Саурским поднятием. Проведено детальное по-слойное описание разрезов новейших отложений впадины. Изучены гранулометрические характеристики, степень окатанности и качество сортировки обломочного материала, что позволило уточнить генетические особенности отложений. Структурно-фациальный анализ моноκлиальной зоны впадины позволил зафиксировать поверхности выравнивания, многочисленные несогласия, перерывы в осадконакоплении и

установить фациальные соотношения внутри осадочной толщи и на ее контактах со структурами борта впадины.

Морфоструктурный анализ основан на интерпретации цифровых моделей рельефа [12, 13] с разрешением 3 сек, разнообразных структурно-геоморфологических [2, 14] и геолого-геофизических материалов [15–19]. Комплексная обработка данных с помощью ГИС-программ ArcGIS, Global Mapper, Surfer позволила уточнить выраженность в рельефе тектонических структур, для оценки положения и неотектонического значения которых требуется сочетание обзорности рассмотрения с детальностью дешифрирования. Описанные в статье элементы новейшей структуры были выделены по признакам контроля ими новейших отложений и выраженности в рельефе. Использование цифровых моделей рельефа позволило выявить в исследуемой области ряд не описанных ранее морфоструктур, имеющих принципиальное значение для понимания особенностей неотектоники региона и истории его новейшего развития.

### МОРФОСТРУКТУРНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

*Продольные морфоструктуры* представлены Зайсанской впадиной и хребтом Саур, разделенными Манрак-Сайканской зоной разломов. Во впадине выделяются подзоны: слабодислоцированных пологонаклонных равнин центральной части и моноклинално-складчатых равнин и холмогорий южного борта. Саурское поднятие подразделено на Манрак-Сайканскую зону передовых сводово-глыбовых поднятий и Манрак-Саурскую зону сводово-глыбовых хребтов (см. рис. 1).

Зайсанская впадина соответствует крупному, сложно построенному длительно живущему межгорному прогибу, унаследовано развивающемуся между складчатыми сооружениями Саур-Тарбагатай и Алтая с позднего палеозоя. Прогиб выполнен преимущественно песчано-глинистыми озерными и аллювиально-пролювиальными осадками кайнозойского возраста мощностью более 1.5 км [20], залегающими на глубоко эродированных породах палеозоя, реже – мезозоя. При этом в южной части впадины, на границе с передовым Сайканским поднятием Саурского хребта, выделяется отдельная более глубокая и древняя Карабулакская впадина, видимо, развивавшаяся как предсаурский краевой прогиб еще с герцинского времени. Учитывая вскрытые бурением пермо-триасовые отложения в основании впадины, мощность осадочного разреза достигает 4859 м по данным бурения Сарыбулакской скважины [21].

*Зона слабодислоцированных пологонаклонных равнин* представляет собой наиболее опущенную часть Зайсанской впадины шириной около 45 км, вытянутую в северо-западном направлении на 250 км. Северо-восточной границей данной зоны выступает Зайсанский взброс [20] (вероятно, взбросо-сдвиг). Южной границей является зона разломов, которую мы предлагаем назвать Манрак-Сайканской (далее зона МСк). В этой части впадины преобладает плоский нерасчлененный рельеф, типичный для аккумулятивных равнин. В плиоцен-четвертичное время и сейчас данная территория интенсивно выравнивается в результате аллювиально-озерного осадконакопления. В настоящее время, после создания в 1966 г. плотины Бухтарминской ГЭС, поднявшей уровень озера Зайсан на 7 м, низшие абсолютные отметки впадины находятся на высоте 420 м над у. м. Основу рельефа впадины составляют слабо наклоненные к ее центру равнины. Они спускаются ко дну впадины до абс. отметки 405 м (учитывая глубину водохранилища около 15 м). На периферии впадины слагающие ее мезо-кайнозойские отложения поднимаются до высоты 1100 м и более. Локальных тектонических возмущений, выраженных в морфоструктуре данной зоны, нами не отмечено.

Глубины залегания допермского фундамента впадины в центральной зоне меняются от 1–1.5 км на северо-западе до 2–5 км на юго-востоке [21]. В основании Зайсанской впадины обнаружена палеоценовая кора выветривания, развитая преимущественно по эффузивам среднего карбона. Она служит надежным репером для оценки

нейших тектонических деформаций. Глубоким бурением осевой части впадины кора вскрыта на глубинах 1574–1576 м в районе пос. Даирово [18, 20]. На южной границе впадины выходы коры на поверхность описаны в бассейнах рек Тайжузген, Кусто, Калмакпай, Аксыир; в северном Призайсанье она развита в районах сопкок Аркаул, Кара-Бирюк-Кериш, Чекельмес, Актобе [20]. Кора выветривания образовалась на завершающем этапе планации рельефа длительностью около 100 млн. лет, который начался, судя по окончанию осадконакопления, в средней юре и продлился до палеоцена [20, 21]. Таким образом, можно сделать вывод о широком площадном распространении данной коры выветривания на территории всей восточной части Зайсанской впадины, ее формировании на слабосрачлененной выровненной поверхности, которая испытала прогибание в кайнозое.

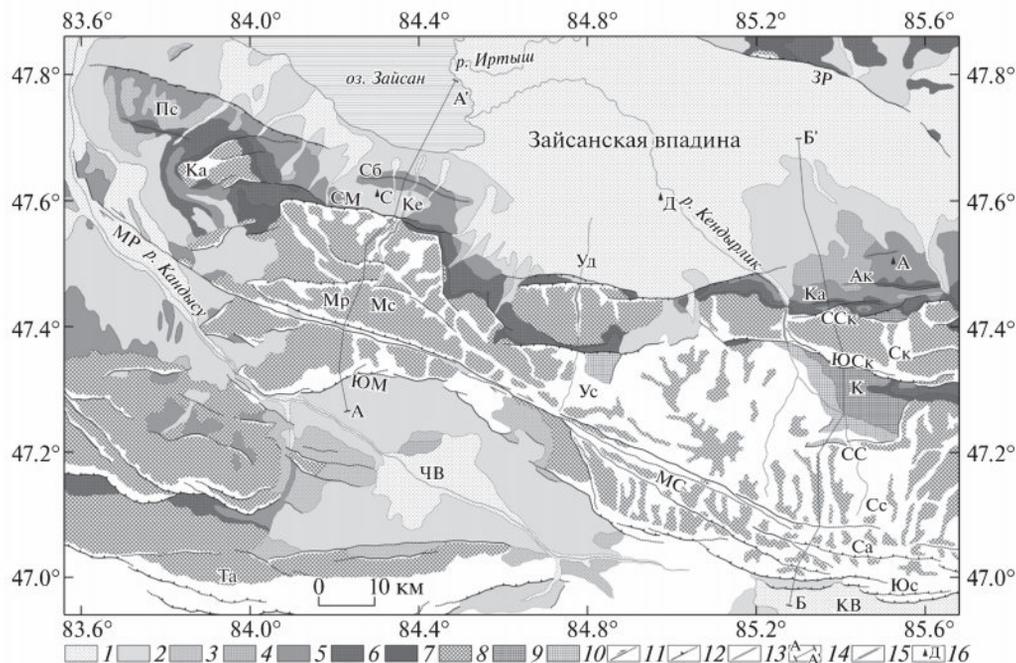
Сводный разрез палеоцен-плиоценовых отложений впадины детально описан В.С. Ерофеевым [20]. На коре выветривания палеоценового времени лежат глинистые отложения северозайсанской свиты палеоцена – нижнего эоцена. На них с несогласием залегают преимущественно глинистые осадки турангинской и тузаканской свит среднего эоцена – нижнего олигоцена. Выше с несогласием залегают песчано-глинистые отложения ашугасской и аральской свит среднего олигоцена – среднего миоцена. Их надстраивают, залегающие также с несогласиями, сарыбулакская, павлодарская и вторушкинская свиты, относимые автором к среднему миоцену – верхнему плиоцену, и отличающиеся резким огрублением гранулометрического характера осадков<sup>1</sup>. Здесь преобладают песчаные, гравийно-галечные и валунные отложения, в то время как глинистые находятся в подчиненном положении. Согласно данным Э.А. Вангенгейм и соавт., в отложениях вторушкинской свиты найден комплекс фауны, характерный для позднего миоцена – киммерия [22]. В этом случае красноцветная павлодарская свита может быть соотнесена с аналогичной киргизской свитой Тянь-Шаня (олигоцен – ранний миоцен [23]). Верхи разреза сложены галечно-валунными конгломератами, лежащими с глубоким размывом на отложениях вторушкинской свиты, относимыми В.С. Ерофеевым к красноярской свите среднего плейстоцена (гоби-конгломераты по Б.А. Борисову [24]).

*Моноклиально-складчатая зона равнин и холмогорий южного борта Зайсанской впадины узкой (до 10 км) полосой протягивается на 160 км вдоль северных подножий передовых хребтов Саура – Манрака и Сайкана. Она представляет собой пластовую равнину, на востоке прямую, а в западной части, на структуре Карабулакского краевого прогиба – инверсионную. Данная зона соответствует широкой Манрак-Сайканской зоне разломов и ограничена ее основной южной (Манракский разлом [21]) и северной ветвями (рис. 2). Равнина вовлечена в поднятия Саура и отличается развитием первичных складчато-разрывных дислокаций осадочного чехла и соответственно более возвышенным расчлененным рельефом.*

Манрак-Сайканская зона разломов построена кулисно и представляет собой ряд прямо выраженных в рельефе разломов общей широтной ориентировки. Ее взбросовая кинематика не вызывает сомнений. Признаки надвигания палеозойского складчатого основания на осадки впадины по южной ветви зоны описаны нами в долине р. Кусто, а также подтверждаются другими авторами; суммарная амплитуда надвигания оценивается в 5–6.5 км [21]. Кулисное строение зоны указывает на присутствие в ней также и правосдвиговой компоненты.

Отложения моноклиально-складчатой зоны Зайсанской впадины залегают на палеоценовой поверхности выравнивания, широко распространенной на Манрак-Саурском поднятии. На поверхности развита кора выветривания, состав которой варьиру-

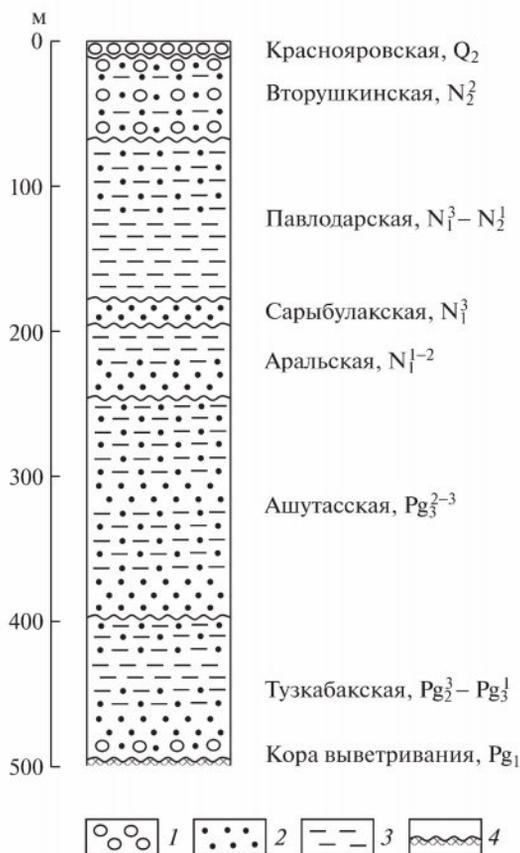
<sup>1</sup> Во времена основных исследований региона считалось, что четвертичный период начинался 0.77 млн. л.н. Ввиду этого основной объем грубой молассы вторушкинской свиты может быть отнесен к четвертичному времени в его современных возрастных рамках с нижней границей 2.58 млн. л.



**Рис. 2.** Структурно-геоморфологическая карта южной части Зайсанской впадины и ее горного обрамления. Области распространения кайнозойских отложений: 1 – голоценовых, 2 – плиоцен-среднеплейстоценовых, 3 – раннеплейстоценовых, 4 – плиоценовых, 5 – миоценовых, 6 – эоцен-олигоценовых, 7 – мел-палеоценовых; 8 – палеоценовая поверхность выравнивания; области распространения пермо-триасовых отложений: 9 – триасовых, 10 – пермских; новейшие разрывные нарушения: 11 – сдвиги, 12 – взбросы и надвиги; 13 – оси антиклиналей в пределах моноклинально-складчатой денудационной зоны южного борта Зайсанской впадины; 14 – линии структурно-геоморфологических профилей (см. рис. 3); 15 – антицедентные участки долин рек при пересечении ими Манрак-Сайканской зоны передовых хребтов; 16 – параметрические скважины. Буквами обозначены поперечные сегменты: Пс – периклинальный, Мс – Манракский, Ус – Уйденский; хребты: Та – Тарбагатайский, Мр – Манракский, Са – Саурский, Ск – Сайканский; антиклинали: Сб – Сарыбулакская, Ка – Калмакпайская, Ак – Аксырская; скважины: Д – Даурская, А – Аксырская, С – Сарыбулакская; главные разломы: МР – Манракский, ЮМ – Южно-Манракский, МС – Манрак-Саурский, СМ – Северо-Манракский, ЮС – Южно-Саурский, СС – Северо-Саурский, ЮСк – Южно-Сайканский, ССк – Северо-Сайканский, ЗР – Зайсанский; межгорные впадины: ЧВ – Чиликтинская, К – Кендырлыкская, КВ – Кобукская; реки: Ке – Кенсай, Уд – Уйдене; КА – антиклинальный свод Кызыладыр.

ет от серых кварцевых песков до кирпично-красного структурного элювия. Поверхность и кора моноклинально падают на север под разными углами. В восточной части зоны в долине Калмакпай – до  $45^\circ$  и более. В устье р. Аксыр кора вскрыта на глубине 250 м [15]. Южнее, на северном макросклоне хребта Сайкан отмечают аналоги данной поверхности, также падающие на север, но уже под меньшими углами. То есть можно предполагать наличие здесь складки большого радиуса в основании впадины, развивавшейся, видимо, на первичном этапе новейших деформаций Зайсанской впадины и Саура.

Кайнозойская толща, выполняющая моноклинально-складчатую зону впадины, исследована нами и рядом предшественников в стратотипическом разрезе Калмакпай [20, 22, 24, 25]. Она представлена чередованием песчано-глинистых отложений эоце-



**Рис. 3.** Сводная стратиграфическая колонка кайнозойских отложений разреза Калмакпай (схема расчленения разреза и названия свит приняты по [20]).

*Отложения:* 1 – галечно-валунные, 2 – песчаные, 3 – глинистые; 4 – стратиграфические несогласия и коры выветривания.

на-плиоцена суммарной мощностью втрое меньшей в сравнении с осевой частью впадины – около 500 м (рис. 3). Все описанные выше свиты указанного возрастного интервала залегают друг на друге с размывом, свидетельствующем о перерывах в озерном осадконакоплении. В них также присутствуют песчано-гравийные слои, что указывает на существование невысокого Саурского поднятия еще в палеогене и неогене. Накопление в плиоцен-четвертичное время грубообломочных отложений вторушкинской и краснояровской свит свидетельствует об ускорении поднятия Саура и Сайкана.

В Зайсанской котловине плиоценовые отложения дислоцированы совместно с миоценовыми и принимают участие в формировании антиклинальных и синклинальных структур. Резкие формы дислокаций фиксируются вблизи южного борта впадины, где слои осадков наклонены до  $70^\circ$  и более. Ближе к центру впадины плиоценовые слои приобретают большую мощность и постепенно выполаживаются, хотя там наблюдается ряд небольших валообразных антиклинальных поднятий высотой до первых десятков метров. Зона контакта кайнозойской толщи разреза Калмакпай с подстилающими герцинидами осложнена Калмакпайской антиклиналью. Ее ось вытяну-

та широтно, параллельно орогену Сайкана-Саура. Восточнее нами описана сходная по структуре и простиранию Аксырская антиклиналь. В западной части зоны выделяется Сарыбулакская антиклиналь, а также крупный антиклинальный свод Кызыладыр на периклинали Манракского поднятия с выходом фундамента в ядре, подобный поднятиям южного борта Иссыккульской впадины [26] (см. рис. 2).

Помимо складчатых деформаций, отложения разреза Калмакпай проявляют признаки надвигания на толщу эффузивов палеозоя, слагающих северный макросклон хр. Сайкан. На это указывают послойные срывы внутри толщи и формирование надвиговых козырьков на аструктурном склоне калмакпайской моноклинали. Также данный аструктурный склон подвержен интенсивной оползневой переработке, чего не отмечается на соседних, более северных участках разреза Калмакпай. На надвигание указывает и высотное положение кайнозойской осадочной толщи в зоне контакта с корой выветривания по породам палеозоя. Менее прочные породы кайнозоя имеют в зоне контакта более высокий гипсометрический уровень, нежели герцинские эффузивы, что противоречит принципу избирательной денудации и может свидетельствовать о надвигании кайнозойских толщ со стороны впадины на ороген.

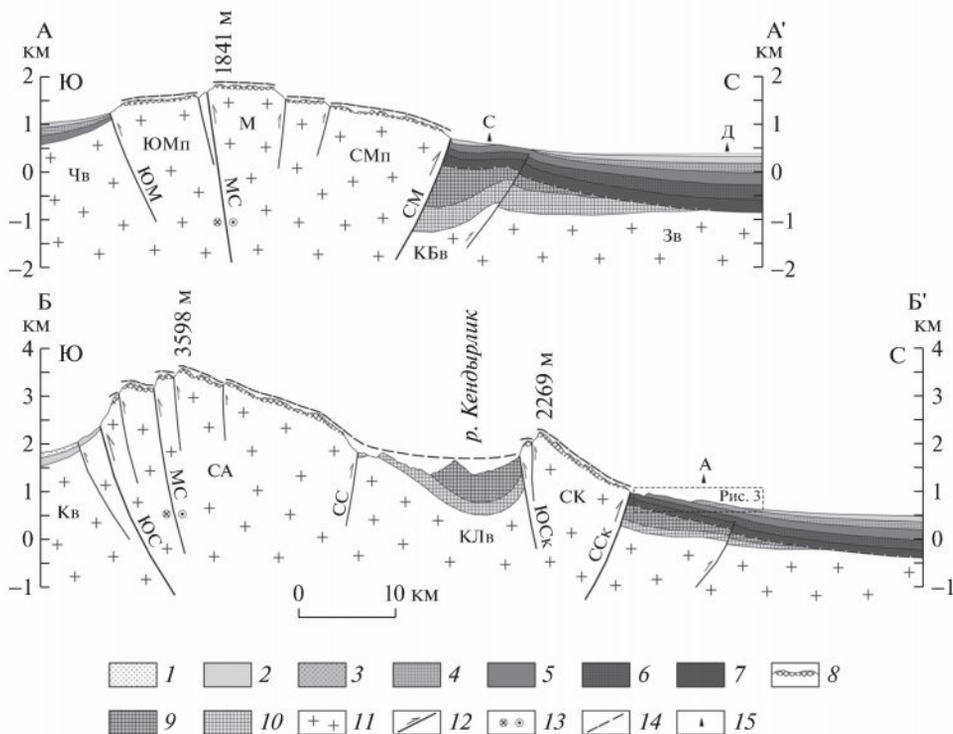
Формирование параллельных орогену структур сжатия – амплитудных взбросов северного и южного борта, а также складок, согласуется с идеей о новейшем развитии Зайсанской впадины в условиях общего сжатия как синклинально-рамповой впадины. Вдавливание и погружение южного борта впадины провоцировали развитие здесь озерного бассейна, где и происходило накопление осадочной толщи калмакпайского разреза.

*Манрак-Сайканская зона передовых сводово-глыбовых поднятий* выделяется на границе с Зайсанской впадиной. Данная зона имеет отчетливое поперечное сегментирование.

В западной части зоны нами выделено Северо-Манракское поднятие – северная низкогорная часть хр. Манрак. Поднятие сложено андезитами и порфирами буконьской свиты среднего карбона. Породы срезаны поверхностью выравнивания местами с мощной железистой корой выветривания, описанной выше (рис. 4). Поверхность расчленена долинами многочисленных притоков рек Тайжуген, Кусто, Кенсай и др. Характерная черта Северо-Манракского поднятия – крайне плавное погружение поверхности выравнивания на север и ее резкое погружение по линии южной ветви Манрак-Сайканской зоны разломов (см. рис. 4).

На юго-востоке широтное Северо-Манракское поднятие продолжается широтным Уйденским блоковым поднятием – наиболее низким во всей зоне. Оно также сложено герцинскими вулканитами. Отличительная черта поднятия – обратный южный наклон поверхности выравнивания к продольной Уйденской впадине. Во впадине поверхность несогласно перекрыта описанными выше озерными осадками эоцена-миоцена вплоть до красноцветной павлодарской свиты в северной части. Северный борт Уйденского блока, аналогично Северо-Манракскому, резко обрывается взбросовым уступом южной ветви Манрак-Сайканской зоны разломов. Однако, в отличие от Калмакпайской зоны, примыкающие к Уйденскому блоку с севера осадки Зайсанской впадины не образуют широкой моноклинали, а резко изгибаются вплоть до вертикального падения в пределах узкой приразломной полосы.

Юго-восточнее широтно протягивается наиболее высокий в пределах рассматриваемой зоны хребет – Сайкан (2344 м), сложенный эффузивными породами среднего карбона. Хребет имеет четко выраженное асимметричное строение, полого наклоняясь к Зайсанской впадине на севере и обрываясь крутыми уступами к Кендырлыкской впадине на юге (см. рис. 2, 4). Северные склоны Сайкана до отметок более 2000 м несут следы выравнивания. Хребет ограничен с севера Северо-Сайканским, а с юга – Южно-Сайканским надвигами. Последний вскрыт горными выработками в Кендырлыкской впадине; он падает под углом 40–50 гр. на север [20]. Наличие двух встречных разломов сжатия в основании Сайкана позволяет считать, что он развивается как



**Рис. 4.** Структурно-геоморфологические профили южной части Зайсанской впадины и ее горного обрамления.

*Кайнозойские отложения впадины:* 1 – голоценовые, 2 – плиоцен-среднеплейстоценовые, 3 – раннеплейстоценовые, 4 – плиоценовые, 5 – миоценовые, 6 – эоцен-олигоценные, 7 – мел-палеоценовые; 8 – палеоценовая кора выветривания; *пермо-триасовые отложения:* 9 – триасовые, 10 – пермские; 11 – палеозойское основание; *новейшие разрывные нарушения:* 12 – взбросы и надвиги, 13 – сдвиги (крест – удаляющееся крыло разлома, точка – приближающееся крыло); 14 – мел-палеогеновая поверхность выравнивания; 15 – местоположение проекций на профили ближайших параметрических скважин. *Буквами обозначены пересекаемые профилями тектонические структуры:* Чв – Чиликтинская впадина, ЮМП – Южно-Манракское поднятие, М – хребет Манрак, СМП – Северо-Манракское поднятие, КБв – Карабулакская впадина, Зв – Зайсанская впадина, Кв – Кобукская впадина, СА – хребет Саур, КЛв – Кендырлыкская впадина, СК – хребет Сайкан; *разломы:* ЮМ – Южно-Манракский, МС – Манрак-Саурский, СМ – Северо-Манракский, ЮС – Южно-Саурский, СС – Северо-Саурский, ЮСК – Южно-Сайканский, ССк – Северо-Сайканский; *скважины:* Д – Даурская, А – Аксырская, С – Сарыбулакская.

клин выжимания. Подобный тип морфоструктур описывался ранее на Памире, Тянь-Шане и Большом Кавказе [27, 28].

Южный склон Сайкана круто обрывается в Кендырлыкскую впадину. Этот межгорный прогиб развивался с позднего палеозоя как предгорный, по аналогии с Карабулакским, и также выполнен осадками перми – юры. Данная осадочная толща срезана поверхностью выравнивания, на которую несогласно налегают палеогеновые озерные осадки северо-зайсанской, турангинской свит палеогена и красноцветной павлодарской неогеновой свиты [20]. Впадина имеет асимметричное строение и наклонена на север. С севера она ограничена Южно-Сайканским надвигом, а с юга – Северо-Саурским взбросом южной вергентности, выделяющимся по смещению поверхности выравнивания (см. рис. 4). Таким образом, на протяжении кайнозоя в усло-

виях горизонтального сжатия Кендырлыкская впадина развивалась как унаследованный межгорный прогиб рампового типа, куда периодически распространялось озеро Зайсан.

Северо-Манракское, Уйденское и Сайканское поднятия пересечены крупными антецедентными долинами рек Кенсай, Уйдене, Кендырлык, Улькен-Уласты, начинающихся на Манракском и Саурском хребтах. Все перечисленные антецедентные участки долин имеют весьма крутые склоны и глубокие (до 1300 м) врезы, что свидетельствует об их молодости. Проникновение палео-Зайсана в Уйденскую и Кендырлыкскую впадины, происходившее вплоть до миоцена, а также рассечение передовых поднятий молодыми антецедентными долинами свидетельствуют о молодом плиоцен-четвертичном возрасте всей зоны передовых хребтов и поднятий. Их новейшее воздымание связано с активизацией блоков, разделенных правокулисной Манрак-Сайканской сдвига-взбросовой зоной. Максимальная амплитуда воздымания хребта Сайкан оценивается нами в 2 км за плиоцен-четвертичное время.

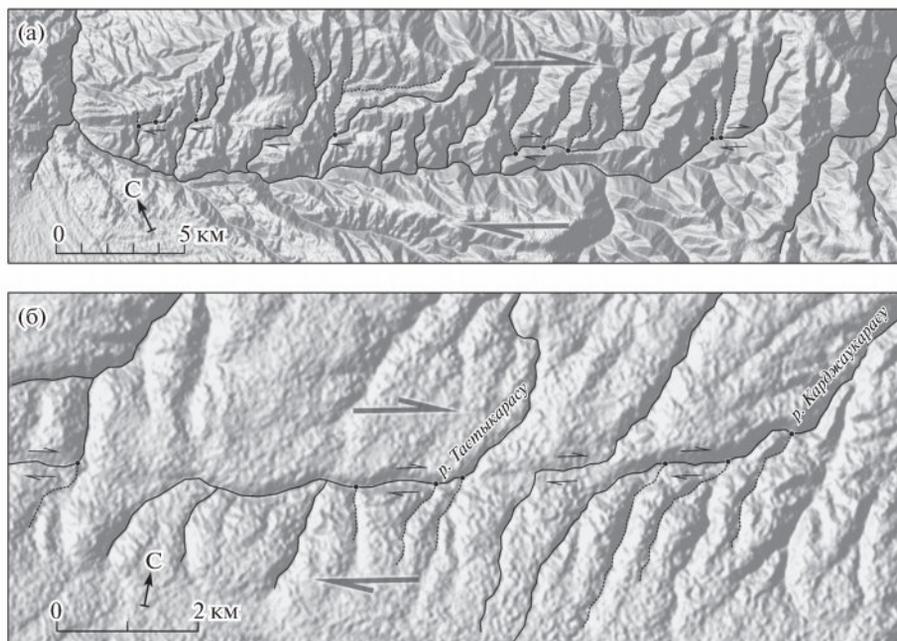
*Манрак-Саурская зона сводово-глыбовых хребтов* выделяется на крайнем юге рассматриваемой области. К ней относятся среднегорный хребет Манрак и высокогорный – Саур. Хребты сложены разнообразными магматическими и осадочными породами нижнего карбона. Отличительная черта хребтов – широкое развитие палеоценовой поверхности выравнивания на водоразделах, являющейся репером в оценке их новейших деформаций. С юга зона ограничена главной в описываемом регионе одноименной Манрак-Саурской рельефообразующей зоной разломов (далее зона МС).

Среднегорный хребет Манрак имеет сводообразный поперечный профиль, осложненный взбросовыми уступами с минимальной амплитудой смещений вершинной поверхности выравнивания в 500 м. Наиболее высокая часть хребта ограничена с юга Манрак-Саурским разломом зоны МС. Морфоструктурный анализ позволил выделить вдоль разлома ряд правосторонних смещений долин притоков р. Уйдене с минимальным смещением в 1 км за четвертичное время, поскольку ряд смещенных долин имеют троговый характер и соответственно относятся к среднему плейстоцену (рис. 5, а).

К югу от Манрак-Саурского разлома выделено плоское Южно-Манракское поднятие, весьма полого склоняющееся и затем круто обрывающееся на юг по линии Южно-Манракского взброса (входит в зону МС) в обширную внутригорную Чиликтинскую впадину. Плоская поверхность впадины лежит на высотах около 1100 м и покрыта плащом четвертичных щебнисто-галечных отложений, ассоциирующихся с красноярской свитой. Впадина с запада отделена от Зайсанской низкогорной перемычкой между хр. Манрак и передовыми массивами Тарбагатай, прорванной долиной Кандысу.

Высокогорный хр. Саур поднимается к югу от Уйденской и Кендырлыкской впадин до высот 3816 м. Хребет также имеет сводообразный поперечный профиль, но Саурский свод полого наклонен к северу и резко оборван по разломам зоны МС (особенно по Южно-Саурскому) на юг к Кобукской впадине. Разломы дробят поверхность хребта на серию ступеней с суммарной амплитудой вертикальных смещений поверхности выравнивания более 2 км. Разломная зона на саурском отрезке простирается широтно, т.е. поперек региональной оси сжатия, и выгнута в сторону Кобукской впадины, что служит признаком ее взбросовой кинематики. С севера хребет ограничен Северо-Саурским взбросом, по которому надвигается на Кендырлыкскую впадину. Таким образом, можно утверждать, что на новейшем этапе Саур развивается как сводово-глыбовый хребет типа клина выжимания, поверхность которого имеет сводообразный изгиб, нарушенный ступенчатыми взбросами.

Основная правосдвиговая компонента перемещений реализуется по северной ветви зоны МС. Помимо смещений в ее западной части (см. рис. 5, а), на востоке нами описан ряд правосторонних смещений долин верховий рек Тастыкарасу и Карджаукарасу (рис. 5, б). Их минимальная амплитуда также оценивается в 1 км. Разлом здесь



**Рис. 5.** Правосторонние изгибы водотоков, пересекающих Манрак-Саурскую правосдвиговую разломную зону в ее центральной (а) и восточной (б) частях. Точками обозначены устья молодых перехватывающих долин, возникших вследствие смещения старых русел. Стрелками показаны направления смещения блоков.

поворачивает на ВСВ и прослеживается в сторону северного берега оз. Улюнгур. Этот факт может свидетельствовать в пользу общего поворота Зайсанской микроплиты на несколько градусов против часовой стрелки (см. рис. 1), что согласуется с данными предшественников [7].

#### ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ЮЖНОГО БОРТА ЗАЙСАНСКОЙ ВПАДИНЫ И ЕЕ ГОРНОГО ОБРАМЛЕНИЯ

*Предорогенный этап* представляет собой длительный период планации рельефа региона и формирования кор выветривания. Описанная в литературе раннемезозойская (триасовая) кора дискуссионна [14]. Мы считаем, что в регионе развита единственная кора выветривания, соответствующая единой поверхности выравнивания палеоэоценового возраста. Данная кора залегает на северных склонах Саура, Тарбагатая и передовых хребтов Сайкан и Манрак. В разрезе Карабулакской и Кендырлыкской впадин отмечается перерыв в осадконакоплении, продлившийся с поздней юры до эоцена. За это время поверхность герцинского складчатого основания подверглась глубокому размыву, и на ней сформировалась железистая кора выветривания. В Карабулакской впадине ей отвечает лишь маломощная толща палеоэоценовых, преимущественно песчаных осадков, залегающих с угловым несогласием. В осевой части Зайсанской впадины кора вскрывается в основании ее кайнозойского осадочного разреза, формирование которого началось с эоцена. Сумма этих данных свидетельствует о наличии единой, общей для всего региона коры выветривания, образование которой можно считать финальной стадией планации рельефа впадины в палеоэоцене. Аналогичную картину можно видеть на Тянь-Шане, где также существует единая красноцветная ко-

ра выветривания, лежащая в основании кайнозойских разрезов тянь-шаньских внутригорных впадин (коктурпакская свита [29]). Аналогия с соседним Казахским мелко-сопочником позволяет утверждать, что превышения эпигерцинского палео-Саура над котловиной палео-Зайсана на рубеже мела – палеогена составляли не более 500 м.

*Начальный этап дифференцированных поднятий и опусканий в эоцене – раннем миоцене.* На ранней стадии этого этапа преобладали деформации изгиба, приведшие к прогибанию предороженной поверхности выравнивания во впадине и ее сводовому воздыманию на Сауре. Поперечные структурно-геоморфологические профили (см. рис. 4) демонстрируют, что предороженная поверхность имеет синклинальный изгиб большого радиуса во впадине, и антиклинальный – на хребтах. Начальным поднятиям соответствуют маломощные конгломераты в основании разреза Калмакпай. Все основные свиты разреза залегают с несогласиями друг на друге, что свидетельствует о небольшой глубине и частых флуктуациях озерного бассейна в то время.

В позднем миоцене происходит компенсация правосторонних перемещений по Тарбагатайскому, Манрак-Саурскому и Зайсанскому сдвигам движениями по взбросо-надвигам, контролирующим борта впадины. Их поднятые крылья надвигаются на Зайсанскую впадину с севера и юга, придавая ей рамповый характер (см. рис. 1). Вероятно, данная активизация вызвана достижением предела пластичности деформируемого консолидированного фундамента впадины. Новейшее прогибание Зайсанской впадины подтверждается наличием в ее осевой части изостатической аномалии, типичной для активно развивающихся прогибов [19]. В сарыбулакское время, относящееся по данным [22, 25] к миоцену, отмечается сильнейшая тектоническая активизация за все палеоцен-миоценовое время, называемая В.С. Ерофеевым Тарбагатайской фазой тектогенеза [20]. Тогда сформировалась песчано-галечная сарыбулакская свита мощностью около 20 м в разрезе Калмакпай. Вдавливание фундамента впадины приводит в позднем миоцене к максимальному расширению озерного бассейна, покрывавшего в то время Манрак-Сайканскую зону, и формированию мощной глинистой павлодарской (калмакпайской) свиты, сохранившейся в Кендырлыкской и Уйденской впадинах. Об озерном генезисе данных свит свидетельствует завершенность преобразования тонкопелитового материала и присутствие в нем озерного минерала палгорскита [30].

*Плиоцен-четвертичный этап аккреционного скупивания* соответствует Верхнегобийской фазе тектогенеза [20] или позднеорогеническому этапу сжатия и интенсивных поднятий (по А.Н. Обухову [31]). Для него характерны некомпенсированные поднятия и формирование грубой молассы. На рубеже миоцена и плиоцена происходит расширение Саур-Тарбагатайского орогена за счет вовлечения части впадины в поднятие и формирование Манрак-Сайканской зоны передовых хребтов. В сочетании с активизацией продольных взбросо-надвигов зон МС и МСк, усиливших контрастность блоковых движений в горном обрамлении впадины, эти процессы привели к появлению первой мощной порции грубой молассы в разрезе Калмакпай – вторушкинской (карабулакской) песчано-галечной свиты раннего плиоцена.

На данном этапе во впадине произошло заложение складок в кайнозойских отложениях параллельно Сайкану и Манраку. Ранее предполагался их гравитационный генезис в условиях чрезвычайно активных сводовых поднятий на фоне очень высокого уровня грунтовых вод раннего квартала [30]. Однако сдвигово-взбросовый характер основных разрывных ограничений впадины, присущий обстановкам горизонтального сжатия, и сопряженность складок с этими разломами (см. рис. 4) свидетельствуют о происхождении последних в результате латерального сжатия.

Четвертичный возраст формирования контрастного горного рельефа подтверждается свежим характером расчленения вершинных поверхностей Саура и Сайкана; их поднятие и интенсивное расчленение произошли одновременно и недавно. Поверхности контрастно выделяются малыми уклонами (первые градусы, не более 20) на фо-

не крутых склонов прорезающих их речных долин. На молодой возраст поднятий указывает формирование грубообломочной красноярской свиты, сохранившей первичную окраску с чрезвычайно малым содержанием глинистых пород и залегающей с глубоким размывом и резким угловым несогласием на подстилающих кайнозойских породах. Ее возраст большинством исследователей региона принимается как четвертичный [20, 24, 25]. Мощность данной свиты (до 10 м) четко выдержана на протяжении всей моноклинали разреза Калмакпай, что свидетельствует о ее отложении на горизонтальной поверхности. Деформации отложений данной свиты на 300 м в предгорьях Сайкана указывают на четвертичные поднятия последнего, скорость которых может быть оценена в 0.38 мм/г для моноклиналино-складчатой зоны южного борта Зайсанской впадины. Очевидно, что в осевой зоне Саура данные скорости гораздо выше. Суммарная амплитуда дифференцированных движений Зайсанской впадины и ее южного горного обрамления на основании деформаций палеоценовой региональной поверхности выравнивания может быть оценена в 4.5–5 км за кайнозойское время.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Морфоструктура Зайсанской впадины и ее горного обрамления сформировалась в условиях латерального сжатия земной коры. Оно реализовывалось в сводово-взбросовых деформациях региональной предорогненной поверхности выравнивания палеоценового времени, поднятой почти до 4 км на хр. Саур и опущенной на 1.5 км в Зайсанской впадине, а также в правосдвиговых смещениях по разломам северо-западного простирания с минимальной амплитудой в 1 км за четвертичное время.

2. На стыке с Джунгарской плитой в своих юго-восточных периферийных частях Манрак-Саурский и Тарбагатайский правые сдвиги компенсируются системой широтных взбросов. Эти взбросы контролируют развитие Зайсанской, Кендырлыкской, возможно, Чиликтинской впадин как рамп-синклиналей, а также глыбовых хребтов Саур, Манрак, Сайкан и Тарбагатай как клиньев выжимания. Ось сжатия при этом приходится на наиболее поднятый Саур-Сайканский поперечный сегмент горной системы Саур-Тарбагатай.

3. На фоне преобладания глыбовых деформаций выделяется ряд складчатых морфоструктур, которые развиты во впадинах и затрагивают разные стратиграфические комплексы отложений. На юге Зайсанской впадины имеет место прерывистая пологая складчатость в мезозой-кайнозойских осадках, выраженная в рельефе в виде пологих холмов и моноклиналиных гряд, подорванных взбросо-надвигами. Во внутригорной Кендырлыкской впадине пликативным дислокациям подвержены пермско-триасовые отложения, которые образуют ряд куэстообразных форм рельефа.

4. В истории развития региона с позднего палеозоя сочетаются общая унаследованность дифференцированных движений земной коры и прерывистость, выраженная в фазах их активизации. Новейшее развитие территории началось в палеоцене в форме малоамплитудных сводовых деформаций предорогненной поверхности выравнивания, выразившихся в прогибании Зайсанской котловины и начале озерного осадконакопления. При этом низкогорья на ее периферии являлись областями сноса песчаных отложений. Активизация в олигоцен-миоцене правых взбросо-сдвигов на периферии впадины — причина усиления вдавливания фундамента последней и максимального расширения озерного бассейна. В плиоцен-четвертичное время резкое усиление горообразования приводит к огрублению молассы в разрезе впадины и сокращению ее площади за счет активизации Манрак-Сайканской зоны передовых хребтов, а также моноклиналино-складчатой зоны впадины.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работы в части морфоструктурного анализа и исследования стратиграфии Зайсанской впадины выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ № 17–17–01073, а также по теме ГЗ Палеогеографические обстановки четвертичного периода и рельефообразующие процессы как основа современных ландшафтов и фактор жизнедеятельности древнего и современного человека. № Темы ПАРУС 0148–2019–0005, № ЕГИСУ НИОКТР (ЦИТИС) АААА–А19–119021990091–4. Дистанционные структурно-геоморфологические исследования проведены при поддержке гранта РФФИ 20–05–00441. Авторы выражают глубокую признательность д.г.-м.н. В.Г. Трифонову (ГИН РАН) за ценные комментарии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Равнины и горы Средней Азии и Казахстана / Отв. ред. С.С. Коржуев. М.: Наука, 1975. 264 с.
2. Геоморфологическая карта СССР масштаба 1:2500000. М.: ГУГК, 1987. 16 л.
3. *Арган Э.* Тектоника Азии. М–Л.: ОНТИ, 1935. 265 с.
4. Александров С.М. Морфоструктурная эволюция континентально-океанической и внутриконтинентальных шовных зон // Геоморфология. 1986. № 4. С. 3–15.
5. *Хаин В.Е.* Происхождение Центральноазиатского горного пояса: коллизия или мантийный диапиризм? // Геодинамика внутриконтинентальных горных областей. М.: Наука, 1990. С. 3–8.
6. *Хаин В.Е., Яблонская Н.А.* Неотектоника Азии: 75 лет после Эмиля Аргана // Геотектоника. 1997. № 6. С. 3–15.
7. Thomas J.C., Lanza R., Kazansky A., Zykin V., Semakov N., Mitrokhin D., and 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. Vol. 351. P. 119–137.
8. *Копп М.Л.* Структуры латерального выжимания в Альпийско-Гималайском коллизийном поясе. М.: Науч. мир, 1997. 314 с.
9. *Буланов С.А.* Формирование горного рельефа Центральной Азии в условиях латерального сжатия // Геоморфология Центральной Азии. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2001. С. 49–51.
10. *Буланов С.А.* Концепции формирования Центральноазиатского орогена // Теоретические проблемы современной геоморфологии: теория и практика изучения геоморфологических систем. Астрахань: Техноград, 2011. С. 105–111.
11. *Тимофеев Д.А., Чичагов В.П.* Остроугольные клиновидные морфоструктуры Центральноазиатского горного пояса // Геоморфология. 1997. № 1. С. 10–22.
12. Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI), SRTM 90m Digital Elevation Database v 4.1, 2017. Available from: URL. <http://srtm.csi.cgiar.org>. Accessed: March 10, 2010.
13. Google Earth. URL. <http://www.earth.google.com>. Accessed: May 10, 2018.
14. Карта поверхностей выравнивания и кор выветривания СССР. Масштаб 1:2500000 / Ред. И.П. Герасимов, А.В. Сидоренко. М.: Мингео СССР, АН СССР, 1971. 8 л.
15. Государственная геологическая карта СССР. Серия Чингиз-Саурская. Лист L-44-VI, XII. Масштаб 1:200000 / В.П. Поникаров (ред.). Всесоюзный Аэрогеологический трест. 1959.
16. Государственная геологическая карта СССР. Серия Чингиз-Саурская. Лист L-45-I. Масштаб 1:200000 / ред. Д.П. Авров. Восточно-Казахстанское геологическое управление, 1961.
17. Государственная геологическая карта СССР. Серия Чингиз-Саурская. Лист L-45-II. Масштаб 1:200000 / ред. М.Г. Хисамудинов. Восточно-Казахстанское геологическое управление. 1961.
18. Зайсанская опорная скважина [Текст]: Восточно-Казахстанская область / В.К. Василенко, И.Г. Левченко. Л.: Гостоптехиздат, 1962. 150 с.
19. International Gravimetric Bureau, WGM2012 Earth's gravity anomalies, 2012. Available from: URL. <http://bgi.obs-mip.fr>. Accessed: March 10, 2010.
20. *Ерофеев В.С.* Геологическая история южной периферии Алтая в палеогене и неогене. Алмата: Наука (КазССР), 1969. 167 с.
21. *Халимов Э.М., Силич А.М., Обухов А.Н.* Результаты нефтепоисковых работ в зайсанской впадине // Геология нефти и газа. 1991. № 10. С. 11–14.
22. *Vangengeim E.A., Vislobokova I.A., Godina A.Ya., Dmitrieva E.L., Zhegallo V.I., Sotnikova M.V., and Tleuberdina P.A.* On the Age of Mammalian Fauna from the Karabulak formation of the Kalmakpai

- River (Zaisan depression, Eastern Kazakhstan) // Stratigraphy and geological correlation. Vol. 1. No. 2. 1993. P. 165–171.
23. *Синицын В.М.* Палеогеография Азии. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 268 с.
  24. *Борисов Б.А.* Стратиграфия верхнего мела и палеоген-неогена Зайсанской впадины. Л.: ВСЕГЕИ, 1963. С. 11–75.
  25. *Яхимович В.Л., Борисов Б.А., Сулейманова Ф.И., Данукалов Н.Ф.* Магнитостратиграфическая шкала кайнозоя Зайсанской впадины и ее биостратиграфическое обоснование. Уфа: УНЦ РАН, АН РБ. 1993. 68 с.
  26. *Korjenkov A.M. and Deev E.V.* Underestimated seismic hazard in the south of the Issyk-Kul Lake region (Northern Tien Shan) // Geodesy and Geodynamics. 2017. Vol. 8. Iss. 3. P. 169–180.
  27. *Буланов С.А., Трихунков Я.И.* Инверсия складчатого рельефа как показатель тангенциального сжатия земной коры // Геоморфология. 2013. № 1. С. 11–18.
  28. *Trikhunkov Ya.I.* Neotectonic transformation of Cenozoic fold structures in the Northwestern Caucasus // Geotectonics. 2016. Vol. 50. No. 5. P. 509–521.
  29. *Бачманов Д.М., Трифонов В.Г., Миколайчук А.В., Вишняков Ф.А., Зарщиков А.А.* Минкуш-Кёкмеренская зона новейшей трансгрессии в Центральном Тянь-Шане // Геотектоника. 2008. № 3. С. 30–50.
  30. *Венус Б.Г., Верзилин Н.Н., Кянсеп-Ромашкина Н.П., Мироненко О.А., Толстикова Н.В., Стариков В.П., Станкевич Е.С., Шевирева Н.С., Чхиквадзе В.М.* Палеолимнология Зайсана. Л.: Наука, 1980. 184 с.
  31. *Обухов А.Н.* Гравитационная геодинамика нефтегазоносных бассейнов подвижных зон земной коры. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. М.: ИГиРГИ, 1997. 52 с.

### The Morphostructure of the Southern Part of the Zaisan Basin and its Mountain Surroundings

**Y. I. Trikhunkov<sup>a,b,#</sup>, S. A. Bulanov<sup>c</sup>, D. M. Bachmanov<sup>a</sup>, E. V. Syromyatnikova<sup>d</sup>,  
A. V. Latyshev<sup>e,f</sup>, E. M. Sapargaliev<sup>g</sup>, M. M. Kravchenko<sup>g</sup>, and A. Zh. Azelkhanov<sup>g</sup>**

<sup>a</sup> *Geological Institute of RAS, Moscow, Russia*

<sup>b</sup> *MGSU, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

<sup>c</sup> *Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

<sup>d</sup> *Borissiak Paleontological Institute RAS, Moscow, Russia*

<sup>e</sup> *Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow, Russia*

<sup>f</sup> *Lomonosov Moscow State University, Geological Faculty, Moscow, Russia*

<sup>g</sup> *Altay Geology-ecological Institute, Oskemen, Kazakhstan*

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

The morphostructural analysis of Zaisan depression and its surrounding mountain area has been based on field geomorphological and structural researches and the study of the newest high quality remote-sensing data. The morphostructural zoning has resulted in distinguishing a series of latitudinal linear arched fault and transverse block structures, complicating them. The analysis of planation surface deformations and correlative sediments as well as studying of relief-forming faults kinematics have allowed us to reconstruct the history of the Cenozoic relief development. The depression began its latest stage of development in the Paleocene, however, the Mio-Pliocene acceleration of its subsidence was verified. It was expressed in accumulation during this time of more than a half of the total Cenozoic sedimentary fill. Dextral displacements along the Tarbagatai and Manrak-Saur fault zones were found. In their southeastern periphery, the thrust compensation for the strike-slip faults was caused by the acceleration of the Tarbagatai and Saur uplifts during the Pliocene-Quaternary. The kinematic type of certain faults was determined, the amplitudes of neotectonic uplift and horizontal displacements along them were estimated.

*Keywords:* morphostructural analysis, neotectonics, history of relief development, remote sensing, Zaisan depression, Saur-Tarbagatai Ridge

## ACKNOWLEDGEMENTS

Researches on morphostructural analysis and stratigraphy of the Zaisan depression has been held with the financial support of RNF No. 17-17-01073, and also as a state target theme Paleogeography conditions of the Quaternary and relief-forming processes as a foundation for modern landscapes and the factor of living of the ancient and modern people No. of the theme PARUS 0148-2019-0005, EGISU NIOKTR (CITIS) AAAA-A19-119021990091-4. Remote structural and geomorphological studies were carried out with the support of RFBR grant 20-05-00441. The authors express their deep gratitude to all the reviewers of present paper, as well as to Dr. Sc. V.G. Trifonov (GIN RAS) for valuable comments that have made our paper better.

## REFERENCES

1. *Ravniny i gory Sredney Azii i Kazakhstana* (Plains and mountains of Central Asia and Kazakhstan). Korzhuev S.S. (Ed.). M.: Nauka (Publ.), 1975. 264 p.
2. *Geomorfologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:2500000* (Geomorphological map of the USSR, scale 1:2500000). M.: GUGK (Publ.), 1987. 16 p.
3. Argan E. *Tektonika Azii* (Tectonics of Asia). M.–L.: ONTI (Publ.), 1925. 265 p.
4. Aleksandrov S.M. *Morphostruktural'naya evolyutsiya kontinental'no-okeanicheskoi i vnutrikontinental'nykh shovnykh zon* (Morphostructural evolution of continental-oceanic and intracontinental suture zones). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*, 1986. No. 4. P. 3–15. (in Russ.)
5. Khain V.E. *Proiskhozhdenie Tsentral'noaziatskogo gornogo poyasa: kolliziya ili mantiyni diapirizm* (The origin of Central Asiatic mountain belt: collision or mantle diapirism?) In: *Geodinamica vnutrikontinental'nykh gornykh oblastei* (Geodynamics of inland mountain regions). M.: Nauka (Publ.), 1990. P. 3–8 (in Russ.)
6. Khain V. and Yablonskaya N. *Neotektonika Azii: 75 let posle Emilya Argana* (Neotectonics of Asia: 75 years after Emile Argan). *Geotektonika*. 1997. No. 6. P. 3–15. (in Russ.)
7. Thomas J.C., Lanza R., Kazansky A., Zykin V., Semakov N., Mitrokhin D., and 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. Vol. 351. P. 119–137.
8. Kopp M.L. *Struktury lateral'nogo vyzhymaniya v Al'piisko-Gimalayskom kollizionnom poyase* (Structures of lateral squeezing in Alpine-Himalayan collision belt). M.: Nauchnyi mir (Publ.), 1997. 314 p.
9. Bulanov S.A. *Formirovaniye gornogo rel'efa Tsentral'noi Azii v usloviyakh lateral'nogo szhatiya* (Forming of mountain relief of the Central Asia in lateral squeezing conditions). In: *Geomorfologiya Centralnoi Azii*. XXVI Plenum of the Geomorphological Commission RAS. Barnaul: Izd-vo Alt. Un-ta (Publ.), 2001. P. 49–51. (in Russ.)
10. Bulanov S.A. *Kontseptsii formirovaniya Tsentralnoaziatskogo orogena* (Concepts of Central Asian orogeny formation). *Teoreticheskie problemy sovremennoi geomorfologii: teoriya i praktika izucheniya geomorfologicheskikh sistem*. XXXI Plenum of the Geomorphological Commission RAS. Astrakhan': Tekhnograd (Publ.), 2011. P. 105–111. (in Russ.)
11. Timofeev D.A. and Chichagov V.P. *Ostrougol'nye klinovidnye morfostruktury Tsentral'noaziatskogo gornogo poyasa* (Subangular wedge morphostructures of the Central Asian mountain belt). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1997. No. 1. P. 10–22. (in Russ.)
12. Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI), SRTM 90m Digital Elevation Database v 4.1, 2017. Available from: URL. <http://srtm.csi.cgiar.org/>. Accessed: March 10, 2010.
13. Google Earth. URL. <http://www.earth.google.com>. Accessed: May 10, 2018.
14. Map of planation surfaces and weathering crusts of the USSR // Scale 1:2500000 / Ed. I.P. Gerasimov, A.V. Sidorenko. M.: Mingeo SSSR-AN SSSR (Publ.), 1971. 8 p.
15. State geological map of the USSR. Chingis-Saur series. Page L-44-VI, XII // Scale 1:200000 / V.P. Ponikarov (Ed.), Vsesouznyi Aerogeologicheskii trest (Publ.), 1959.
16. State geological map of the USSR. Chingis-Saur series. Page L-45-I // Scale 1:200000 / D.P. Avrov (Ed.), Vostochno-Kazakhstanskoe geologicheskoe upravlenie (Publ.), 1961.
17. State geological map of the USSR. Chingis-Saur series. Page L-45-II // Scale 1:200000 / M.G. Hisamutdinov (Ed.), Vostochno-Kazakhstanskoe geologicheskoe upravlenie (Publ.), 1961.
18. *Zaisanskaya opornaya skvazhina: Vostochno-Kazakhstanskaya oblast'* (Zaisan test hole: East-Kazakhstan area). V.K. Vasilenko and I.G. Levchenko (Eds.). L.: Gostoptekhizdat (Publ.), 1962. 150 p.

19. International Gravimetric Bureau, WGM2012 Earth's gravity anomalies, 2012. Available from: URL. <http://bgi.obs-mip.fr>. Accessed: March 10, 2010.
20. Erofeev V.S. *Geologicheskaya istoriya yuzhnoi periferii Altaya v paleogene i neogene* (Geological history of Altai southern periphery in Paleogene and Neogene). Alma-Ata: Nauka (KazSSR) (Publ.), 1969. 167 p.
21. Khalimov E.M., Silich A.M., and Obukhov A.N. *Rezul'taty neftepoiskovykh rabot v Zaisanskoj vpadine* (Results of oil prospecting in Zaisan depression). *Geologiya nefti i gaza*. 1991. No. 10. P. 11–14. (in Russ.).
22. Vangengeim E.A., Vislobokova I.A., Godina A.Ya., Dmitrieva E.L., Zhegallo V.I., Sotnikova M.V., and Tleuberdivina P.A. On the Age of Mammalian Fauna from the Karabulak formation of the Kalmakpai River (Zaisan depression, Eastern Kazakhstan). *Stratigraphy and geological correlation*. 1993. Vol. 1. No. 2. P. 165–171.
23. Sinitsyn V.M. *Paleogeografiya Azii* (Paleogeography of Asia). M.–L.: Izd-vo AN SSSR (Publ.), 1962. 268 p.
24. Borisov B.A. *Stratigrafiya verkhnego mela i paleogen-neogena Zaisanskoj vpadiny* (Stratigraphy of the Upper Carbon and Paleogene-Neogene of Zaisan depression). L.: VSEGEI (Publ.), 1963. P. 11–75. (in Russ.)
25. Yakhimovich V.L., Borisov B.A., Suleimanova F.I., and Danukalov N.F. *Magnitostartigraficheskaya shkala Kainozoya Zaisanskoj vpadiny i biostratigraficheskoe obosnovanie* (Magnetostartigraphy scale of Zaisan depression and its biostratigraphy evidence in Cenozoic period). Ufa: UNTs RAN (Publ.), AN RB (Publ.), 1993. 68 p.
26. Korjenkov A.M. and Deev E.V. Underestimated seismic hazard in the south of the Issyk-Kul Lake region (Northern Tien Shan). *Geodesy and Geodynamics*. 2017. Vol. 8. Iss. 3. P. 169–180. (in Russ.)
27. Bulanov S.A. and Trikhunkov Ya.I. *Inversiya skladchatogo rel'efa kak pokazatel' tangentsial'nogo szhatiya zemnoi kory* (Inversion of folded relief as a mark of tangential squeezing of the earth crust). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2013. No. 1. P. 11–18. (in Russ.)
28. Trikhunkov Ya.I. Neotectonic transformation of Cenozoic fold structures in the Northwestern Caucasus. *Geotectonics*. 2016. Vol. 50. No 5. P. 509–521.
29. Bachmanov D.M., Trifonov V.G., Mikolaichuk A.V., Vishnyakov A.V., and Zarshchikov A.A. *Minkush-Kekemerenskaya zona noveishei transpressii v Tsentral'nom Tyan'-Shane* (Minkush-Keke-merensk zone of the newest transpression in the Central Tien Shan). *Geotektonika*. 2008. No. 3. P. 30–50. (in Russ.).
30. Venus B.G., Verzilin N.N., Kyansep-Romashkina N.P., Mironenko O.A., Tolstikova N.V., Starikov V.P., Stankevich E.S., Shevireva N.S., and Chkhikvadze V.M. *Paleolimnologiya Zaisana* (Paleolimnology of Zaisan). L.: Nauka (Publ.), 1980. 184 p.
31. Obukhov A.N. *Gravitatsionnaya geodinamika neftegazonosnykh basseinov podvizhnykh zon zemnoi kory* (Gravity dynamics of petroleum basins of the crust mobile belt). Abstracts PhD thesis. M.: IGI RGI (Publ.), 1997. 52 p.