

Южный Тянь-Шань: к новому геологическому синтезу

Ю. С. Бискэ

Санкт-Петербургский государственный университет,
Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

Для цитирования: Бискэ Ю. С. Южный Тянь-Шань: к новому геологическому синтезу // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2018. Науки о Земле. Т. 63. Вып. 4. С. 416–462. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2018.403>

Рассмотрены новые результаты исследований геологии палеозойского коллизионного сооружения Южного Тянь-Шаня (ЮТШ) — Тянь-Шаньского орогена. Его фундамент состоит в основном из фрагментов допалеозойской континентальной коры. Докембрийские блоки в непосредственном обрамлении ЮТШ (Ишим-Нарынский, в том числе СрТШ, Центрально-Тянь-Шаньский, Каракум-Таджикский, Таримский), а также внутри южнотяньшанского пояса (Кызылкумо-Алай и др.) содержат кору свозрастом 2700–1800 млн лет и продукты ее переработки, возникшие в ходе расколов и последующей конвергенции конца протерозоя (900–600 млн лет). ЮТШ образовался на месте Туркестанского океана, раскрытого в Кызылкумском сегменте не позже 750 млн лет; его центральная часть (между Таримским и Нарынским (СрТШ) блоками) — до середины ордовика; восточная (китайская) часть — не позже конца ордовика. Палеозойская конвергенция выражена энсиалическими островными дугами или активными окраинами, образование которых началось в позднем ордовике, затем весьма активно шло в силуре и в раннем девоне. Последовавшее развитие пассивных окраин происходило в основном в девоне и раннем карбоне и было дополнено внутриплитным базальтовым или бимодальным магматизмом. Конвергенция возобновилась в визе, но на юго-западе и крайнем востоке пояса сопровождалась задуговым спредингом. В среднем карбоне она привела к коллизии и закрытию океана. Коллизией образован большой пояс надвигов южного направления (Букантау — Кокшаал — Халыктау), который и составляет наиболее характерную сквозную особенность ЮТШ. Известны также надвиги к северу, как более ранние, так и поздние. Надсубдукционный магматизм раннего — среднего карбона и высокobarический метаморфизм проявились на северной окраине ЮТШ в тылу главного пояса надвигов. Активные окраины в карбоне лучше представлены на западе, что предполагает там больший масштаб сокращения океанического пространства. Раннепермский постколлизионный магматизм ЮТШ и его обрамления, максимальный в период 290–270 млн лет, представлен разнообразными гранитами и щелочными породами, а также базальтами и проявлениями ультрабазитов. В притаримской части пояса внедрены более однородные А-граниты типа рапакиви, возникшие в основном за счет коры этого континента. Они известны также на окраине Тарима в необычной позиции перед надвиговым фронтом, что можно увязывать с воздействием тепловой энергии Таримского мантийного плюма. Значительная часть термально-метаморфизованных комплексов, традиционно относившихся к докембрию, в действительности образовалась в палеозое на активных континентальных окраинах обрамления ЮТШ (кассанские, атбашинские и др. метаморфиты) или в постколлизионной обстановке (Гармский массив). В ряду регионов Центрально-Азиатского пояса резко проявленная альпинотипная природа ЮТШ, а также слабая сохранность офиолитов

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2018

и отсутствие (?) остатков энсиматических островных дуг отличают это сооружение от типичных аккреционных островодужных «алтаид» восточного Казахстана и приджунгарского Тянь-Шаня.

Ключевые слова: Южный Тянь-Шань, палеозой, докембрийская кора, офиолиты, над-субдукционный магматизм, коллизионный магматизм, метаморфические комплексы, Таримский плем.

Введение

Южный Тянь-Шань (ЮТШ) мы будем представлять в широком смысле как единое линейное коллизионное сооружение, которое простирается от низовьев Аму-Дарьи на 60° в. д. до гор Бэйшаня около 91° в. д. (рис. 1 и 2). ЮТШ был сформирован в конце палеозоя (в герцинскую эпоху, если использовать традиционный для русскоязычной литературы термин) в результате соединения Казахстанского палеоконтинента на севере и двух материковых масс — Каракум-Таджикской и Таримской, перемещавшихся с юга и, скорее всего, сблизившихся изначально. Главный геологический признак ЮТШ — морские формации силура — карбона, в том числе глубоководные, а также разнообразные палеозойские вулканиты и офиолитовые комплексы, присутствующие в складчато-надвиговой структуре. ЮТШ образует южную ветвь Урало-Монгольского складчатого пояса, который в литературе последнего времени чаще называют Центрально-Азиатским (Windley et al., 2007; Han and Zhao, 2017, и др.) и считают итогом эволюции Палеоазиатского океана с его окраинами (Зоненшайн и др., 1990).

Палеозойская структура ЮТШ, история и динамика ее образования ранее обсуждены в ряде сводных публикаций (Поршняков, 1973; Burtman, 1975; Буртман, 1976, 2006; Wang et al., 1990; Бискэ, 1996; Бискэ, 2004; Biske and Seltmann, 2010, и др.). Фактический материал, лежащий в их основе, отражен на региональных геологических картах и в описательных монографиях, опубликованных до 2000 г., в том числе в работах (Расчленение..., 1976; Стратифицированные..., 1982; Геология..., 1998). Структурно-геологические модели, использованные при массовом картировании, основаны главным образом на изучении стратиграфических колонок и палеонтологической корреляции, а также петрохимических данных.

За последние 20–30 лет положение в региональной геологии сильно изменилось — основной прогресс связан теперь с массовым поступлением аналитических данных и изотопным датированием. В силу известных причин данные по западным сегментам ЮТШ накапливались медленно, но зато особенно обширна новая информация по китайской части ЮТШ. Модели геодинамики для восточного сегмента этого региона обсуждены во многих англоязычных работах (Windley et al., 2007; Charvet et al., 2007; Charvet et al., 2011; Wilhem et al., 2012; Han and Zhao, 2017; Xiao et al., 2013; Wang, 2011, и др.). При этом для восточных районов ЮТШ ощущается недостаток как раз стратиграфических данных и регионально-геологических сводок. Последняя геологическая карта китайского Тянь-Шаня в масштабе 1 : 1 000 000 (Geological..., 2007) также не отражает ряда важных геологических новостей (Алексеев и др., 2015). В ряде новых обзоров палеозойская геодинамика всего Тянь-Шаня обсуждалась на региональном фоне (Буртман, 2015; Самыгин и др., 2015).

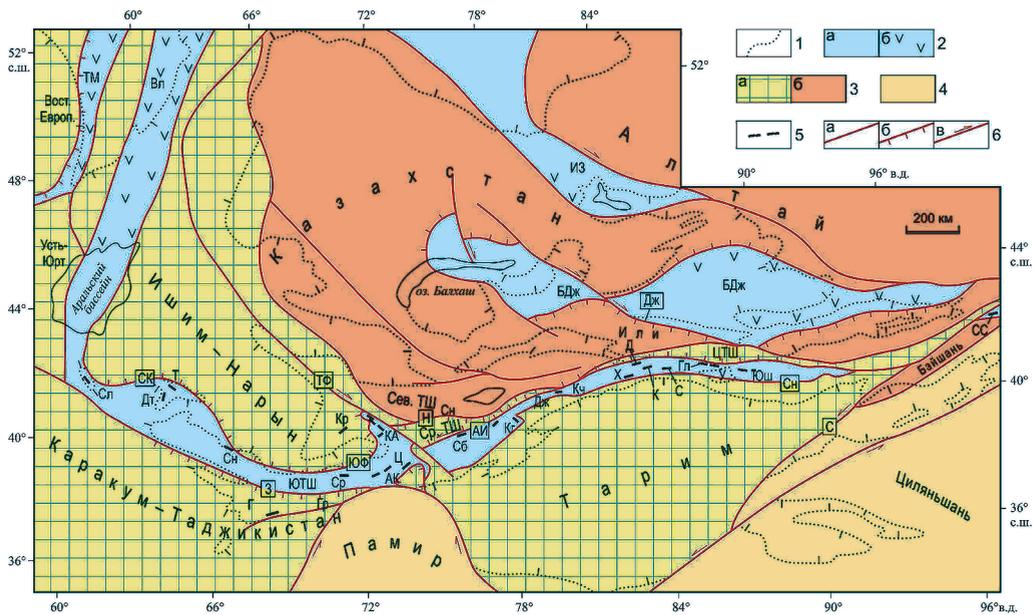


Рис. 1. Южный Тянь-Шань в структуре Центрально-Азиатского орогена (Atlas..., 2008; Han et al., 2017):

1 — граница сплошного мезозойско-кайнозойского чехла;

2: а) коллизийные пояса на месте палеозойских океанов, сформированные главным образом в карбоне: ЮТШ — Южно-Тянь-Шаньский, БДЖ — Балхаш-Джунгарский, ТМ — Тагило-Магнитогорский, Вл — Валерьяновский (Зауральский); б) то же с преобладанием островодужных образований;

3 — континентальные массы позднепалеозойской Евразии: а) в основном докембрийские массы, с палеозойским осадочным чехлом, в том числе: СрТШ — Срединный Тянь-Шань, ЦТШ — Центральный Тянь-Шань; б) аккрецированные в кембрии-силуре с участием докембрийских фрагментов, в том числе СевТШ — Северный Тянь-Шань (Иссык-Куль);

4 — коллизийные комплексы Памира и Цайдама—Циляншань;

5 — офиолиты, вне масштаба (с запада на восток: Сл — Султануиздаг, Дт — Джетымтау, Т — Тамдытау, Кр — Каратерек, КА — Келемага-Атойнакские тела, Ср — Сартале-Надир, Ак — Актурские тела, Ц — Цзиген, Сб — Сарыбулак, Кг — Когарт-Балейгон, Кч — Караарча, Х — Хейиншань, К — Куле, С — Серкейляк, Д — Далубай, Гл — Гулугод, У — Увамен, Юш — Юшугол-Тонхуашань, СС — Сядон-Сяохуаншань);

6 — главные межблоковые границы: а) позднепалеозойские сутуры, бергштрихи указывают направление подвига (СК — Северо-Кызылкумская, СН — Северо-Нуратинская, ЮФ — Южно-Ферганская, АИ — Атбаши-Иньльчская, НК — Нарат-Кавабулакская, Н — Терсейская, или линия Николаева, З — Зеравшанская); б) сдвиги, в том числе постпалеозойские (ТФ — Таласо-Ферганский, Дж — Джунгарский, Сн — Сингеер, С — Синсиня);

прочие объекты, в том числе массивы метаморфических пород: Гр — Гармский, К — Кассанский; гранитные: Г — Гиссарский, Сн — Сонкульский, Дж — Джангартский

Весь складчатый пояс (см. рис. 1 и 2) для рассмотрения удобно делить с запада на восток на ряд сегментов:

— кызылкумский;

— западный, от Нуратинских гор до Таласо-Ферганского сдвига;

— центральный, до меридиана пика Хан-Тенгри;

— восточный, или китайский (в его пределах китайские авторы, в свою очередь, различают западный (до озера Боздон) и восточный Тянь-Шань).

Северную границу пояса в пределах горных территорий довольно отчетливо показывает офиолитовая Южно-Тянь-Шаньская сутура, осложненная сдвигами

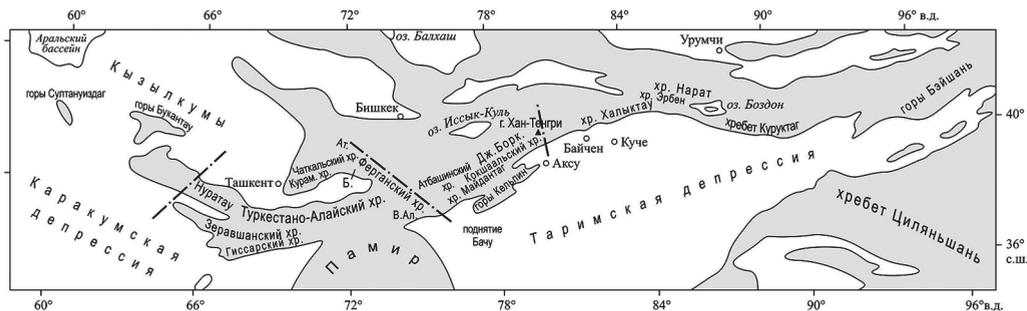


Рис. 2. Орографическая схема Тянь-Шаня

Ат. — Атойнакский хребет, В. Ал. — Восточный Алай, Б. — горы Бозбугата, Дж. — Джанджирский хребет, Борк. — Уланский и Боркходойский хребты

смещениями. Она обозначает след Туркестанского океана (Буртман, 1976; Буртман, 2006), частично измененный постколлизийными сдвигами и надвигами. С запада на восток сутура включает в себя Северо-Кызылкумский (Бухарин и др., 1985), Северо-Нурагинский, Южно-Ферганский, Атбаш-Иньельчекский, Нарат-Кавабулакский шовные фрагменты (см. рис. 1 и 2). Роль южной границы пояса довольно условно приписывается различным разрывным линиям.

Мы рассмотрим регион ЮТШ в историко-геологическом плане, стремясь отразить основные достижения исследований за последний примерно 10-летний период и ограничиваясь ссылками на более ранние обобщения.

1. Предыстория Южного Тянь-Шаня: активная окраина Родинии

Строение и история допалеозойского фундамента Тянь-Шаня освещены изотопно-геохимическими исследованиями, особенно данными датирования высоко-метаморфизованных образований в составе континентальной коры региона. Традиционно на базе общих представлений о термальной эволюции Земли (Белькова и др., 1969, 1972; Ахмеджанов и др., 1975, и ряд более поздних сводок) для них в основном предполагался раннедокембрийский возраст. Сейчас выясняется, что основная часть метаморфических комплексов Тянь-Шаня сформировалась позже, в неопротерозое (обычно 900–600 млн лет) либо чаще всего в результате коллизии в конце палеозоя (320–270 млн лет).

Признается обычно (Печерский и Диденко, 1995; Ge et al., 2014; Самыгин и др., 2015), что континентальные массы Тянь-Шаня и Казахстана первоначально относились к северной (в то время), гондванской части постгренвилевского континента Родинии. Они разделились в конце докембрия — раннем палеозое, образовав серию континентальных блоков и океанские пространства, в том числе Туркестанский океан, на месте которого позже возник пояс ЮТШ. Линии расколов могли заново разделить (но не всегда) разновозрастные фрагменты прежней докембрийской коры.

Северное обрамление ЮТШ составляет на западе Ишим-Нарынский, или Сырдарьинский, блок, в своей горной восточной части известный как Срединный Тянь-Шань (СрТШ). Восточнее, в китайском сегменте региона, массив СрТШ выклинивается или же замещается блоками докембрия в хребте Нарат и восточнее, которые описывают как Центральный Тянь-Шань (ЦТШ) и чаще рассматривают

в качестве фрагментов того же СрТШ (см., например, работы (Han et al., 2016; Zhong et al., 2015; Zhong et al., 2017)). Более северные докембрийские выступы китайские авторы относят к Илийскому континенту, соединяя его с Киргизским Северо-Тянь-Шаньским, или Иссык-Кульским, блоком.

Допалеозойская кора СрТШ — ЦТШ известна по редким выходам на востоке Киргизии (р. Куйлю), где она сложена гранитами и гнейсами раннего докембрия с возрастaми 2330–1800 млн лет (Kröner et al., 2017), и в хребтах Нарат и Эрбен, а также в районе г. Балунтай в Китае (Wang, 2014). Первичное единство СрТШ с Таримом можно обосновать отсутствием здесь явно выраженных событий мезопротерозоя, притом что весьма отчетливы проявления термальных событий, происходивших 830–705 млн лет. Сюда относятся бимодальный, в основном кислый и субщелочной, эффузивный магматизм серии Большого Нарына в пределах Киргизии (Киселёв, 2001; Konopelko et al., 2017a) и неопротерозойские гранито-гнейсы, образованные около 900–800 млн лет в том числе по нижнепротерозойскому субстрату блоков Нарата — Эрбена (Long et al., 2011; Алексеев и др., 2015; Wang, 2017; Zhong et al., 2017; He et al., 2018).

Что касается докембрийских масс Северного Тянь-Шаня, то главные термальные события относятся здесь к концу мезопротерозоя, т. е. к гренвильской эпохе (1300–1000 млн лет), хотя частично они наложились на более древний континентальный субстрат (Kröner et al., 2013).

На южном фланге ЮТШ относительную целостность после распада окраины Родинии сохранили Каракум-Таджикский и Таримский малые континенты.

Таримский палеоконтинент — крупнейший из названных объектов, фундамент его частично обнажен вдоль южных склонов Тянь-Шаня и в Куруктаге. Континентальная кора Тарима представлена серыми (ТТГ-типа)¹ гнейсами с возрастом 2700–2600 млн лет; они интродуцированы гранитами около 2530 млн лет и залегают в виде линз среди нижнепротерозойских (возрастом 2000–1800 млн лет) парагнейсов. Метаморфизм, происходивший 1100–1000 млн лет, также проявляется в Тариме, но главным образом в его юго-западной части (Xu et al., 2013).

В западной части палеозоид ЮТШ их южное обрамление устанавливается по выступам кристаллических пород в юго-западном Гиссаре и Гармском массиве, в пределах Таджикистана, которые рассматриваются как фрагменты Каракум-Таджикского континентального массива. Не подтвердилось традиционное представление о раннедокембрийском возрасте гранито-гнейсов в этих выступах (Белькова и др., 1972, и ряд более поздних сводок), подкрепленное в то время изотопно-свинцовыми определениями возраста. Новые данные показали значительно более позднее становление континентального фундамента Таджикистана. Магматический субстрат гранито-гнейсов Гарма имеет возраст 661–552 млн лет, при Nd-модельных значениях 1000–2200 млн лет и при наличии древних ядер цирконовых зерен в граните, указывающих на термальные перестройки фундамента в пределах 1100–900 и 850–740 млн лет назад (Käbner et al., 2016; Konopelko et al., 2015). В парагнейсах метаморфического гармского комплекса, а также в палеозойских метапесчаниках Фан-Каратегинского района (ягнобский комплекс) и в юго-западном Гиссаре (обизарангская свита) значения возраста докембрийских обломочных зерен цир-

¹ Тоналит-трондьемит-гранодиоритовая серия.

конов группируются в несколько пиков в интервале 1000–535 млн лет, чаще всего 650–550 млн лет (Konopelko et al., 2015; Worthington et al., 2017). Близкий возраст получен для ксеногенных цирконов в пермских гранитах Зеравшана (Konopelko et al., 2017b) — 850–500 млн лет и для популяции обломочных цирконов — 630–580 млн лет, которая, по последним сведениям автора и Р.Х. Миркамалова, была обнаружена в девонских и нижнепалеозойских песчаниках Кызылкумо-Алайского микроконтинента.

Судя по этим данным, фундамент южного обрамления ЮТШ в западном секторе состоял из разновозрастных фрагментов и по степени преобразования в конце докембрия был сходен с Таримским. При этом последние магматические события протерозоя здесь отчетливо моложе и еще продолжались в кембрии.

В неопротерозое на тянь-шаньской окраине Родинии происходили сложные движения, проявившиеся не только в растяжении, но также и в аккреции и скупивании у активных окраин (Киселев, 2001). По оценке (Ge et al., 2014), наращивание аккреционной системы к северу (в современных координатах) было даже основным результатом позднедокембрийских событий. Предполагается, что океан, кора которого субдучивалась под таримскую окраину Родинии, представлен офиолитами, известными в восточной части гор Кельпинтаг² (Kerpin) у северной окраины современного Тарима (Ge et al., 2014). Комплекс типа MORB³ имеет здесь Sm/Nd-возраст около 900 млн лет и покрывался осадками вплоть до периода 730 млн лет назад, судя по спектру обломочных цирконов (рис. 3). По ⁴⁰Ar/³⁹Ar-датировкам, эти образования в аккреционной призмe возникли не позже 750–700 млн лет назад, но скорее — несколько раньше, и превратились в голубые сланцы (аксуйские) (Zhang C. et al., 2013). На континентальной окраине, которая с некоторой пространственной условностью реконструируется восточнее в горах Куруктаг и имеет здесь андийский тип развития, из-за утолщения коры в возрастном интервале 900(?)–835–785 млн лет происходил гранулитовый метаморфизм, анатексис и образовались граниты. Последовавшее растяжение коры вызвало вне-

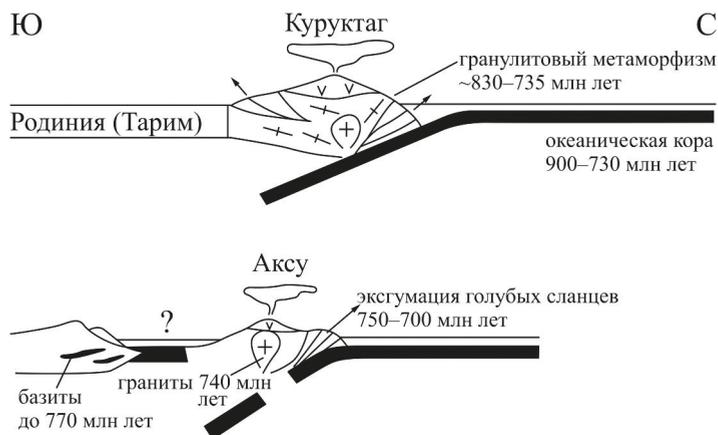


Рис. 3. Модель развития окраины Родинии в области северного Тарима в позднем протерозое (Ge et al., 2014)

² У китайских авторов принят вариант названия Керпин.

³ Mid-Ocean Ridge Basalts — базальты срединно-океанских хребтов.

дрение базитовых даек (820–770 млн лет) и А-гранитов около 740 млн лет, а также экзугмацию аксуйских высокобарических пород, что могло привести к раскрытию краевого моря севернее современного Куруктага (Ge et al., 2014), однако данные об этом бассейне недостаточны, и наследование его палеозойским океаном сомнительно. В южном подножии Тянь-Шаня, между г. Байчен и горами Куруктаг, к этому этапу относятся еще более поздние, в основном щелочные докембрийские гранитоиды, датированные в интервале около 707–627 млн лет. Часть из них была позже превращена в гнейсы, которые в районе севернее г. Аксу ранее принимались за мезопротерозойские (Chen et al., 2000; Ge et al., 2014, Huang et al., 2013). На северной окраине Тарима спектр обломочных цирконов в палеозойских песчаниках проявляет наиболее молодые протерозойские кластеры возрастом 704 млн и 638 млн лет (Huang et al., 2018), на северо-западной окраине, по нашим предварительным данным, — 740 млн и 605 млн лет.

Щелочной бимодальный магматизм эпохи после 750 млн лет широко проявлен также на севере Тянь-Шаня и в Казахстане, в целом он сопровождается распад Родинии (Самыгин и др., 2015).

Внутренняя часть палеозойского ЮТШ, несомненно, также включала континентальные блоки с докембрийской корой, которые в начале палеозоя были отрифтованы от континентального обрамления, а в конце оказались погребены тектоническими коллизионными покровами и затем частично мобилизованы в виде гранитных расплавов. Существование таких микроконтинентов (возможно, не полностью изолированных) фактически было показано по присутствию мелководных песчано-карбонатных отложений верхней части кембрия в Туркестанском хребте и Нурагау и верхнего ордовика в Зеравшанском хребте (Расчленение..., 1976; Бискэ, 1996). Сейчас оно подтверждено через древний модельный возраст (1060–1780 млн лет) пермских гранитоидов Зеравшанского и Туркестано-Алайского хребтов (Konopelko et al., 2017, 2018).

2. Осадочный чехол конца неопротерозоя — нижнего палеозоя

В последовавший период относительной стабилизации региона неопротерозойские ледниковые диамиктиты перекрыли континентальную кору окраинной Родинии, в том числе Тарим и Срединный Тянь-Шань. Подошва их моложе 725 млн лет, как это следует из спектров обломочных цирконов, которые содержатся в них на северной окраине Тарима, а кровля — не древнее 542 млн лет (Zhang et al., 2012; Rojas-Agramonte et al., 2014). Они составили нижний элемент платформенного чехла, который содержит также излияния базальтов, датированные в районе Аксу (горы Кельпинтаг) и в Куруктаге возрастом около 615–600 млн лет. Плитный комплекс чехла древних массивов Тарима и Казахстана, в стратиграфическом объеме кембрия — нижнего ордовика, составляют шельфовые карбонаты, частично замещенные глинистыми граптолитовыми фациями (Зубцов, 1961; Репина и др., 1975; Стратифицированные..., 1982; Бухарин и др., 1985; Geological..., 2007; Стратиграфический..., 2001; Popov et al., 2009; Неевин и др., 2011).

Недавние варианты реконструкций (Самыгин и др., 2015; Domeier, 2017) представляют допалеозойское разделение и значительные расстояния между континентальными блоками Казахстана и Тарима в кембрии — ордовике, однако

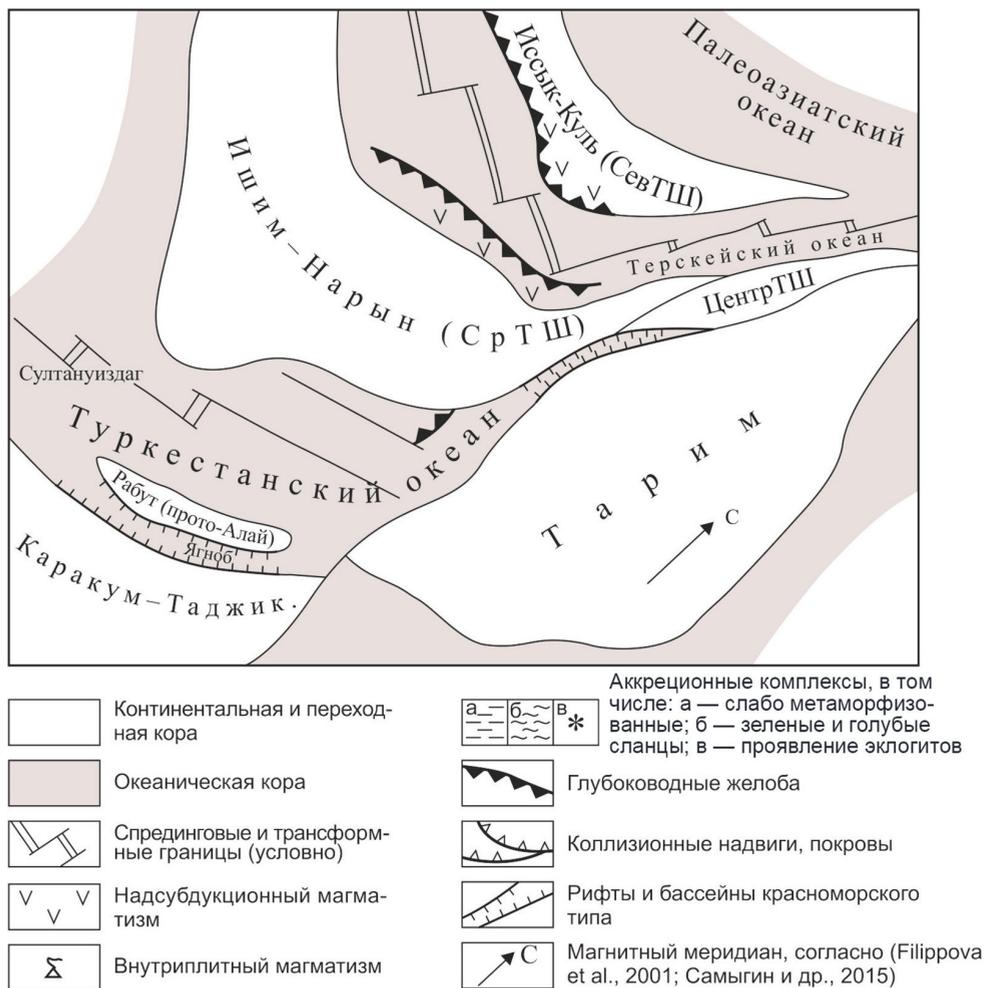


Рис. 4. Геодинамика Южного Тянь-Шаня: начало кембрия (540–520 млн лет)

палеомагнитные или палеобиогеографические данные пока не содержат прямых на это указаний. Наоборот, большое сходство в строении неопротерозой-кембрийских чехлов Тарима и Ишим-Нарына (СрТШ), общность фаун Тарима с казахстанскими, а также с северо- и южнокитайскими, до ордовика включительно (Porov et al., 2009), позволяет допускать по крайней мере близость расположения этих континентальных массивов. На рис. 4 и 5 показан вариант частичного разделения Тарима и Ишим-Нарына в начале кембрия, с последующим (уже на зрелой стадии развития возникшего бассейна) образованием сходных шельфовых комплексов среднего кембрия — начала ордовика (Неевин и др., 2011).

Иной тип разреза нижнего палеозоя свойствен чехлу Каракум-Таджикистана: здесь кембрийские известняки неизвестны, а мелководные песчано-карбонатные отложения начинаются со среднего—верхнего ордовика и переходят в нижний силур (Расчленение ..., 1976). Такая особенность образует контраст с областью Тарима—Срединного Тянь-Шаня. Наконец, между Каракум-Таджикским и СрТШ

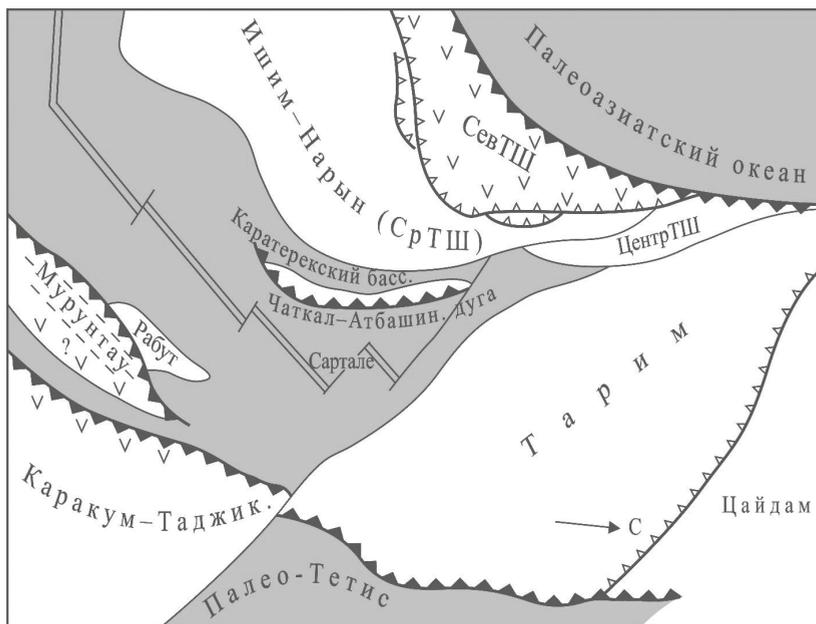


Рис. 5. Геодинамика Южного Тянь-Шаня в конце ордовика (460–445 млн лет)
Усл. обозначения см. рис. 4.

блоками, т.е. внутри современного ЮТШ, кембрий представляют маломощные известняки и алевро-песчаники шельфового типа в Туркестанском хребте (Рабутский террейн, по (Бискэ, 1996)), а также, по-видимому, склонового происхождения, которые известны здесь же и в Нуратинских горах (живачисайская и рухшифская свиты) и покрываются батиальными нижнеордовикскими граптолитовыми сланцами. Западнее в Кызылкумском сегменте кембрию должны соответствовать флишоидные слои в составе «беспанской серии» (Стратиграфический..., 2001). В целом спектр кембрийских отложений указывает на присутствие в западных сегментах ЮТШ фрагментов пассивной окраины, возможно, отчлененных от Каракум-Таджикского континента (рис. 3).

Как в восточном (Ren et al., 2017), так и в западных сегментах ЮТШ спектры обломочных цирконов указывают на перерыв магматической активности около 520–480 млн лет, что близко к периоду формирования карбонатных шельфов.

3. Начало Туркестанского океана (конец протерозоя — ордовик)

Туркестанским океаном можно называть бассейн, существовавший в палеозое между Каракумом — Таримом на юге и континентальными блоками древнего Казахстана — Ишим-Нарынским (СрТШ), Центрально-Тянь-Шаньским, Илийским — на современном севере. Почти в том же самом смысле китайские авторы (например, Wang et al., 2018) используют название «Южно-Тянь-Шаньский океан». Отдельные части Туркестанского океана могли появиться в разное время ((Wilhem et al., 2012) и обсуждение ниже). Явное геологическое отличие: западных сегментов ЮТШ в сравнении с восточными — это достаточное развитие на западе, особенно

в Кызылкумах и Нуратау, склоновых и бативальных отложений кембрия—ордовика, при полном их отсутствии на дневной поверхности в восточных сегментах. Различия в возрастах офиолитов носят тот же характер.

Основная часть офиолитов тяготеет к северной границе ЮТШ или находится в составе аллохтонов, перемещенных со стороны этого шва. В пределах кызылкумского и западного сегментов ЮТШ известны древние базиты в основании глубоководных серий осадков. Возраст 757 ± 21 млн лет (определенный по методу SIMS, SHRIMP-II) получен для габбро в составе офиолитового (?) вулканического основания карбонатно-кремнисто-сланцевой тасказганской свиты поднятия Джетымтау в Кызылкумах (см. рис. 1 и 2) (Миркамалов и др., 2012). Такая дата согласуется с возрастом микрофоссилий в самой тасказганской свите (Стратиграфический..., 2001). Восточнее, в Зеравшано-Гиссарской области, горифские метабазалты более надежно определяются как толеитовые типа E-MORB и щелочные типа OIB⁴ и грубо датированы (Pb-изохронный возраст) в пределах 583–745 млн лет (Баратов и др., 1983; Volkova and Budanov, 1999). Возраст более молодых вулканогенных осадков в составе «ягнобских» метасланцев — не древнее 530 млн лет по обломочным цирконам (Worthington et al., 2017). На крайнем западе области в Султануиздаге (Dolgoplova et al., 2017) проявлены офиолиты середины кембрия, судя по возрасту (505 млн лет) плагиогранитов в этом выходе. К венду (Сайдыганиев, 2009) и нижнему кембрию в пределах Кызылкумов—Южной Ферганы относятся небольшие фрагменты морских по условиям проявления вулканитов, в том числе надсубдукционных (Бискэ, 1987).

Следующая стадия раскрытия Туркестанского бассейна датирована по офиолитам Южноферганской сутуры. В аллохтоне Сартале-Надир (Южная Фергана) офиолиты неизвестного возраста перекрыты раннеордовикскими кремнистыми осадками. На них, в свою очередь, изливались базальты окраинно-морского типа (Герман и Будянский, 1990; Абакумова и Шинкарев, 1994; Куренков и Аристов, 1995). К концу ордовика (448 млн лет) относятся метагаббро из офиолитов Северного Нуратау (Миркамалов и др., 2012). В восточном продолжении той же сутуры в районе гор Келематау и в Атойнакском хребте залегают ордовикские или раннесилурийские метаофиолиты типа MORB (Шванов, 1983; Христов и др., 1986; Генералова, 1999), перекрытые (?) палеонтологически датированными силурийскими кремнями (Пучков и др., 1987). Офиолиты среднего ордовика на р. Каратерек в Чаткальском хребте (Иванов и др., 2002) представляют уже краевой задуговой бассейн на северной окраине Туркестанского океана (Alexeiev et al., 2016) (рис. 5 и 9).

4. Новые океанские бассейны и активные окраины ЮТШ в середине палеозоя (конец ордовика—ранний карбон)

Датирование и геохимическое изучение остатков океанской коры и островодужных серий, избежавших разрушения и поглощения в конце палеозоя, показали достаточно сложную историю раскрытия и исчезновения отдельных частей коры Туркестанского океана. Конвергентные процессы, выраженные магматизмом надсубдукционного типа, аккрецированными турбидитами и зафиксированные локальными несогласиями, более отчетливо проявляются в регионе со второй половины ордовика.

⁴ Ocean Island Basalts.

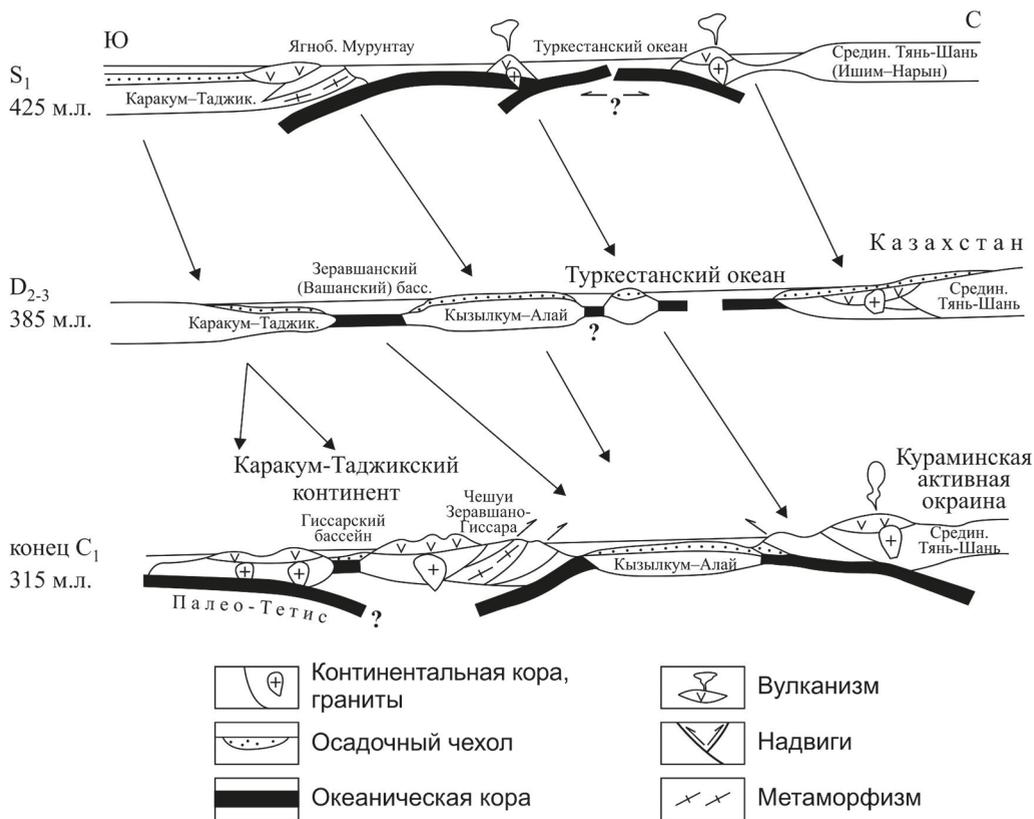


Рис. 6. Модель геодинамической эволюции кызылкумского и западного сегментов Южного Тянь-Шаня (Dolgorolova et al., 2017) с изменениями

Кызылкумский и западный сегменты ЮТШ. Бассейн океанского типа в раннем палеозое заполнялся здесь вулcano-терригенными осадками склонового и батинального типа. Широко представлены турбидиты среднего и верхнего ордовика, вплоть до лланCOVERИЙСКИХ (Расчленение..., 1976; Стратифицированные..., 1982; Бискэ, 1996; Геология..., 1998; Стратиграфический..., 2001), которые залегают поверх граптолитовых сланцев низов ордовика: к ним же относится стратиграфически верхняя часть «беспанской серии» золоторудного района Мурунтау. Ранняя, додевонская, складчато-надвиговая структура этих толщ (Мухин и др., 1991), с участием мелких офиолитовых фрагментов неизвестного возраста, позволяет представить их как длительно развивавшуюся аккреционную систему внутри Туркестанского океана (см. рис. 5 и 7). Южнее, по левобережью р. Зеравшан, основание наблюдаемого разреза составляют известково-щелочные, преимущественно кислые вулканы и мелководные грубоблочные породы с известняками (алтыаульская свита Зирабулакских гор (Стратиграфический..., 2001)), которые можно рассматривать как вулканический пояс активной окраины Каракум-Таджикистана. Направление субдукции в таком случае южное. Полимиктовые песчаные турбидиты верхнего ордовика в Мурунтау — Северном Нуратау могут указывать на другую, отдельную, островную дугу внутри океана.

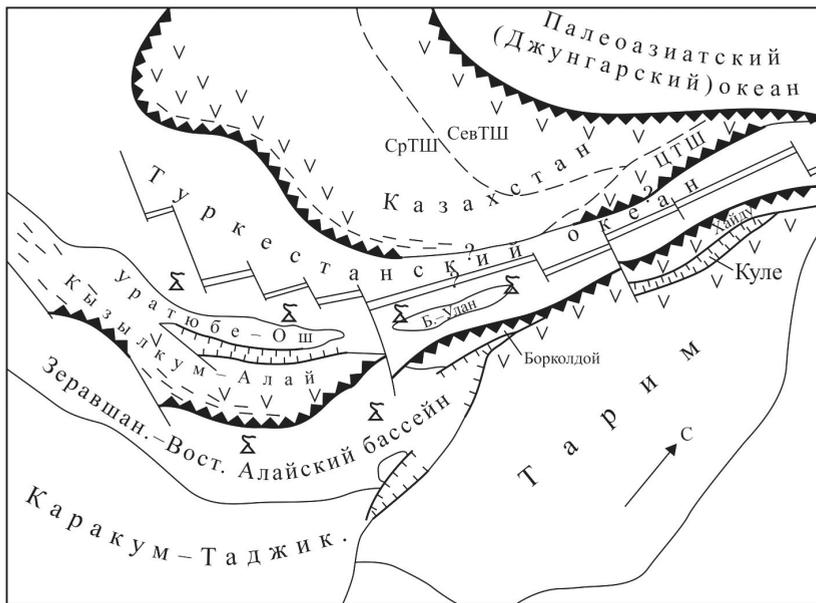


Рис. 7. Геодинамика Южного Тянь-Шаня в конце силура—начале девона (425–400 млн лет)

Условные обозначения см. рис. 4.

На востоке Зеравшано-Гиссарского района надсубдукционные вулканы ордовика были метаморфизованы в карбоне (см. далее) и входят под названием норватской свиты в состав «ягнобского», или фан-каратегинского, комплекса (Расчленение..., 1976; Volkova and Budanov, 1999). Позднеордовикский возраст метандезитов (450 млн лет) подтвержден U—Pb-датированием (Worthington et al., 2017), что близко к прежним палеонтологическим данным.

В силуре северная окраина Каракум-Таджикского континента приобрела пассивный характер. Уже в пограничных ордовик-силурийских отложениях Зеравшано-Гиссара содержатся зрелые кварцевые песчаники и карбонаты, в том числе доломиты, далее здесь сформировался карбонатный комплекс силура — девона. Соответственно, в начале силура (ранний-средний лландовери) здесь и на всем западе ЮТШ батиальные граптолитовые сланцы пришли на смену склоновым песчанистым турбидитам конца ордовика.

Внутреннюю часть Туркестанского океана в кызылкумском и западном сегментах ЮТШ характеризуют лишь редкие фрагменты верхнеордовикских вулканомитовых осадков с граптолитами и примесь ордовикских цирконов в кластике силура — девона. Силурийские островодужные серии верхнего лландовери (телича) и венлока все же сохранились в виде небольших разобщенных тектонических пластин и встречаются от Мурунтау на западе до Ферганского хребта на востоке (Бискэ, 1991, 1996). Вулканы пока что имеют лишь общую петрохимическую характеристику и палеонтологические датировки. Исключением является габбро из офиолитового аллохтона в массиве Тамды в Кызылкуме (см. рис. 1 и 2), для которого по Nd—Hf-изотопной характеристике допускается внутриокеанское островодужное происхождение и получен возраст 438 млн лет (Dolgorolova et al., 2017).

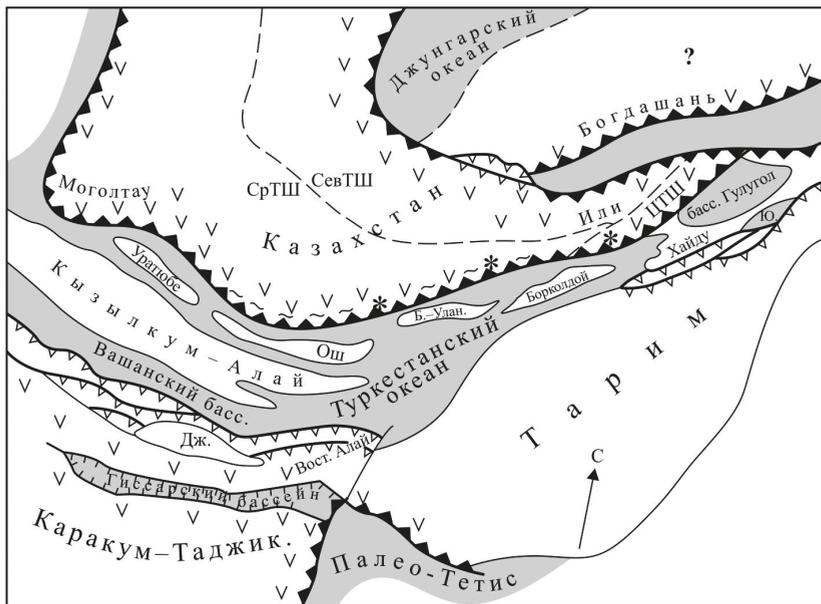


Рис. 8. Геодинамика Южного Тянь-Шаня: начало среднего карбона (около 315 млн лет)

Дж — Джижикрутский прогиб, Б.-Улан. — Баубашата-Уланский террейн, Ю — бассейн депрессии Большой Юлдуз. Остальные условные обозначения см. рис. 4.

Продукты разрушения и переотложения силурийских вулканитов, главным образом в виде песчанистых турбидитов, очень широко представлены в тех же районах ЮТШ и более всего в Туркестанском хребте (Шванов, 1983; Бискэ, 1996). По спектрам возрастов обломочных цирконов в девонских и в более молодых песчаниках подтвержден пик вулканизма около 430–420 млн лет (Kassner et al., 2016).

Продолжение и завершение внутриокеанской субдукции в западном сегменте ЮТШ установлено по нижнедевонским островодужным вулканитам Туркестанского хребта, локально проявленным под карбонатным чехлом Алайского микроконтинента (Бискэ, 1996).

На северном фланге Туркестанского океана, в западном его сегменте, в течение ордовика — нижнего девона установлены те же конвергентные процессы. Традиционно (Зубцов и др., 1974; Геология..., 1998; Стратифицированные..., 1982), исходя из шельфового состава отложений верхнего девона и нижнего карбона, в Срединный Тянь-Шань включались территории северного обрамления Ферганской депрессии, однако и ранее было ясно, что Кураминский хребет и восточная часть Чаткальского имеют более поздний, силурийский возраст «каледонского фундамента». С современных позиций эту часть СрТШ можно описать как аккреционный комплекс вдоль южной активной окраины уже Палео-Казахстана, сформированный в течение позднего ордовика — начала девона.

Ордовикский надсубдукционный магматизм с возрастом 467–445 млн лет был показан в Северной Фергане в горах Бозбутау (Alexeiev et al., 2016) для кислых вулканитов, которые ранее (Стратифицированные..., 1982) считались позднепротерозойскими или девонскими. Метаморфизованные дациты и граниты того же

возраста (450 млн лет) обнаружены в Чаткальском хребте на р. Кассансай, где их аккреция привела к угловому несогласию в основании силурийских вулканитов (район пер. Чанач) и должна была закончиться до внедрения здесь же силурийских гранитов (420 млн лет) (Alexeiev et al., 2016). Континентальный субстрат ордовикских эффузивов подтвержден Nd—Hf характеристикой и древним модельным возрастом. Таким образом, блок Бозбутау следует рассматривать как фрагмент континентальной коры, первоначально отделенный на севере от СрТШ задуговым бассейном, вошедший в состав Чаткал-Атбашинской дуги (см. рис. 5) и позже аккрецированный уже к единому Казахстану.

Силурийский активно-окраинный магматизм Северной Ферганы продолжился в сходной обстановке, наращивая аккрецированный комплекс к югу. В горах Моголтау (юго-западный Чаткал) показано внедрение в силуре (425–416 млн лет) гранитной магмы континентального происхождения с Nd-отрицательным составом и докембрийским модельным возрастом (Dolgopolova et al., 2017; Konopelko et al., 2017b). Граниты соответствуют, скорее всего, той же энсиалической дуге, что и силурийские вулканиты перевала Чанач. Мощные нижнесилурийские турбидиты Чаткальского хребта с известняковыми олистостромами на р. Сумсар (Риненберг, 1990) могли образоваться в ее желобе. С севера силурийская дуга была отделена от Палео-Казахстана краевым морем, песчано-глинистые осадки которого известны в узбекской части Чаткальского хребта (Геология..., 1998). Завершающая фаза среднепалеозойского активно-окраинного магматизма в Чаткало-Кураминском районе имеет ранне-среднедевонский возраст, что подтверждено U—Pb-датировкой 397 млн лет для внедренных здесь гранитов (Dolgopolova et al., 2017).

После завершения надсубдукционного магматизма в девоне обломочный материал из аккрецированных вулканических дуг должен был массово поступать с окраины Казахстана на континентальный склон Туркестанского океана. Основная его часть, очевидно, была поглощена на новом этапе субдукции в карбоне. Остатки сохранились в материале аккреционной призм, были изменены до зеленых сланцев, выведены к поверхности и находятся в составе канских, майлисуйских и пр. метатурбидитов, составляющих верхний тектонический покров коллизионной структуры ЮТШ.

Островные дуги Кызылкумо-Алая с юга отделялись глубокоководным Зеравшанским (Вашанским) бассейном, медленно заполнявшимся глинисто-кремнистыми осадками (см. рис. 5–7).

Центральный и восточный сегменты ЮТШ. На востоке океан должен был возникнуть путем отделения от Тарима континентальных блоков Срединного и китайского Центрального Тянь-Шаня. Офиолитовые фрагменты, датирующие это событие или ряд событий, представлены в сутуре Атбаши-Иныльчек, которая продолжает Южноферганскую сутуру и образует северную границу ЮТШ (см. рис. 1 и 2). Далее к востоку она известна как сутура Нарат-Кавабулак (иначе — Акеяз-Тонхуашань). Офиолиты имеют широкий спектр датировок (Jiang et al., 2014; Han and Zhao, 2017; Wang et al., 2018). Наверно, из него можно исключить наиболее древние офиолиты Далубай возрастом 600–590 млн лет, приуроченные к хребту Нарат (Yang et al., 2005; Wang et al., 2011): скорее всего, они представляют не собственно восточное продолжение Туркестанского океана, а фрагмент более древнего, Терскойского, бассейна между Таримом (в том числе

Центральный и, тогда еще возможно, Срединный Тянь-Шань) и Северо-Тянь-Шаньским блоком (см. рис. 4). Швом этого бассейна западнее является Терской-ская сутура ордовикского возраста, которую на востоке наследует более поздняя Нарат-Кавабулакская. Совмещение Терской сутуры (иначе, восточной части «линии Николаева») с Нарат-Кавабулакской и их офиолитовых тел могло быть следствием позднего субпродольного левого сдвига, сместившего СрТШ относительно блока ЦТШ.

В таком случае древнейшим, хотя и косвенным свидетельством раскрытия океана являются фрагменты кислых вулканитов конца ордовика (460 млн лет) в Атбашинском хребте, составлявших, очевидно, восточную часть Чаткало-Атбашинской островной дуги (Alexeiev et al., 2016). Продолжением того же конвергентного процесса являются гранодиориты возрастом 436 млн лет в Атбашинском хребте (Alexeiev et al., 2016), а много восточнее — островодужные габбро и плагиограниты возрастом 442 млн лет, интрузирующие офиолиты Увамен в районе г. Балунтай. Последние по геохимическим особенностям относятся к срединно-океаническому типу (Wang et al., 2018), но прямой датировки не имеют. Прочие офиолитовые тела центрального и восточного ЮТШ оказываются силурийскими или более молодыми: 397 и 422 млн лет по цирконам из габбро Джанджирского хребта (Wang et al., 2016), от 407 млн лет и моложе в офиолитовых массивах Юшугол, Тонхуашань на востоке той же сутуры (Han et al., 2017). В Атбашинском хребте срединно-океанические офиолиты Сарыбулака перекрыты батиальными осадками среднего — верхнего девона (Алексеев и др., 2007).

Таким образом, Туркестанский океан на востоке раскрывался не позже ордовика, но вряд ли и много раньше, если учесть, что древнейшие батиальные осадки в Уланском и Кокшаальском хребтах (район пика Данкова) представлены в виде граптолитовых сланцев лландовери, восточнее они вообще неизвестны, а карбонатные платформы развивались лишь начиная с лудлова (Бискэ и др., 1986).

Центральный и восточный ЮТШ включают еще вторую, более южную, группу офиолитовых фрагментов, расположенную вдоль края Таримского массива. Для пород в ее составе значения возраста в пределах 424–392 млн лет получены для массивов Куле, Хейиншань, Серкейяк (Han et al., 2011; Ge et al., 2012; Ge et al., 2014; Zhao et al., 2015; Wang et al., 2017; Wang et al., 2018) и 392 ± 15 млн лет для массива Цзиген на китайском склоне Восточно-Алайского хребта (Han and Zhao, 2017). На территории Киргизии эта группа представлена малоизученными телами у перевала Караарча и в долине р. Когарт (Геологическая..., 2008): последнее, впрочем, имеет продолжение на южном склоне Кокшаальского хребта и датировано здесь возрастом около 450 млн лет (габбро массива БалеЙгон, сводка (Wang et al., 2017)). Западнее эта цепочка длится, возможно, до хребта Актур в Алае (см. рис. 1 и 2). Окраинная природа южных офиолитов частично подтверждается геохимическим типом габбро и базальтов (Wang et al., 2011).

Не ясно, представлены ли двумя названными группами офиолитовых тел аллохтонные фрагменты одного бассейна (Han and Zhao, 2017) или два разных бассейна (Wang et al., 2011; Алексеев и др., 2015; Wang et al., 2018), из которых северный более древний. На рис. 7 отражен второй вариант реконструкции. Его можно предпочесть, если принять во внимание, что к концу силура — началу девона микроконтинентальные блоки внутренней части ЮТШ, такие как массивы Восточного

Алая, а также Улан и Борколдой (Бискэ, 1996, 2004), Эрбен-Телемет (Алексеев и др., 2015; Бискэ и др., 2018), уже были обособлены от Тарима и покрывались карбонатными платформами.

Силур Таримской окраины в той ее части, что вовлечена в надвиговый пояс ЮТШ, представлен почти исключительно магматическими образованиями надсубдукционного типа и продуктами их разрушения (Pu et al., 2011; Wang, 2016; Алексеев и др., 2015). Вулканические толщи вскрыты в верховьях р. Акеяз (Pu et al., 2011) и наиболее полно — в районе депрессии Большой Юлдуз (Алексеев и др., 2015). На запад проявления этого типа прослежены до верховьев р. Аксу в Киргизии, в этом последнем районе они раньше оценивались нами как рифтовые (Бискэ и Шилов, 1998). Вдоль северной окраины современного Тарима в хребтах Халыктау (Харке) и Куруктаг прослеживается пояс габбро-диоритовых и гранодиорит-монцогранитных интрузий с возрастом в интервале 460–400 млн лет (Ge et al., 2012; Zhao et al., 2015; Dong et al., 2016). Самые молодые гранитоиды этого пояса относятся к среднему девону (Lin et al., 2013), а в Куруктаге есть эффузивы с аргоновыми датировками до позднедевонских (Zhang and Xiao, 2010). Все проанализированные магматические продукты Таримского окраинного пояса включают вещество протерозойского фундамента и имеют значения модельного возраста чаще всего 1400–1600 млн лет (Ge et al., 2014). В том же поясе проявлен термальный метаморфизм, достигающий местами амфиболитовой фации (Han et al., 2011; Алексеев и др., 2015).

Соответственно этим событиям, на Таримской платформе силур представлен песчаниками, которые залегают несогласно (Carroll et al., 2001), отражая тем самым поднятие конца ордовика. В осадочных комплексах от силура и выше по разрезу на современном севере Тарима, в Кельпинтагском и Куруктагском поднятиях, а также в скважинном материале из Таримской плиты повсеместно четко фиксируется массовая популяция цирконов с возрастными более 430–420 млн лет (середина силура) (Dong and Li, 2016; Han et al., 2015). Отмечается, что снос обломочного материала на Тарим в силуре шел с севера и северо-востока (Liu et al., 2012), т. е. источником его был вулканический пояс самой же активной Таримской окраины в пределах современного горного поднятия Кокшаала, Халыктау и восточнее. Поднятие и денудация на платформе происходили вплоть до конца среднего девона, создав местами глубокий (до 3–5 км) эрозионный срез и пологое угловое несогласие (Lin et al., 2012). Снос материала с Таримской окраины шел также на северо-запад, в бассейн ЮТШ, продолжаясь местами вплоть до раннего карбона, и привел к формированию большого объема склоновых песчаных турбидитов: они прослежены от Восточного Алая вдоль Кокшаала на восток до р. Куча (Алексеев и др., 2015). Раньше мы недооценивали роль активного магматизма как источника этого материала, хотя присутствие в нем вулканического компонента было обнаружено (Бискэ и др., 1986; Бискэ, 1996).

На северной стороне бассейна континентальный блок Центрального Тянь-Шаня в Наратском хребте также интродуцирован монцогранитами и диоритами конца ордовика, силура и девона (Ma et al., 2014; Chen B. et al., 2014; Zhong L. et al., 2015; Zhong L. et al., 2017), что подтверждено также возрастом 478–355 млн лет для палеозойских цирконовых зерен в песчаниках девона—нижнего карбона ЦТШ (He et al., 2018).

Таким образом, восточная часть Туркестанского (Южно-Тяньшанского) океана возникла (Lin et al., 2013; Han et al., 2015) или расширялась (Алексеев и др.,

2015) в ордовике — девоне путем раскола краевого вулканического пояса Таримской активной окраины, обращенной к Джунгарской части Палеоазиатского океана (см. рис. 7). Процесс мог быть связан и с проградацией к востоку Туркестанского бассейна, и с задуговым расколом окраины Джунгарского океана. Последней и очевидно максимальной фазе раскола соответствуют офиолиты уже с раннекаменноугольными датировками — бассейны Гулугол (около 334 млн лет) и Юшугол (342 млн лет) (Jian et al., 2014; Han and Zhao, 2017), входящие также в состав северной сутуры ЮТШ. В этой фазе раскрытие океанской впадины могло произойти в тылу фамен-раннекаменноугольного (370–340 млн лет) Илийского вулканического пояса на Джунгарской окраине (Wang et al., 2006; Zhong et al., 2017) (рис. 7). Осадочные породы бассейна Гулугол неизвестны.

5. Формирование карбонатных шельфов и батиаблей в силуре — среднем карбоне

Девонские горячие точки. Длительный период последующего становления пассивных окраин Туркестанского (Южно-Тянь-Шаньского) океана выражен через формирование карбонатного чехла и на его окраинных шельфах, и на аккрецированных или вулканических внутриокеанских поднятиях (Христов и Миколайчук, 1983; Бискэ, 1996; Biske and Seltmann, 2010; Алексеев и др., 2015; Alexeiev et al., 2017). Характерно, что устойчивое развитие карбонатных платформ в пределах ЮТШ началось с позднего венлока (меришкорский горизонт, по бентосу) или лудлова на западе региона, но лишь в пржидоле или, чаще, в лохкове — на востоке. Здесь, на северной окраине Тарима, известняковый покров появляется еще до окончания активно-окаинного магматизма (Бискэ и др., 2018). Сейсмическое профилирование в чехле Таримского континента также показало переход от сжатия к растяжению в конце силура (Han et al., 2015).

Строение, цикличность развития, фаунистические комплексы верхнего силура — среднего карбона в принципе одинаковы по всему простираию ЮТШ, в том числе его китайский сегмент. Характерно затопление карбонатных шельфов и платформ в среднем — позднем девоне и раннем карбоне, что связано с неполной компенсацией погружения на пассивной стадии развития континентальных окраин (Алексеев и др., 2015). На окраинах Тарима, Каракум-Таджикистана, а также внутренних карбонатных платформ ЮТШ ранее были показаны переходы от карбонатных отмелей к склоновым турбидитам, батиальным кремнисто-глинистым или обломочно-карбонатным осадкам (Расчленение..., 1976; Бискэ, 1996; Бардашев, 2008). На южной окраине Казахстанского континента карбонатный комплекс верхнего девона — нижнего карбона почти не сопровождается подобными замещениями в сторону Туркестанского океана (Alexeiev et al., 2017). Здесь вероятно последовавшее в конце палеозоя тектоническое поглощение переходных фациальных зон как результат субдукционной эрозии.

Базальтовые внутриплитные серии океанического типа (OIB), образованные обогащенными магмами горячих точек (hot spots), также широко распространены в пределах ЮТШ (см. рис. 7), в стратиграфическом интервале от верхнего силура до фамена (Поршняков, 1973; Христов и Миколайчук, 1983; Бискэ, 1996; Biske and Seltmann, 2010; Safonova et al., 2017). Они проявлены как внутри океанских батиа-

лей, так и на карбонатных платформах, где чередуются с известняками (Safonova et al., 2016). Отмечены также девонские внутриплитные базальты на континентальной коре северного обрамления ЮТШ (Zhong et al., 2017).

В некоторых местонахождениях (Джанджирский хребет, горы Баубашата) базальты на уровне верхов нижнего девона сопровождаются риодацитовыми лавами в количестве до 20 % всего объема излияний. Отсутствие в базальтах геохимических признаков контаминации континентальным материалом заставляет считать эти разности дифференциатами базальтовой магмы. В таком случае следует относить эти примеры к исландскому типу горячих точек (Safonova et al., 2016). Какого-либо влияния девонских горячих точек на горизонтальные движения не замечено.

По палеомагнитным данным для среднего — позднего девона (Буртман и Дворова, 2018), раскрытие Туркестанского океана привело к расхождению центров Казахстанского и Таримского континентов примерно на 16° по широте, или примерно на 1700 км, что много больше расстояния, условно показанного на рис. 7. Ширина океана, однако, могла быть не столь большой, если последовавшее в конце палеозоя сближение континентов происходило со значительным продольным левым сдвигом Казахстана относительно Тарима и вдоль девонского магнитного меридиана.

6. Конвергенция и континентальная коллизия в карбоне. Закрытие Туркестанского (ЮТШ) океана

Последовательность событий, связанных с конвергенцией литосферных блоков и закрытием океана, была вначале определена на биостратиграфической основе, через оценку возраста кровли шельфовых карбонатов и перекрывающих олистостромо-турбидитовых осадков глубоководных желобов (Бискэ, 1996; Бискэ и др., 2003). Изучение и датирование надсубдукционных магматических и метаморфических серий карбона существенно дополнили полученную картину.

Развитие вулканических окраин и аккреция на границах ЮТШ (340–320 млн лет). В юго-западной, Зеравшано-Гиссарской, части ЮТШ наиболее эффективным результатом конвергентных событий начала карбона является вулканический активно-окраинный пояс Каракум-Таджикского континента. Вулканисты, ныне представленные в осевой части Гиссарского хребта (сиоминская серия, согласно (Расчленение..., 1976)) и в его юго-западных отрогах, палеонтологически датированы, по сведениям Д.Л. Конопелько, как визейские: U—Pb-датировка термального метаморфизма, гранитов и базитовых даек в юго-западном Гиссаре полностью подтвердила их возраст 345–330 млн. Дальнейшее развитие окраины привело к ее расколу и образованию в серпуховском веке малого океанского Гиссарского бассейна (см. рис. 6 и 8), от которого сохранились офиолитовые фрагменты Южно-Гиссарского (Кундаджуазского) шва. Здесь можно видеть некоторую аналогию с упомянутым выше и близким по времени раскрытия бассейном Гулугол в восточном сегменте области. Одновременно в вулканическом поясе началось внедрение габбро-плагиогранитов ранних фаз большого Гиссарского батолита, оно продолжалось и далее, в период после отметки 321 млн лет (Konopelko et al., 2017).

Магматический процесс могли вызвать субдукция к северу Палео-Тетического океана (Dolgoplova et al., 2017) либо обратное погружение коры южной ветви Туркестанского бассейна к югу (см. рис. 6, 8). Результатом последнего процесса можно

полагать надвиговую структуру Фанских гор и Зеравшанского хребта, описанную в работе (Volkova and Budanov, 1999), однако фактически в нее вошли уже и отложения среднего палеозоя на таджикском шельфе. Субдукция сопровождалась метаморфизмом различных ступеней, в том числе до глаукофановых сланцев, создавшим упомянутый выше ягнобский комплекс и его аналоги в Восточном Алае. Эксгумация метаморфитов, скорее всего, относится к середине визе, что фиксировано угловым несогласием при образовании Джижикрутского прогиба в северной части Гиссарского хребта и обосновано биостратиграфически работами В. И. Лаврусевича и др. (Бискэ, 1996; Worthington et al., 2017). Визейский возраст (339–327 млн лет) установлен также для лобабулакского мигматит-гнейсового комплекса на западе Зеравшанского хребта (Миркамалов и др., 2012), хотя основные проявления термального метаморфизма в Зеравшано-Гиссаре более поздние (Konopelko et al., 2015).

Признаки аккреции на южном фланге ЮТШ имеются также в восточном сегменте области. Здесь вдоль северной окраины Таримского континента в районе Хейиншань—Куче наблюдалась северо-вергентная надвиговая структура с участием офиолитов, силурийских (?) метапесчаников и сланцев и отложений вплоть до башкирских турбидитов (см. рис. 10 в работе (Алексеев и др., 2015)). Южнее на Таримской платформе фиксируются перерыв и грубообломочные фации визе-башкирского яруса (Carroll et al., 2001; Brenckle, 2004), однако надсубдукционные вулканы не представлены. Аккреционная структура запечатана нижнемосковской молассой (Алексеев и др., 2015).

Закрытие Туркестанского океана и образование надвигового пояса Букантау — Кокшаал — Халыктау (320–295 млн лет). Строение пояса уже подробно описано (Бискэ, 1996), поэтому отметим лишь некоторые основные или новые моменты. На северном фланге ЮТШ конвергенция литосферных блоков отчетливо проявилась с конца раннего карбона. Представим ряд событий, устанавливаемых уже по всей длине южной окраины Казахстана.

1. Выведение к поверхности высокобарических метаморфитов аккреционно-го комплекса, произошедшее в близкие сроки по всей длине главной коллизионной сутуры ЮТШ. Ему соответствуют начало разрушения глаукофановых сланцев в Южной Фергане (Дженчураева и Гетман, 1993) в серпуховское время, а также эксгумация эклогит-содержащего комплекса, произошедшая около 316 млн лет назад в Атбашинском хребте (рис. 8) (Hegner et al., 2010) и 311 млн лет назад на р. Аккез в китайском Тянь-Шане (Klemd et al., 2011).

В отдельных случаях обратный подъем высокометаморфизованных пород мог происходить через образование термальных диапиров уже в тылу надсубдукционного пояса. Такая модель (рис. 9 и 10) возможна для Кассанского метаморфического купола в Чаткальском хребте, наложенного на субдукционно-аккретированную структуру и проявленного внутри Срединного Тянь-Шаня (Alexeiev et al., 2016). Как было затем показано в работе (Mühlberg et al., 2016), метаморфизм привел здесь к появлению эклогитов и вскоре к их ретроградному изменению в интервале 317–313 млн лет (по данным Sm/Nd- и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датировок). Разнообразные по степени изменения метаморфические породы вблизи северной сутуры ЮТШ включают, кроме кассанского комплекса, также атбашинские кристаллические сланцы, зеленосланцевую канскую и другие серии (Бакиров, 1978; Стратифицированные..., 1982;

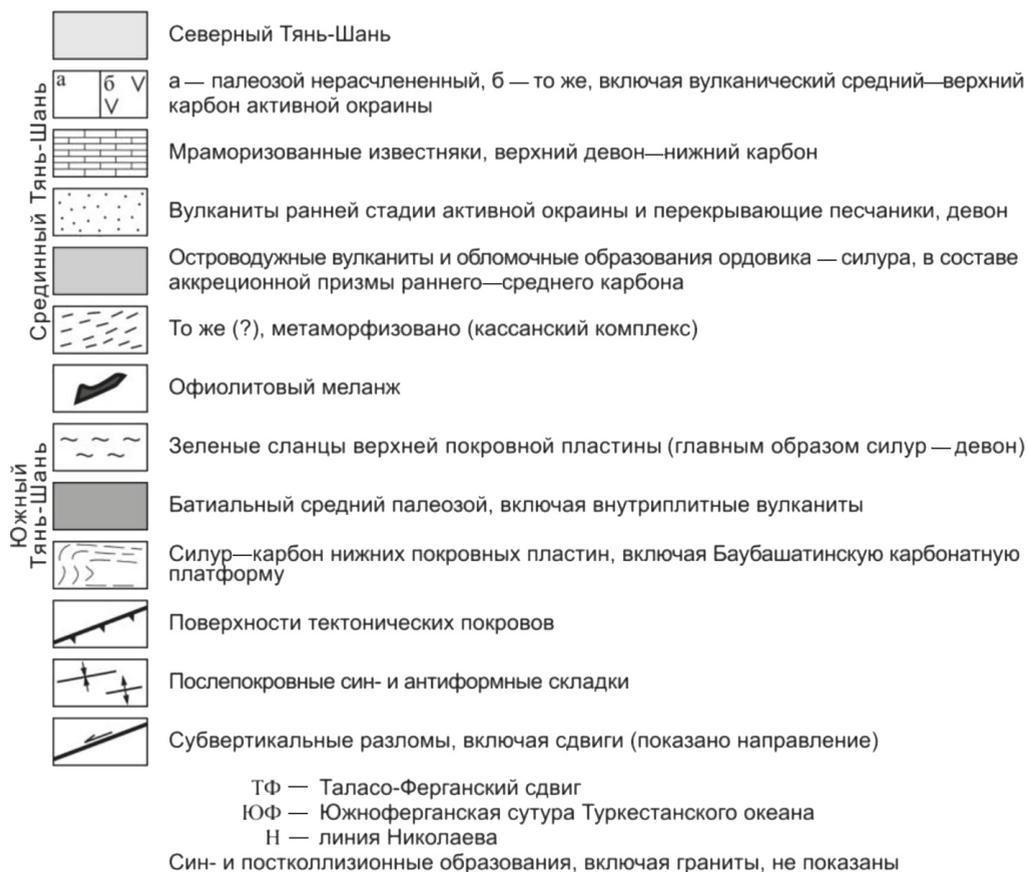
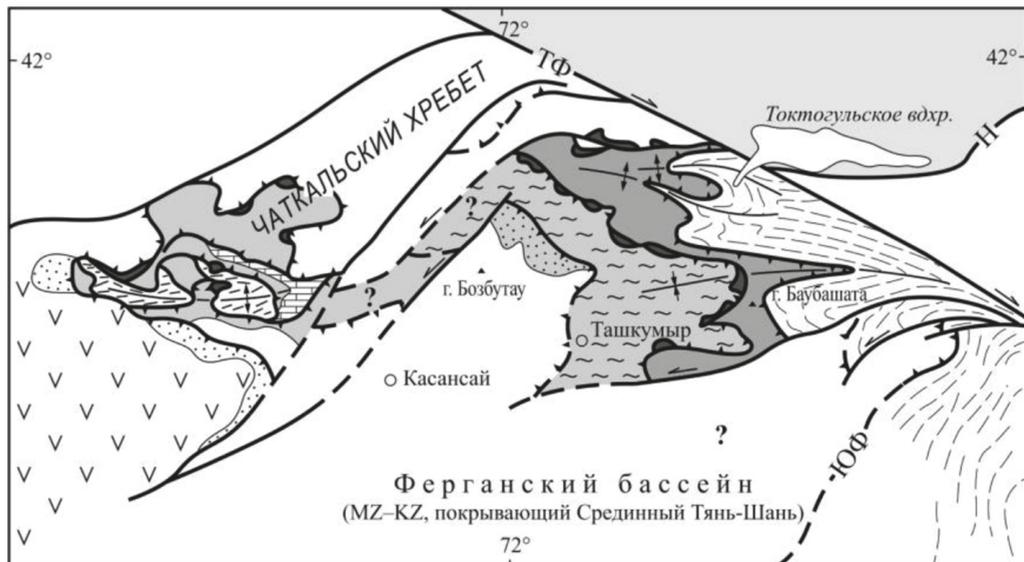


Рис. 9. Коллизийная палеозойская структура Северной Ферганы (карта построена с использованием работы (Геологическая..., 2008))

а



б



Рис. 10. Образование аккреционного комплекса на северном фланге ЮТШ в начале среднего карбона. Аккреционная структура включает в себя эксгумированные (направление показано двойной стрелкой) и расчлененные на тектонические пластины метаморфические породы кассанского комплекса с ордовик-силурийским субстратом. Дальнейшая субдукция коры Туркестанского океана вовлекает в аккрецию среднепалеозойские внутриокеанские вулканические постройки (южная часть профиля):

а — общая модель субдукции с обратным выведением высокобарических пород, в восточном сегменте ЮТШ (Gao and Klemd, 2003) с изменениями; б — детализация модели применительно к западному сегменту ЮТШ в северной Фергане (см. рис. 9); sh — шалдырские гнейсы, гранатовые амфиболиты; tr — терексайские мраморы; sm — семизсайские гнейсы, амфиболиты с реликтами эклогитов; is — иштамбердинские кварциты и сланцы

Gao and Klemd, 2003). По большей части они содержат магматические породы или перемытые из них зерна цирконов палеозойского, додевонского (Hegner et al., 2010; Rojas-Agramonte et al., 2014; Alexeiev et al., 2016) или даже серпуховского возраста (322 млн лет для меланжа Увамен на востоке ЮТШ (Wang et al., 2018)). Отметим, что на обзорных картах эти формации обычно показаны как докембрийские.

2. Далее, выдвигание к югу первых тектонических покровов вдоль всей южной границы Казахстана, которое началось в башкирском веке (см. рис. 8), а в начале московского века привело к соединению с Казахстаном Кызылкумо-Алайского

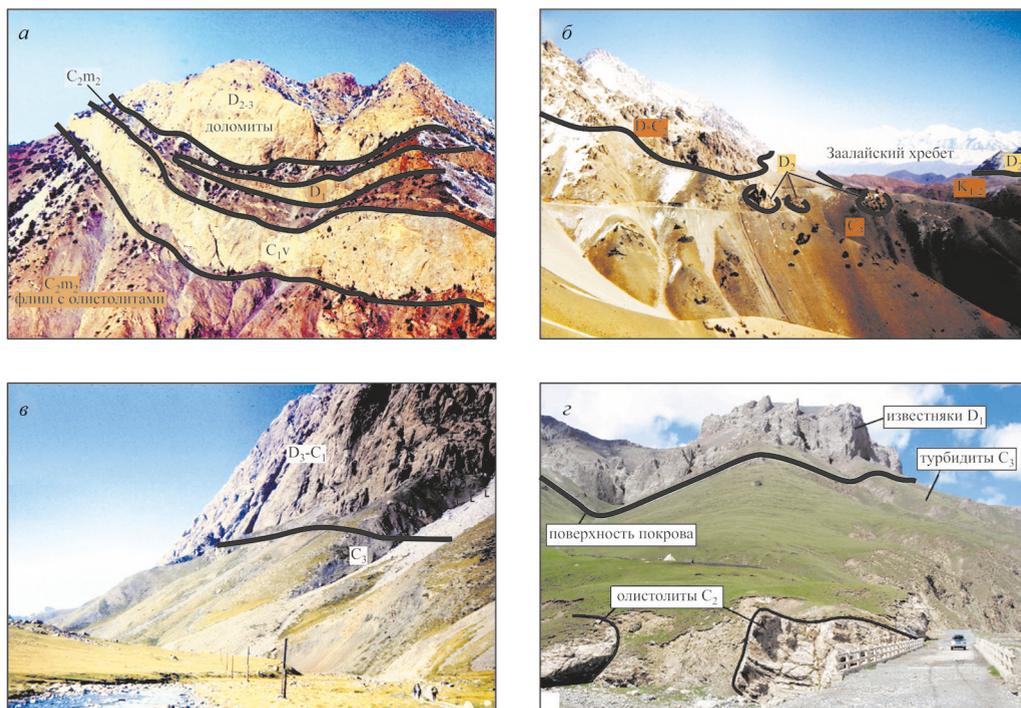


Рис. 11. Фронтальная часть главного пояса коллизионных покровов Южного Тянь-Шаня. Под надвигами известняковых массивов девона-карбона повсеместно залегают турбидиты верхнего карбона с олистостромами:

а — Туркестанский хребет, р. Урта-Чашма; б — Алайский хребет, южный склон у перевала Тегермач; в — Кокшаальский хребет, р. Пикертык; з — хребет Халыктау (восток ЮТШ), р. Кукинек

и других малых континентальных блоков внутри ЮТ. В конце карбона — начале перми были заполнены турбидитами и далее закрыты надвигами (рис. 11) последние из остаточных впадин Туркестанского океана (Бискэ, 1996; Бискэ и др., 2012).

3. Надсубдукционный магматизм в окраинном вулканическом поясе, главным образом в Чаткало-Кураминском районе. Первые его проявления датированы 343(?)–328 млн лет (Геология..., 1998; Alexeyev et al., 2016; Cheng et al., 2017), что приходится увязывать с обстановкой еще стабильного карбонатного шельфа на южной окраине Казахстана. Массовые проявления вулканитов и внедрение рудоносных гранитоидов Кураминского хребта (см. рис. 6) относятся к интервалу 315–305 млн лет (Seltmann et al., 2011; Konopelko et al., 2017b). Магматизм на южной активной окраине Казахстана, однако, не проявлен восточнее г. Нарын. Причиной этого могут быть относительная узость Туркестанского океана к этому времени на востоке и малая амплитуда поглощения океанической коры: аналогичным образом закрытие узкого Пьемонтского океана в Альпийской области почти не сопровождалось активно-окраинным вулканизмом (см., например, работу (Хаин, 1984)).

Общий переход региона ЮТШ в коллизионную стадию подчеркивается статистически резким падением значений $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ в магматических породах на востоке ЮТШ и его обрамления, которое произошло около 310 млн лет (Han et al., 2016) и отразило переход к образованию магм только из континентальной коры, т. е.

к исчезновению океана. Геологические материалы по остальному региону ЮТШ не противоречат этим выводам.

В целом же коллизия континентальных блоков, ограничивающих ЮТШ, заняла длительное время. Мы видели, всю его территорию можно определить с первого этапа образования покровно-надвиговой структуры Зеравшано-Гиссарской части Каракум-Таджикистана (визе) и кончая закрытием последнего глубоководного флишевого бассейна, наследовавшего пассивную окраину Тарима (ассельский век). Непрерывные батальные серии отложений вплоть до верхнего карбона (в том числе кремни и калькарениты) и начала перми (ассельские турбидиты) повсеместно вовлечены в покровно-складчатые линейные структурные комплексы и затем интродуцированы гранитами в возрастном интервале 295–280 млн лет.

Такие датировки не оставляют сомнений в завершении истории ЮТШ океана до начала перми, с чем согласны авторы большинства публикаций (Han et al., 2011; Liu D. et al., 2014). Тем не менее в работах (Xiao et al., 2009, 2013; Sang et al., 2018) предложена другая оценка, согласно которой ЮТШ океан просуществовал до середины или конца триаса, а наблюдаемая структура ЮТШ пояса представляет собой аккреционный комплекс у северной границы этого бассейна. Косвенными доводами в пользу этой позиции являются, во-первых, эффективное угловое несогласие внутри триасовых отложений западнее Турфанской впадины в китайском Тянь-Шане — разделяющее, однако, однотипные внутриконтинентальные толщи; во-вторых, присутствие пермских офиолитов в Бэйшане; впрочем, по другим данным (Han et al., 2017), пермские базиты этого района не являются офиолитами. Более прямые аргументы в пользу триасовой коллизии в ЮТШ — находка якобы позднепермских радиолярий в кремнистых батальных осадках хребта Майдантаг у северной границы Тарима (Li et al., 2005), а также единичные зерна цирконов с пермскими и триасовыми (LA-ICP-MS-анализ) оболочками в метаморфитах ЮТШ сутуры в Атбашинском (Sang et al., 2017) и Наратском хребтах. В первом случае должна иметь место ошибка биостратиграфической корреляции. По нашим данным (частично опубликованным в работе (Biske and Seltmann, 2010)), в той же структурной единице на киргизской территории батальные отложения и перекрывающие их турбидиты содержат ископаемые не моложе позднего карбона. Что касается молодых цирконовых зерен, то нельзя исключить их связь с постколлизийными термальными событиями, в том числе с частичным растяжением коры при движениях по главным сутурам (см. ниже). В детритовом материале региона соответствующие возрасты представлены очень слабо (Ren et al., 2017).

Известно также обратное представление о более ранней и неодновременной по простиранию «коллизии ножницами» (Charvet et al., 2007; Charvet et al., 2011; Ju and Hou, 2014), согласно которому на востоке китайского ЮТШ континентальные края бассейна сблизались уже в конце девона — начале карбона, а в дальнейшем коллизия продвигалась к западу. Образу «ножниц» противоречит то обстоятельство, что позднекаменноугольный передовой прогиб на окраине Тарима прослежен на восток вплоть до района депрессии Большой Юлдуз (см. рис. 8), а идея о более ранней, уже в начале карбона, коллизийной деформации опровергается присутствием в этом районе непрерывных карбонатных разрезов девона — карбона (Алексеев и др., 2015). Можно допускать, что флишевый передовой прогиб продолжался

и восточнее, но был перекрыт поздними, вблизи конца карбона, коллизионными надвигами и полностью поглощен.

Очевидно, средне-позднедевонские тектоно-термальные события в районе восточного выклинивания (87–90° в. д.) морского палеозоя ЮТШ (Li and Xu, 2007) представляют лишь раннюю стадию коллизии. К ним относятся метаморфизм с образованием базитовых гранулитов в массиве офиолитов Юшугол—Тонхуашань около 390 млн лет (Zhang et al., 2018), граниты с возрастом 368–361 млн лет и несогласие в основании грубо-кластического нижнего карбона.

Что касается восточного продолжения ЮТШ, то в этом качестве иногда показывают более позднюю сутуру Сядон—Сяохуаншань в северной части Бэйшаня с офиолитами, образованными в интервале 368–321 млн лет и деформированными в среднем карбоне (Han and Zhan, 2017). При этом в восточном Тариме и Бэйшане нет типичных для ЮТШ хорошо развитых пассивных океанских окраин, а силур-девонские прогибы носят характер скорее задуговых (?) рифтов. Их раннее закрытие согласуется с небольшой шириной девонского ЮТШ океана на востоке, как это и принято обычно в реконструкциях положения Тарима и Казахстана (например, (Ge et al., 2014)), но скорее отрицает наше прежнее представление (Biske and Seltmann, 2010) о расширении океана к востоку.

7. Вергентность коллизионной структуры

Существование главного пояса коллизионных надвигов ЮТШ, направленных к югу и наследующих в своем развитии субдукцию Туркестанского океана под Казахстанскую окраину (рис. 10), в той или иной форме признается большинством авторов (Буртман, 1976, 2015; Windley et al., 1990; Бискэ, 1996; Gao et al., 2009; Biske and Seltmann, 2010; Biske et al., 2012; Han et al., 2011, 2016; Xiao et al., 2009, 2013). Другие подчеркивают явления обратной, северной вергентности надвигов или даже считают ее основной (Charvet et al., 2007; Charvet et al., 2011; Wang et al., 2011; Lin et al., 2013; Loury et al., 2015). Следует оценить две группы явлений, которые лежат в основе второй точки зрения:

- 1) надвиги к северу, которые действительно проявились на ранней стадии конвергенции (визе — средний карбон) вдоль границы ЮТШ с Каракум-Таджикским массивом (см. выше). На восточном фланге массива, внутри Восточно-Алайской структурной петли, даже намечается последовательное омоложение этих надвигов от более южных (верхних пластин) к северным (Бискэ, 1996). Еще восточнее, на окраине Тарима, надвиги этой ранней фазы вряд ли были значительными (Алексеев и др., 2015; Han et al., 2016);
- 2) надвиги и складки позднего этапа коллизии, секущие по отношению к ранне-коллизионным структурам и к молассам верхнего карбона, также частично имели северную вергентность. Они весьма эффектны в некоторых карбонатных массивах Туркестано-Алая (рис. 12) и особенно вдоль северного фланга ЮТШ в Атбашинском хребте и Хан-Тенгри, где дополняются кайнозойским надвиганием (Бискэ и др., 1986; Христов, 1989; Jourdon et al., 2017). Эта же группа включает позднепалеозойские тектонические покровы, сместившие к северу осадочный чехол окраины Казахстана в тылу вулканического пояса



Рис. 12. Опрокинутые к северу складки в известняках нижнего — среднего карбона на территории бывшего Кызылкумо-Алайского микроконтинента. Алайский хребет, р. Исфайрам

(Орлов, 1980; Геологическая..., 2008; Loury et al., 2015). Интересно отметить, что именно такие наблюдения очень давно (см., например, (Мушкетов, 1935, с. 314)) развивались в направлении вывода о надвигании всего ЮТШ на Северный Тянь-Шань. В целом это представление ошибочно. Еще в 1960-е гг. и позже в работах (Поршняков, 1973; Буртман, 1976; Буртман, 2006) было показано, что обращенные к северу надвиги в Южной Ферганае и Джанджирском хребте накладываются на син- и антиформные складки, в которых смяты поверхности ранних, собственно коллизионных, покровов.

Коллизионная структура ЮТШ очень напряженная. Не пытаясь делать количественные оценки, мы можем по размаху покровной тектоники сравнивать масштаб горизонтального сокращения поверхности пояса ЮТШ с масштабом этого процесса в Альпах и Гималаях и считать его явно превосходящим, например, уральский. При этом полностью «телескопирован», собран в тектонические покровы осадочный чехол внутренних блоков типа Алайского и Борколдойского, также северной окраины Каракум-Таджикистана, а поддвиг Таримского шельфового чехла к северу практически достигает офиолитовой сутуры ЮТШ, как это видно в окнах Мерцбахера (79–80° в. д.) (Христов, 1989) и Большого Юлдуза (Алексеев и др., 2015). Повторим, что можно ставить вопрос о продолжении передового прогиба (флиш конца карбона — начала перми) под надвигами далее к востоку. Не исключено при этом поглощение нижней корой (и частично мантией?) не только океанской и переходной коры, но и целых микроконтинентов.

8. Возраст и динамика постколлизионного магматизма

На период 310–300 млн лет приходится не только максимум коллизионных событий, в том числе нагромождение коровых пластин, поднятия в рельефе, образование моласс передовых и тыловых прогибов, но также некоторое ослабление магма-

тизма, весьма активного на прежних окраинах континентов в конце карбона (Long et al., 2011; Seltmann et al., 2011; Konopelko et al., 2017). Период раннепермского магматизма, происходивший в пределах пояса ЮТШ и близких территорий примерно после 300 млн лет, представляет собой особый постколлизийный этап. Ранее (Бискэ и др., 2013) мы обсуждали условия проявления этого магматизма в Тянь-Шане. Связь его с плавлением утолщенной коры и частичным растяжением орогена, по-видимому, общепризнана. Массивы гранитоидов хотя и представлены отдельными узлами, но в целом образуют пояс, ориентированный по простиранию коллизийной системы ЮТШ и захватывающий также его обрамление. Однако пермский магматизм Тянь-Шаня, при естественном доминировании гранитов, отличается значительным разнообразием, здесь представлены как все основные типы гранитоидных, так и высокощелочные формации, до нефелиновых сиенитов, а также обширные излияния базальтов, габброидные и гипербазитовые интрузии.

В последние годы получен большой материал, уточняющий возраст и природу позднепалеозойских магматических и метаморфических процессов.

Постколлизийные гранитоиды. В юго-западном обрамлении ЮТШ раннепермские граниты наследуют зону раннекарбоновой активной окраины Каракум-Таджикского континента (см. выше, раздел 6). Большой гранитный Гиссарский батолит и другие массивы включают раннеколлизийную фазу (321–312 млн лет) I-гранитов с низкими положительными значениями ϵNd_t (Konopelko et al., 2017). В постколлизийное время, 305–270 млн лет назад и максимально около 290 млн лет назад, здесь и на соседних территориях бывшего Каракум-Таджикского континента внедрились близкие по составу I-гранитоиды, но также и S-гранитоиды, уже неодим-отрицательные. В период 290–270 млн лет образованы основные дайки и трубковые тела, сопоставляемые с базитами Таримского плюма (Konopelko et al., 2015; Käbner et al., 2016).

К внутренней части ЮТШ относятся разнообразные I-, S- и A-граниты, гранодиориты, монцониты и сиениты Туркестано-Алайского хребта. Они также имеют возраст в пределах 287–275 млн лет, редко до 264 ± 5 млн лет (Glorie et al., 2011; Konopelko et al., 2018), отрицательные (до –8) значения ϵNd_t и модельные Sm/Nd-возраста 1780–1060 млн лет, т. е. образованы при значительном участии материала протерозойской континентальной коры. Граниты ювенильного происхождения, по-видимому, редки, однако по крайней мере в Султануиздаге гранодиориты Актау (возрастом 277 млн лет) показали ϵHf около 11 (Dolgoplova et al., 2016).

В пределах бывшей северной окраины ЮТШ, в Кураминском хребте, раннеколлизийные граниты датированы интервалом 315–305 млн лет назад (Konopelko et al., 2017), а за ними с перерывом следуют раннепермские вулканы и интрузии. К последним относятся восточнее Сонкульские граниты и диориты возрастом 290–293 млн лет (De Grave et al., 2011), а также тоналиты возрастом 282 млн лет, запечатавшие офиолитовую сутуру ЮТШ на северном склоне Атбашинского хребта (Glorie et al., 2011). В северном ее крыле на территории Китая (р. Музарт) получен возраст около 293 млн лет для гранодиорит-монцонитов плутона Аласан со значениями ϵNd_t , которые не превышают –5...–6 (Gu et al., 2012). A-граниты (возрастом 299–270 млн лет) встречаются в северном обрамлении восточного ЮТШ в хребте Нарат и близ депрессии Кумыш, а также далее к востоку, но здесь они неодим-положительные (значения ϵNd_t до 11) (Han and Zhao, 2017).

Особую группу образуют постколлизийные (возрастом 296–275 млн лет) А-граниты типа рапакиви, а также щелочные сиениты и лейкограниты, иногда чарнокиты, вскрытые в центральном и восточном сегментах ЮТШ вдоль северной окраины Таримского массива (хребты Кокшаалтау и Халыктау) (Konopelko et al., 2007; Long et al., 2008; Luo et al., 2010; Gou et al., 2012). Граниты здесь внедрены как в недеформированную кору континента, так и в отложения передового прогиба, непосредственно вслед за нарушающими их надвигам. Таков, в частности, Джангартский массив, датированный возрастом 296 ± 4 млн лет и прорывающий слои ассельского возраста (Konopelko et al., 2007; Бискэ и др., 2013). Для гранитоидов северной окраины Тарима типичны значения ϵNd_t от -6 до -2 , значения ϵHf_t — от -7 до 11 и $T_{DM1} = 1 \dots 2$ млрд лет (Konopelko et al., 2007; Zhang et al., 2010; Huang et al., 2014). Они относятся к внутриплитному (анорогенному) типу, а их магма образована из коры Таримского кратона с примесью мантийных компонентов (Han and Zhao, 2017; Loury et al., 2018).

Таримский плюм. На самой поверхности Тарима образован мощный покров вулканитов, составляющих часть большой магматической провинции (LIP), которая охватывает также восток Тянь-Шаня и Джунгарию (Zhang et al., 2010), Бейшань (Qin et al., 2011) и восточнее Алашань (Dan et al., 2014). Обычно их считают признаком плюмного события в раннепермском возрастном интервале 290–270 млн лет. Базальты обогащены легкими и высокозарядными элементами, имеют высокое отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ и отрицательные значения ϵNd , что типично для плюмных проявлений (Yu X. et al., 2011).

На Таримской плите пермские базальты давно известны в обнажениях на северо-западе, однако теперь они установлены на площади более 250 тыс. км² под чехлом платформы (Li et al., 2011), в том числе и в ее центральной части. Кроме базальтов здесь представлены риолитовые лавы и дайки, кислые туфы, а также дайки и трубки оливиновых пироксенитов, в том числе взрывчатые, габбро, реже кварцевые сиениты, нефелиновые сиениты. Древнейшими проявлениями плюма могут быть кимберлиты поднятия Бачу с возрастом около 300 ± 4 млн лет (Zhang et al., 2013b). За ними следуют калиевые риолиты и дациты с возрастом $295 \pm 2,8$ млн лет, залегающие на швагериновых ассельских известняках таримского шельфа у южного подножия хребта Халыктау. Кислые вулканиты, с древним Nd-модельным возрастом, происходят из нижнекоровых источников в Таримском континенте и обеспечивают максимум возрастов около 299–288 млн лет в обломочных цирконах вышележащих слоев (Liu D. et al., 2014). В кайнозойских и современных отложениях южного склона китайского ЮТШ пик цирконовых возрастов постоянно приходится на 293–294 млн лет (Ren et al., 2017). Излияния базальтов происходили главным образом в интервале 290–285 млн лет, причем в обнажениях Кельпинских гор — почти 290–288 млн лет, а в центральном Тариме — вплоть до отметки 273 млн лет (Zhang et al., 2010).

Источники магматизма. Постколлизийный магматизм в целом отражает новое строение коры и замещение в орогене нагретыми массами прежней относительно холодной мантии. Само разнообразие раннепермских гранитоидов ЮТШ понятно, если иметь в виду разные источники магм и способы их мобилизации.

Во-первых, повсеместно выражены геохимические и изотопные признаки, указывающие на вовлечение в процесс протерозойской верхней коры континен-

тальных блоков обрамления и внутренней части пояса. Этого и следовало ожидать, учитывая амплитуду сокращения пространства области (тектонические покровы), скупивания пластин и общего увеличения мощности коры в конце палеозоя. Вторым источником явился позднепротерозойский и палеозойский мантийный материал, в разное время включенный в кору островных дуг и континентальных окраин. Третий тип составляет ювенильный мантийный материал, представленный в виде плюмных базитов и редко гипербазитов. Его участие в гранитоидных магмах минимально, но возрастает в пермских I-гранитах крайнего запада (Dolgoplova et al., 2017) и северо-восточного окончания пояса (Han and Zhao, 2017). Частично его приток мог быть обеспечен отрывом литосферного слэба после коллизии. Последнее объяснение, однако, вряд ли можно отнести к однородным А-гранитам северной окраины Тарима. Расположение тел гранитов-рапакиви, а также синхронных им полей риолитов в Кокшаале—Халыктау, в первом приближении линейное, легко истолковать в пользу их происхождения через плавление гранулитов субдукционной к северу Таримской окраины (Solomovich and Trifonov, 2014). В таком случае возможный отрыв и внедрение гранитов должны были произойти именно там, тогда как фактически массивы рапакиви внедрены позади субдукционной зоны в передовой прогиб и континентальную платформу. Такая приуроченность магматизма необычна для коллизионных обстановок и не наблюдается, например, на Урале, в Альпах и пр. Поэтому в нашем случае более вероятно прямое влияние синхронного с гранитами Таримского плюма через тепловое воздействие и примесь к гранитам мантийного материала внутриплитного типа (Бискэ и др., 2013; Han et al., 2016, 2017; He et al., 2016).

Пространственное распределение постколлизионных магматических внедрений часто увязывают с глубокими коровыми разломами и зонами относительного растяжения, особенно в связи со сдвигами (Konopelko et al., 2007; de Boorder, 2013; Solomovich and Trifonov, 2014). Лишь в немногих случаях такая связь достаточно доказуема.

Постколлизионные гранитно-метаморфические поднятия. Внедрение гранитов Гиссарского хребта, Туркестано-Алая, Южного Нуратау и Кызылкумов, а также восточного Кокшаала — Халыктау сопровождалось термальным (барровианским) метаморфизмом до амфиболитовой фации, иногда там же проявлены гранулиты. Прямые определения возраста метаморфизма дают предсказуемые результаты: так, по данным $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датировки, прогрессивный метаморфизм в гнейсах пика Победы происходил 287–265 млн лет назад, а последующее остывание — 265–256 млн лет назад (Loury et al., 2018).

Некоторые метаморфические зоны этого региона, особенно гнейсовый Гармский массив Гиссара, считались ранее докембрийскими выступами (Расчленение..., 1976). Однако новые измерения подтвердили точку зрения тех авторов, которые защищали позднепалеозойский возраст метаморфизма, основываясь на редких находках ископаемых в мраморах Гарма и на отсутствии несогласных (и вообще сколь-нибудь ясных) стратиграфических соотношений метаморфитов с палеозойскими толщами (см. дискуссию в работе (Бухарин и др., 1985)). При этом теперь показано и частичное присутствие протерозойского субстрата в гармских гнейсах (Käbner et al., 2016), и выплавление из него гранитов и мигматитов, происшедшее в начале перми (299–290 млн лет) (Konopelko et al., 2015).

Гармский блок, как и другие подобные метаморфические поднятия Тянь-Шаня, представляет собой термальный купол, наложенный на покровную структуру раннего этапа коллизии.

9. Сдвиги и термальные процессы конца перми — триаса

Обсуждение вопроса о возрасте и направлении смещений по главным, наиболее протяженным, разрывным линиям в Тянь-Шане (см. рис. 1) имеет очень давнюю историю⁵. В большинстве своем эти разрывы сформировались как коллизионные офиолитовые швы в конце палеозоя, затем были подчеркнуты или смещены сдвигами в перми — начале мезозоя и дополнительно омолодились в кайнозое. Для западной и центральной, в основном киргизской, части ЮТШ характерны продольные разрывы субширотного — северо-восточного направления. Коллизионные левосторонние сдвиговые смещения завершают здесь образование S-образных складок с крутыми шарнирами, что также отражено через общий левый поворот палеомагнитных векторов (Буртман, 2006; Biske and Seltmann, 2010). Левые сдвиги происходили также вдоль юго-восточного края Тарима, в их числе сдвиг Синсинся (Han and Zhao, 2017), с которым отчасти связано восточное выклинивание пояса ЮТШ. Допустимо общее значительное левое смещение Казахстана относительно Тарима, а также сдвиговое изменение позиции блоков СрТШ и ЦТШ (см. выше, разделы 4 и 5, а также реконструкции в работе (Filipova et al., 2001)).

Диагональные сдвиги на северо-запад, в том числе Таласо-Ферганский и Джунгарский, он же Северо-Тянь-Шаньский, или Главный Тянь-Шаньский (Laurent-Charvet et al., 2002; Charvet et al., 2011), — более поздние и правосторонние по направлению. Таласо-Ферганский сдвиг, по результатам ⁴⁰Ar/³⁹Ar-датирования синтетонических минералов в зонах деформаций, испытал смещения уже начиная с периода 310 млн лет назад (?), но главным образом в интервале 290–260 млн лет назад (Rolland et al., 2013) и затем вплоть до 240–199 млн лет назад (Konopelko et al., 2013). Правосдвиговое смещение без термальных проявлений возобновилось в кайнозое (Burtman et al., 1996; Буртман, 2006).

На востоке Тянь-Шаня граничные сутуры ЮТШ меняют простирание на субширотное. Северная граница пояса, Атбаши-Иньльчекский шов, проявляет признаки раннего правого смещения, датированного возрастом 300–250 млн лет и последовавшего затем левого смещения, происходившего, по данным датирования, 240–235 млн лет (Lougu et al., 2018). По возрасту оболочек зерен цирконов предполагается связь сдвига с гидротермальной активностью в период около 255 млн или даже до 224–217 млн лет (Sang et al., 2016). Восточнее, у пика Победы, поздние сдвиговые смещения датированы периодом 257–248 млн лет назад (Lougu et al., 2018). Далее этот шов продолжается сутурой Нарат-Кавабулак, движение вдоль которой предполагается правосторонним (Charvet et al., 2011). Широкий разрыв Сингер, образующий границу ЮТШ с Таримом вдоль хребта Куруктаг, также испытал правосдвиговое движение и датирован по аргону периодом 290–270 млн лет назад (Han and Zhao, 2017). Полученные данные пока не создают цельной истории движения по разломам. Однако они позволяют считать такие смещения весьма длительными, в течение всей перми и возможно до конца триаса.

⁵ Библиографию по этой теме см. в работе (Буртман, 2006).

В западных сегментах ЮТШ обнаружены также наиболее поздние, вплоть до конца триаса (225–200 млн лет), гидротермальные проявления, которые не связаны непосредственно с главными сутурами и сдвигами (Seltmann et al., 2011; Vrublevskii et al., 2017).

Заключение

ЮТШ представляет собой часть Урало-Монгольских, или Центрально-Азиатских, палеозоид, в наименьшей степени обогащенную добавлением океанского коро-мантийного материала. ЮТШ состоит из блоков или пластин докембрийской коры с добавлением палеозойского терригенного и почти полностью переотложенного вулканического материала, отчасти внутриплитных базальтов, большого объема карбонатов и очень скромных по масштабам офиолитовых фрагментов. Структура сильно пережата, сокращена в поперечнике, местами до размера шовной зоны.

Единство линейного пояса ЮТШ по всей его длине возникло в среднем — позднем карбоне благодаря коллизии и покровно-надвиговой тектонике, прежде всего надвигам в южном направлении от края Казахстана (пояс Букантау—Кокшаал—Халыктау). Единство подчеркнуто постколлизийным магматизмом, который также проявлен в очень близкие сроки по всей длине пояса. Предшествовавшие процессы, как это следует из возраста бассейнов, типов окраин, полярности субдукции, оказались довольно разнородными по простирацию структуры. Можно указать большую ширину и большую древность океанского бассейна (или сохранившихся его фрагментов?) на западе ЮТШ по сравнению с востоком, где наблюдаются скорее лишь остатки средиземных и краевых морей, возникших в интервале 450–300 млн лет.

Цикличность в истории горизонтальных плитных движений кажется скорее общей для всего ЮТШ. Аккреционные события конца протерозоя на активной окраине Родинии (800–600 млн лет назад) постепенно (?) сменились расколом мегаконтинента в начале палеозоя, но с сохранением близости отдельных его блоков, на что указывают однотипные карбонатные последовательности шельфов. Сейчас стало очевидным, что с конца ордовика до раннего или среднего девона раскрытие новых бассейнов океанского типа сопровождалось здесь проявлением островных дуг и активных окраин континентальных блоков, в частности Таримского, и массовым поступлением в бассейны продуктов их разрушения, а также сборкой новой континентальной коры внутри Туркестанского океана (Кызылкум—Алай и, возможно, другие микроконтиненты). Переход к пассивному развитию окраин и второй этап образования карбонатных платформ и шельфов в середине палеозоя, хорошо известный в западном Тянь-Шане, теперь прослежен и на востоке ЮТШ. Здесь он также закончился лишь в конце карбона — начале перми, обозначив общее завершение коллизии.

ЮТШ вместе с Уралом образует коллизийную окраину Центрально-Азиатского орогена. При этом альпинотипная природа ЮТШ резко отличает его даже от Уральского сооружения, в котором сохранились почти автохтонные островные дуги (см., например, работу (Пучков, 1997)), но особенно — от типичных аккреционных островодужных «алтаид» (Şengör et al., 1993) Восточного Казахстана и приджунгарского Тянь-Шаня.

Полевые исследования в Тянь-Шане и аналитические работы последнего периода, составившие основу статьи, были выполнены при содействии многих коллег, из которых наибольший вклад внесли Д. В. Алексеев, Д. А. Конопелько, А. В. Неевин, Б. Ван. Финансирование получено по программам и грантам СПбГУ, Геологического института РАН. Ряд замечаний со стороны рецензентов, особенно А. В. Миколайчука, был очень полезен при доработке текста. Автор благодарен И. В. Сумаревой за помощь в подготовке иллюстративного материала.

Литература

- Абакумова, Л. Н., Шинкарев, Н. Ф., 1994. Офиолиты Алая — индикаторы геодинамического режима. Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. Геология. География (2), 10–20.
- Алексеев, Д. В., Аристов, В. А., Дегтярев, К. Е., 2007. Возраст и тектоническая позиция вулканогенно-кремнистых толщ в офиолитовом комплексе хребта Атбаши (Южный Тянь-Шань). Доклады РАН 413(3), 380–383.
- Алексеев, Д. В., Бискэ, Ю. С., Ван, Б., Дженчураева, А. В., Гетман, О. Ф., Аристов, В. А., Крёнер, А., Лю, Х. Ш., Чжон, Л. Л., 2015. Тектоническое районирование и палеозойская эволюция китайского Южного Тянь-Шаня. Геотектоника 49(2), 1–32.
- Ахмеджанов, М. А., Абдуллаев, Р. Н., Борисов, О. М., Базарбаев, Э. Р., Мирходжаев, И. М., Хохлов, В. А., 1975. Докембрий Среднего и Южного Тянь-Шаня. Фан, Ташкент.
- Бакиров, А. Б., 1978. Тектоническая позиция метаморфических комплексов Тянь-Шаня. Илим, Фрунзе.
- Баратов, Р. Б., Лутков, В. С., Минаев, В. Е., Старшинин, Д. А., Федоров, Г. Б., 1983. Вулканизм и строение литосферы Катармай-Ягнобского глаукофан-зеленосланцевого пояса (Южный Тянь-Шань). Доклады АН СССР 273, 958–964.
- Бардашев И. А., 2008. Стратиграфия девона Туркестано-Зеравшанской структурно-фациальной зоны Южного Тянь-Шаня. Бюлл. Моск. об-ва исп. природы. Отд геол. 83(6), 27–52.
- Белькова, Л. Н., Огнев, В. Н., Кангро, О. Г., 1969. Докембрий Среднего Тянь-Шаня. Недра, Москва.
- Белькова, Л. Н., Огнев, В. Н., Кангро, О. Г., 1972. Докембрий Южного Тянь-Шаня и Кызылкумов. Недра, Москва.
- Бискэ, Ю. С., 1987. Нижний палеозой Южной Ферганы: структурная позиция, стратиграфия, геологическая история. Вестник Ленинградского университета. Сер. 7. Геология. География (1), 3–11.
- Бискэ, Ю. С., 1996. Палеозойская структура и история Южного Тянь-Шаня. Изд-во С.-Петерб. ун-та, Санкт-Петербург.
- Бискэ, Ю. С., 2004. Тянь-Шаньская складчатая система. 2. Палеозойский Южный Тянь-Шань и Кызылкумы. Вестник Ленинградского университета. Сер. 7. Геология. География (2), 13–30.
- Бискэ, Ю. С., Алексеев, Д. В., Ван, Бо, Ван, Фей, Гетман, О. Ф., Дженчураева, А. В., Зельтманн, Р., Аристов, В. А., 2012. Структуры позднепалеозойского надвигового пояса китайского Южного Тянь-Шаня. Доклады РАН 442(1), 74–78.
- Бискэ, Ю. С., Алексеев, Д. В., Дженчураева, А. В., Ван, Б., Гетман, О. Ф., Лю, Х. Ш., 2018. Непрерывные карбонатные разрезы девона — карбона и время коллизии в китайском Южном Тянь-Шане. Доклады Академии наук 481(1), 57–61.
- Бискэ, Ю. С., Дженчураева, А. В., Неевин, А. В., Воробьев, Т. Ю., 2003. Стратиграфия среднего — верхнего палеозоя и палеогеография области перехода Туркестанский океан — Таримский континент (Тянь-Шань). Стратиграфия. Геологическая корреляция 11(6), 45–57.
- Бискэ, Ю. С., Зубцов, С. Е., Поршняков, Г. С., 1986. Герциниды Атбаши-Кокшаальского района Южного Тянь-Шаня. Изд-во Ленингр. ун-та, Ленинград.
- Бискэ, Ю. С., Конопелько, Д. Л., Зельтманн, Р., 2013. Геодинамика позднепалеозойского магматизма Тянь-Шаня и его обрамления. Геотектоника 4, 61–81.
- Бискэ Ю. С., Шилов Г. Г., 1998. Строение северной окраины Таримского массива в восточно-кокшаальском секторе Тянь-Шаня. Геотектоника 2, 51–59.
- Буртман, В. С., 1976. Структурная эволюция палеозойских складчатых систем: варисциды Тянь-Шаня и каледониды Северной Европы. Наука, Москва.
- Буртман, В. С., 2006. Тянь-Шань и Высокая Азия. Тектоника и геодинамика в палеозое. Геос, Москва.

- Буртман, В. С., 2015. Тектоника и геодинамика Тянь-Шаня в среднем и позднем палеозое. Геотектоника 4, 67–85.
- Буртман, В. С., Дворова, А. В., 2018. Казахстанский и Таримский микроконтиненты на девонских палеотектонических реконструкциях. Литосфера 18(2), 314–321. URL: <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2018-18-2-314-321>
- Бухарин, А. К., Масленникова, И. А., Пятков, А. К., 1985. Домезозойские структурно-фациальные зоны Западного Тянь-Шаня. Фан, Ташкент.
- Генералова, Л. В., 1999. Распределение редкоземельных элементов и петрохимический состав вулканогенных пород Северо-Восточной Ферганы. Минералогический сборник 49(1), 186–195.
- Герман, Л. Л., Будянский, Д. Д., 1990. Заспредиговый магматизм: геодинамическая модель. Доклады АН СССР 314, 1467–1471.
- Геологическая карта Кыргызской республики. Масштаб 1 : 500 000, 2008 / Жуков, Ю. В., Захаров, И. Л., Березанский, А. В., Израилева, Р. М., Турсунгазиев, Б. Т., Петров, О. В. (под ред.). Картогр. ф-ка ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург.
- Геология и полезные ископаемые Республики Узбекистан, 1998 / Шаякубов, Т. Ш., Далимов, Т. Н. (под ред.). Университет, Ташкент.
- Дженчураева, А. В., Гетман, О. Ф., 1993. Новые данные о стратиграфии верхнего палеозоя между речья Шуран-Шунк, в: Новые данные о биостратиграфии докембрия и палеозоя Кыргызстана / Мамбетов, А. М. (под ред.). Илим, Бишкек, 138–149.
- Зоненшайн, Л. П., Кузьмин, М. И., Натапов, Л. М., 1990. Тектоника литосферных плит территории СССР 1–2. Недра, Москва.
- Зубцов, Е. И., 1961. Стратиграфия отложений кембрия и ордовика Среднего Тянь-Шаня, в: Геология Средней Азии / Огнев, В. Н. (под ред.). Изд-во Ленингр. ун-та, Ленинград, 165–171.
- Зубцов, Е. И., Поршняков, Г. С., Яговкин, А. В., 1974. Новая схема домезозойской тектоники Тянь-Шаня. Доклады АН СССР 217(5), 1153–1156.
- Иванов, К. С., Миколайчук, А. В., Пучков, В. Н., Ерохин, Ю. В., Христов, Е. В., 2002. Офиолиты срединного Тянь-Шаня: тектоническое положение и возраст. Геология и геофизика 43(12), 1093–1098.
- Киселёв, В. В., 2001. Аналоги синийского комплекса в Срединном и Северном Тянь-Шане. Геология и геофизика 42(10), 1453–1463.
- Куренков, С. А., Аристов, В. А., 1995. О времени формирования коры Туркестанского палеоокеана. Геотектоника 6, 22–31.
- Миркамалов, Р. Х., Чирикин, В. В., Хан, Р. С., Харин, В. Г., Сергеев, С. А., 2012. Результаты U—Pb (SHRIMP)-датирования гранитоидных и метаморфических комплексов Тянь-Шаньского складчатого пояса (Узбекистан). Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. Геология. География (1), 3–25.
- Мухин, П. А., Каримов, Х. К., Савчук, Ю. С., 1991. Палеозойская геодинамика Кызылкумов. Фан, Ташкент.
- Мушкетов, Д. И., 1935. Региональная геотектоника. ОНТИ НКТП СССР, Ленинград.
- Неевин, А. В., Биска, Ю. С., Неевин, И. А., 2011. Стратиграфия нижнего палеозоя Сырдарьинского континентального массива в восточной части Срединного Тянь-Шаня, в связи с вопросами палеогеографии и геодинамики. Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. Геология. География (2), 21–36.
- Орлов, Л. Н., 1980. Роль гипсов в механизме формирования тектонических покровов Центрального Тянь-Шаня. Изв. АН СССР. Сер. геол. 4, 105–111.
- Печерский, Д. М., Диденко, А. Н., 1995. Палеоазиатский океан. Петромагнитная и палеомагнитная информация о его литосфере. ОИФЗ РАН, Москва.
- Поршняков, Г. С., 1973. Герциниды Алая и смежных районов Южного Тянь-Шаня. Изд-во Ленингр. ун-та, Ленинград.
- Пучков, В. Н., 1997. Тектоника Урала. Современные представления. Геотектоника 4, 42–60.
- Пучков, В. Н., Христов, Е. В., Иванов, К. С., Миколайчук, А. В., 1987. Новые данные о возрасте зеленосланцевых толщ Южного Тянь-Шаня. Доклады АН СССР 294, 435–438.
- Расчленение стратифицированных и интрузивных образований Таджикистана, 1976 / Баратов, Р. Б. (под ред.). Дониш, Душанбе.
- Репина, Л. Н., Яскович, Б. В., Аскарина, Н. А., 1975. Стратиграфия и фауна нижнего палеозоя северных предгорий Туркестанского и Алайского хребтов. Наука, Новосибирск.
- Риненберг, Р. Е., 1990. Стратиграфия силура Южного Тянь-Шаня. Илим, Фрунзе.

- Сайдыганиев, С. С., 2009. Рубидий-стронциевая геохронология магматических образований Среднего и Южного Тянь-Шаня. Рудные месторождения и металлогения 6, 17–24.
- Самбгин, С. Г., Хераскова, Т. Н., Курчатов, А. М., 2015. Тектоническое развитие Казахстана и Тянь-Шаня в неопротерозое и в раннем — среднем палеозое. Геотектоника 3, 66–92.
- Стратиграфический словарь Узбекистана, 2001 / Абдуазимова, З. М. (под ред.). Гидроингео, Ташкент.
- Стратифицированные и интрузивные образования Киргизии 1–2, 1982 / Осмонбетов, К. О. (под ред.). Илим, Фрунзе.
- Хаин, В. Е., 1984. Региональная геотектоника. Альпийский Средиземноморский пояс. Недра, Москва.
- Христов, Е. В., 1989. Новые данные о возрасте и тектонической позиции палеозойских отложений горного массива Хан-Тенгри. Доклады АН СССР 306(1), 166–168.
- Христов, Е. В., Миколайчук А. В., 1983. О догеосинклинальном основании коры Ферганско-Кокшальских герцинид. Геотектоника 3, 76–86.
- Христов, Е. В., Миколайчук, А. В., Козырев, В. И., 1986. Строение и состав офиолитов Северо-Восточной Ферганы. Известия АН СССР 2, 45–58.
- Шванов, В. Н., 1983. Литоформационные корреляции терригенных и метаморфических толщ. Южный Тянь-Шань. Изд-во Ленингр. ун-та, Ленинград.
- Alexeiev, D. V., Arisov, V. A., Degtyarev, K. E., 2007. The age and tectonic setting of volcanic and cherty sequences in the ophiolite complex of the Atbashi Ridge (South Tien Shan). Doklady Earth Sciences 413A(3), 380–383.
- Alexeiev, D. V., Cook, H. E., Djenchuraeva, A. V., Mikolaichuk, A. V., 2017. The stratigraphic, sedimentologic and structural evolution of the southern margin of the Kazakhstan continent in the Tien Shan Range during the Devonian to Permian, in: Brunet, M.-F., McCann, T., Sobel, E. R. (eds). Geological Evolution of Central Asian Basins and the Western Tien Shan Range. Geological Society, Special Publications 427, 231–269.
- Alexeiev, D. V., Kröner, A., Hegner, E., Rojas-Agramonte, Y., Biske, Yu. S., Wong, J., Geng, H. Y., Ivleva, E. A., Mühlberg, M., Mikolaichukh, A. V., Liu D., 2016. Middle to Late Ordovician arc system revealed in the Kyrgyz Middle Tianshan: from arc-continent collision to subsequent evolution of a Palaeozoic continental margin. Gondwana Research 39, 261–291.
- Atlas of geological maps of Central Asia and adjacent areas. Tectonic, 2008 / Hwang, J. H., Leonov, Yu., Li, T., Petrov, O. V., Tomurtogoo, O. (eds). Geological Publishing House, United Kingdom.
- Biske, Yu. S., Alexeiev, D. V., Djenchuraeva, A. V., Wang, B., Getman, O. F., Nogaeva, L. P., Liu, H. S., 2018. Continuous sections of the Devonian and Carboniferous carbonates and timing of collision in the Chinese South Tianshan. Doklady Earth Sciences 481(1), 842–846.
- Biske, Yu. S., Alexeiev, D. V., Wang, B., Wang, F., Getman, O. F., Jenchuraeva, A. V., Seltmann, R., Arisov, V. A., 2012. Structures of the Late Palaeozoic Thrust Belt in the Chinese South Tien Shan. Doklady Earth Sciences 442(1), 8–12.
- Biske, Yu. S., Seltmann, R., 2010. Paleozoic Tian-Shan as a transitional region between the Rheic and Urals-Turkestan oceans. Gondwana Research 17(2–3), 602–613.
- Brenckle, P. L., 2004. Late Visean (Mississippian) calcareous microfossils from the Tarim Basin of western China. Journal of Foraminiferal Research 34(2), 144–164.
- Burtman, V. S., 1975. Structural geology of Variscian Tien Shan, USSR. American Journal of Science 275-A, 157–186.
- Burtman, V. S., Skobelev, S. F., Molnar, P., 1996. Late Cenozoic slip on the Talas-Ferghana fault, the Tien Shan, Central Asia. GSA Bulletin 108, 1004–1021.
- Carroll, A. R., Graham, S. A., Chang, E., McKnight, C. L., 2001. Sinian through Permian tectonostratigraphic evolution of the northwestern Tarim basin, China, in: Palaeozoic and Mesozoic tectonic evolution of central and eastern Asia: from continental assembly to intracontinental deformation / Hendrix, M. S., Davis, G. (eds). Geological Society of American Memoir 194, 47–69.
- Charvet, J., Shu, L., Laurent-Charvet, S., 2007. Palaeozoic structural and geodynamic evolution of eastern Tianshan (NW China): welding of the Tarim and Junggar plates. Episodes 30 (3), 162–186
- Charvet, J., Shu, L., Laurent-Charvet, S., Wang, B., Faure, M., Cluzel, D., Chen, Y., De Jong, K., 2011. Palaeozoic tectonic evolution of the Tianshan belt, NW China. Science China, Earth Sciences 54(2), 166–184.
- Chen, B., Long, X., Yuan, C., Wang, Y., Sun, M., Xiao, W., Cai, K., Huang, Z., 2014. Geochronology and geochemistry of Late Ordovician–Early Devonian gneissic granites in the Kumishi area, northern margin of the South Tianshan Belt: Constraints on subduction process of the South Tianshan Ocean. Journal of Asian Earth Sciences 113(1), 1 December 2015, 293–309.

- Chen, Y., Hu, A., Zhang, G., Zhang, Q., 2000. Precambrian basement age and characteristics of Southwestern Tianshan: Zircon U—Pb geochronology and Nd—Sr isotopic compositions. *Acta Petrologica Sinica* 16(1), 91–98.
- Cheng, Z., Zhang, Z., Chai, F., Hou, T., Santosh, M., Turesebekov, A., Nurtaev, B.S., 2017. Carboniferous porphyry Cu—Au deposits in the Almalyk orefield, Uzbekistan: the Sarycheku and Kalmakyr examples. *International Geology Review* 60(1). URL: <https://doi.org/10.1080/00206814.2017.1309996>.
- Dan, W., Li, X.H., Wang, Q., Tang, G.-J., Liu, Y., 2014. An Early Permian (ca.280 Ma) silicic igneous province in the Alxa Block, NW China: a magmatic flare-up triggered by a mantle-plume? *Lithos* 204, 144–158.
- De Boorder, H., 2013. The Central European, Tarim and Siberian Large Igneous Provinces, Late Palaeozoic orogeny and coeval metallogeny. *Global Tectonics and Metallogeny* 10(1), 1–22. URL: <https://doi.org/10.1127/0163-3171/2013/0008>.
- De Grave, J., Glorie, S., Buslov, M.M., Izmer, A., Fournier-Carrie, A., Batalev, V.Yu., Vanhaecke, F., Elburg, M., Van den Haute, P., 2011. The thermo-tectonic history of the Song-Kul plateau, Kyrgyz Tien Shan: Constraints by apatite and titanite thermochronometry and zircon U/Pb dating. *Gondwana Research* 20, 745–763.
- Dolgoplova, A., Seltmann, R., Konopelko, D., Biske, Yu. S., Shatov, V., Armstrong, R., Belousova, E., Pankhurst, R., Koneev, R., Divaev, F., 2017. Geodynamic evolution of the western Tien Shan, Uzbekistan: Insights from U—Pb SHRIMP geochronology and Sr—Nd—Pb—Hf isotope mapping of granitoids. *Gondwana Research* 47, 76–109. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.10.022>.
- Domeier, M., 2017. Early Paleozoic tectonics of Asia: towards a full-plate model. *Geoscience Frontiers* 9(3), 789–862. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.11.012>.
- Dong, S., Li, Z., Jiang, L., 2016. The Ordovician—Silurian tectonic evolution of the northeastern margin of the Tarim block, NW China: Constraints from detrital zircon geochronological records. *Journal of Asian Earth Sciences* 122, 1–19.
- Filippova, I.B., Bush, V.A., Didenko, A.N., 2001. Middle Paleozoic subduction belts: The leading factor in the formation of the Central Asian fold-and-thrust belt. *Russian Journal of Earth Sciences* 3(6), 405–426.
- Gao, J., Klemd, R., 2003. Formation of HP-LT rocks and their tectonic implications in the western Tianshan Orogen, NW China; geochemical and age constraints. *Lithos* 66, 1–22.
- Ge, R., Zhu, W., Wu, H., Zheng, B., Zhu, X., He, J., 2012. The Paleozoic northern margin of the Tarim Craton: passive or active? *Lithos* 142–143, 1–15.
- Ge, R., Zhu, W., Wilde, S.A., He, J., Cui, X., Wang, X., Bihai, Z., 2014. Neoproterozoic to Paleozoic long-lived accretionary orogeny in the northern Tarim Craton. *Tectonics* 33, 302–329. URL: <https://doi.org/10.1002/2013TC003501>.
- Geological map of Chinese Tianshan and adjacent areas, scale 1 : 1 000 000, 2007 / Li, S. W., Xu, D. K. (eds). Geology Publishing House, Beijing.
- Glorie, S., De Grave, J., Buslov, M.M., Zhimulev, F.I., Stockli, D.F., Batalev, V.Y., Izmer, A., Van den Haute, P., Vanhaecke, F., Elburg, M.A., 2011. Tectonic history of the Kyrgyz South Tien Shan (Atbashi — Inylchek) suture zone: The role of inherited structures during deformation-propagation. *Tectonics* 30, TC6016. URL: <https://doi.org/10.1029/2011TC002949>
- Gou, L.-L., Zhang, L.-F., Tao, R.-B., Du, J.-X., 2012. A geochemical study of syn-subduction and post-collisional granitoids at Muzhaerte River in the Southwest Tianshan UHP belt, NW China. *Lithos* 136–139, 201–224.
- Han, B.F., He, G.Q., Wang, X.C., Guo, Z.J., 2011. Late Carboniferous collision between the Tarim and Kazakhstan — Yili terranes in the western segment of the South Tian Shan Orogen, Central Asia, and implications for the North Xinjiang, western China. *Earth-Science Reviews* 109, 74–93.
- Han, Y., Zhao, G., Sun, M., Eizenhöfer, P.R., Hou, W., Zhang, X., Liu, D., Wang, B., Zhang, G., 2015. Paleozoic accretionary orogenesis in the Paleo-Asian Ocean: Insights from detrital zircons from Silurian-Carboniferous strata at the northwestern margin of the Tarim Craton. *American Geophysical Union*. URL: <https://doi.org/10.1002/2014TC003668>.
- Han, Y., Zhao, G., Sun, M., Eizenhöfer, P.R., Hou, W., Zhang, X., Liu, Q., Wang, B., Liu, D., Xu, B., 2016. Late Paleozoic subduction and collision processes during the amalgamation of the Central Asian orogenic belt along the South Tianshan suture zone. *Lithos* 246–247, 1–12.
- Han, Y., Zhao G., 2017. Final amalgamation of the Tianshan and Junggar orogenic collage in the southwestern Central Asian orogenic belt: Constraints on the closure of the Paleo-Asian Ocean. *Earth-Science Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.09.012>.

- He, Z., Wang, B., Zhong, L., Zhu, X., 2018. Crustal evolution of the Central Tianshan Block: Insights from zircon U—Pb isotopic and structural data from meta-sedimentary and meta-igneous rocks along the Wulasitai—Wulanmoren shear zone. *Precambrian Research* 314, 111–128.
- He, P.-L., Huang, X.-L., Xu, Y.-G., Li, H.-Y., Wang, X., Li, W.-X., 2016. Plume-orogenic lithosphere interaction recorded in the Haladala layered intrusion in the Southwest Tianshan Orogen, NW China, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 121, 1525–1545. URL: <https://doi.org/10.1002/2015JB012652>.
- Hegner, E., Klemd, R., Kroner, A., Corsini, M., Alexeiev, D. V., Iaccheri, L. M., Zack, T., Dulski, P., Xia, X., Windley, B. F., 2010. Mineral ages and P—T conditions of late Paleozoic high-pressure eclogite and provenance of melange sediments from Atbashi in the South Tianshan orogen of Kyrgyzstan. *American Journal of Science* 310, 916–950.
- Huang, H., Zhang, Z., Santosh, M., Zhang, D., Zhao, Z., Liu, J., 2013. Early Paleozoic tectonic evolution of the South Tianshan collisional belt: evidence from geochemistry and zircon U—Pb geochronology of the Tie'reke monzonite pluton, Northwest China. *The Journal of Geology* 121(4), 401–424.
- Huang, H., Zhang, Zh., Santosh, M., Cheng, Zh., Wang, T., 2018. Crustal evolution in the South Tianshan Terrane: Constraints from detrital zircon geochronology and implications for continental growth in the Central Asian orogenic belt. *Geological Journal* 1–22. URL: <https://doi.org/10.1002/gj.3235>.
- Jiang, T., Gao, J., Klemd, R., Qian, Q., Zhang, X., Xiong, X. M., Wang, X. S., Tan, Z., Chen, B. X., 2014. Paleozoic ophiolitic mélanges from the South Tianshan Orogen, NW China: geological, geochemical and geochronological implications for the geodynamic setting. *Tectonophysics* 612–613, 106–127. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.11.038>.
- Jourdon, A., Petit, C., Rolland, Y., Loury, C., Bellahsen, N., Guillot, S., Le Pourhieu, L., Ganino, C., 2017. New structural data on Late Paleozoic tectonics in the Kyrgyz Tien Shan (Central Asian orogenic belt). *Gondwana Researches* 46, 57–78.
- Ju, W., Hou, G., 2014. Late Permian to Triassic intraplate orogeny of the southern Tianshan and adjacent regions, NW China. *Geoscience Frontiers* 5, 83–93.
- Käbner, A., Ratschbacher, L., Pfänder, J. A., Hacker, B. R., Zack, G., Sonntag, B. L., Jahanzeb, K., Stanek, K. P., Gadoev, M., Oimahmadov, I., 2016. Proterozoic — Mesozoic history of the Central Asian orogenic belt in the Tajik and southwestern Kyrgyz Tian Shan: U—Pb, ⁴⁰Ar/³⁹Ar, and fission-track geochronology and geochemistry of granitoids. *GSA Bulletin* 129(3–4), 281–303. URL: <https://doi.org/10.1130/B31466.1>.
- Khain, V. E., 1984. Regional geotectonics. The Alpine Mediterranean Belt. Nedra, Moscow. (In Russian)
- Klemd, R., John, T., Scherer, E. E., Rondenay, S., Gao, J., 2011. Changes in dip of subducted slabs at depth: Petrological and geochronological evidence from HP—UHP rocks (Tianshan, NW-China). *Earth and Planetary Sciences Letters* 310, 9–20.
- Konopelko, D., Biske, G., Seltmann, R., Eklund, O., Belyatsky, B., 2007. Hercynian post-collisional A-type granites of the Kokshaal range, Southern Tien-Shan, Kyrgyzstan. *Lithos* 97, 140–160.
- Konopelko, D., Klemd, R., Mamadjanov, Y., Hegner, E., Knorsch, M., Fidaev, D., Sergeev, S., 2015. Permian age of orogenic thickening and crustal melting in the Garm Block, South Tien Shan, Tajikistan. *Journal of Asian Earth Sciences* 113, 711–727.
- Konopelko, D., Klemd, R., Petrov, S. V., Apayarov, F., Nazaraliev, B., Vokueva, O., Scherstén, A., Sergeev, S., 2017a. Precambrian gold mineralization at Djamgyr in the Kyrgyz Tien-Shan: tectonic and metallogenic implications. *Ore Geology Reviews* 86, 537–547. URL: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.03.007>.
- Konopelko, D., Seltmann, R., Mamadjanov, Y., Romer, R. L., Rojas-Agramonte, Y., Jeffries, T., Fidaev, D., Niyozov, A., 2017b. A geotraverse across two paleo-subduction zones in Tien Shan, Tajikistan. *Gondwana Research* 47, 110–130. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.09.010>.
- Konopelko, D., Wilde, S. A., Seltmann, R., Romer, R. L., Biske, Yu. S., 2018. Early Permian intrusions of the Alai range: understanding tectonic settings of Hercynian post-collisional magmatism in the South Tien Shan, Kyrgyzstan. *Lithos* 302–303, 405–420.
- Kröner, A., Alexeiev, D. V., Kovach, V. P., Rojas-Agramonte, Y., Tretyakov, A. A., Mikolaichuk, A. V., Xie, H., Sobel, E. R., 2017. Zircon ages, geochemistry and Nd isotopic systematics for the Palaeoproterozoic 2.3–1.8 Ga Kuilyu Complex, East Kyrgyzstan — The oldest continental basement fragment in the Tianshan orogenic belt. *Journal of Asian Earth Sciences* 135, 122–135.
- Kröner, A., Alexeiev, D. V., Rojas-Agramonte, Y., Hegner, E., Wong, J., Xia, X., Belousova, E., Mikolaichuk, A., Seltmann, R., Liu, D., Kiselev, V., 2013. Mesoproterozoic (Grenville-age) terranes in the Kyrgyz North

- Tianshan: Zircon ages and Nd—Hf isotopic constraints on the origin and evolution of basement blocks in the southern Central Asian Orogen. *Gondwana Research* 23, 272–295.
- Laurent-Charvet, S., Charvet, J., Shu, L. S., Ma, R. S., Lu, H. F., 2002. Palaeozoic late collisional strike slip deformations in Tianshan and Altay, eastern Xinjiang, NW China. *Terra Nova* 14, 249–256.
- Geological map of Chinese Tianshan and adjacent areas, scale 1 : 1 000 000, 2007 / Li, S. W., Xu, D. K. (eds). Geology publishing house, Beijing.
- Li, Y., Sun, L., Wu, H., Wang, G., Yang, C., Peng, G., 2005. Permo-Carboniferous radiolaria from the Wupatarkan Group, west terminal of Chinese South Tianshan. *Scientia Geologica Sinica* 40, 220–226.
- Li, Z., Chen, H., Song, B. Li, Y., Yang, S., Yu, X., 2011. Temporal evolution of the Permian large igneous province in Tarim Basin in northwestern China. *Journal of Asian Earth Sciences* 42, 917–927.
- Lin, W., Chu, Y., Ji, W. B., Zhang, Z. P., Shi, Y. H., Wang, Z. Y., Li, Z., Wang, Q. C., 2013. Geochronological and geochemical constraints for a middle Paleozoic continental arc on the northern margin of the Tarim block: Implications for the Paleozoic tectonic evolution of the South Chinese Tianshan. *Lithosphere* 5, 355–381.
- Lin, C., Yang, H., Liu, J., Rui, Z., Cai, Z., Zhu, Y., 2012. Distribution and erosion of the Paleozoic tectonic unconformities in the Tarim Basin, Northwest China: significance for the evolution of paleo-uplifts and tectonic geography during deformation. *Journal of Asian Earth Sciences* 46, 1–19.
- Liu, D., Guo, Z., Jolivet, M., Cheng, F., Song, Y., Zhang, Z., 2014. Petrology and geochemistry of Early Permian volcanic rocks in South Tian Shan, NW China: implications for the tectonic evolution and Phanerozoic continental growth. *International Journal of Earth Sciences* 103, 737–756. URL: <https://doi.org/10.1007/s00531-013-0994-1>.
- Liu, J., Lin, C., Li, S., Cai, Z., Xia, S., Fu, C., Liu, Y., 2012. Detrital zircon U—Pb geochronology and its provenance implications on Silurian Tarim basin. *Journal of Earth Science* 23(4), 455–475.
- Long, L. L., Gao, J., Wang, J. B., Qian, Q., Xiong, X. M., Wang, Y. W., Wang, L. Y., Gao, L. M., 2008. Geochemistry and SHRIMP zircon age of post-collisional granites in the southwest Tianshan orogenic belt of China: examples from the Heiyingshan and Laohutai plutons. *Acta Geologica Sinica* 82, 2, 415–424.
- Long, L., Gao, J., Klemd, R., Beier, C., Qian, Q., Zhang, X., Wang, J., Jiang, T., 2011. Geochemical and geochronological studies of granitoid rocks from the Western Tianshan Orogen: Implications for continental growth in the southwestern Central Asian orogenic belt. *Lithos* 126, 321–340.
- Loury, C., Rolland, Y., Guillot, S., Mikolaichuk, A. V., Lanari, P., Bruguier, O., Bosch, D., 2015. Crustalscale structure of South Tien Shan: implications for subduction polarity and Cenozoic reactivation, in: *Geological Evolution of Central Asian Basins and the Western Tien-Shan Range* / Brunet, M. F., McCann, T., Sobel, E. R. (eds). The Geological Society of London. URL: <https://doi.org/10.1144/SP427.4>.
- Loury, C., Rolland, Y.-B., Lanaric, P., Guillot, S., Bosch, D., Ganino, C., Jourdon, A., Petit, C., Gallet, S., Monié, P., Riel, N., 2018. Permian charnockites in the Pobeda area: implications for Tarim mantle plume activity and HT metamorphism in the South Tien Shan range. *Lithos* 304–307, 135–154.
- Luo, J., Zhang, J., Wang, C., Che, Z., Liu, L., 2010. Early Permian post-collisional granitoid magmatism on the northwestern margin of Tarim basin and its tectonic significance. *Scientia Geologica Sinica* 45(1), 66–79.
- Ma, X., Shu, L., Meerth, J. G., Li, J., 2014. The Paleozoic evolution of Central Tianshan: Geochemical and geochronological evidence. *Gondwana Research* 25, 2, 797–819.
- Mühlberg, M., Hegner, E., Klemd, R., Pfänder, J., Kaliwoda, M., Biske, Yu. S., 2016. Late Carboniferous high-pressure metamorphism of the Kassar Metamorphic Complex (Kyrgyz Tianshan) and final assembly of the SW Central Asian orogenic belt. *Lithos* 264, 41–55.
- Popov, L. E., Bassett, M. G., Zhemchuzhnikov, V. G., Lars, E., Holmer, L. E., Klishevich, I. A., 2009. Gondwanan faunal signatures from early Palaeozoic terranes of Kazakhstan and Central Asia: evidence and tectonic implications, in: *Early Palaeozoic Peri-Gondwanan Terranes: New Insights from Tectonics and Biogeography* / Bassett, M. G. (ed.). The Geological Society (Special Publications) 325, 23–64.
- Pu, X. F., Song, S. G., Zhang, L. F., Wei, C. J., 2011. Silurian arc volcanic slices and their tectonic implications in the southwestern Tianshan UHPM belt, NW China. *Acta Petrologica Sinica* 27(6), 1675–1687.
- Qin, K., Su, B., Asamoah, S. P., Tang, D., Sun, H., Xiao, Q., Liu, P., 2011. SIMS zircon U—Pb geochronology and Sr-Nd isotopes of Ni-Cu-bearing mafic-ultramafic intrusions in Eastern Tianshan and Beishan in correlation with flood basalts in Tarim basin (NW China): constraints on a ca. 280 Ma mantle plume. *American Journal of Science* 311, 237–260. URL: <https://doi.org/10.2475/03.2011.03>.
- Ren, R., Guan, S.-W., Han, B.-F., Su, L., 2017. Chronological constraints on the tectonic evolution of the Chinese Tianshan Orogen through detrital zircons from modern and palaeo-river sands. *International Geology Review*. URL: <https://doi.org/10.1080/00206814.2017.1292468>.

- Rolland, Y., Alexeiev, D. V., Kröner, A., Corsini, M., Loury, Ch., Monié, P., 2013. Late Palaeozoic to Mesozoic kinematic history of the Talas–Fergana strike-slip fault (Kyrgyz West Tianshan) as revealed by ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of syn-kinematic white mica. *Journal of Asian Earth Sciences* 67–68, 76–92.
- Rojas-Agramonte, Y., Kröner, A., Alexeiev, D. V., Jeffreys, T., Khudoley, A. K., Wong, J., Geng, H., Shu, L., Semiletkin, S. A., Mikolaichuk, A. V., Kiselev, V. V., Yang, J., Seltmann, R., 2014. Detrital and igneous zircon ages for supracrustal rocks of the Kyrgyz Tianshan and palaeogeographic implications. *Gondwana Research* 26, 957–974.
- Safonova, I., Biske, G., Romer, R. L., Seltmann, R., Simonov, V., Maruyama, S., 2016. Middle Paleozoic mafic magmatism and ocean plate stratigraphy of the South Tianshan, Kyrgyzstan. *Gondwana Research* 30, 236–256.
- Sang, M., Xiao, W., Orozbaev, R., Bakirov, A., Sakiev, K., Pak, N., Ivleva, E., Zhou, K., Ao, S., Qiao, Q., Zhang, Z., 2018. Structural styles and zircon ages of the South Tianshan accretionary complex, Atbashi Ridge, Kyrgyzstan: insights for the anatomy of ocean plate stratigraphy and accretionary processes. *Journal of Asian Earth Sciences* 153, 9–41. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseas.2017.07.052>.
- Seltmann, R., Konopelko, D., Biske, G., Divaev, F., Sergeev, S., 2011. Hercynian post-collisional magmatism in the context of Paleozoic magmatism evolution of the Tien Shan orogenic belt. *Journal of Asian Earth Sciences* 42, 821–828.
- Şengör, A. M. C., Natal'in, B. A., Burtman, V. S., 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia. *Nature* 364, 299–307.
- Solomovich, L. I., Trifonov, B. A., 2014. Rapakivi granites within Phanerozoic collisional orogens as a possible consequence of continental subduction and following exhumation of the Precambrian crust: Evidences from the Permian Jangart rapakivi in South Tien Shan collisional belt, Eastern Kyrgyzstan. *Journal of Asian Earth Sciences* 96, 332–343.
- Tectonic Map, scale 1 : 5 000 000, 2007 / Hwang, J. H., Leonov, Yu., Li, Tingdong, Petrov, O. V., Tomurtogoo, O. (eds), in: Atlas of geological maps of Central Asia and adjacent areas. Geological Publishing House, S.-Petersburg.
- Volkova, N. I., Budanov, V. I., 1999. Geochemical discrimination of metabasalt rocks of the Fan—Karategin transitional blueschistgreenschist belt, South Tianshan, Tajikistan: seamount volcanism and accretionary tectonics. *Lithos* 47, 201–216.
- Vrublevskii, V. V., Morova, A. A., Bukharova, O. V., Konovalenko, S. I., 2018. Mineralogy and geochemistry of triassic carbonatites in the Matcha alkaline intrusive complex (Turkestan—Alai Ridge, Kyrgyz Southern Tien Shan), SW Central Asian orogenic belt. *Journal of Asian Earth Sciences* 153, 252–281.
- Wang, B., Faure, M., Cluzel, D., Shu, L. S., Charvet, J., Meffre, S., Ma, Q., 2006. Late Paleozoic tectonic evolution of the northern West Chinese Tianshan Belt. *Geodinamica Acta* 19, 227–237.
- Wang, B., Shu, L., Faure, M., Jahn, B.-M., Cluzel, D., Charvet, J., Chung, S., Meffre, S., 2011. Paleozoic tectonics of the southern Chinese Tianshan: Insights from structural, chronological and geochemical studies of the Heiyingshan ophiolitic mélange (NW China). *Tectonophysics* 497, 85–104.
- Wang, B., Zhai, Y., Kapp, P., de Jong, K., Zhong, L., Liu, H., Ma, Y., Gong, H., Geng, H., 2017. Accretionary tectonics of back-arc oceanic basins in the South Tianshan: Insights from structural, geochronological, and geochemical studies of the Wuwamen ophiolite mélange. *Geological Society of America Bulletin* 130, 284–306. URL: <https://doi.org/10.1130/B31397.1>
- Wang, B., Chen, B., Ji, W., Hong, J., Yang, B., Meng, G., Cao, J., 2016. Geological features of Djanyjer ophiolitic mélange and chronology of gabbro in Kyrgyz South Tianshan. *Frontiers* 23(3), 198–209.
- Wang, M., Zhang, J., Zhan, B., Liu, K., Ge, M., 2016. Bi-directional subduction of the South Tianshan Ocean during the Late Silurian: Magmatic records from both the southern Central Tianshan Block and northern Tarim Craton. *Journal of Asian Earth Sciences* 128, 64–78.
- Wang, X.-S., Gao, J., Klemd, R., Jiang, T., Li, J.-L., Zhang, X., Xue, S.-C., 2017. The Central Tianshan Block: A microcontinent with a Neoproterozoic–Paleoproterozoic basement in the southwestern Central Asian orogenic belt. *Precambrian Research* 25, 130–150.
- Wang, X. S., Gao, J., Klemd, R., Tuo, J., Lia, J. L., Zhang, X., Tan, Z., Lia, L., Zhu, Z. X., 2014. Geochemistry and geochronology of the Precambrian high-grade metamorphic complex in the Southern Central Tianshan ophiolitic mélange, NW China. *Precambrian Research* 254, 129–148.
- Wang, X.-S., Klemd, R., Gao, J., Jiang, T., Li, J.-L., Xue, S.-C., 2018. Final assembly of the southwestern Central Asian orogenic belt as constrained by the evolution of the South Tianshan Orogen: Links with Gondwana and Pangea. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 123(9). URL: <https://doi.org/10.1029/2018JB015689>.

- Wang, Z., Wu, J., Li, X., Zhang, J., Liu, C., 1990. Polycyclic tectonic evolution and metallogeny of the Tianshan mountains. Science Press, Beijing.
- Wilhem, C., Windley, B. F., Stampfli, G. M., 2012. The Altaids of Central Asia: A tectonic and evolutionary innovative review. *Earth-Science Reviews* 113, 303–341.
- Windley, B. F., Alexeiev, D., Xiao, W. J., Kröner, A., Badarch, G., 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian orogenic belt. *Journal of the Geological Society* 164, 31–47.
- Worthington, J. R., Kapp, P., Minaev, V., Chapman, J. B., Mazdab, F. K., Ducea, M. N., Oimahmadov, I., Gadoev, M., 2017. Birth, life, and death of the Andean-syn collisional Gissar arc: Late Paleozoic tectono-magmatic-metamorphic evolution of the southwestern Tian Shan, Tajikistan. *AGU Publications* 36(10). URL: <https://doi.org/10.1002/2016TC004285>.
- Xiao, W., Windley, B. F., Han, C., Yuan, C., Sun, M., Li, J., Sun, S., 2009. End-Permian to Mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altaids: Implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia. *International Journal of Earth Sciences* 98(6), 1189–1217.
- Xiao, W., Windley, B. F., Allen, M. B., Han, C., 2013. Paleozoic multiple accretionary and collisional tectonics of the Chinese Tianshan orogenic collage. *Gondwana Research* 23, 1316–1341.
- Yang, H. B., Gao, P., Li, B., Zhang, Q. J., 2005. The geological character of the Sinian Dalubayi ophiolite in the west Tianshan, Xinjiang. *Xinjiang Geology* 23(2), 123–126.
- Yu, X., Yang, S.-F., Chen, H.-L., Chen, Z.-Q., Li, Z.-L., Batt, G. E., Li, Y.-Q., 2011. Permian flood basalts from the Tarim Basin, Northwest China: SHRIMP zircon U–Pb dating and geochemical characteristics. *Gondwana Research* 20, 485–497.
- Zhang, C.-L., Li, Z.-X., Li, X.-H., Xu, Y.-G., Zhou, G., Ye, H.-M., 2010. A Permian large igneous province in Tarim and Central Asian orogenic belt, NW China: Results of a ca. 275 Ma mantle plume? *GSA Bulletin* 122(11/12), 2020–2040.
- Zhang, C.-L., Zhu, H.-B., Li, H.-K., Wang, H.-Y., 2012. Tectonic framework and evolution of the Tarim block, NW China: a review. *Gondwana Research* 23(4), 1306–1315. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.05.009>.
- Zhang, D. Y., Zhang, Z. C., Santosh, M., Cheng, Z., He, H., Kang, J., 2013b. Perovskite and baddeleyite from kimberlitic intrusions in the Tarim large igneous province signal the onset of an end-Carboniferous mantle plume. *Earth and Planetary Science Letters* 361, 238–248.
- Zhang, Y., Xiao, X., 2010. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating on the late devonian volcanic rocks from Kuruktag and its implications for regional geology, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica* 26(1), 302–308.
- Zhao, Z., Zhang, Z., Santosh, M., Huang, H., Cheng, Z., Ye, J., 2015. Early Paleozoic magmatic record from the northern margin of the Tarim Craton: Further insights on the evolution of the Central Asian orogenic belt. *Gondwana Research* 28(1), 328–347.
- Zhong, L., Wang, B., Shu, L., Liu, H., Mu, L., Ma, Y., Zhai, Y., 2015. Structural overprints of early Paleozoic arc-related intrusive rocks in the Chinese Central Tianshan: Implications for Paleozoic accretionary tectonics in SW Central Asian orogenic belts. *Journal of Asian Earth Sciences* 113(1), 194–217. URL: <https://doi.org/10.1016>.
- Zhong, L., Wang, B., Alexeiev, D. V., Cao, Y., Biske, Yu. S., Liu, H., Zhai, Y., Xing, L., 2017. Paleozoic multi-stage accretionary evolution of the SW Chinese Tianshan: new constraints from plutonic complex in the Nalati Range. *Gondwana Researches* 45, 254–274.

Статья поступила в редакцию 13 июня 2018 г.
Статья рекомендована в печать 15 октября 2018 г.

Контактная информация:

Бискэ Юрий Сергеевич — gbiske@hotmail.com

The Southern Tian-Shan: Upgrading the geologic synthesis

Yu. S. Biske

St. Petersburg State University,
7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

For citation: Biske Y. S. The Southern Tian-Shan: Upgrading the geologic synthesis. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 2018, vol. 63, issue 4, pp. 416–462. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2018.403> (In Russian)

New geological results concerning the 2500 km length Southern Tian-Shan (STS) Late Paleozoic collisional belt are revised. The STS basement consists mainly of Proterozoic continental crust fragments. Precambrian terrains of the STS immediate environment (Ishim-Naryn microcontinent with its Middle Tian-Shan outcrop, Central Tian-Shan, Karakum-Tajik, Tarim) as well as presumed blocks inside the STS belt (Kyzylkum-Alay etc.) embrace the ancient Precambrian crust of ca. 2700–1800 Ma and its parts that were reworked and converged in the Late Proterozoic (900–600 Ma) active margin. The STS orogenic belt in the Turkestan ocean had emerged not later than 750 Ma in the Kyzylkum segment; before the Middle Ordovician in the central segment between Tarim and Central TS terrains; not later than Late Ordovician in the eastern (Chinese) segment. Active margins or Paleozoic island arc magmatism started in the Late Ordovician and developed in the Silurian — Early Devonian. Passive margin sedimentation in Devonian to Early Carboniferous expands thanks to intraplate basalt or bimodal volcanism. The general convergence with some back-arc rifting and spreading resumed in Visean and completed with continental collision in the Late Carboniferous. The great Bukantau — Kokshaal — Halyktau top-to-the-south thrust belt is the most expressive result of the collision, despite the fact that some top-to-the-north thrusts, both earlier and later, are also known. The Mississippian and Early Pennsylvanian magmatism of the active Kazakhstan margin as well as HP-UHP metamorphism emerged in the northern flank of the STS suture in the rear position to the main thrust belt direction. This active margin is better-presented in the western STS segment and implies greater volume of the ocean space consumed here. The Early Permian post-collisional magmatism of the STS and its frame, 290–270 Ma at its peak, presents a variety of granitoids, alkali rocks and also basalts with some ultrabasites. Among them are Rapakivi-type A-granite magmas that intruded the marginal (lower) part of the Kokshaal-Halyktau thrust continuity and expanded the Tarim margin in the unusual frontal position. This could be the result of Tarim mantle plum impact. In the Central Asian Orogenic Belt, well manifested alpine-type structure of STS, as much as poor persistence of ophiolites, absence of primitive arcs, keep the STS aside of accretionary “Altaids” such as the Eastern Kazakhstan or Junggar margin of the same Tian-Shan mountains.

Keywords: Southern Tien Shan, Paleozoic, Precambrian crust, ophiolites, suprasubduction magmatism, collisional magmatism, metamorphic complexes, Tarim plume.

References

- Abakumova, L. N., Shinkarev, N. F., 1994. Ofiolity Alaia — indikatory geodinamicheskogo rezhima [Ophiolites of the Alai Range as indicators of the Geodynamic regime]. Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography (2), 10–20. (In Russian)
- Akhmedjanov, M. A., Abdullaev, R. N., Borisov, O. M., Mirkhojaev, I. M., Khokhlov, V. A., 1975. Dokembrii Sredinnogo i Iuzhnogo Tian'-Shania [Precambrian of the Middle and the Southern Tian-Shan]. Fan, Tashkent. (In Russian)
- Alexeiev D. V., Biske Yu. S., Wang B., Djenchuraeva A. V., Getman O. F., Aristov V. A., Kröner A., Liu H. S., Zhon L. L., 2015. Tektonicheskoe raionirovanie i paleozoiskaia evoliutsiia kitaiskogo Iuzhnogo Tian'-Shania [Tectono-stratigraphic framework and Palaeozoic evolution of the Chinese South Tianshan]. Geotektonika [Geotectonics] 49(2), 93–122. Available at: <https://doi.org/10.1134/S0016852115020028>. (In Russian)
- Alexeiev, D. V., Aristov, V. A., Degtyarev, K. E., 2007. Vozrast i tektonicheskaya pozitsiia vulkanogenno-kremnistykh tolshch v ofiolitovom komplekse khrebtta Atbashi (Iuzhnyi Tian'-Shan') [The age and tectonic setting of volcanic and cherty sequences in the ophiolite complex of the Atbashi Ridge (South Tien Shan)]. Doklady RAS 413(3), 380–383. (In Russian)
- Alexeiev, D. V., Cook, H. E., Djenchuraeva, A. V., Mikolaichuk, A. V., 2017. The stratigraphic, sedimentologic and structural evolution of the southern margin of the Kazakhstan continent in the Tien Shan Range during the Devonian to Permian, in: Brunet, M.-F., McCann, T., Sobel, E. R. (eds). Geological

- Evolution of Central Asian Basins and the Western Tien Shan Range. Geological Society, Special Publications 427, 231–269.
- Alexeiev, D. V., Kröner, A., Hegner, E., Rojas-Agramonte, Y., Biske, Yu. S., Wong, J., Geng, H. Y., Ivleva, E. A., Mühlberg, M., Mikolaichuk, A. V., Liu, D., 2016. Middle to Late Ordovician arc system revealed in the Kyrgyz Middle Tianshan: from arc-continent collision to subsequent evolution of a Palaeozoic continental margin. *Gondwana Research* 39, 261–291.
- Atlas of geological maps of Central Asia and adjacent areas. Tectonic, 2008 / Hwang, J. H., Leonov, Yu., Li, T., Petrov, O. V., Tomurtogoo, O. (eds). Geological Publishing House, United Kingdom.
- Bakirov, A. B., 1978. Tektonicheskaia pozitsiia metamorficheskikh kompleksov Tian'-Shania [Tectonic position of metamorphic complexes of the Tian-Shan]. Ilim, Frunze. (In Russian)
- Baratov, R. B., Lutkov, V. S., Minaev, V. Ye., Starshinin, D. A., Fedorov, G. B., 1983. Vulkanizm i stroenie litosfery Katarmai-Iagnobskogo glaukofan-zelenoslantsevogo poiasa (Iuzhnyi Tian'-Shan') [Vulcanism and lithosphere structure of the Katarmai-Yagnob glaukophan-greenstone belt (Southern Tian-Shan)]. *Doklady AN SSSR*, 273, 958–964. (In Russian)
- Bardashev, I. A., 2008. Stratigrafiia devona Turkestano-Zeravshanskoi strukturno-fatsial'noi zony Iuzhnogo Tian'-Shania [Devonian stratigraphy of the Turkestano-Zeravshan structure -facial zone of the Southern Tian-Shan]. *Biull. Mosk. ob-va isp. prirody. Otd geol. [BMOIP (Bull. Moscow Natur. Soc.), Geol. Ser.]* 83(6), 27–52. (In Russian)
- Bel'kova, L. N., Ognev, V. N., Kangro, O. G., 1969. Dokembrii Iuzhnogo Tian'-Shania i Kyzylkumov [Precambrian of the Southern Tian-Shan and Kyzylkum]. Nedra, Moscow. (In Russian)
- Bel'kova, L. N., Ognev, V. N., Kangro, O. G., 1969. Dokembrii Srednego Tian'-Shania [Precambrian of the Middle Tian-Shan]. Nedra, Moscow. (In Russian)
- Biske, Yu. S., 1987. Nizhnii paleozoi Iuzhnoi Fergany: strukturnaia pozitsiia, stratigrafiia, geologicheskaiia istoriia [Lower Paleozoic of the Southern Fergana: structural position, stratigraphy, geological history]. *Vestnik Leningradskogo un-ta [Vestnik of Leningrad State University]. Series 7. Geology. Geography* (1), 3–11. (In Russian)
- Biske, Yu. S., 1996. Paleozoiskaia struktura i istoriia Iuzhnogo Tian'-Shania [Paleozoic structure and history of the Southern Tian-Shan]. St. Petersburg University Press, St. Petersburg. (In Russian)
- Biske, Yu. S., 2004. Tian'-Shan'skaia skladchataia sistema. 2. Paleozoiskii Iuzhnyi Tian'-Shan' i Kyzylkumy [Tian-Shan fold system. 2. Paleozoic Southern Tian-Shan and Kyzylkum]. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography* (2), 13–30. (In Russian)
- Biske, Yu. S., Alexeiev, D. V., Djenchuraeva, A. V., Wang, B., Getman, O. F., Nogaeva, L. P., Liu, H. S., 2018. Continuous sections of the Devonian and Carboniferous carbonates and timing of collision in the Chinese South Tianshan. *Doklady Earth Sciences* 481(1), 842–846.
- Biske, Yu. S., Alexeiev, D. V., Wang, B., Wang, F., Getman, O. F., Djenchuraeva, A. V., Seltmann, R., Aristov, V. A., 2012. Struktury pozdnepaleozoiskogo nadvigovogo poiasa kitaiskogo Iuzhnogo Tian'-Shania [Structures of the Late Palaeozoic Thrust Belt in the Chinese South Tian Shan]. *Doklady RAN [Doklady Earth Sciences]* 442(1), 8–12. (In Russian)
- Biske, Yu. S., Dzenchuraeva, A. V., Neevin, A. V., Vorob'ev, T. Yu., 2003. Stratigrafiia srednego — verkhnego paleozoiia i paleogeografiia oblasti perekhoda Turkestanskii ocean — Tarimskii kontinent (Tian'-Shan') [The Middle-Upper Paleozoic Stratigraphy and Paleogeography of the Transitional Area between the Turkestan Ocean and Tarim Continent (Tien Shan)]. *Stratigrafiia. Geologicheskaiia korreliatsiia [Stratigraphy. Geological Correlation]* 11(6), 45–57. (In Russian)
- Biske, Yu. S., Konopelko, D. L., Seltmann, R., 2013. Geodinamika pozdnepaleozoiskogo magmatizma Tian'-Shania i ego obramleniia [Geodynamics of late Paleozoic magmatism in the Tien Shan and its framework]. *Geotektonika [Geotectonics]* 47(4), 291–309. (In Russian)
- Biske, Yu. S., Seltmann, R., 2010. Paleozoic Tian-Shan as a transitional region between the Rheic and Urals-Turkestan oceans. *Gondwana Research* 17(2–3), 602–613.
- Biske, Yu. S., Shilov, G. G., 1998. Stroenie severnoi okrainy Tarimskogo massiva v vostochno-kokshaal'skom sektore Tian'-Shania [Structure of the Tarim massive northern margin in the east of the Kokshaal Range, Tian-Shan]. *Geotektonika [Geotectonics]* 2, 51–59. (In Russian)
- Biske, Yu. S., Zubtsov, S. Ye., Porshniakov, G. S., 1986. Gertsinidy Atbashi-Kokshaal'skogo raiona Iuzhnogo Tian'-Shania [Hercynides of the Anbashi-Kokshaal region in the Southern Tian-Shan]. Leningrad University Publishing House, Leningrad. (In Russian)
- Brenckle, P. L., 2004. Late Visian (Mississippian) calcareous microfossils from the Tarim Basin of western China. *Journal of Foraminiferal Research* 34(2), 144–164.

- Bukharin, A. K., Maslennikova, I. A., Piatkov, A. K., 1985. Domezozoiskie strukturno-fatsial'nye zony Zapadnogo Tian'-Shania [Pre-Mezozoic structure-facial zones of the Western Tian-Shan]. Fan, Tashkent, 1985. (In Russian)
- Burtman V.S., 1976. Strukturnaia evoliutsiia paleozoiskikh skladchatykh sistem: varistsidy Tian'-Shania i Kaledonidy Severnoi Evropy [Structural evolution of Paleozoic fold systems: Variscian Tien Shan and Caledonian Northern Europe]. Nauka, Moscow. (In Russian)
- Burtman V.S., 2015. Tektonika i geodinamika Tian'-Shania v srednem i pozdnem paleozoe [Tectonics and geodynamics of the Tian Shan in the Middle and Late Paleozoic]. Geotektonika [Geotectonics] 4, 302–319. Available at: <https://doi.org/10.7868/S0016853X15040025>. (In Russian)
- Burtman V.S., Dvorova A. V., 2018. Kazakhstanskii i Tarimskii mikrokontinenty na devonskikh paleotektonicheskikh rekonstruktsiiaakh. Litosfera [Kazakhstan and Tarim microcontinents on the Devonian paleotectonic reconstructions. Litosphera] 18, 2, 314–321. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2018-18-2-314-321>. (In Russian)
- Burtman, V.S., 1975. Structural geology of Variscian Tien Shan, USSR. American Journal of Science 275-A, 157–186.
- Burtman, V.S., 2006. Tian'-Shan' i Vysokaia Azia. Tektonika i geodinamika v paleozoe [Tian Shan and High Asia: Tectonics and Geodynamics in the Paleozoic]. GEOS, Moscow. (In Russian)
- Burtman, V.S., Skobelev, S.F., Molnar, P., 1996. Late Cenozoic slip on the Talas-Ferghana fault, the Tien Shan, Central Asia. GSA Bulletin 108, 1004–1021.
- Carroll, A. R., Graham, S. A., Chang, E., McKnight, C. L., 2001. Sinian through Permian tectonostratigraphic evolution of the northwestern Tarim basin, China, in: Palaeozoic and Mesozoic tectonic evolution of central and eastern Asia: from continental assembly to intracontinental deformation / Hendrix, M.S., Davis, G. (eds). Geological Society of American Memoir 194, 47–69.
- Charvet, J., Shu, L., Laurent-Charvet, S., 2007. Palaeozoic structural and geodynamic evolution of eastern Tianshan (NW China): welding of the Tarim and Junggar plates. Episodes 30 (3), 162–186.
- Charvet, J., Shu, L., Laurent-Charvet, S., Wang, B., Faure, M., Cluzel, D., Chen, Y., De Jong, K., 2011. Palaeozoic tectonic evolution of the Tianshan belt, NW China. Science China, Earth Sciences 54 (2), 166–184.
- Chen, B., Long, X., Yuan, C., Wang, Y., Sun, M., Xiao, W., Cai, K., Huang, Z., 2014. Geochronology and geochemistry of Late Ordovician–Early Devonian gneissic granites in the Kumishi area, northern margin of the South Tianshan Belt: Constraints on subduction process of the South Tianshan Ocean. Journal of Asian Earth Sciences 113(1), 1 December 2015, 293–309.
- Chen, Y., Hu, A., Zhang, G., Zhang, Q., 2000. Precambrian basement age and characteristics of Southwestern Tianshan: Zircon U—Pb geochronology and Nd—Sr isotopic compositions. Acta Petrologica Sinica 16(1), 91–98.
- Cheng, Z., Zhang, Z., Chai, F., Hou, T., Santosh, M., Turesebekov, A., Nurtaev, B.S., 2017. Carboniferous porphyry Cu—Au deposits in the Almalyk orefield, Uzbekistan: the Sarycheku and Kalmakyr examples. International Geology Review 60(1). Available at: <https://doi.org/10.1080/00206814.2017.1309996>.
- Dan, W., Li, X. H., Wang, Q., Tang, G.-J., Liu, Y., 2014. An Early Permian (ca.280 Ma) silicic igneous province in the Alxa Block, NW China: a magmatic flare-up triggered by a mantle-plume? Lithos 204, 144–158.
- De Boorder, H., 2013. The Central European, Tarim and Siberian Large Igneous Provinces, Late Palaeozoic orogeny and coeval metallogeny. Global Tectonics and Metallogeny 10(1), 1–22. Available at: <https://doi.org/10.1127/0163-3171/2013/0008>.
- De Grave, J., Glorie, S., Buslov, M.M., Izmer, A., Fournier-Carrie, A., Batalev, V. Yu., Vanhaecke, F., Elburg, M., Van den Haute, P., 2011. The thermo-tectonic history of the Song-Kul plateau, Kyrgyz Tien Shan: Constraints by apatite and titanite thermochronometry and zircon U/Pb dating. Gondwana Research 20, 745–763.
- Dolgoplova, A., Seltmann, R., Konopelko, D., Biske, Yu. S., Shatov, V., Armstrong, R., Belousova, E., Pankhurst, R., Koneev, R., Divaev, F., 2017. Geodynamic evolution of the western Tien Shan, Uzbekistan: Insights from U—Pb SHRIMP geochronology and Sr—Nd—Pb—Hf isotope mapping of granitoids, Gondwana Research 47, 76–109. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.10.022>.
- Domeier M., 2017. Early Paleozoic tectonics of Asia: towards a full-plate model. Geoscience Frontiers 9(3), 789–862. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.11.012.1-74>.
- Dong, S., Li, Z., Jiang, L., 2016. The Ordovician–Silurian tectonic evolution of the northeastern margin of the Tarim block, NW China: Constraints from detrital zircon geochronological records. Journal of Asian Earth Sciences 122, 1–19.

- Dzhenchuraeva, A. V., Getman O. F., 1993. Novye dannye o stratigrafii verkhnego paleozoiya mezhdurech'ia Shuran-Shunk, v: Novye dannye o biostratigrafii dokembrii i paleozoiya Kyrgyzstana [New data on the stratigraphy of the upper Paleozoic of Shunk and Shuran River valleys: New data on the biostratigraphy of the Precambrian and Paleozoic of Kyrgyzstan]. Mambetov, A. M. (ed.). Ilim, Bishkek, 138–149. (In Russian)
- Filippova, I. B., Bush, V. A., Didenko, A. N., 2001. Middle Paleozoic subduction belts: The leading factor in the formation of the Central Asian fold-and-thrust belt. *Russian Journal of Earth Sciences* 3(6), 405–426.
- Gao, J., Klemd, R., 2003. Formation of HP-LT rocks and their tectonic implications in the western Tianshan Orogen, NW China; geochemical and age constraints. *Lithos* 66, 1–22.
- Ge, R., Zhu, W., Wilde, S. A., He, J., Cui, X., Wang, X., Bihai, Z., 2014. Neoproterozoic to Paleozoic long-lived accretionary orogeny in the northern Tarim Craton. *Tectonics* 33, 302–329. Available at: <https://doi.org/10.1002/2013TC003501>.
- Ge, R., Zhu, W., Wu, H., Zheng, B., Zhu, X., He, J., 2012. The Paleozoic northern margin of the Tarim Craton: passive or active? *Lithos* 142–143, 1–15.
- Generalova, L. V., 1999. Raspređenje redkozemel'nykh elementov i petrokhimicheskii sostav vulkanogen-nykh porod Severo-Vostochnoi Fergany [Distribution of rare earth elements and petrochemical composition of volcanic rocks in the North-Eastern Ferghana]. *Mineralogicheskii sbornik [Mineralogicheskyy Sbornik (Mineralogic Digest)]*, Lvov, 49(1), 186–195. (In Ukrainian)
- Geological map of Chinese Tianshan and adjacent areas, scale 1 : 1 000 000, 2007. Li, S. W., Xu, D. K. (eds). Geology Publishing House, Beijing.
- Geologicheskaya karta Kyrgyzskoi respubliki. Masshtab 1 : 500 000, 2008 [Geological map of Kyrgyz Republic. Scale 1:500 000, 2008]. Tursungaziev, B. T., Petrov, O. V., Zhukov, Yu. V., Zakharov, I. L., Berezanskiy, A. V., Izraileva, R. M. (eds), VSEGEI, S.-Petersburg. (In Russian)
- Geologii i poleznye iskopaemye Respubliki Uzbekistan, 1998 [Geology and mineral resources of Uzbekistan Republic, 1998]. Shayakubov, T. Sh., Dalimov, T. N. (eds). Universitet, Tashkent. (In Russian)
- German, L. L., Budianskiy, D. D., 1990. Zaspredingovyy magmatizm: geodinamicheskaya model' [After-spreading magmatism: geodynamic model]. *Doklady AN (USSR) [Doklady Earth Sciences]* 314, 1467–1471. (In Russian)
- Glorie, S., De Grave, J., Buslov, M. M., Zhimulev, F. I., Stockli, D. F., Batalev, V. Y., Izmer, A., Van den Haute, P., Vanhaecke, F., Elburg, M. A., 2011. Tectonic history of the Kyrgyz South Tien Shan (Atbashi — Inylchek) suture zone: The role of inherited structures during deformation-propagation. *Tectonics* 30, TC6016. Available at: <https://doi.org/10.1029/2011TC002949>
- Gou, L.-L., Zhang, L.-F., Tao, R.-B., Du, J.-X., 2012. A geochemical study of syn-subduction and post-collisional granitoids at Muzhaerte River in the Southwest Tianshan UHP belt, NW China. *Lithos* 136–139, 201–224.
- Han, B. F., He, G. Q., Wang, X. C., Guo, Z. J., 2011. Late Carboniferous collision between the Tarim and Kazakhstan — Yili terranes in the western segment of the South Tian Shan Orogen, Central Asia, and implications for the North Xinjiang, western China. *Earth-Science Reviews* 109, 74–93.
- Han, Y., Zhao, G., 2017. Final amalgamation of the Tianshan and Junggar orogenic collage in the southwestern Central Asian orogenic belt: Constraints on the closure of the Paleo-Asian Ocean. *Earth-Science Reviews*. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.09.012>.
- Han, Y., Zhao, G., Sun, M., Eizenhöfer, P. R., Hou, W., Zhang, X., Liu, D., Wang, B., Zhang, G., 2015. Paleozoic accretionary orogenesis in the Paleo-Asian Ocean: Insights from detrital zircons from Silurian-Carboniferous strata at the northwestern margin of the Tarim Craton. *American Geophysical Union*. Available at: <https://doi.org/10.1002/2014TC003668>.
- Han, Y., Zhao, G., Sun, M., Eizenhöfer, P. R., Hou, W., Zhang, X., Liu, Q., Wang, B., Liu, D., Xu, B., 2016. Late Paleozoic subduction and collision processes during the amalgamation of the Central Asian orogenic belt along the South Tianshan suture zone. *Lithos* 246–247, 1–12.
- He, P.-L., Huang X.-L., Xu, Y.-G., Li, H.-Y., Wang, X., Li, W.-X., 2016. Plume-orogenic lithosphere interaction recorded in the Haladala layered intrusion in the Southwest Tianshan Orogen, NW China, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 121, 1525–1545. Available at: <https://doi.org/10.1002/2015JB012652>.
- He, Z., Wang, B., Zhong, L., Zhu, X., 2018. Crustal evolution of the Central Tianshan Block: Insights from zircon U—Pb isotopic and structural data from meta-sedimentary and meta-igneous rocks along the Wulasitai — Wulanmoren shear zone. *Precambrian Research* 314, 111–128.

- Hegner, E., Klemd, R., Kroner, A., Corsini, M., Alexeiev, D. V., Iaccheri, L. M., Zack, T., Dulski, P., Xia, X., Windley, B. F., 2010. Mineral ages and P–T conditions of late Paleozoic high-pressure eclogite and provenance of melange sediments from Atbashi in the South Tianshan orogen of Kyrgyzstan. *American Journal of Science* 310, 916–950.
- Huang, H., Zhang, Z., Santosh, M., Zhang, D., Zhao, Z., Liu, J., 2013. Early Paleozoic tectonic evolution of the South Tianshan collisional belt: evidence from geochemistry and zircon U–Pb geochronology of the Tie'reke monzonite pluton, Northwest China. *The Journal of Geology* 121(4), 401–424.
- Huang, H., Zhang, Zh., Santosh, M., Cheng, Zh., Wang, T., 2018. Crustal evolution in the South Tianshan Terrane: Constraints from detrital zircon geochronology and implications for continental growth in the Central Asian orogenic belt. *Geological Journal* 1–22. Available at: <https://doi.org/10.1002/gj.3235>.
- Ivanov, K. S., Mikolaichuk, A. V., Puchkov, V. N., Erokhin, Yu. V., Khristov, Ye. V., 2002. Ofiolity sredinnogo Tian'-Shania: tektonicheskoe polozhenie i vozrast [Middle Tian-Shan ophiolites: tectonic position and age]. *Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]* 43, 12, 1093–1098. (In Russian)
- Jiang, T., Gao, J., Klemd, R., Qian, Q., Zhang, X., Xiong, X. M., Wang, X. S., Tan, Z., Chen, B. X., 2014. Paleozoic ophiolitic mélanges from the South Tianshan Orogen, NW China: geological, geochemical and geochronological implications for the geodynamic setting. *Tectonophysics* 612–613, 106–127. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.11.038>.
- Jourdon, A., Petit, C., Rolland, Y., Loury, C., Bellahsen, N., Guillot, S., Le Pourhieu, L., Ganino, C., 2017. New structural data on Late Paleozoic tectonics in the Kyrgyz Tien Shan (Central Asian orogenic belt). *Gondwana Researches* 46, 57–78.
- Ju, W., Hou, G., 2014. Late Permian to Triassic intraplate orogeny of the southern Tianshan and adjacent regions, NW China. *Geoscience Frontiers* 5, 83–93.
- Käßner, A., Ratschbacher, L., Pfänder, J. A., Hacker, B. R., Zack, G., Sonntag, B. L., Jahanzeb, K., Stanek, K. P., Gadoev, M., Oimahmadov, I., 2016. Proterozoic–Mesozoic history of the Central Asian orogenic belt in the Tajik and southwestern Kyrgyz Tian Shan: U–Pb, ⁴⁰Ar/³⁹Ar, and fission-track geochronology and geochemistry of granitoids. *GSA Bulletin*, 129(3–4), 281–303. Available at: <https://doi.org/10.1130/B31466.1>.
- Khain, V. E., 1984. Regional'naya geotektonika. Al'piiskii Sredizemnomorskii poias [Regional geotectonics. The Alpine Mediterranean Belt]. Nedra, Moscow. (In Russian)
- Khristov, E. V., 1989. Novye dannye o vozraste i tektonicheskoi pozitsii paleozoiskikh otlozhenii gornogo massiva Khan-Tengri [New data on the age and tectonic position of the Paleozoic in the Khan-Tengri Massif]. *Doklady AN SSSR [Doklady Earth Sciences]* 306(1), 166–168. (In Russian)
- Khristov, E. V., Mikolaichuk, A. V. 1983. O dogeosinklinal'nom osnovanii kory Fergansko-Kokshaal'skikh gertsinid [On the pre-geosynclinal basement of Ferghana-Kokshaal Hercynids]. *Geotektonika [Geotectonics]* 3, 76–86. (In Russian)
- Khristov, E. V., Mikolaichuk, A. V., Kozyrev, V. I., 1986. Stroenie i sostav ofiolitov Severo-Vostochnoi Fergany [The structure and the composition of the North-East Ferghana ophiolites]. *Izvestiya AN SSSR [Izvestiya (Proceedings) of the Academia of Sciences of the USSR]* 2, 45–48. (In Russian)
- Kiselev, V. V., 2001. Analogi siniiskogo kompleksa v Sredinnom i Severnom Tian'-Shane [Sinian complex of the Middle and Northern Tian-Shan]. *Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]* 42, 10, 1453–1463. (In Russian)
- Klemd, R., John, T., Scherer, E. E., Rondenay, S., Gao, J., 2011. Changes in dip of subducted slabs at depth: Petrological and geochronological evidence from HP–UHP rocks (Tianshan, NW-China). *Earth and Planetary Sciences Letters* 310, 9–20.
- Konopelko, D., Biske, G., Seltmann, R., Eklund, O., Belyatsky, B., 2007. Hercynian post-collisional A-type granites of the Kokshaal range, Southern Tien-Shan, Kyrgyzstan. *Lithos* 97, 140–160.
- Konopelko, D., Klemd, R., Mamadjanov, Y., Hegner, E., Knorsch, M., Fidaev, D., Sergeev, S., 2015. Permian age of orogenic thickening and crustal melting in the Garm Block, South Tien Shan, Tajikistan. *Journal of Asian Earth Sciences* 113, 711–727.
- Konopelko, D., Klemd, R., Petrov, S. V., Apayarov, F., Nazaraliev, B., Vokueva, O., Scherstén, A., Sergeev, S., 2017a. Precambrian gold mineralization at Djamgyr in the Kyrgyz Tien-Shan: tectonic and metallogenic implications. *Ore Geology Reviews* 86, 537–547. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.03.007>.
- Konopelko, D., Seltmann, R., Mamadjanov, Y., Romer, R. L., Rojas-Agramonte, Y., Jeffries, T., Fidaev, D., Niyozov, A., 2017b. A geotraverse across two paleo-subduction zones in Tien Shan, Tajikistan. *Gondwana Researche* 47, 110–130. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.09.010>.

- Konopelko, D., Wilde, S. A., Seltmann, R., Romer, R. L., Biske, Yu. S., 2018. Early Permian intrusions of the Alai range: understanding tectonic settings of Hercynian post-collisional magmatism in the South Tien Shan, Kyrgyzstan. *Lithos* 302–303, 405–420.
- Kröner, A., Alexeiev, D. V., Kovach, V. P., Rojas-Agramonte, Y., Tretyakov, A. A., Mikolaichuk, A. V., Xie, H., Sobel, E. R., 2017. Zircon ages, geochemistry and Nd isotopic systematics for the Palaeoproterozoic 2.3–1.8 Ga Kuilyu Complex, East Kyrgyzstan — The oldest continental basement fragment in the Tianshan orogenic belt. *Journal of Asian Earth Sciences* 135, 122–135.
- Kröner, A., Alexeiev, D. V., Rojas-Agramonte, Y., Hegner, E., Wong, J., Xia, X., Belousova, E. Mikolaichuk, A., Seltmann, R., Liu, D., Kiselev, V., 2013. Mesoproterozoic (Grenville-age) terranes in the Kyrgyz North Tianshan: Zircon ages and Nd—Hf isotopic constraints on the origin and evolution of basement blocks in the southern Central Asian Orogen. *Gondwana Research* 23, 272–295.
- Kurenkov, S. A., Aristov, V. A., 1995. O vremeni formirovaniia kory Turkestanskogo paleookeana [On the age of the Turkestan ocean crust]. *Geotektonika* [Geotectonics] 6, 22–31. (In Russian)
- Laurent-Charvet, S., Charvet, J., Shu, L. S., Ma, R. S., Lu, H. F., 2002. Palaeozoic late collisional strike slip deformations in Tianshan and Altay, eastern Xinjiang, NW China. *Terra Nova* 14, 249–256.
- Li, Y., Sun, L., Wu, H., Wang, G., Yang, C., Peng, G., 2005. Permo-Carboniferous radiolaria from the Wupatarkan Group, west terminal of Chinese South Tianshan. *Scientia Geologica Sinica* 40, 220–226.
- Li, Z., Chen, H., Song, B., Li, Y., Yang, S., Yu, X., 2011. Temporal evolution of the Permian large igneous province in Tarim Basin in northwestern China. *Journal of Asian Earth Sciences* 42, 917–927.
- Lin, C., Yang, H., Liu, J., Rui, Z., Cai, Z., Zhu, Y., 2012. Distribution and erosion of the Paleozoic tectonic unconformities in the Tarim Basin, Northwest China: significance for the evolution of paleo-uplifts and tectonic geography during deformation. *Journal of Asian Earth Sciences* 46, 1–19.
- Lin, W., Chu, Y., Ji, W. B., Zhang, Z. P., Shi, Y. H., Wang, Z. Y., Li, Z., Wang, Q. C., 2013. Geochronological and geochemical constraints for a middle Paleozoic continental arc on the northern margin of the Tarim block: Implications for the Paleozoic tectonic evolution of the South Chinese Tianshan. *Lithosphere* 5, 355–381.
- Liu, D., Guo, Z., Jolivet, M., Cheng, F., Song, Y., Zhang, Z., 2014. Petrology and geochemistry of Early Permian volcanic rocks in South Tian Shan, NW China: implications for the tectonic evolution and Phanerozoic continental growth. *International Journal of Earth Sciences* 103, 737–756. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00531-013-0994-1>.
- Liu, J., Lin, C., Li, S., Cai, Z., Xia, S., Fu, C., Liu, Y., 2012. Detrital zircon U—Pb geochronology and its provenance implications on Silurian Tarim basin. *Journal of Earth Science* 23(4), 455–475.
- Long, L. L., Gao, J., Wang, J. B., Qian, Q., Xiong, X. M., Wang, Y. W., Wang, L. Y., Gao, L. M., 2008. Geochemistry and SHRIMP zircon age of post-collisional granites in the southwest Tianshan orogenic belt of China: examples from the Heiyingshan and Laohutai plutons. *Acta Geologica Sinica* 82, 2, 415–424.
- Long, L., Gao, J., Klemd, R., Beier, C., Qian, Q., Zhang, X., Wang, J., Jiang, T., 2011. Geochemical and geochronological studies of granitoid rocks from the Western Tianshan Orogen: Implications for continental growth in the southwestern Central Asian orogenic belt. *Lithos* 126, 321–340.
- Loury, C., Rolland, Y., Guillot, S., Mikolaichuk, A. V., Lanari, P., Bruguier, O., Bosch, D., 2015. Crustal-scale structure of South Tien Shan: implications for subduction polarity and Cenozoic reactivation, in: *Geological Evolution of Central Asian Basins and the Western Tien-Shan Range*. Brunet, M. F., McCann, T., Sobel, E. R. (eds). The Geological Society of London. <https://doi.org/10.1144/SP427.4>.
- Loury, C., Rolland, Y.-B., Lanari, P., Guillot, S., Bosch, D., Ganino, C., Jourdon, A., Petit, C., Gallet, S., Monié, P., Riel, N., 2018. Permian charnockites in the Pobeda area: implications for Tarim mantle plume activity and HT metamorphism in the South Tien Shan range. *Lithos* 304–307, 135–154.
- Luo, J., Zhang, J., Wang, C., Che, Z., Liu, L., 2010. Early Permian post-collisional granitoid magmatism on the northwestern margin of Tarim basin and its tectonic significance. *Scientia Geologica Sinica* 45(1), 66–79.
- Ma, X., Shu, L., Meerth, J. G., Li, J., 2014. The Paleozoic evolution of Central Tianshan: Geochemical and geochronological evidence. *Gondwana Research* 25, 2, 797–819.
- Mirkamalov, R. Kh., Chirikin, V. V., Khan, R. S., Kharin, V. G., Sergeev, C. A., 2012. Rezul'taty U—Pb-(SHRIMP)-datirovaniia granitoidnykh i metamorficheskikh kompleksov Tian'-Shan'skogo skladchatogo poiasa (Uzbekistan) [Results of U—Pb (SHRIMP) dating of granitoid and metamorphic complexes of the Tian-Shan fold belt (Uzbekistan)]. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography* (1), 3–25. (In Russian)

- Mühlberg, M., Hegner, E., Klemd, R., Pfänder, J., Kaliwoda, M., Biske, Yu. S., 2016. Late Carboniferous high-pressure metamorphism of the Kassan Metamorphic Complex (Kyrgyz Tianshan) and final assembly of the SW Central Asian orogenic belt. *Lithos* 264, 41–55.
- Mukhin, P. A., Karimov, Kh. K., Savchuk, Yu. S., 1991. Paleozoiskaia geodinamika Kyzylkumov [Paleozoic geodynamics of the Kyzylkum]. Fan, Tashkent. (In Russian)
- Mushketov, D. I., 1935. Regional'naia geotektonika [The Regional Geotectonics]. ONTI NKTP [of the USSR] Publishing, Leningrad. (In Russian)
- Neyevin, A. V., Biske, Yu. S., Neyevin, I. A., 2011. Stratigrafia nizhnego paleozoiia Syrdar'inskogo kontinental'nogo massiva v vostochnoi chasti Sredinnogo Tian'-Shania, v sviazi s voprosami paleogeografii i geodinamiki [Lower Paleozoic stratigraphy of the eastern part of Syrdaria continental terrane (Middle Tien-Shan) relating to paleogeographic and geodynamic problems]. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography* (2), 21–36. (In Russian)
- Orlov, L. N., 1980. Rol' gipsov v mekhanizme formirovaniia tektonicheskikh pokrovov Tsentral'nogo Tian'-Shania [The role of gypsum in the mechanism of formation of tectonic covers of the Central Tien Shan]. *Izv. AN SSSR. Ser. geol.* 4, 105–111.
- Pecherskiy, D. M., Didenko, A. N., 1995. Paleoaziatskii okean. Petromagnitnaia i paleomagnitnaia informatsiia informatsiia o ego litosfere [Paleoasian ocean]. OFZ RAN, Moscow. (In Russian)
- Popov, L. E., Bassett, M. G., Zhemchuzhnikov, V. G., Lars, E., Holmer, L. E., Klishevich, I. A., 2009. Gondwanan faunal signatures from early Palaeozoic terranes of Kazakhstan and Central Asia: evidence and tectonic implications, in: Early Palaeozoic Peri-Gondwanan Terranes: New Insights from Tectonics and Biogeography. Bassett, M. G. (ed.). The Geological Society (Special Publications) 325, 23–64.
- Porshnyakov, G. S., 1973. Gertsinidy Alaia i smezhnykh raionov Iuzhnogo Tian'-Shania [Hercynides of Alai and Adjacent Regions of South Tianshan]. LGU, Leningrad. (In Russian)
- Pu, X. F., Song, S. G., Zhang, L. F., Wei, C. J., 2011. Silurian arc volcanic slices and their tectonic implications in the southwestern Tianshan UHPM belt, NW China. *Acta Petrologica Sinica* 27 (6), 1675–1687.
- Puchkov, V. N., 1997. Tektonika Urala. Sovremennye predstavleniia [Tectonics of Urals. Modern views]. *Geotektonika [Geotectonics]* 4, 42–60. (In Russian)
- Puchkov, V. N., Khristov, Ye. V., Ivanov, K. S., Mikolaichuk, A. V., 1987. Novye dannye o vozraste zelenoslantsevnykh tolshch Iuzhnogo Tian'-Shania [New data on the age of greenschists of the Southern Tianshan]. *Doklady AN SSSR [Doklady Earth Sciences]* 294, 435–438. (In Russian)
- Qin K., Su B., Asamoah S. P., Tang D., Sun H., Xiao Q., Liu P., 2011. SIMS zircon U—Pb geochronology and Sr-Nd isotopes of Ni-Cu-bearing mafic-ultramafic intrusions in Eastern Tianshan and Beishan in correlation with flood basalts in Tarim basin (NW China): constraints on a ca. 280 Ma mantle plume. *American Journal of Science* 311, 237–260. Available at: <https://doi.org/10.2475/03.2011.03>.
- Raschlenenie stratifitsirovannykh i intruzivnykh obrazovaniia Tadzhhikistana [Subdivisions of stratified and intrusive rocks of Tajikistan], 1976. Baratov, R. B. (ed.). Donish, Dushanbe. (In Russian)
- Ren, R., Guan, S.-W., Han, B.-F., Su, L., 2017. Chronological constraints on the tectonic evolution of the Chinese Tianshan Orogen through detrital zircons from modern and palaeo-river sands. *International Geology Review*. Available at: <https://doi.org/10.1080/00206814.2017.1292468>.
- Repina, L. N., Yaskovich, B. V., Askarina, N. A., 1975. Stratigrafia i fauna nizhnego paleozoiia severnykh predgorii Turkestanskogo i Alaiskogo khrebtov [Lower Paleozoic stratigraphy and fauna of northern foothills of the Turkestan and Alai Ranges]. Nauka, Novosibirsk. (In Russian)
- Rinenberg, R. Ye., 1990. Stratigrafia silura Iuzhnogo Tian'-Shania [Stratigraphy of the Silurian of the Southern Tien-Shan]. Ilim Publishing House, Frunze. (In Russian)
- Rojas-Agramonte, Y., Kröner, A., Alexeiev, D. V., Jeffreys, T., Khudoley, A. K., Wong, J., Geng, H., Shu, L., Semiletkin, S. A., Mikolaichuk, A. V., Kiselev, V. V., Yang, J., Seltmann, R., 2014. Detrital and igneous zircon ages for supracrustal rocks of the Kyrgyz Tianshan and palaeogeographic implications. *Gondwana Research* 26, 957–974.
- Rolland, Y., Alexeiev, D. V., Kröner, A., Corsini, M., Loury, Ch., Monié, P., 2013. Late Palaeozoic to Mesozoic kinematic history of the Talas–Ferghana strike-slip fault (Kyrgyz West Tianshan) as revealed by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of syn-kinematic white mica. *Journal of Asian Earth Sciences* 67–68, 76–92.
- Safonova, I., Biske, G., Romer, R. L., Seltmann, R., Simonov, V., Maruyama, S., 2016. Middle Paleozoic mafic magmatism and ocean plate stratigraphy of the South Tianshan, Kyrgyzstan. *Gondwana Research* 30, 236–256.
- Saidyaniev, S. S., 2009. Rubidii-strontsievaia geokhronologiiia magmaticheskikh obrazovaniia Sredinnogo i Iuzhnogo Tian'-Shania [Rubidium-strontium geochronology of magmatic formations of the Middle

- and Southern Tian-Shan]. *Rudnye mestorozhdeniia i metallogeniia [Ore deposits and metallogeny]* 6, 17–24. (In Russian)
- Samygin, S. G., Kheraskova, T. N., Kurchavov, M., 2015. Tektonicheskoe razvitiie Kazakhstana i Tian'-Shania v neoproterozoie i v rannem-srednem paleozoe [Tectonic evolution of Kazakhstan and Tien Shan in Neoproterozoic and Early — Middle Paleozoic]. *Geotektonika [Geotectonics]* 3, 66–92. (In Russian)
- Sang, M., Xiao, W., Orozbaev, R., Bakirov, A., Sakiev, K., Pak, N., Ivleva, E., Zhou, K., Ao, S., Qiao, Q., Zhang, Z., 2018. Structural styles and zircon ages of the South Tianshan accretionary complex, Atbashi Ridge, Kyrgyzstan: insights for the anatomy of ocean plate stratigraphy and accretionary processes. *Journal of Asian Earth Sciences* 153, 9–41. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseas.2017.07.052>.
- Seltmann, R., Konopelko, D., Biske, G., Divaev, F., Sergeev, S., 2011. Hercynian post-collisional magmatism in the context of Paleozoic magmatism evolution of the Tien Shan orogenic belt. *Journal of Asian Earth Sciences* 42, 821–828.
- Şengör, A. M. C., Natal'in, B. A., Burtman, V. S., 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia. *Nature* 364, 299–307.
- Shvanov, V. N., 1983. Litoformatsionnye korreliatsii terrigennykh i metamorficheskikh tolshch. Iuzhnyi Tian'-Shan' [Lithological correlations of terrigenous and metamorphic sequences of the Southern Tian-Shan]. Leningrad University, Leningrad. (In Russian)
- Solomovich, L. I., Trifonov, B. A., 2014. Rapakivi granites within Phanerozoic collisional orogens as a possible consequence of continental subduction and following exhumation of the Precambrian crust: Evidences from the Permian Jangart rapakivi in South Tien Shan collisional belt, Eastern Kyrgyzstan. *Journal of Asian Earth Sciences* 96, 332–343.
- Stratifikatsionnye i intruzivnye obrazovaniia Kirgizii [Stratified and intrusive formations of Kyrgyzstan] 1–2, 1982. Osmonbetov K. O. (ed.). Ilim, Frunze. (In Russian)
- Stratigraficheskii slovar' Uzbekistana [Stratigraphic dictionary of Uzbekistan], 2001. Abduasimova, Z. M. (ed.). IMR, Tashkent. (In Russian).
- Tectonic Map, scale 1 : 5 000 000, 2007 / Hwang, J. H., Leonov, Yu., Li, Tingdong, Petrov, O. V., Tomurtoogo, O. (eds). In: Atlas of geological maps of Central Asia and adjacent areas. Geological Publishing House, S.-Petersburg.
- Volkova, N. I., Budanov, V. I., 1999. Geochemical discrimination of metabasalt rocks of the Fan — Karategin transitional blueschistgreenschist belt, South Tianshan, Tajikistan: seamount volcanism and accretionary tectonics. *Lithos* 47, 201–216.
- Vrublevskii, V. V., Morova, A. A., Bukharova, O. V., Konovalenko, S. I., 2018. Mineralogy and geochemistry of triassic carbonatites in the Matcha alkaline intrusive complex (Turkistan — Alai Ridge, Kyrgyz Southern Tien Shan), SW Central Asian orogenic belt. *Journal of Asian Earth Sciences* 153, 252–281.
- Wang, B., Chen, B., Ji, W., Hong, J., Yang, B., Meng, G., Cao, J., 2016. Geological features of Djanyer ophiolitic mélange and chronology of gabbro in Kyrgyz South Tianshan. *Frontiers* 23(3), 198–209.
- Wang, B., Faure, M., Cluzel, D., Shu, L. S., Charvet, J., Meffre, S., Ma, Q., 2006. Late Paleozoic tectonic evolution of the northern West Chinese Tianshan Belt. *Geodinamica Acta* 19, 227–237.
- Wang, B., Shu, L., Faure, M., Jahn, B.-M., Cluzel, D., Charvet, J., Chung, S., Meffre, S., 2011. Paleozoic tectonics of the southern Chinese Tianshan: Insights from structural, chronological and geochemical studies of the Heiyingshan ophiolitic mélange (NW China). *Tectonophysics* 497, 85–104.
- Wang, B., Zhai, Y., Kapp, P., de Jong, K., Zhong, L., Liu, H., Ma, Y., Gong, H., Geng, H., 2017. Accretionary tectonics of back-arc oceanic basins in the South Tianshan: Insights from structural, geochronological, and geochemical studies of the Wuwamen ophiolite mélange. *Geological Society of America Bulletin* 130, 284–306. Available at: <https://doi.org/10.1130/B31397.1>
- Wang, M., Zhang, J., Zhan, B., Liu, K., Ge, M., 2016. Bi-directional subduction of the South Tianshan Ocean during the Late Silurian: Magmatic records from both the southern Central Tianshan Block and northern Tarim Craton. *Journal of Asian Earth Sciences* 128, 64–78.
- Wang, X. S., Gao, J., Klemm, R., Tuo, J., Lia, J. L., Zhang, X., Tan, Z., Lia, L., Zhu, Z. X., 2014. Geochemistry and geochronology of the Precambrian high-grade metamorphic complex in the Southern Central Tianshan ophiolitic mélange, NW China. *Precambrian Research* 254, 129–148.
- Wang, X.-S., Gao, J., Klemm, R., Jiang, T., Li, J.-L., Zhang, X., Xue, S.-C., 2017. The Central Tianshan Block: A microcontinent with a Neoproterozoic-Paleoproterozoic basement in the southwestern Central Asian orogenic belt. *Precambrian Research* 25, 130–150.
- Wang, X.-S., Klemm, R., Gao, J., Jiang, T., Li, J.-L., Xue, S.-C., 2018. Final assembly of the southwestern Central Asian orogenic belt as constrained by the evolution of the South Tianshan Orogen: Links with

- Gondwana and Pangea. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 123(9). Available at: <https://doi.org/10.1029/2018JB015689>
- Wang, Z., Wu, J., Li, X., Zhang, J., Liu, C., 1990. Polycyclic tectonic evolution and metallogeny of the Tian-Shan mountains. Science Press, Beijing.
- Wilhem, C., Windley, B. F., Stampfli, G. M., 2012. The Altaids of Central Asia: A tectonic and evolutionary innovative review. *Earth-Science Reviews* 113, 303–341.
- Windley, B. F., Alexeiev, D., Xiao, W. J., Kröner, A., Badarch, G., 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian orogenic belt. *Journal of the Geological Society* 164, 31–47.
- Worthington, J. R., Kapp, P., Minaev, V., Chapman, J. B., Mazdab, F. K., Ducea, M. N., Oimahmadov, I., Gadoev, M., 2017. Birth, life, and death of the Andean-syn collisional Gissar arc: Late Paleozoic tectono-magmatic-metamorphic evolution of the southwestern Tian Shan, Tajikistan. *AGU Publications* 36(10). Available at: <https://doi.org/10.1002/2016TC004285>.
- Xiao, W., Windley, B. F., Allen, M. B., Han, C., 2013. Paleozoic multiple accretionary and collisional tectonics of the Chinese Tianshan orogenic collage. *Gondwana Research* 23, 1316–1341.
- Xiao, W., Windley, B. F., Han, C., Yuan, C., Sun, M., Li, J., Sun, S., 2009. End-Permian to Mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altaids: Implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia, in: *International Journal of Earth Sciences* 98(6), 1189–1217.
- Yang, H. B., Gao, P., Li, B., Zhang, Q. J., 2005. The geological character of the Sinian Dalubayi ophiolite in the west Tianshan, Xinjiang. *Xinjiang Geology* 23(2), 123–126.
- Yu, X., Yang, S.-F., Chen, H.-L., Chen, Z.-Q., Li, Z.-L., Batt, G. E., Li, Y.-Q., 2011. Permian flood basalts from the Tarim Basin, Northwest China: SHRIMP zircon U–Pb dating and geochemical characteristics. *Gondwana Research* 20, 485–497.
- Zhang, C.-L., Zhu, H.-B., Li, H.-K., Wang, H.-Y., 2012. Tectonic framework and evolution of the Tarim block, NW China: a review. *Gondwana Research* 23(4), 1306–1315. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.05.009>.
- Zhang, C.-L., Li, Z.-X., Li, X.-H., Xu, Y.-G., Zhou, G., Ye, H.-M., 2010. A Permian large igneous province in Tarim and Central Asian orogenic belt, NW China: Results of a ca. 275 Ma mantle plume? *GSA Bulletin* 122(11/12), 2020–2040.
- Zhang, D. Y., Zhang, Z. C., Santosh, M., Cheng, Z., He, H., Kang, J., 2013b. Perovskite and baddeleyite from kimberlitic intrusions in the Tarim large igneous province signal the onset of an end-Carboniferous mantle plume. *Earth and Planetary Science Letters* 361, 238–248.
- Zhang, Y., Xiao, X., 2010. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating on the late Devonian volcanic rocks from Kuruktag and its implications for regional geology, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica* 26(1), 302–308.
- Zhao, Z., Zhang, Z., Santosh, M., Huang, H., Cheng, Z., Ye, J., 2015. Early Paleozoic magmatic record from the northern margin of the Tarim Craton: Further insights on the evolution of the Central Asian orogenic belt. *Gondwana Research* 28(1), 328–347.
- Zhong, L., Wang, B., Alexeiev, D. V., Cao, Y., Biske, Yu. S., Liu, H., Zhai, Y., Xing, L., 2017. Paleozoic multi-stage accretionary evolution of the SW Chinese Tianshan: new constraints from plutonic complex in the Nalati Range. *Gondwana Researches* 45, 254–274.
- Zhong, L., Wang, B., Shu, L., Liu, H., Mu, L., Ma, Y., Zhai, Y., 2015. Structural overprints of early Paleozoic arc-related intrusive rocks in the Chinese Central Tianshan: Implications for Paleozoic accretionary tectonics in SW Central Asian orogenic belts. *Journal of Asian Earth Sciences* 113(1), 194–217. Available at: <https://doi.org/10.1016>.
- Zonenshain, L. P., Kuz'min, M. I., Natapov, L. M., 1990. Tektonika litosfernykh plit territorii SSSR [Lithosphere plate tectonics of the USSR territory]. Nedra, Moscow. 1–2. (In Russian)
- Zubtsov, E. I., 1961. Stratigrafiia otlozhenii kembrii i ordovika Srednego Tian'-Shania, v: Geologiya Srednei Azii [Cambrian and Ordovician stratigraphy of the Middle Tian-Shan. In: *Geology of the Middle Asia*]. Ognev, V. N. (3d.). Leningrad University Publishing House, Leningrad, 165–171. (In Russian)
- Zubtsov, E. I., Porshniakov, G. S., Yagovkin, A. V., 1974. Novaia skhema domezozoiskoi tektoniki Tian'-Shania [New model of the Pre-Mezozoic tectonics of the Tian-Shan]. *Doklady AN (USSR) [Doklady Earth Sciences]* 217(5), 1153–1156. (In Russian)

Received: June 13, 2018

Accepted: October 15, 2018

Author's information:

Yuriy S. Biske — gbiske@hotmail.com