

Источники и тектонические обстановки формирования песчаников из палеозойских аккреционных комплексов Палеоазиатского океана по данным геохимии и цирконометрии

Изучение процессов формирования аккреционных комплексов на конвергентных окраинах тихоокеанского типа (КОТТ) имеет ключевое значение для расшифровки эволюции древних океанов. Характерным компонентом аккреционных комплексов являются обломочные осадочные породы - граувакки и турбидитовые песчаники, образование которых связано с разрушением магматических дуг и сносом эродированного материала в преддуговой прогиб и/или глубоководный желоб. Актуальность исследований таких пород связана с тем, что при закрытии палео-океана магматические дуги могут быть частично или даже полностью утрачены из геологической летописи в результате поверхностной и субдукционной эрозии, в следствие чего реконструкция того или иного этапа эволюции палео-океана будет неполной или неточной. В отличие от дуг большая часть граувакков и турбидитовых песчаников остается на поверхности, позволяя нам определить природу бывшей магматической дуги - внутриокеаническую или окраинно-континентальную.

Турбидитовые песчаники и граувакки содержат детритовые цирконы, возраст которых характеризует возраст магматических пород в области сноса, а изотопный состав (Hf) характеризует тип его источника – ювенильный или рециклированный. Турбидиты и граувакки, связанные с внутриокеаническими зонами субдукции, по валовому составу практически идентичны магматическим продуктам «материнских» дуг, а возраст цирконов в них соответствует возрасту самой дуги. Напротив, песчаники окраинно-континентальных дуг отражают в составе увеличение доли сиалических источников сноса и часто содержат детритовые цирконы более древние, чем субдукционные магматические породы. Предлагаемый проект нацелен на выяснение типа источника и тектонических обстановок формирования песчаников из аккреционных комплексов западной части Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) на основе данных об их геологическом положении, составе, возрасте и изотопных характеристиках. Регион исследования включает Итмурундинскую зону центрального Казахстана (рис. 1), Алайский хребет Южного Тянь-Шаня Киргизии (рис. 2) и Жарминскую зону восточного Казахстана (рис. 1). Аккреционные комплексы этих объектов были образованы на ордовик-раннесилурийском, девонском и позднедевонско-раннекарбонном этапах развития Палеоазиатского океана соответственно. Научная новизна исследования состоит в методологически комплексном характере исследования, в использовании турбидитовых и граувакковых песчаников как альтернативных источников информации о древних магматических дугах. Полученные результаты будут востребованы при разработке или совершенствовании геодинамических моделей палеозойской эволюции западной части Палеоазиатского океана.

Цели и задачи исследования

Главной целью данного проекта является реконструкция природы материнских магматических дуг для граувакковых и турбидитовых песчаников из аккреционных комплексов центрального и восточного Казахстана и Киргизии в западной части ЦАСП. Цель проекта будет достигнута на основе геологического картирования, U-Pb датирования и изотопии Hf цирконов, вещественной и изотопной характеристики песчаников. Для достижения поставленной цели будут выполнены следующие задачи:

1. Детальное геологическое изучение и документирование взаимоотношений осадочных и вулканических пород, составление геологических схем для ключевых участков аккреционных комплексов Итмурундинской (центральный Казахстан), Алайской (Южный Тянь-Шань, Киргизия) и Жарма-Саурской (восточный Казахстан) зон;
2. U-Pb датирование магматических цирконов из песчаников для определения их возрастов и изучение характера их возрастных спектров (униmodalный или полиmodalный);
3. Детальная литологическая, петрогеохимическая (породообразующие и редкие элементы) и изотопная (Sm-Nd) характеристика песчаников для выяснения состава магматических пород в области сноса и реконструкции обстановок осадконакопления;
4. Изучение изотопов Hf в цирконах для выяснения параметров источников магматических пород в области сноса (ювенильный или рециклированный);
5. Корреляция вещественных характеристик песчаников с имеющимися данными по составу вулканических пород в регионах исследования;
6. Разработка геодинамической модели развития палеозойских конвергентных окраин тихоокеанского типа западной части Палеоазиатского океана.

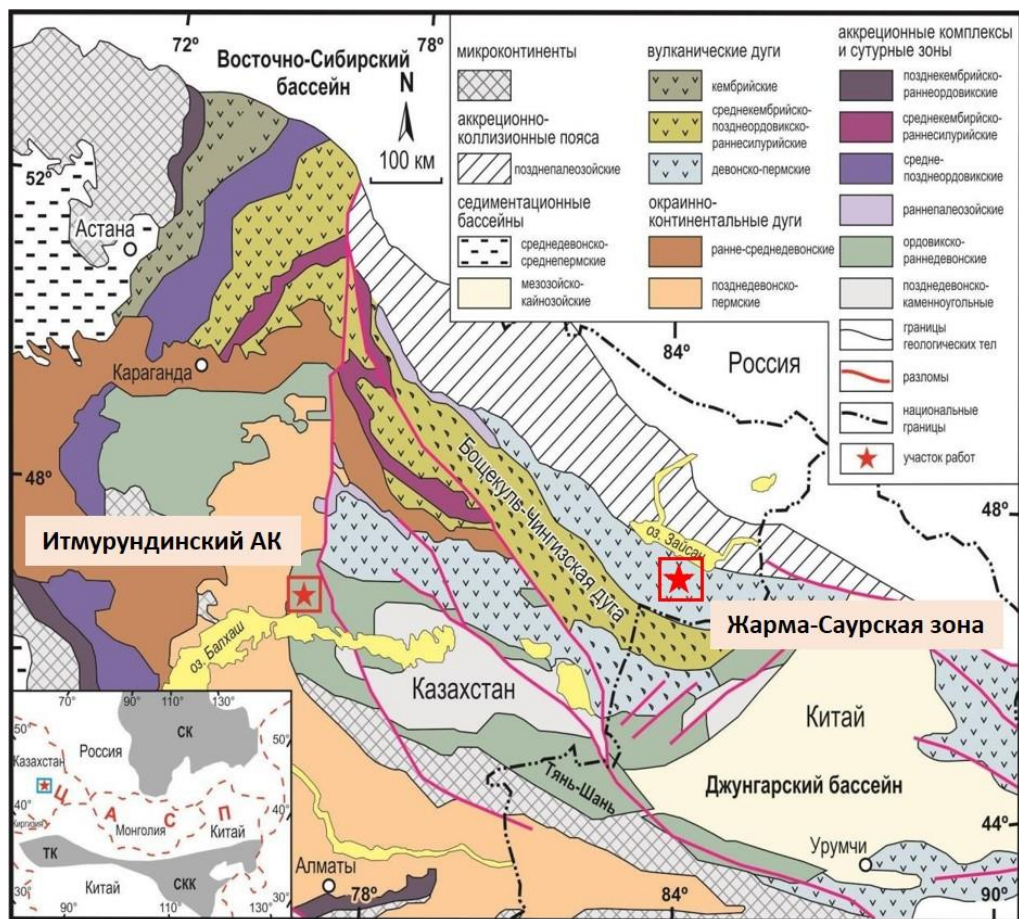


Рис. 1. Фрагмент тектонической схемы северо-западной части Центрально-Азиатского складчатого пояса (по Windley et al., 2007 с изменениями) с регионами исследования.

Анализ современного состояния исследований в данной области

В процессе субдукции океанической литосферы происходит образование аккреционных и надсубдукционных комплексов на конвергентных окраинах тихоокеанского типа (КОТТ) (Isozaki et

al., 1990; Maruyama et al., 1997, 2011; Добрецов, 2003; Stern, 2010 и др.). Эти комплексы в результате закрытия палео-океана и прекращения субдукции оказываются в составе внутриконтинентальных орогенов. На сегодняшний день аккреционные комплексы были найдены во многих орогенах фанерозойского и даже докембрийского возраста (Добрецов и др., 2004; Сафонова и др., 2008, 2011; Isozaki et al., 1990; 2010; Kusky, 1989; Maruyama et al., 1997; Buslov et al., 2001; Mann and Taira, 2004; Uchio et al., 2004; Wakita and Metcalfe, 2005; Safonova et al., 2004; 2009, 2011a, b, 2012, 2015; Safonova, 2009; Izosaki et al., 2010; Maruyama et al., 2010; Wakabayashi, 2011; Wakita, 2012; Kawai et al., 2007; Kusky et al., 2013; Safonova and Santosh, 2014; Safonova and Maruyama, 2014; Safonova, 2016 и др.). Крупнейшим в мире орогеном фанерозойского возраста является Центрально-Азиатский складчатый пояс (ЦАСП), сформировавшийся в результате эволюции и закрытия Палеоазиатского океана (ПАО) (Windley et al., 2007). В состав ЦАСП входят многочисленные древние островные дуги, офиолиты, океанические острова и плато, симаунты, микроконтиненты и аккреционные комплексы, включающие фрагменты океанической литосферы, аккретированные к активным окраинам Сибирского, Северо-Китайского, Таримского и Казахстанского континентов в результате субдукции и последующей аккреции (Берзин и др., 1994; Федоровский и др., 1995, 2010; Казанский и др., 1998; Kröner et al., 2014, 2017 и др.). За последние 20 лет было проведено огромное количество геологических, изотопно-геохимических, палеомагнитных и геохронологических исследований, благодаря которым был достигнут значительный прогресс в исследовании ЦАСП (Донская и др., 2000; Складков и др., 2002; Laurent-Charvet et al., 2003; Sklyarov et al., 2003; Vernikovskiy et al., 2003; Gladkochub и др., 2008; Gladkochub et al., 2008; Pirajno et al., 2009; Гордиенко и др., 2007, 2010; Xiao et al., 2010; Donskaya et al., 2013; Safonova et al., 2012, 2016, 2018). Тем не менее, дебаты о природе коры ЦАСП идут до сих пор (Jahn et al., 2000; Jahn, 2004; Kröner et al., 2014, 2017; Safonova, 2017 и др.), в том числе и потому, что каждый год появляется новая информация о типах конвергентных окраин ПАО (Safonova et al., 2017, 2018) благодаря более детальному изучению островодужных и окраинно-континентальных вулканических комплексов современными методами и, особенно, изучению терригенных пород, образующихся при их разрушении.

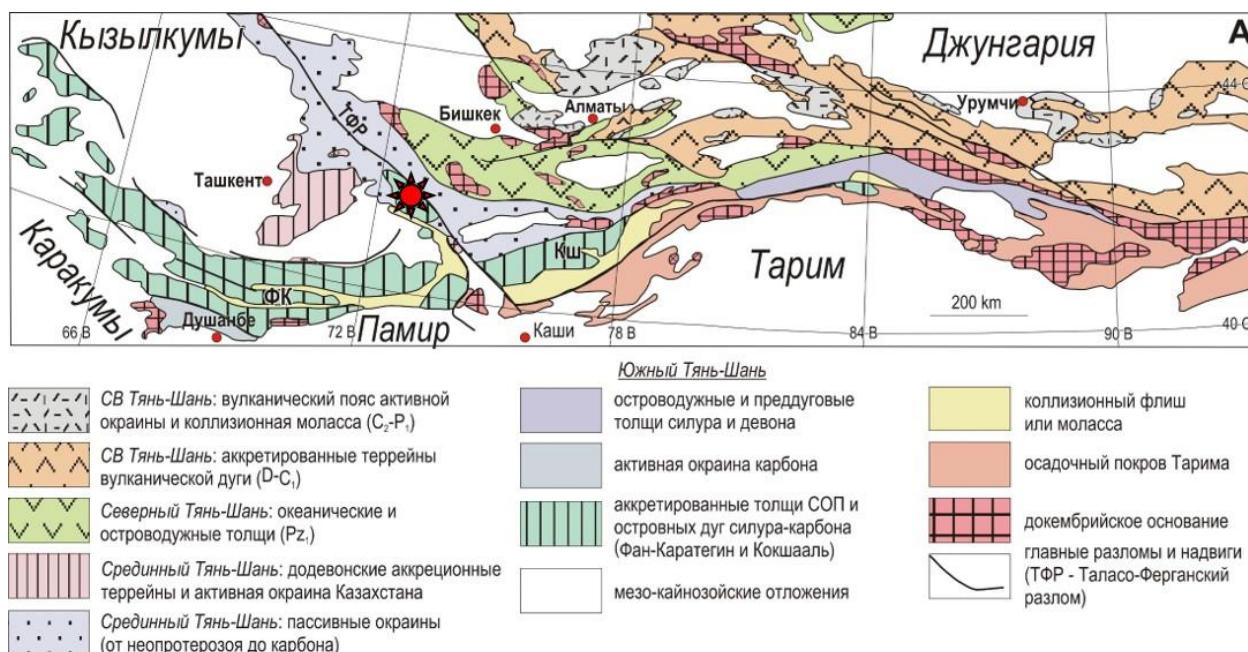


Рис. 2. Тектоническая схема Тянь-Шаня (по Biske and Seltman, 2010) с регионом исследования.

Изучение терригенных пород имеет важное значение, т.к. в процессе эволюции палеоокеана магматические породы, развитые в надсубдукционных комплексах, могут разрушаться процессами тектонической эрозии на конвергентных окраинах и синдвиговых процессов на трансформных окраинах (Khanchuk, 2001; Ханчук, Кемкин, 2003; Scholl, von Huene, 2007; Stern, 2009; Isozaki et al., 2010; Safonova et al., 2015; Alexeiev et al., 2016). В результате сами дуги исчезают, остаются только продукты их разрушения – терригенные породы. Граувакковые и турбидитовые песчаники, образованные при разрушении магматической дуги, накапливаются в преддуговых бассейнах и в области глубоководного жёлоба, а позже входят в состав аккреционного комплекса и таким образом остаются на поверхности. Их детальное изучение позволяет установить природу магматической дуги – внутриокеаническую или окраинно-континентальную. В настоящее время всё чаще в научной литературе появляются исследования по вещественному составу граувакковых и турбидитовых песчаников, а также U-Pb возрасту и изотопии Hf детритовых цирконов в них, особенно для территории Китая (Jiang et al., 2011; Long et al., 2010; Long, Safonova et al., 2012; Chen et al., 2015). Для Центральной Азии таких работ по терригенным породам пока мало. Есть единичные работы по турбидитам и метапесчаникам Горного Алтая (Chen et al., 2016; Kruk et al., 2017), Монголии (Rojas-Agramonte et al., 2014; Bold et al., 2016; Jiang et al., 2017), Киргизии (Rohas-Agramonte et al., 2014; Biske et al., 2019), западного Прибайкалья (Школьник, Макрыгина, 2017). При этом работы, в которых результаты по песчаникам сравнивались бы с таковыми по одновозрастным надсубдукционным магматическим породам, почти отсутствуют (Kruk et al., 2011). Данные по изотопии Hf в цирконах из граувакковых песчаников позволяют реконструировать природу магматических пород питающей провинции даже при отсутствии магматических комплексов, их плохой сохранности или отсутствии цирконов в вулканических породах. Но для западной части ЦАСП, особенно на территории России и Казахстана, таких данных, за редким исключением, практически нет (Chen et al., 2016).

Происхождение терригенных пород в центральном Казахстане традиционно связывалось с формированием Казахского ороклина и эволюцией западного сегмента Палеоазиатского океана (Дегтярев, Рязанцев, 2007; Дегтярев, 2011, 2012; Windley et al., 2007; Xiao et al., 2010; Li et al., 2018). Итмурундинская зона северного Прибалхашья, расположенная в центральной части Казахского ороклина, долгое время оставалась малоизученной. В её пределах были описаны ордовик-раннесилурийские океанические осадки, возраст и происхождение которых долгое время оставался дискуссионным (Новикова и др., 1983; Никитин, 2002). С конца 1990-х годов эта зона описывалась некоторыми исследователями как аккреционный комплекс или аккреционная призма (Жилкайдаров и др., 1988; Степанец, 2015а, б), а ее образование связывалось с эволюцией Палеоазиатского океана и формированием Центрально-Азиатского складчатого пояса (Зоненшайн и др., 1990; Dobretsov et al., 1995; Kovalenko et al., 2004; Windley et al., 2007; Safonova and Maruyama, 2014; Safonova, 2017; Safonova et al., 2019; Сафонова и др., 2019; Safonova et al., 2020). В пределах Итмурундинской зоны распространены базальты (MORB, OIB), пелагические осадки (ленточные кремни), хемипелагические осадки (кремнистые алевролиты, сланцы, аргиллиты), терригенные породы (песчаники глубоководного жёлоба). Для терригенных пород Итмурундинской зоны были получены первые результаты петрографических, геохронологических и изотопно-геохимических исследований (Перфилова и др., 2018, 2019). Их геологическое положение и литологические характеристики кратко описаны в работах Е.И. Паталахи и В.А. Белого (1981). Единственной возрастной оценкой для магматических пород является U-Pb возраст цирконов на 502 млн. лет, полученный для диорита западной части Итмурундинской зоны (Safonova et al., 2019).

Изучение структуры Южного Тянь-Шаня Киргизии началось ещё в 30-е гг. прошлого века (Николаев, 1933; Попов, 1938). Формирование Алайского хребта и расположенного в его пределах

аккреционного комплекса, относящихся к герцинской складчатой области Южного Тянь-Шаня, связывают с развитием Туркестанской ветви Палеоазиатского океана (Biske et al., 2019). В пределах Алайского аккреционного комплекса были описаны базальты, пелагические осадки и турбидитовые песчаники девонского возраста, в том числе и в составе серпентинитового меланжа (Biske 1991; Бискэ 1996). Возраст осадочных пород главным образом был определён палеонтологическим методом (Осмонбетов, 1982; Шаякубов, Далимов, 1998; Бискэ, 1996, 2015; Дженчурева и др., 2015). Однако вопрос о нижней границе начала осадконакопления и характере источников сноса терригенных пород (песчаников) остаётся недостаточно изученным из-за нехватки в первую очередь изотопно-геохимических и геохронологических исследований.

Жарма-Саурская зона, расположенная к северу от Божеколь-Чингизской дуги и к юго-востоку от Чарской зоны, простирается более чем на 450 км от восточного Казахстана до Китая (Windley et al., 2007; Chen et al., 2016; Safonova, 2017). Девонские отложения представлены преимущественно вулканическими породами кислого и основного состава и песчаниками, несогласно перекрывающимися раннекарбонowymi терригенными породами (песчаники, кремнистые сланцы, алевриты и аргиллиты), известняками и вулканическими породами основного состава (Геологическая карта СССР, 1962). На территории Китая продолжение Жарма-Саурской зоны представлено главным образом позднепалеозойской магматической дугой, которая отделена от раннепалеозойской Божеколь-Чингизской дуги офиолитовым поясом Хунгулеленг (Li et al., 2015). Доказательства существования океанического бассейна между двумя этими дугами подтверждаются U-Pb датированием детритовых цирконов. Возраст цирконов в осадочных породах Жарма-Саурской зоны – раннекарбонový (Li et al., 2016), в то время как Божекуль-Чингизская дуга имеет раннепалеозойский возраст (Choulet et al., 2011). Саурские горы на территории Китая сложены островодужными гранитоидами позднедевонско-раннекарбонového возраста с ювенильными изотопными характеристиками Hf по циркону ($\epsilon_{\text{Hf}} = +6 - +16$) и характерными для дуг геохимическими характеристиками (Chen et al., 2010; Hong et al., 2017). Однако вопрос о субстрате Жарма-Саурской вулканической дуги остаётся дискуссионным (Filippova et al., 2001), поскольку для Жарминской части на территории Казахстана до сих пор не было получено изотопно-геохимических и геохронологических данных. Таким образом, запланированные в проекте исследования песчаников в данных регионах являются новыми и актуальными для совершенствования представлений о типах активных окраин западной части Палеоазиатского океана в палеозойское время.

Предлагаемые подходы и методы

Для достижения поставленной научной цели планируется применение следующих методов исследования и подходов к интерпретации полученной информации.

1. Детальное изучение взаимоотношений пород, входящих в состав аккреционных комплексов: магматических пород (при наличии), океанических осадков (пелагические кремни, хемипелагические кремнистые осадки, турбидиты глубоководного желоба), граувакковых песчаников; построение геологических разрезов и литологических колонок.
2. Для вещественной характеристики песчаников будут определены концентрации породообразующих окислов и редких элементов, а также изотопов Sm-Nd с использованием прецизионных аналитических методов. Концентрации породообразующих окислов будут определены с использованием метода рентген-флуоресцентного анализа (РФА) на приборе ARL 9900 (Thermo Scientific, Швейцария), а концентрации редких элементов – с использованием масс-

спектрометрии на индуктивно связанной плазме (ИСП МС) на приборе MAT Element-II (Finnigan, Германия) в Аналитическом центре коллективного пользования Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск). Sm-Nd изотопные данные будут получены в Лаборатории изотопной геологии Института геологии и геохронологии докембрия РАН по методике, детально описанной в (Ковач и др., 2011). Изотопные составы Sm и Nd будут измерены на мультиколлекторном масс-спектрометре TRITON TI в статическом режиме.

Геохимические данные необходимы для классификации песчаников, основанных на соотношении породообразующих окислов $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ - $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ и $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ - $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ для осадочных пород (Pettijohn, 1972; Herron, 1988). Такие данные позволят определить состав питающей провинции по содержанию элементов типичных для мафических (Cr, Ni, Co, Sc и т.д.) и кислых (LREE, Th) пород и их отношениям (Sc/Cr, Zr/Sc, Th/Sc, La/Sc, La/Th, La/Y и т.д.) (McLennan et al., 1993; Floyd and Leveridge, 1987). Тектонические обстановки седиментации будут оцениваться по степени зрелости осадков (Cox et al., 1995) и соотношению мафических и сиалических источников в области сноса для диагностики их принадлежности к отложениям либо континентальных окраин, либо внутриокеанических островных дуг (Bhatia, 1983; Roser and Korsch, 1986; Bhatia and Crook, 1986 и др.).

Для получения усреднённой изотопной характеристики источников сноса детритового материала будет использован анализ изотопного Sm-Nd состава осадков (De Paolo, 1988; Taylor and McLennan, 1988; Ковач и др., 2000). Минимальные значения модельного Nd возраста осадков служат для оценки нижней границы осадконакопления, которая может быть уточнена данными по возрастам детритовых цирконов. Полученные результаты будут использованы для определения материала ювенильной и рециклированной коры в области сноса.

3. Для определения возраста пород, являвшихся источником осадочного материала, а также соотношения разновозрастных комплексов в питающей провинции будет использовано U-Pb датирование цирконов. Данные по U-Pb возрастам уже имеются для образцов Итмурундинской зоны и частично для Жарма-Саурской. Для остальных образцов датирование цирконов будет проводиться на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой, оборудованной установкой с лазерной абляцией (LA ICP MS), в Аналитическом центре Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск) на приборе Thermo Finnigan MAT Element. Для обоснования магматического или ксеногенного происхождения цирконов планируется изучение их внутреннего строения и характера зональности в катодолюминесцентном изображении и анализ величин Th/U отношений. Отбор детритовых цирконов исключительно магматического происхождения из терригенных пород имеет большое значение, поскольку в область сноса могут попадать цирконы любого происхождения, а для реконструкции обстановки активной окраины нам важен возраст и источники именно магматизма. Сопоставление спектров распределения возрастов цирконов из терригенных пород, а также с имеющимися данными по вулканическим породам из смежных комплексов (Дегтярев, 2003; Kröner et al., 2002; Alexeiev et al., 2010; Jiang et al., 2011; Cai et al., 2014; Chen et al., 2016; Biske et al., 2019) позволит выделить наиболее вероятную питающую провинцию для терригенных пород. Нижняя возрастная граница осадконакопления оценивается по самым молодым U-Pb возрастам цирконов.

4. Особое значение имеет характер спектров распределения U-Pb возрастов детритовых цирконов – унимодальный (один пик) или полимодальный (много пиков, включая древние) (Jiang et al., 2011, 2017; Rojas-Agramonte et al., 2014; Chen et al., 2015, 2016 и др.). Для граувакковых песчаников, образованных при разрушении внутриокеанических дуг, особенно в преддуговой области, т.е. со стороны океана, характерны унимодальные спектры распределения U-Pb возрастов, что связано с тем, что такая дуга отделена от континентальной окраины задуговым бассейном (Long et al., 2010;

Bussien et al., 2011; Hara et al., 2013; Chen et al., 2016). Для песчаников, образованных при разрушении континентальных дуг характерны полимодальные спектры, т.е. в область сноса попадают не только цирконы самой магматической дуги, но и цирконы из более древних пород, находящихся в области сноса (Jiang et al., 2011, 2017; Long et al., 2012; Rojas-Agramonte et al., 2014).

5. Изотопный состав Hf в цирконах будет применен для определения параметров источника магматических пород в области сноса (ювенильный или рециклированный). Данные по изотопии Hf в цирконах уже имеются для образцов Итмурундинской и Жарма-Саурской зон. Для образцов южного Тянь-Шаня состав Hf в цирконах будет изучен на приборе LA ICP MS в лаборатории давнего партнера и соавтора руководителя аспиранта – проф. Мин Суна, университет Гонконга. Радиогенный изотопный состав Hf в цирконах (т.е. когда значения ϵ_{Hf} заметно выше нуля) предполагает ювенильный и связанный с деплетированной мантией характер источника магм.

6. Обобщение всех аналитических данных позволит охарактеризовать породы в области сноса песчаников. Внутриокеанические дуги образуются на КОТТ марианского типа и включают в себя образования глубоководного жёлоба, аккреционного комплекса, преддугового прогиба, вулканической дуги, задугового бассейна и континентальной окраины. Крайне-континентальные дуги образуются на КОТТ андийского типа, где отсутствует задуговый бассейн, но широко проявлен известково-щелочной магматизм среднего и кислого состава (Pearce, Peate, 1995; Фролова, Бурикова, 1997; Pearce et al., 1999 и др.). Если геохимические характеристики песчаников соответствуют среднему составу основных и средних островодужных магматических серий (толеитовые и известково-щелочные базальты и андезиты), их изотопный состав соответствует ювенильной коре (положительные ϵ_{Nd} в породе и Hf в цирконах), а распределение U-Pb возрастов детритовых цирконов из песчаников имеет унимодальный характер, то исходная дуга была внутриокеаническая. Если состав песчаников предполагает доминирование в источниках сноса андезитов и кислых разностей (дациты-гранодиориты и риолиты-граниты), их величины ϵ_{Nd} и Hf имеют отрицательные значения, а распределение U-Pb возрастов детритовых цирконов полимодальное, то разрушалась, скорее всего, континентальная дуга (или активная континентальная окраина). Дополнительная информация о типе дуги может быть получена с помощью дискриминационных диаграмм (Bhatia, 1983; Roser and Korsch, 1986; Bhatia and Crook, 1986; Floyd and Leveridge, 1987; McLennan et al., 1993).

Ожидаемые результаты и их научная значимость

1. По результатам анализа литературных данных и детальных полевых работ в центральном и восточном Казахстане в 2017-2019 годах и в Киргизии в 2018 году, а также запланированных на 2021 год полевых работ в Жарма-Саурской зоне будут выделены ключевые участки работ для их детального картирования, составлены геологические схемы и разрезы.
2. По результатам всех полевых работ сформирована коллекция песчаников из Итмурундинской зоны центрального Казахстана (ордовик-ранний силур), Алайской зоны Южного Тянь-Шаня Киргизии (девон) и Жарма-Саурской зоны восточного Казахстана (поздний девон-ранний карбон).
3. В результате U-Pb датирования цирконов из песчаников определён возраст магматических пород в области сноса, установлен характер U-Pb возрастных спектров детритовых цирконов (унимодальный или полимодальный) и оценён возраст осадконакопления (верхняя граница спектра U-Pb возрастов).
4. Выполнен анализ породообразующих и редких элементов в осадочных породах (песчаниках), на основе которого установлен состав пород в области сноса и проведена корреляция со средним составом магматических пород в исследуемых районах.

5. Определён изотопный состав Nd по породе и изотопный состав Hf в цирконах для оценки характера источников магматических пород (ювенильный или рециклированный).
6. Все полученные данные – геологические, геохимические, геохронологические и изотопные будут систематизированы для определения типа вулканической дуги для каждого комплекса/активной окраины.

Научная значимость результатов состоит в (1) мульти-дисциплинарном изучении аккреционных комплексов, являющихся важным элементом в составе конвергентной окраины тихоокеанского типа; (2) недостаточной изученности некоторых исследуемых районов и как следствие нехватке прецизионных данных, использование которых помогает в расшифровке геодинамической эволюции региона; (3) комплексном характере методов и подходов решения поставленных задач, сочетающие в себе традиционные методы геологического картирования и высокоточные геохимические и изотопно-геохронологические исследования.

Полученные научные результаты будут представлены на международных и российских научных конференциях (см. ниже «План реализации проекта») и обобщены в виде статей в высокорейтинговых международных и российских журналах.

Общий план исследований на весь срок реализации проекта

Первый год:

1. Работа с имеющейся коллекцией песчаников Итмурундинской зоны центрального Казахстана и Алайской зоны Южного Тянь-Шаня, отобранных во время полевых работ 2017-2019 гг.:
 - петрографическое описание шлифов,
 - обработка имеющихся аналитических данных (U-Pb возраст, концентрации породообразующих и редких элементов и изотопов Nd, изотопы Hf в цирконах по центральному Казахстану),
 - подготовка публикации по геологии, геохимии и цирконометрии песчаников Итмурундинской зоны центрального Казахстана,
 - подготовка публикации по геологии, геохимии и цирконометрии песчаников Алайской зоны южного Тянь-Шаня (совместно с коллегами из СПбГУ).
2. Подготовка и проведение полевых работ в Жарма-Саурской зоне:
 - детальное картирование обнажений,
 - замер структурных элементов,
 - отбор проб для изотопно-геохимических и геохронологических исследований,
 - построение геологических разрезов и литологических колонок.
3. Обработка образцов Жарма-Саурской зоны:
 - изготовление и петрографическое описание шлифов песчаников,
 - подготовка проб для геохимических и изотопных исследований пород и U-Pb датирования цирконов и анализа изотопов Hf в них.
4. Анализ породообразующих и редких элементов в песчаниках Жарма-Саурской зоны (ИГМ СО РАН, Новосибирск), обработка аналитических данных.
5. Участие в V Всероссийской научной конференции с международным участием "Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит", Владивосток; Международном симпозиуме IAGR 2021 «От Гондваны к Азии», сентябрь 2020, Циньдао, Китай.
6. Подготовка годового отчета.

Второй год:

1. U-Pb датирование и параллельно анализ изотопов Hf цирконов из песчаников Алайской и Жарма-Саурской зоны.
2. Завершение (при необходимости) аналитических исследований образцов полевого сезона 2021 года.
3. Обработка всех аналитических данных: создание баз данных, расчеты концентраций, изотопных отношений, возрастов, построение графиков и диаграмм.
4. Подготовка публикации по геологии, геохимии и цирконометрии песчаников Жарма-Саурской зоны (совместно с коллегами из ИГМ СО РАН).
5. Корреляция геологических, изотопно-геохимических, геохронологических данных по всем аккреционным комплексам Казахстана и Киргизии для будущей диссертационной работы.
6. Участие в российско-китайском семинаре молодых ученых в Университете Гонконга и в Тектоническом совещании, ГИН РАН, Москва.
7. Работа над кандидатской диссертацией на тему: «Геологическое положение, цирконометрия, возраст и изотопные характеристики терригенных пород из палеозойских аккреционных комплексов западной части Центрально-Азиатского складчатого пояса».
8. Подготовка итогового отчета.

Научный и педагогический задел научного руководителя аспиранта

Руководитель аспиранта Сафонова И.Ю. является активным исследователем аккреционных и надсубдукционных комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса и западной Пацифики и признанным специалистом в этой области знаний. Ею опубликованы десятки статей в высокорейтинговых российских и международных журналах (85 в системе Вэб оф Сайнс), подготовлены две монографии, завершена работа над докторской диссертацией, которая будет представлена в самое ближайшее время.

Основным заделом руководителя проекта являются научные результаты, полученные в рамках предыдущего проекта РФФИ (№ 16-05-00313, 2016-2018) и мегагранта Правительства РФ «Мультидисциплинарное изучение складчатых поясов тихоокеанского типа и создание согласованной модели эволюции океанов, их активных окраин и мантийного магматизма» (№ 14.Y26.31.0018, 2017-2019) под руководством ведущего ученого проф. Ш. Маруяма. По проекту РФФИ был сделан обзор 21 внутриокеанической дуги ЦАСП (Safonova et al., 2017) и выделены районы перспективные для диагностики новых локаций таких дуг в районах с широким распространением терригенных граувакковых и турбидитовых пород при крайне ограниченном присутствии магматических пород (Safonova, 2017; Safonova et al., 2018), получены данные по U-Pb возрастам цирконов и изотопно-геохимическому составу песчаников из Чарской зоны восточного Казахстана, смежной с Жарма-Саурской зоной. В рамках мегагранта совместно с аспирантом были начаты работы по изучению Итмурундинской зоны северного Прибалхашья, Алайской зоны Киргизии и Жарма-Саурской зоны восточного Казахстана.

В основу предлагаемого проекта положены: (1) результаты и опыт изучения магматических и осадочных пород океанического и надсубдукционного происхождения Горного Алтая, центрального и восточного Казахстана, Киргизии и Японии с помощью современных методов геохронологии и анализа концентраций породообразующих и редких элементов, отношений радиоактивных изотопов и геодинамических реконструкций (Буслов и др., 1998, 1999; Buslov et al.,

2001, 2002; Сафонова и др., 2008, 2011; Safonova et al., 2004, 2009, 2012, 2015, 2016, 2018); 2) опыт U-Pb датирования цирконов из магматических и терригенных пород и геохимического изучения осадков Центрально-Азиатского складчатого пояса (Сафонова и др., 2010; Safonova et al., 2009, 2010a, b, 2018; Long et al., 2012; Yang et al., 2014; Glorie et al., 2014; Попов и др., 2015); 3) имеющиеся у руководителя и аспиранта картографические материалы, коллекции образцов и результаты полевых работ и предварительных аналитических исследований аккреционных комплексов Казахстана и Киргизии (2017-2019 гг.); 4) предварительные данные по геологии, литологии и составу вулканических пород Итмурундинской зоны (Сафонова и др., 2019, Safonova et al., 2020 - статьи, где соавторами являются и руководитель, и аспирант); 5) предварительные данные по возрасту и составу терригенных пород Итмурундинской зоны, опубликованные в материалах конференций (Перфилова и др., 2018, 2019; Петренко и др., 2018, 2019; Сафонова, Перфилова и др., 2018, 2019; Perfilova, Safonova, 2019).

Дополнительным заделом для решения поставленных в проекте задач являются опыт руководителя (2008-2019 гг.) и аспиранта (2017-2019 гг.) полевых работ в Казахстане и Киргизии (2009 - руководитель, 2018 - вместе), результаты структурных, литологических, петрологических и геохимических исследований Казахстана и Киргизии и опыт их тектонической и геодинамической интерпретации (Сафонова, 2008; Сафонова и др., 2008, 2011; Buslov et al., 2001, 2004; Safonova et al., 2004, 2009, 2011, 2012, 2015, 2016; Long et al., 2012; Yang et al., 2014; Ge et al., 2015; Li et al., 2018). Руководитель занимается датированием цирконов с 2006 года и опубликовала много статей по геохронологии, геохимии и изотопии как магматических, так и осадочных пород (Сафонова и др., 2008, 2010, 2011; Safonova et al., 2010, 2011, 2012, 2015, 2016, 2018; Long et al., 2012; Glorie et al., 2014; Yang et al., 2014; Ge et al., 2015 и др.).

Сафонова И.Ю. имеет большой опыт международного сотрудничества: была лидером проекта IGCP#592 "Образование континентальной коры в Центральной Азии" и в настоящее время является ко-лидером проекта IGCP#662 «Архитектура орогенов и коробразование: от аккреции к коллизии». Она является ассоциированным редактором высокорейтинговых международных журналов *Gondwana Research*, *Geoscience Frontiers*, *Journal of Asian Earth Science*; рецензентом журналов *American Journal of Science*, *Geological Society of America Bulletin*, *Geoscience Frontiers*, *Gondwana Research*, *International Geology Review*, *Lithos*, *Journal of Asian Earth Sciences*, *Journal of Geodynamics*, *Precambrian Research*, *Russian Geology and Geophysics*, *Tectonophysics*; экспертом проектов Совета по Наукам Гонконга, Научного фонда Чехии, Корейского института геологии и минеральных ресурсов (КИГАМ); секретарем Международной ассоциации по изучению Гондваны. Лауреат грантовых программ Корейского фонда науки и технологий (KOFST), Японского общества продвижения науки (JSPS), Департамента зарубежных экспертов Министерства иностранных дел Китая по изучению аккреционных и надсубдукционных комплексов центральной и восточной Азии, орогении тихоокеанского типа, тектоники Азии.

Руководитель аспиранта ведет активную образовательную деятельность. Сафонова И.Ю. была руководителем и со-руководителем нескольких бакалаврских, магистерских работ на ГГФ НГУ и в Университете Тохоку, аспирантов ИГМ СО РАН, консультантом кандидатских работ. Ею прочитаны десятки лекций по приглашениям университетов Японии (Токийский университет, Университет Тохоку, Университет Кочи, Токийский институт технологий), Южной Кореи (Сеульский национальный университет, Университет Йонсей) и Китая (Университет Нанкина, Университет Гонконг). Начиная с 2017 года Сафонова И.Ю. провела десятки лекций и семинаров для студентов и аспирантов Лаборатории эволюции палео-океанов и мантийного магматизма НГУ.

Опыт руководителя и высокая работоспособность и целеустремленность аспиранта гарантируют успешную реализацию проекта, в том числе опубликование полученных результатов,

и в дальнейшем подготовку и защиту аспирантом диссертации на соискание степени кандидата геолого-минералогических наук.

Список основных публикаций научного руководителя (только публикации в рецензируемых журналах)

1. Safonova I., Savinskiy I., Perfilova A., Gurova A., Maruyama S., Tsujimori T., 2020. The Itmurundy Pacific-type orogenic belt in northern Balkhash, central Kazakhstan: Revisited plus first U-Pb age, geochemical and Nd isotope data from igneous rocks. *Gondwana Research* 79, 49-69.
2. Khassen B. P., Safonova I.Yu., Yermolov P.V., Antonyuk R.M., Gurova A.V., Obut O.T., Perfilova A.A., Savinskiy I.A., Tsujimori T. 2020. The Tekturmas ophiolite belt of central Kazakhstan: Geology, magmatism, and tectonics. *Geological Journal* 55, 2363–2382.
3. Furnes, H., Safonova, I., 2019. Ophiolites of the Central Asian Orogenic Belt: Geochemical and petrological characterization and tectonic settings. *Geoscience Frontiers* 10, 1255-1284.
4. Сафонова И.Ю., Перфилова А.А., Обут О.Т., Савинский И.А., Чёрный Р.И., Петренко Н.А., Гурова А.В., Котлер П.Д., Хромых С.В., Кривоногов С.К., Маруяма Ш. Итмурундинский аккреционный комплекс (северное Прибалхашье): геологическое строение, стратиграфия и тектоническое происхождение. *Тихоокеанская геология*, т. 38, № 3, с. 102-117.
5. Safonova I., Komiya T., L. Romer R., Simonov V., Seltmann R., Rudnev S., Yamamoto S., Sun M., 2018. Supra-subduction igneous formations of the Char ophiolite belt, East Kazakhstan. *Gondwana Research* 59, 159–179.
6. Safonova I., Maruyama S., Kruk N., Obut O., Kotler P., Gavryushkina O., Khromykh S., Kuibida M., Krivonogov S., 2018. Pacific-type orogenic belts: linking evolution of oceans, active margins and mantle magmatism. *Episodes* 41, 79-88.
7. Safonova, I., Kotlyarov, A., Krivonogov, S., Xiao, W., 2017. Intra-oceanic arcs of the Paleo-Asian Ocean. *Gondwana Research* 50, 167-194.
8. Safonova I., 2017. Juvenile versus recycled crust in the Central Asian Orogenic Belt: Implications from ocean plate stratigraphy, blueschist belts and intra-oceanic arcs. *Gondwana Research* 47, 6-27.
9. Safonova I., Maruyama, S., Kojima S., Komiya T., Krivonogov S., Koshida K., 2016. Recognizing OIB and MORB in accretionary complexes: a new approach based on ocean plate stratigraphy, petrology, and geochemistry. *Gondwana Research* 33, 92-114.
10. 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.
11. Safonova, I., Maruyama, S., Litasov, K., 2015. Generation of hydrous-carbonate plumes in the mantle transition zone linked to tectonic erosion and subduction. *Tectonophysics* 662, p. 454-471.
12. Safonova, I., Kojima, S., Nakae, S., Romer, R., Seltmann, R., Sano, H., Onoue, T., 2015. Oceanic island basalts in accretionary complexes of SW Japan: Tectonic and petrogenetic implications. *Journal of Asian Earth Sciences* 113, 508-523.
13. Safonova, I., Santosh, M., 2014. Accretionary complexes in the Asia-Pacific region: Tracing archives of ocean plate stratigraphy and tracking mantle plumes. *Gondwana Research* 25, 126-158.
14. Safonova I., Maruyama, S., 2014. Asia: a frontier for a future supercontinent Amasia. *International Geology Review* 59, 1051-1071.
15. Safonova, I., Simonov, V.A., Obut, O.T., Kurganskaya, E.V., Romer, R., Seltmann, R., 2012. Late Paleozoic oceanic basalts hosted by the Char suture-shear zone, East Kazakhstan: geological position, geochemistry, petrogenesis and tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences* 49, 20-39.

16. Long X., Yuan C., Sun M., Safonova I., Xiao W., Wang Y., 2012. Geochemistry and U-Pb detrital zircon dating of Paleozoic greywackes in East Junggar, NW China: Insights into subduction-accretion processes in the southern Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research* 21, 637-663.

Научный задел аспиранта

Аспирант Перфилова А.А. начала исследования по схожей тематике еще в магистратуре НГУ. Ее магистерская работа посвящена геологическому положению, составу и цирконометрии песчаников Итмурундинского аккреционного комплекса центрального Казахстана. На Итмурундинском комплексе Перфилова А.А. провела три полевых сезона (2017-2019). Ею уже получены данные по цирконометрии песчаников, составу изотопов Hf в цирконах, составу породообразующих и редких элементов и изотопов Nd (по валу), сделаны предварительные выводы о двух типах материнских дуг, доминировавших в области сноса граувакковых песчаников: раннеордовикская внутриокеаническая (базальт-андезитовая) и позднеордовикская окраинно-континентальная (андезит-дацитовая) (рис. 3). Эти работы будут завершены в течение 1-го года реализации проекта (2-го года аспирантуры), и будет подготовлена публикация в рецензируемом журнале.

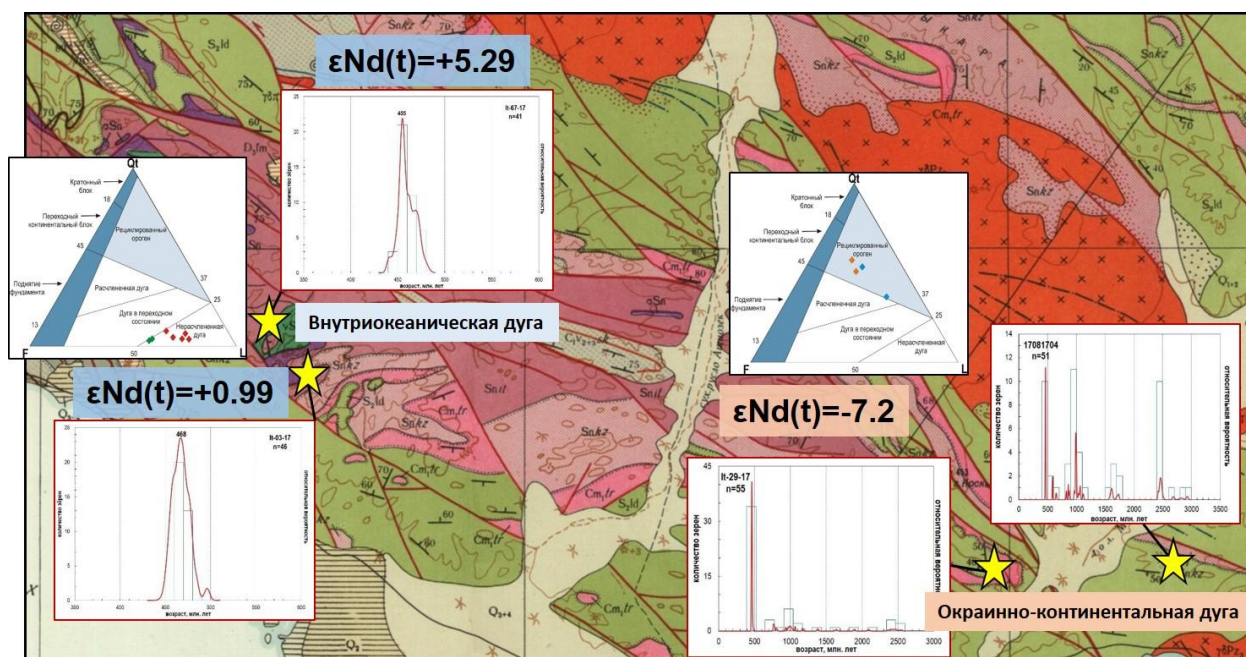


Рис. 3. Фрагмент геологической карты СССР, масштаб 1:200000, Серия Прибалхашская, лист L-43-XI (1960). Составители: В. Я. Кошкин, В. В. Галицкий, Южно-Казахстанское геологическое управление Министерства геологии и охраны недр СССР.

В Жарма-Саурской зоне Перфилова А.А. работала в 2017 году, были получены предварительные данные по геохимии и изотопии, предполагающие существование в раннем карбоне внутриокеанической дуги. Но для окончательного вывода имеющихся образцов и геологических и геохимических данных недостаточно, поэтому в проекте запланированы полевые работы в этом регионе восточного Казахстана (1 год) и дополнительные аналитические исследования (1 и 2 год).

В 2018 году Перфилова А.А. участвовала в полевых работах на Алайском хребте южного Тянь-Шаня (Киргизия), где под руководством И.Ю. Сафоновой и проф. СПбГУ Г.С. Бискэ ею были изучены и опробованы разрезы отложений глубоководного желоба (турбидиты) и преддуговых

прогибов (граувакки) девонского возраста. Ею уже получены первые аналитические данные, которые также являются заделом для проекта.

Таким образом, Перфилова А.А. имеет достаточно большой опыт полевых исследований и обработки аналитических данных. Кроме полевых работ в восточном (2017) и центральном (2017-2019) Казахстане и в Киргизии (2018) она участвовала в полевых работах на Горном Алтае России (2017), Уланбаторском аккреционном комплексе Монголии (2018-2019) и аккреционном комплексе Мино Японии (2019). Поскольку одной из главных задач проекта является определение возраста магматических пород в области сноса песчаников и нижней границы осадконакопления, то особое значение имеет опыт аспиранта по изучению состава осадочных пород и U-Pb датированию детритовых цирконов. Перфилова А.А. прошла стажировки по U-Pb датированию и исследованию изотопии Hf в цирконах из осадочных и вулканических пород методом LA ICP-MS в Университете Нанкина, Китай (апрель 2018), Университете Гонконга, Китай (декабрь 2018) и Университете Окаяма, Япония (ноябрь 2019).

Перфилова А.А. участвовала во многих российских и международных научных конференциях: 16th International Conference on Gondwana to Asia, Коти, Япония, 8-10 ноября, 2019 (постер); 13th International Symposium on the Ordovician System, Новосибирск, Россия, 19-22 июля, 2019 (постер); 57-й Международной студенческой конференции, Новосибирск, Россия, 14-19 апреля, 2019 (устный); Международном симпозиуме имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 120-летию со дня рождения академика К.И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К.В. Радугина, 8-12 апреля, 2019 (устный); Joint Seminar of Early Career Geoscientists on the Central Asian Orogenic Belt, Гонконг, Китай, 7 декабря 2018 (устный); X Всероссийской с международным участием петрографической конференции «Петрология магматических и метаморфических комплексов», Томск, Россия, 27-30 ноября, 2018 (устный); IX Международной Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле, Новосибирск, Россия, 19-23 ноября, 2018 (устный); IV Всероссийской научной конференции с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит», Владивосток, Россия, 17-23 сентября, 2018 (постер).

К настоящему времени Перфиловой А.А. в соавторстве опубликовано 3 статьи в рецензируемых журналах и 12 статей в материалах конференций.

Список основных публикаций аспиранта

1. Сафонова И.Ю., Перфилова А.А., Обут О.Т., Савинский И.А., Чёрный Р.И., Петренко Н.А., Гурова А.В., Котлер П.Д., Хромых С.В., Кривоногов С.К., Маруяма Ш. Итмурундинский аккреционный комплекс (северное Прибалхашье): геологическое строение, стратиграфия и тектоническое происхождение. Тихоокеанская геология, т. 38, № 3, с. 102-117.
2. Safonova, I. Yu., Savinsky, I.A., Perfilova, A.A., Gurova, A.V., Maruyama, S., Tsujimori, T., 2020. Itmurundy accretionary complex (Northern Balkhash): geological structure, stratigraphy and tectonic origin. Gondwana Research 79, 49-69.
3. Khassen B. P., Safonova I.Yu., Yermolov P.V., Antonyuk R.M., Gurova A.V., Obut O.T., Perfilova A.A., Savinskiy I.A., Tsujimori T. 2020. The Tekturmas ophiolite belt of central Kazakhstan: Geology, magmatism, and tectonics. Geological Journal 55, 2363–2382.
4. Perfilova A.A., Safonova I.Yu. Terrigenous rocks of the Itmurundy accretionary complex of Northern Balkhash, Central Kazakhstan: detrital zircon U-PB age, geochemistry and ND isotopes. 13th International Symposium on the Ordovician System: Contributions of International Symposium. Novosibirsk, Russia, July 19-22, 2019.

5. Перфилова А.А. Первые данные о возрасте и составе терригенных пород Итмурундинского аккреционного комплекса северного Прибалхашья. Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции, 14–19 апреля, 2019 г. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, с. 18.
6. Петренко Н.А., Перфилова А.А., 2019. Состав породообразующих и редких элементов базальтов Итмурундинского аккреционного комплекса, северное Прибалхашье. Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции, 14-19 апреля, 2019. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, с. 78.
7. Перфилова А.А., Сафонова И.Ю., Чёрный Р.И., 2019. Геологическое положение, возраст и состав терригенных пород Итмурундинского аккреционного комплекса (северное Прибалхашье, центральный Казахстан). Труды XXIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня рождения академика К.И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К.В. Радугина, 8-12 апреля, 2019 / Томск: Изд-во Томского политехнического университета, с.57-59.
8. Петренко Н.А., Перфилова А.А., Сафонова И.Ю., Котлер П.Д., Чёрный Р.И., Маруяма Ш. Вулканические и терригенные породы Итмурундинского аккреционного комплекса, северное Прибалхашье: петрография, геохимия и тектонические обстановки формирования. Материалы X Всероссийской научной конференции с международным участием «Петрология магматических и метаморфических комплексов», 27-30 ноября, 2018 г. – Томск: Изд-во Томского ЦНТИ. Вып. 10. 2018. С. 428-432.
9. Перфилова А.А., Сафонова И.Ю., Обут О.Т., Савинский И.А., Котлер П.Д., Чёрный Р.И., Петренко Н.А., Маруяма Ш. Геологическое положение, возраст и геохимия терригенных пород Итмурундинского аккреционного комплекса (северное Прибалхашье, центральный Казахстан). Материалы IX Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле. Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск: ИПЦНГУ. 2018. С. 471-474.
10. Сафонова И.Ю., Перфилова А.А., Обут О.Т., Савинский И.А., Котлер П.Д., Хромых С.В., Кривоногов С.К., Гурова А.В., Чёрный Р.И., Петренко Н.А., Маруяма Ш. Итмурундинский аккреционный комплекс, северное Прибалхашье: кембро-ордовикский этап развития Палеоазиатского океана. IV Всероссийская научная конференция с международным участием "Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит", Владивосток, Россия, Сентябрь 17-23, 2018. С. 91-93.

Список литературы к проекту

- Берзин Н.А., Колман Н.Г., Добрецов Н.Л., Зоненшайн Л.П., Сючань С., Чанг Э.З. Геодинамическая карта западной части Палеоазиатского океана. Геология и геофизика, 1994, т. 35 (7-8), с. 8-28.
- Бискэ Ю.С. Палеозойская структура и история Южного Тянь-Шаня. – С.-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 1996. – 190 с.
- Буслов М.М., Зыкин В.С., Новиков И.С., Дельво Д. Структурные и геодинамические особенности формирования Чуйской межгорной впадины Горного Алтая в кайнозое. Геология и геофизика, 1999, т. 40 (12), с. 1720-1736.
- Геологическая карта СССР, масштаб 1:200 000. Чингиз-Саурская серия. Объяснительная записка к листу М-44-XXIX. – М.: Недра, 1965.
- Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Донская Т.В., де Ваэле Б., Станевич А.М., Писаревский С.А. Проблема возраста и природы вулкаников Западного Прибайкалья, рассматриваемых в разрезе рифея Сибирского кратона. Геология и геофизика, 2008, т. 49, № 10, с. 990-1003.
- Гордиенко И.В., Филимонов А.В., Минина О.Р., Горнова М.А., Медведев А.Я., Климук В.С., Елбаев А.Л., Томуртоого О. Джидинская островодужная система Палеоазиатского океана: строение и основные этапы геодинамической эволюции в венде-палеозое Геология и геофизика, 2007, т. 48, №1, с. 120-140.
- Гордиенко И.В., Булгатов А.Н., Руженцев С.В., Минина О.Р., Климук В.С., Ветлужских Л.И., Некрасов Г.Е., Ласточкин Н.И., Ситникова В.С., Метелкин Д.В., Гонегер Т.А., Лепехина Е.Н. История развития Удино-

- Витимской островодужной системы Забайкальского сектора Палеоазиатского океана в позднем рифее – палеозое. Геология и геофизика, 2010, т. 51, №5, с. 589-614.
- Дегтярев К.Е., Рязанцев А.В. Модель кембрийской коллизии дуга-континент для палеозоид Казахстана. Геотектоника, 2007, № 1, с. 71-96.
- Дегтярев К.Е. Тектоническая эволюция раннепалеозойских островодужных систем и процессы формирования континентальной коры каледонид Казахстана и северного Тянь-Шаня. Геотектоника, 2011, 45, № 1, с. 28-57.
- Дегтярев К.Е., Толмачева Т.Ю., Рязанцев А.В., Третьяков А.А., Якубчук А.С., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Яковлева С.З., Гороховский Б.М. Строение, обоснование возраста и тектоническая позиция нижне-среднеордовикских вулканогенно-осадочных и плутонических комплексов западной части Киргизского хребта (Северный Тянь-Шань). Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2012, №4, с. 3-32.
- Дженчурева Р.Д., Пак Н.Т., Ивлева Е.А., Мезгин И.А., Усманов И.А. Металлогения углеродистых отложений Тянь-Шаня. Бишкек «ИЛИМ», 2015.
- Добрецов Н.Л. Эволюция структур Урала, Казахстана, Тянь-Шаня и Алтае-Саянской области в Урало-Монгольском складчатом поясе (Палеоазиатский океан). Геология и геофизика, 2003, т.44, №1-2, с. 5-27.
- Добрецов Н.Л., Буслов М.М., Сафонова И.Ю., Кох Д.А. Фрагменты океанических островов в структуре Курайского и Катунского аккреционных клиньев Горного Алтая. Геология и геофизика, 2004, т. 45, №12, с. 1383-1405.
- Донская Т.В., Скляр Е.В., Мазукабзов А.М. Синкинематические интрузии обрамления Заганского комплекса метаморфического ядра (юго-западное Забайкалье): геохимия и петрогенезис. Геология и геофизика, 2000, т. 41, с. 1369-1378.
- Жилкайдаров А.М. О возрасте вулканогенно-кремнистых отложений Джунгаро-Балхашской области по конодонтам. Вестник Академии наук Казахской ССР, 1988, № 5, с. 84-46.
- Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит СССР. Т. I. М.: Недра, 1990, 328 с.
- Казанский А.Ю., Буслов М.М., Метелкин Д.В. Эволюция палеозойской структуры Горного Алтая: корреляция палеомагнитных и геологических данных. Геология и Геофизика 1998, т. 39, № 3, с. 297-306.
- Ковач В.П., Котов А.Б., Смелов А.П., Старосельцев К.В., Сальникова Е.Б., Загорная Н.Ю., Сафронов А.Ф., Павлушин А.Д. Этапы формирования континентальной коры погребенного фундамента восточной части Сибирской платформы: Sm-Nd изотопные данные. Петрология, 2000, т. 8, № 4, с. 394-408.
- Никитин И.Ф. Ордовикские кремнистые и кремнисто-базальтовые комплексы Казахстана. Геология и геофизика, 2002, т. 43, с. 512-527.
- Николаев В.А. О важнейшей структурной линии Тянь-Шаня / «Записки Всероссийского минералогического общества. Вторая серия». — 1933, ч. 62, вып. 2
- Новикова М.З., Герасимова Н.А., Дубинина С.В. Конодонты из вулканогенно-кремнистого комплекса Северного Прибалхашья. Доклады АН СССР, 1983, т. 271, с. 1449-1451.
- Осмонбетов К.О., Кнауф В.И., Королев В.Т. Стратифицированные и интрузивные образования Киргизии / Фрунзе: Илим, 1982. – Т. 1. – 357 с; Т. 2. – 245 с.
- Попов Н.В., Сафонова И.Ю., Постников А.А., Терлеев А.А., Комия Ц., Токарев Д.А. Паеопротерозойские гранитоиды из фундамента центральной части Сибирской платформы (скважина Могдинская-6): U-Pb возраст и состав. Доклады РАН, 2015, т. 461, № 5, с. 558-562.
- Сафонова И.Ю., Симонов В.А., Буслов М.М., Ота Ц., Маруяма Ш. Неопротерозойские базальты Палеоазиатского океана из Курайского аккреционного клина (Горный Алтай): геохимия, петрогенезис, геодинамические обстановки формирования. Геология и геофизика, 2008, 49, № 4, с. 335-356.
- Сафонова И.Ю., Рино Ш., Маруяма Ш. U-Pb возраст детритовых цирконов из современных отложений реки Янцзы и этапы орогении в Юго-Восточной Азии. Доклады РАН, 2010, т. 431, вып. 1, с. 72-77.
- Сафонова И.Ю., Перфилова А.А., Обут О.Т., Савинский И.А., Чёрный Р.И., Петренко Н.А., Гурова А.В., Котлер П.Д., Хромых С.В., Кривоногов С.К., Маруяма Ш. Итмурундинский аккреционный комплекс (северное Прибалхашье): геологическое строение, стратиграфия и тектоническое происхождение. Тихоокеанская геология, т. 38, № 3, с. 102-117.
- Склярова О.А., Скляр Е.В., Федоровский В.С. Структурно-геологический контроль локализации и состава вод озер и родников Приольхонья. Геология и геофизика, 2002, т. 43, №8, с. 732-745.
- Степанец В.Г. «Офиолиты» нижнего палеозоя Северного Прибалхашья не отражают состав океанической коры геологического прошлого. Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук, 2015б, № 5, с. 5-29.
- Степанец В.Г. Геология и геодинамика офиолитов Центрального Казахстана. КГТУ. Караганда, 2015а, 362 с.
- Федоровский В.С., Владимиров А.Г., Хаин Е.В., Каргополов С.А., Гибшер А.С., Изох А.Э. Тектоника, метаморфизм и магматизм коллизионных зон каледонид Центральной Азии. Геотектоника, 1995, № 3, с. 3-22.
- Федоровский В.С., Скляр Е.В. Ольхонский геодинамический полигон (Байкал): аэрокосмические данные высокого разрешения и геологические карты нового поколения. Геодинамика и тектонофизика, 2010, № 4. с. 331-418.

- Фролова Т.И., Бурикова И.А. Магматические формации современных геотектонических обстановок. Уч. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1997, 320 с.
- Ханчук А.И., Кемкин И.В., 2003. Геодинамическая эволюция Япономорского региона в мезозое. Вестник ДВО РАН № 6, 94-108.
- Шаякубов Т., Далимов Т. Вулканизм Западного Тянь-Шаня. –Ташкент: ФАН, 1988. – 328 с.
- Школьник С.И., Макрыгина В.А. Геохимия и изотопный состав метатерригенных отложений хамардабанской серии (Центрально-Азиатский складчатый пояс). Геология и геофизика, 2017, №10, с. 1500-1513.
- Alexeiev, D.V., Kroner, A., Hegner, E., Rojas-Agramonte, Biske G., Wong, J., Geng, H., Ivleva, E.A., Mühlberg, M., Mikolaichuk, A.V., and Liu, D.Y., 2016, Middle to Late Ordovician arc system in the Kyrgyz Middle Tianshan: from arc-continent collision to subsequent evolution of a Palaeozoic continental margin: *Gondwana Research* 39, 261-291.
- Bhatia, M.R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology* 91, 611-627.
- Bhatia, M.R., Crook, K.A.W., 1986. Trace elements characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 92, 181-193.
- Biske, Yu.S., 1991. Island arcs in the Paleozoic history of the Southern Tien-Shan region. *Geotectonics* 25 (2), 127-131.
- Biske, Y. S., Alexeiev, D. V., Ershova, V. B., Priyatkina, N. S., DuFrane, S. A., & Khudoley, A. K., 2019. Detrital zircon U Pb geochronology of middle Paleozoic sandstones from the South Tianshan (Kyrgyzstan): Implications for provenance and tectonic evolution of the Turkestan Ocean. *Gondwana Research* 75, 97-117.
- Buslov, M.M., Safonova, I.Yu., Watanabe, T., Obut, O.T., Fujiwara, Y., Iwata, K., Semakov, N. N., Sugai, Y., Smirnova, L.V., Kazansky, A.Yu., Itaya, T., 2001. Evolution of the Paleo-Asian Ocean (Altai-Sayan Region, Central Asia) and collision of possible Gondwana-derived terranes with the southern marginal part of the Siberian continent. *Geoscience Journal* 5, 203-224.
- Buslov M. M., Watanabe T., Safonova I.Yu., Iwata K., Travin A., 2002. A Vendian-Cambrian island arc system of the Siberian continent in Gornyy Altai (Russia, Central Asia). *Gondwana Res.* 5, 781-800.
- Bussien, D., Gombojav, N., Winkler, W., von Quadt, A., 2011. The Mongol-Okhotsk Belt in Mongolia – An appraisal of the geodynamic development by the study of sandstone provenance and detrital zircons. *Tectonophysics* 510, 132-150.
- Cai, K., Sun, M., Xiao, W., Buslov, M.M., Yuan, C., Zhao, G., Long, X., 2014. Zircon U–Pb geochronology and Hf isotopic composition of granitoids in Russian Altai Mountain, Central Asian Orogenic Belt. *American Journal of Science* 314, 580–612.
- Chen, M., Sun, M., Cai, K., Buslov, M.M., Zhao, G., Jiang, Y., Rubanova, E.S., Kulikova, A.V., Voytishek, E.E., 2016. The early Paleozoic tectonic evolution of the Russian Altai: Implications from geochemical and detrital zircon U–Pb and Hf isotopic studies of meta-sedimentary complexes in the Charysh–Terekta–Ulagan–Sayan suture zone. *Gondwana Research* 34, 1-15.
- Choulet, F., Chen, Y., Wang, B., Faure, M., Cluzel, D., Charvet, J., Lin, W., Xu, B., 2011. Late Paleozoic paleogeographic reconstruction of western Central Asia based upon paleomagnetic data and its geodynamic implications. *Journal of Asian Earth Sciences* 42, 867-884.
- Cox, R., Lowe, D. R. A., 1995. A conceptual review of regional-scale controls on the composition of clastic sediment and the co-evolution of continental blocks and their sedimentary cover. *Journal of Sedimentary Research* 1, 1-12.
- De Paolo, D. J., 1988. Neodymium Isotope Geochemistry. Introduction. Berlin: 305 Springer.
- Dobretsov, N.L., Berzin, N.A., Buslov, M.M., 1995. Opening and tectonic evolution of the Paleo-Asian Ocean. *International Geology Review* 37, 335-360.
- Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M., Ivanov A.V., 2013. Late Paleozoic – Mesozoic subduction-related magmatism at the southern margin of the Siberian continent and the 150 million-year history of the Mongol-Okhotsk Ocean. *Journal of Asian Earth Sciences* 62, 79-97.
- Filippova, I., Bush, V., Didenko, A., 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, 405-426.
- Floyd, P.A., Leveridge, B.E., 1987. Tectonic environments of the Devonian mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *Journal of the Geological Society of London* 144, 531-542.
- Ge, S., Zhai, M., Safonova, I., Li, D., Zhu, X., Zuo, P., Shan, H., 2015. Whole-rock geochemistry and Sr–Nd–Pb isotope systematics of the Late Carboniferous volcanic rocks of the Awulale metallogenic belt in the western Tianshan Mountains (NW China): Petrogenesis and geodynamical implications. *Lithos* 228-229, 62-77.
- Gladkochub, D.P., Mazukabzov, A.M., Donskaya, T.V., Waele, B.De., Stanevich, A.M., Pisarevsky, S.A., 2008. The age and origin of volcanics in the Riphean section of the Siberian craton. *Russian Geology and Geophysics* 49, 749-758.

- Glorie S., De Grave J., Buslov M.M., Zhimulev F.I., Safonova I.Yu., 2014. Detrital zircon provenance of early Palaeozoic sediments at the southwestern margin of the Siberian Craton: Insights from U–Pb geochronology. *Journal of Asian Earth Sciences* 82, 115-123.
- Hara, H., Kon, Y., Usuki, T., Lan, C.-Y., Kamata, Y., Hisada, K., Charusiri, P., 2013. U–Pb ages of detrital zircons within the Inthanon Zone of the Paleo-Tethyan subduction zone, northern Thailand: New constraints on accretionary age and arc activity. *Journal of Asian Earth Sciences*, 74, 50-61.
- Herron, M., 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology* 58, №5, 820-829.
- Hong, W.L., Torres, M. E., Carroll, J., Crémière, A., Panieri, G., Yao, H., & Serov, P., 2017. Shallow marine gas hydrate reservoir is insensitive to momentary ocean warming. *Nature communications*, 8(1), 15745.
- Isozaki, Y., Maruyama, S., Fukuoka, F., 1990. Accreted oceanic materials in Japan, *Tectonophysics* 181, 179-205.
- Isozaki, Y., Aoki, K., Nakama, T., Yanai, S., 2010. New insight into a subduction-related orogen: A reappraisal of the geotectonic framework and evolution of the Japanese Islands. *Gondwana Research* 18, 82-105.
- Jahn, B., Wu, F., Chen, B., 2000. Granitoids of the Central Asian Orogenic Belt and continental growth in the Phanerozoic. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 91, 181-193.
- Jahn, B.-M., 2004. The Central Asian Orogenic Belt and growth of the continental crust in the Phanerozoic, in Malpas, J., Fletcher, C. J. N., Ali, J. R., Aitchison, J. C., ed., *Aspects of the tectonic evolution of China: Geological Society, London, Special Publication* 226, 73-100.
- Jiang, Y., Sun, M., Zhao, G., Yuan, C., Xiao, W., Xia, X., Long, X., Wu, F., 2011. Precambrian detrital zircons in the Early Paleozoic Chinese Altai: their provenance and implications for the crustal growth of central Asia. *Precambrian Research* 189, 140-154.
- Jiang, Y. D., Schulmann, K., Kröner, A., Sun, M., Lexa, O., Janoušek, V., Hanžl, P., 2017. Neoproterozoic-early Paleozoic peri-Pacific accretionary evolution of the Mongolian collage system: Insights from geochemical and U-Pb zircon data from the Ordovician sedimentary wedge in the Mongolian Altai. *Tectonics* 36.
- Kawai, T., Windley, B.F. et al., 2007. Geotectonic framework of the Blueschist Unit on Anglesey-Lleyn, UK, and its role in the development of a Neoproterozoic accretionary orogen. *Precambrian Research* 153, 11-28.
- Khanchuk A.I., 2001. Pre-Neogene tectonics of the Sea-of-Japan region: A view from the Russian side. *Earth Science* 55, 275-291.
- Kovalenko, V.I., Yarmolyuk, V.V., Kovach, V.P., Kotov, A.B., Kozakov, I.K., Salnikova, E.B., Larin, A.M., 2004. Isotope provinces, mechanisms of generation and sources of the continental crust in the Central Asian mobile belt: geological and isotopic evidence. *Journal of Asian Earth Science* 23, 605-627.
- Kröner, A., Wilde, S., Wang, K., Zhao, G.C., 2002. Age and evolution of a late Archean to early Proterozoic upper to lower crustal section in the Wutaishan/Hengshan/ Fuping terrain of northern China, a field guide. *GSA Penrose Conference, Beijing, China, September 2002*.
- Kröner, A., Kovach, V., Belousova, E., Hegner, E., Armstrong, R., Dolgoplova, A., Seltmann, R., Alexeiev, D.V., Hoffmann, J.E., Wong, J., M. Sun, Cai, K., Wang, T., Tong, Y., Wilde, S.A., Degtyarev, K.E., Rytsk, E., 2014. Reassessment of continental growth during the accretionary history of the Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research* 25, 103-125.
- Kröner, A., Kovach, V., Kozakov, I., Aranovich, L., Xie, H., Tolmacheva, E., Kirnozova, T., Fuzgan, M., Serebryako, N., Wang, K.-L., Lee, H.-Y., 2017. Granulites and Palaeoproterozoic lower crust of the Baidarik Block, Central Asian Orogenic Belt of NW Mongolia. *Journal of Asian Earth Sciences* 145, 393-407.
- Kruk, N.N., Rudnev, S.N., Vladimirov, A.G., Shokalsky, S.P., Kovach, V.P., Serov, P.A., Volkova, N.I., 2011. Early-Middle Paleozoic granitoids in Gorny Altai, Russia: implications on continental crust history and magma sources. *Journal of Asian Earth Sciences* 42, 928-948.
- Kruk, N.N., Kuibida, Ya.V., Shokalsky, S.P., Kiselev, V.I., Gusev, N.I., 2017. Late Cambrian – Early Ordovician turbidites of the Gorny Altai (Russia): compositions, sources, deposition settings, and tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*.
- Kusky, T.M., 1989. Accretion of the Archean Slave province. *Geology* 17, p.63-67.
- Kusky, T., Windley, B., Safonova, I., Wakita, K., Wakabayashi, J., Polat, A., Santosh, M., 2013. Recognition of Ocean Plate Stratigraphy in accretionary orogens through Earth history: A record of 3.8 billion years of sea floor spreading, subduction, and accretion. *Gondwana Research* 24, 501-547.
- Li, Z., Qiu, N.S., Chang, J., Yang, X.M., 2015. Precambrian evolution of the Tarim Block and its tectonic affinity to other major continental blocks in China: New clues from U–Pb geochronology and Lu–Hf isotopes of detrital zircons. *Precambrian Research* 270, 1–21.
- Li, P., Sun, M., Rosenbaum, G., Yuan, C., Safonova, I., Cai, K., Jiang, Y., Zhang, Y., 2018. Geometry, kinematics and tectonic models of the Kazakhstan Orocline, Central Asian Orogenic Belt. *Journal of Asian Earth Sciences* 153, 42-56.

- Long, X.P., Yuan, C., Sun, M., Xiao, W.J., Zhao, G.C., Wang, Y.J., Cai, K.D, Xia, X.P, Xie, L.W., 2010. Detrital zircon ages and Hf isotopes of the early Paleozoic flysch sequence in the Chinese Altai, NW China: new constraints on depositional age, provenance and tectonic evolution. *Tectonophysics* 180, 213-231.
- Long, X., Yuan, C., Sun, M., Safonova, I., Xiao, W., Wang, Y., 2012. Geochemistry and U–Pb detrital zircon dating of Paleozoic graywackes in East Junggar, NW China: Insights into subduction–accretion processes in the southern Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research* 21, 637-653.
- Mann, P., and Taira, A., 2004. Global tectonic significance of the Solomon Islands and Ontong Java Plateau convergent zone, *Tectonophysics* 389(3-4), 137-190.
- Maruyama, Sh., Isozaki, Yu., Kimura, G., Terabayashi, M., 1997. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present. *Island Arc* 6, 121-142.
- Maruyama, S., Kawai, T., Windley, B.F., 2010. Ocean plate stratigraphy and its imbrication in an accretionary orogen: the Mona complex, Anglesey-Lleyn, Wales, UK. Geological Society, London, Special Publications 338, 55-75.
- Maruyama, S., Omori, S., Sensu, H., Kawai, K., Windley, B.F., 2011. Pacific-type orogens: new concepts and variations in space and time from present to past. *Journal of Geography* 120, 115-223 (in Japanese with English abstract and captions).
- McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K., Hanson, G.N., 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: M.J. Johnsson, A. Basu (eds.) *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. Special Papers, Geological Society of America 284, 21-40.
- Pearce, J.A., Peate, D.W., 1995. Tectonic implications of composition of volcanic arc magmas. *Annual Review Earth Planetary Sciences* 23, 251-285.
- Pearce, J.A., Kempton, P.D., Nowell, G.M., Noble, S.R., 1999. Hf-Nd element and isotope perspective on the nature and provenance of Mantle and subduction components in Western Pacific arc-basin systems. *Journal of Petrology* 40, 1579-1611.
- Pettijohn, F. J., 1983. *Sedimentary Rocks*. Third Edition: New York, Harper and Row, 628 p.
- Pirajno, F., Ernst, R., Borisenko A.S., Fedoseeb, G., Naumov, E., 2009. Intraplate magmatism in Central Asia and China and associated metallogeny. *Ore Geology Reviews* 35, 114-136.
- 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.
- Roser, B.P., Korsch, R.J., 1986. Discrimination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *Journal of Geology* 94, 635-650.
- Safonova I.Yu., M.M. Buslov, K. Iwata, D.A. Kokh, 2004. Fragments of Vendian-Early Carboniferous oceanic crust of the Paleo-Asian Ocean in foldbelts of the Altai-Sayan region of Central Asia: geochemistry, biostratigraphy and structural setting. *Gondwana Research* 7, 771-790.
- Safonova, I.Y., 2009. Intraplate magmatism and oceanic plate stratigraphy of the Paleo-Asian and Paleo-Pacific Oceans from 600 to 140 Ma, *Ore Geology Reviews* 35, 137-154.
- Safonova, I.Yu., Sennikov N.V., Komiya T., Bychkova Y.V., Kurganskaya E.V., 2011. Geochemical diversity in oceanic basalts hosted by the Zasukh'ya accretionary complex, NW Russian Altai, Central Asia: Implications from trace elements and Nd isotopes. *Journal of Asian Earth Sciences* 42, 191-207.
- Safonova, I., Simonov, V.A., Obut, O.T., Kurganskaya, E.V., Romer, R., Seltmann, R., 2012. Late Paleozoic oceanic basalts hosted by the Char suture-shear zone, East Kazakhstan: geological position, geochemistry, petrogenesis and tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences* 49, 20-39.
- Safonova I., Maruyama, S., 2014. Asia: a frontier for a future supercontinent Amasia. *International Geology Review* 59, 1051-1071.
- Safonova, I., Santosh, M., 2014. Accretionary complexes in the Asia-Pacific region: Tracing archives of ocean plate stratigraphy and tracking mantle plumes. *Gondwana Research* 25, 126-158.
- Safonova, I., Maruyama, S., Litasov, K., 2015. Generation of hydrous-carbonate plumes in the mantle transition zone linked to tectonic erosion and subduction. *Tectonophysics* 662, p. 454-471.
- Safonova, I., Kojima, S., Nakae, S., Romer, R., Seltmann, R., Sano, H., Onoue, T., 2015. Oceanic island basalts in accretionary complexes of SW Japan: Tectonic and petrogenetic implications. *Journal of Asian Earth Sciences* 113, 508-523.
- 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.
- Safonova, I., Kotlyarov, A., Krivonogov, S., Xiao, W., 2017. Intra-oceanic arcs of the Paleo-Asian Ocean. *Gondwana Research* 50, 167-194.
- Safonova I., Komiya T., L. Romer R., Simonov V., Seltmann R., Rudnev S., Yamamoto S., Sun M., 2018. Suprasubduction igneous formations of the Char ophiolite belt, East Kazakhstan. *Gondwana Research* 59, 159-179.

- Safonova, I. Yu., Savinsky, I.A., Perfilova, A.A., Gurova, A.V., Maruyama, S., Tsujimori, T., 2020. Itmurundy accretionary complex (Northern Balkhash): geological structure, stratigraphy and tectonic origin. *Gondwana Research* 79, 49-69.
- Safonova, I. Yu., Perfilova, A.A., Obut, O.T., Savinsky, I.A., Cherny, R. I., Petrenko, N.A., Gurova, A.V., Kotler, P.D., Khromykh, S.V., Krivonogov, S.K., Maruyama, S., 2019. Itmurundy accretionary complex (Northern Balkhash): geological structure, stratigraphy and tectonic origin. *Russian Journal of Pacific Geology* 13, 283-296.
- Scholl, D.W., van Huene, R., 2007. Crustal recycling at modern subduction zones applied to the past - Issues of growth and preservation of continental basement crust, mantle geochemistry, and supercontinent reconstruction. *Geological Society of America Memoirs* 200, 9-32.
- Sklyarov E.V., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M., Donskaya T.V., Stanevich A.M., 2003. Geologic complexes of the southern marginal part of the Siberian craton as indicators of the Neoproterozoic supercontinent evolution. *Russian Journal of Earth Sciences* 5, № 5, 347-359.
- Stern, R.J., Scholl, D.W., 2010. Yin and Yang of continental crust creation and destruction by plate tectonics. *International Geology Review* 52, 1-31.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1988. The significance of the rare earths in geochemistry and cosmochemistry. In: K.A. Gschneider and L. Eyring, Eds., *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*. Elsevier Sci. Pubs., North Holland Physics Pub. Div., Amsterdam 11, 485-580.
- Vernikovskiy, V.A., Vernikovskiy, A.E., Sal'nikova, E.B., Kotov, A.B., Kovach, V.P., 2003. Neoproterozoic accretion-collisional events on the western margin of the Siberian Craton: new geological and geochronological evidence from the Yenisey Ridge. *Tectonophysics* 375, 147-168.
- Wakabayashi, J., 2011. Mélanges of the Franciscan Complex, California: Diverse structural setting, evidence for sedimentary mixing, and their connection to subduction processes: in Wakabayashi, J., and Dilek, Y. eds. *Mélanges: Processes of Formation and Societal Significance*, Geological Society of America Special Paper 480, 117-141.
- Windley, B.F., Alexeiev, D., Xiao, W., Kroner, A., Badarch, G., 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt. *Journal of the Geological Society of London* 164, 31-47.
- Xiao W.J., Huang B., Han C., Sun S., Li J., 2010. A review of the western part of the Altai: A key to understanding the architecture of accretionary orogens. *Gondwana Research*.18, 253-273.
- Yang, G., Li, Y., Safonova, I., Yi, S., Tong, L., Seltmann, R., 2014. Early Carboniferous volcanic rocks of West Junggar in the western Central Asian Orogenic Belt: implications for a supra-subduction system. *International Geology Review* 56, 823-844.