

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

Сафонова И.Ю., руководитель, Перфилова А.А., аспирант

Аннотация

Проект нацелен на изучение граувакковых и турбидитовых песчаников из аккреционных комплексов западной части Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) для расшифровки палеозойской эволюции Палеоазиатского океана и его активных окраин. В соответствии с планом работ по проекту в течение первого года была проведена работа с имеющейся коллекцией песчаников Казахстана и Тянь-Шаня, отобранных во время полевых работ 2017-2019 гг. Были изучены геологическое положение песчаников в разрезе отложений стратиграфии океанической плиты и преддуговых бассейнов Казахстана, петрографический и химический состав песчаников, обработаны имеющиеся аналитические данные по U-Pb возрасту детритовых цирконов в них и аналитические данные по концентрациям породообразующих и редких элементов и изотопов Nd, изотопов Hf в цирконах. Установлено две группы песчаников. Для первой группы характерен преимущественно граувакковый состав, соответствующий их образованию в условиях нерасчленённой и переходной дуги, унимодальное распределение U-Pb возрастов детритовых цирконов, химический состав близкий к валовому составу андезибазальтов и андезитов из тех же аккреционных комплексов, положительные значения эpsilon Nd по породе и эpsilon Hf в цирконах. Для них предложено образование за счет разрушения магматических пород внутриокеанических дуг Палеоазиатского океана в раннем и позднем палеозое. Для второй группы характерен преимущественно граувакковый и литаренитовый состав, соответствующий их образованию в условиях смешанной и/или расчленённой дуги и рециклированного орогена, полимодальное распределение U-Pb возрастов детритовых цирконов, химический состав близкий к валовому составу андезитов и дацитов, низкие до отрицательных значения эpsilon Nd по породе и эpsilon Hf в цирконах. Для них предложено образование за счет разрушения магматических пород активных континентальных окраин Палеоазиатского океана в среднем и позднем палеозое.

Аспирант приняла участие в экспедициях на аккреционных комплексах Казахстана и Алтая, выступила с докладами на 2-х научных конференциях: (1) XXXI молодёжная научная школа-конференция, посвящённая памяти член-корреспондента АН СССР К.О. Кратца "Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии"; (2) 2021 Convention & 18th International Conference on Gondwana to Asia, сентябрь 19-29, 2021. Подготовлено три публикации: 1) опубликованы тезисы «Источники и тектонические обстановки формирования терригенных пород Итмурундинского аккреционного комплекса (северное Прибалхашье, центральный Казахстан)» в материалах XXXI молодёжной научной школы-конференции, посвящённой памяти член-корр. АН СССР К.О. Кратца "Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии"; 2) опубликована статья по геологии, геохимии и цирконометрии песчаников Чарско-Жарма-Саурской зоны Казахстана в

журнале International Journal of Earth Sciences; 3) подготовлена и подана после ревизии статья по геологии, геохимии и цирконометрии песчаников Итмурундинского аккреционного комплекса центрального Казахстана в журнал Геодинамика и Тектонофизика.

Результаты

За первый год реализации проекта изучены обломочные осадочные породы - граувакки и турбидитовые песчаники из аккреционных комплексов Казахстана (Итмурундинский, Чарско-Жарминский), образованные на конвергентных окраинах тихоокеанского типа Палеоазиатского океана (рис. 1). Детально изучены взаимоотношения пород, входящих в состав этих аккреционных комплексов: вулканических пород, океанических осадков (пелагические кремни, хемипелагические кремнистые осадки, турбидиты глубоководного желоба), граувакковых песчаников; построены геологические разрезы и литологические колонки (Перфилова и др., 2020; Safonova et al., 2021). Изучен петрографический состав пород. Для определения возраста пород, являвшихся источником осадочного материала, а также соотношения разновозрастных комплексов в питающей провинции проведено U-Pb датирование цирконов (масс-спектрометрия на индуктивно связанной плазме с лазерной абляцией - ЛА ИСП МС). Для вещественной характеристики песчаников определены концентрации породообразующих окислов (рентген-флуоресцентный анализ - РФА) и редких элементов (масс-спектрометрия на индуктивно связанной плазме - ИСП МС). Для получения усреднённой изотопной характеристики источников сноса детритового материала проведен анализ изотопного Sm-Nd состава осадков (мульти-коллекторная масс-спектрометрия).

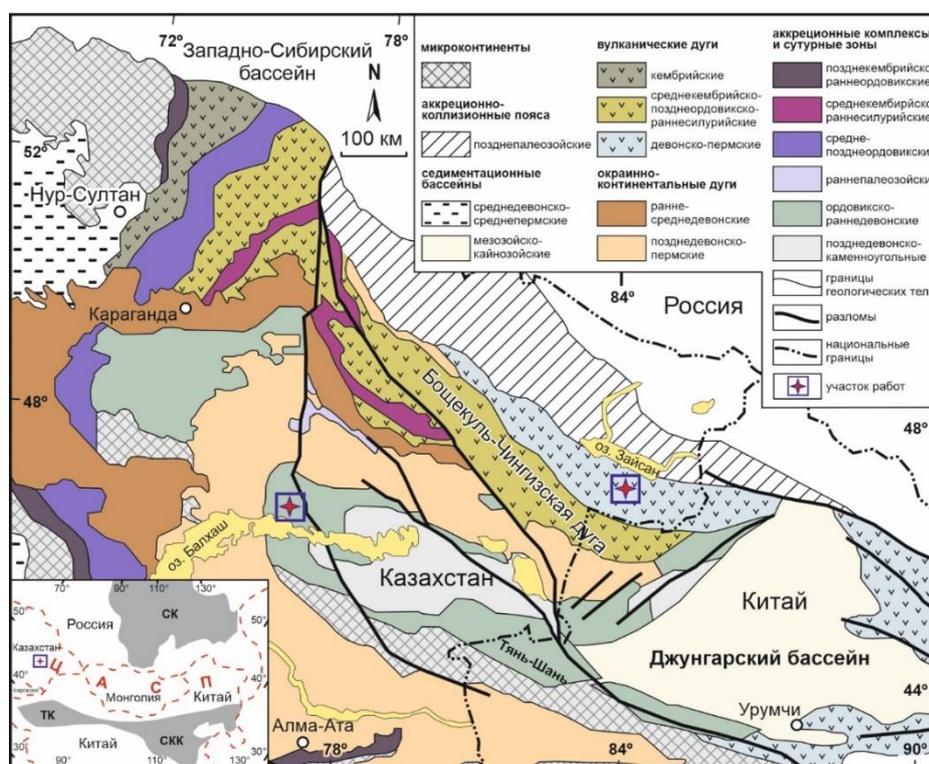


Рис. 1. Тектоническая карта северо-западной части Центрально-Азиатского складчатого пояса по (Windley et al., 2007). СК – Сибирский кратон, ТК – Таримский кратон, СКК – Северо-Китайский кратон.

Результат 1

Итмурундинский аккреционный комплекс (АК) расположен в Итмурундинской зоне центрального Казахстана, в северном Прибалхашье (рис. 2). В его состав входят магматические и осадочные породы, образованные на океанической плите (Дегтярев, 2012; Степанец, 2016; Safonova et al., 2020). Эти породы относятся к ассоциации стратиграфии океанической плиты (СОП). Терригенные породы (граувакковые песчаники и турбидиты), образованные в глубоководном жёлобе и, возможно, в преддуговом бассейне, составляют верхнюю часть разрезов СОП и диагностированы во всех стратиграфических подразделениях Итмурундинского АК. Нами получены первые данные по их составу и цирконометрии (Перфилова и др., 2020). Изучение терригенных пород Итмурундинского АК имеет большое значение для определения типа окраины (окраинно-континентальной или внутриокеанической), существовавшей в западной части Палеоазиатского океана в ордовик-раннесилурийское время.

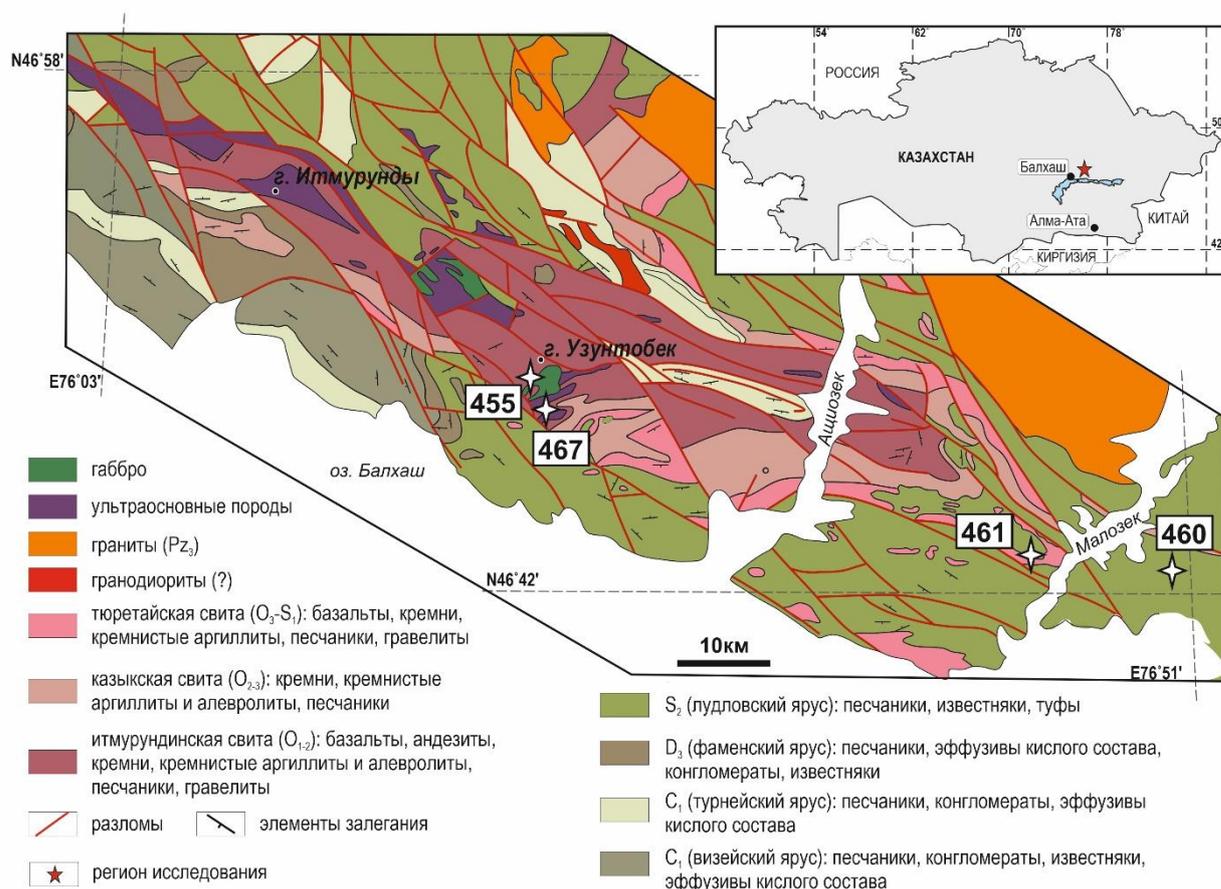


Рис. 2. Фрагмент геологической карты СССР, масштаб 1:200 000, серия Прибалхашская, лист L-43-XI (Геологическая..., 1960). ☆ – возрасты U-Pb датирования детритовых цирконов из песчаников.

В пределах Итмурундинского АК выделено три свиты: итмурундинская (O₁₋₂), казыкская (O₂₋₃) и тюретайская (O₃-S₁) (Паталаха, Белый, 1981). Работы проводились на 4-х участках: Центральном-1 (итмурундинская свита), Центральном-2 (итмурундинская свита), Восточном-1 (тюретайская свита, нижняя подсвита) и Восточном-2 (тюретайская свита, верхняя подсвита). Песчаники были найдены на всех участках, часто на контакте с

кремнистыми аргиллитами и алевролитами, реже с базальтами и кремнями. Мощность их слоев варьирует от первых сантиметров (5-10 см) до 5-20 метров. Песчаники преимущественно серого и тёмно-серого, иногда зеленовато-серого цвета, от мелко- до среднезернистых, массивные, плохо сортированы. Нами были получены U-Pb датировки детритовых цирконов. На спектрах песчаники с участков Центральный-1 и Центральный-2 имеют унимодальное распределение возрастов с пиком 465-468 млн. лет (рис. 3). Данные по изотопии Hf в цирконе ($\epsilon\text{Hf}_t = 9.2-17.5$) отражают ювенильный характер источников магматических пород дуги, с которой шел снос материала в глубоководный желоб. Распределение U-Pb возрастов цирконов из песчаников с участков Восточный-1 и Восточный-2 имеет полимодальный характер с пиками 458-461, 750, 1100 и 2400 млн. лет (рис. 3). Это предполагает наличие в области сноса более древнего рециклированного материала континентальной коры.

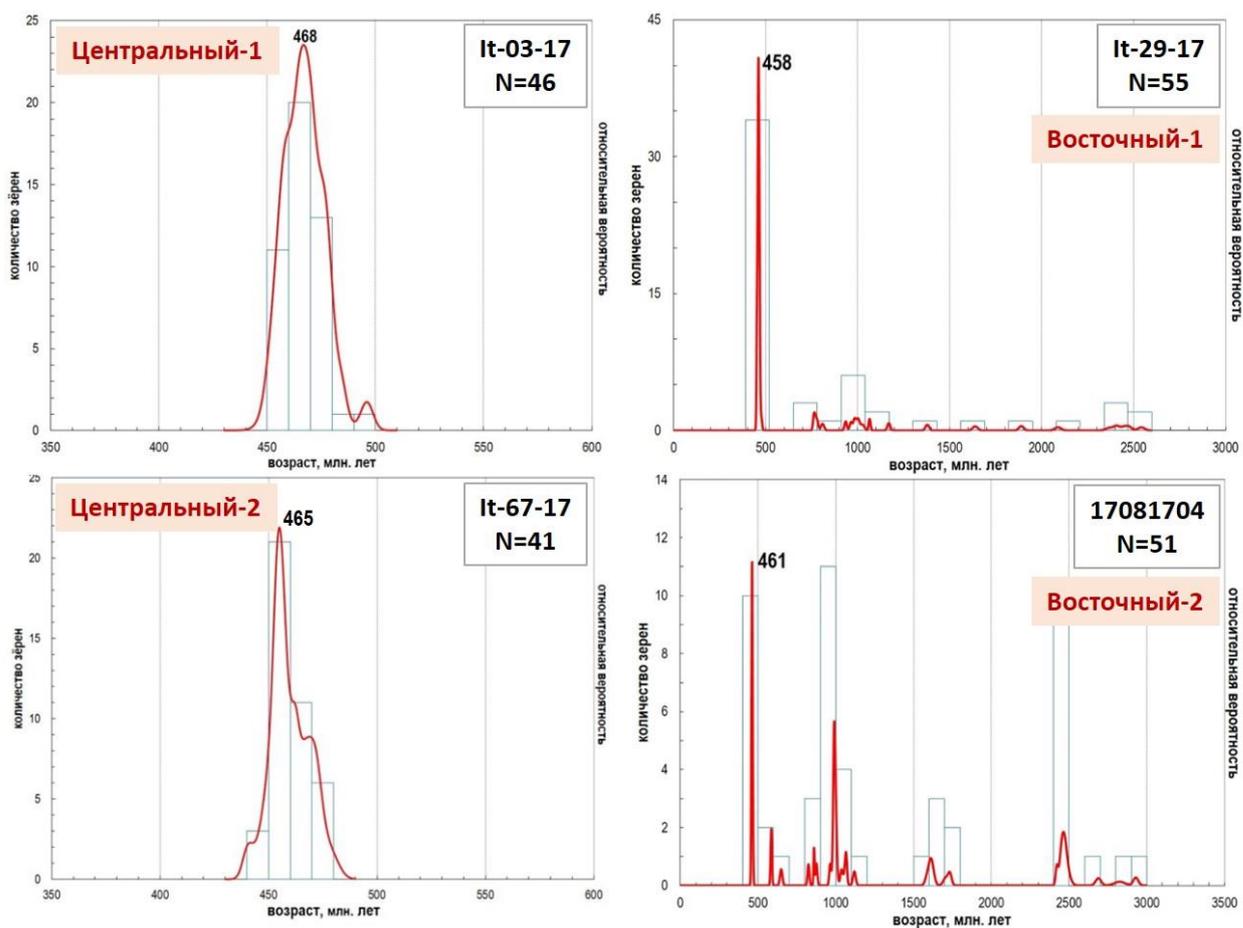


Рис. 3. Гистограммы и кривые распределения U-Pb возрастов детритовых цирконов из песчаников Итмурундинского аккреционного комплекса с участков Центральный-1, Центральный-2, Восточный-1, Восточный-2.

Для песчаников итмурундинской свиты характерны обломки вулканических пород основного и среднего состава (базальты, андезиты), кремнистых пород, плагиоклаза и калиевого полевого шпата. В песчаниках тюретайской свиты отмечается повышенное содержание кварца (до 55 %) и обломков пород кислого состава (вероятно, дациты). Содержание основных породообразующих окислов меняется в широких диапазонах: $\text{SiO}_2 = 58.1-74.6$ мас. %, $\text{TiO}_2 = 0.5-1.3$ мас. %, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 8.8-16.6$ мас. %, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 4.1-10.2$ мас. %, $\text{MgO} = 1.1-4.9$ мас. %. В целом для песчаников с участков Восточный-1 и Восточный-2

характерны более высокие содержания SiO_2 (64-75 мас. %), а для участков Центральный-1 и Центральный-2 – более низкие значения SiO_2 (55-68 мас. %). Кроме того, состав песчаников хорошо коррелируется с составами магматических пород надсубдукционного происхождения, диагностированных в Итмурундинском АК (Safonova et al., 2020).

На классификационной диаграмме Ф. Петтиджона $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})-\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ (Pettijohn et al., 1983), используемой при классификации и разграничении зрелых и незрелых пород псаммитовой размерности, изученные образцы попадают в области граувакковых песчаников и лититовых аренигов. Низкое отношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ и повышенное $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ в граувакках связано с преобладанием Na-плагиоклаза над K-полевыми шпатами и K-слюдами. Пониженное содержание щелочей с более высоким отношением $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ характерно для литаренигов. На дискриминационных диаграммах (Floyd, Leveridge, 1987; Dickinson, 1985) точки составов песчаников с участков Центральный-1 и Центральный-2 попадают в область нерасчленённой островной дуги смешанного и среднего (андезитового) состава, а участков Восточный-1 и Восточный-2 в область рециклированного орогена и островной дуги кислого состава.

На спектрах РЗЭ видно, что песчаники тюретайской свиты наиболее обогащены лёгкими лантаноидами по сравнению с итмурундинской. Мультикомпонентные спектры, нормированные по примитивной мантии, в целом, схожи для изученных пород и PAAS (Post-Archean Australian Shale), но концентрации последнего выше. Спектры песчаников итмурундинской свиты отличаются от PAAS наличием минимума по Th и также характеризуются более низкими концентрациями большинства элементов. На всех спектрах наблюдаются отрицательные аномалии по Ta и Nb, что характерно для магматических пород надсубдукционного происхождения.

Нами были получены данные по изотопам Nd по валовому составу песчаников. Положительные значения ϵNd_t (+0.99, +5.29) для песчаников итмурундинской свиты предполагают наличие в области сноса ювенильных магматических пород. Отрицательное значение ϵNd_t (-7.2) для песчаников тюретайской свиты указывает на наличие в области сноса пород магм, содержащих рециклированный материал.

Граувакковые песчаники итмурундинской свиты, ассоциирующие с осадочными породами океанического происхождения и имеющие унимодальное распределение U-Pb возрастов цирконов, положительные значения ϵNd_t и Hf, вероятно были образованы за счёт разрушения внутриокеанической дуги. Граувакковые песчаники тюретайской свиты с полимодальным распределением U-Pb возрастов цирконов и отрицательным значением ϵNd_t образовались, скорее всего, в задуговом бассейне с участием материала, сносимого с континентальной дуги. Таким образом, эти две группы песчаников могли образоваться за счет разрушения либо единой островной дуги, снос с которой происходил в преддуговом (итмурундинская свита) и задуговом (тюретайская свита) бассейнах, либо двух сосуществующих систем вулканических дуг – внутриокеанической и окраинно-континентальной (Перфилова и др., 2020).

Результат 2

Жарма-Саурская зона расположена в восточном Казахстане, в западной части ЦАСПа, в месте взаимодействия активных окраин Казахстанского и Сибирского континентов (Buslov et al., 2001) (рис. 4). Она имеет сложную структуру, включающую террейны разнообразного геодинамического происхождения, среди которых широко распространены вулканогенно-

осадочные, магматические и метаморфические комплексы. Среди них комплексы ультраосновных и основных пород офиолитов, тектонических и серпентинитовых меланжей, океанические и надсубдукционные вулканические породы, коллизионные и пост-коллизионные гранитоиды.

В Жарма-Саурской зоне (участники полевых работ – Сафонова И.Ю., Перфилова А.А.) отбирались образцы терригенных пород для U-Pb датирования детритовых цирконов. Отобранные образцы пород были обработаны и проанализированы. Нами получены первые данные по составу главных окислов и редким элементам, первые данные по U-Pb возрасту цирконов и первые данные по отношениям изотопов Sm. На изученных участках терригенные породы представлены песчаниками, в том числе и турбидитовыми и алевропесчаниками. Часть терригенных пород представляет собой граувакки, т.к. имеют по тёмный цвет, мелко-среднезернистую структуру. Проведено петрографическое изучение терригенных пород. Среди обломков присутствуют осадочные, метаморфические и вулканические породы и туфы. Это является их диагностическим признаком граувакк, т.к. они образуются на склонах вулканических островных дуг. Образцы близки по петрохимическому составу к дацитам) и обогащены калием, натрием и алюминием. Из песчаников были выделены цирконы, продатированные U-Pb методом.

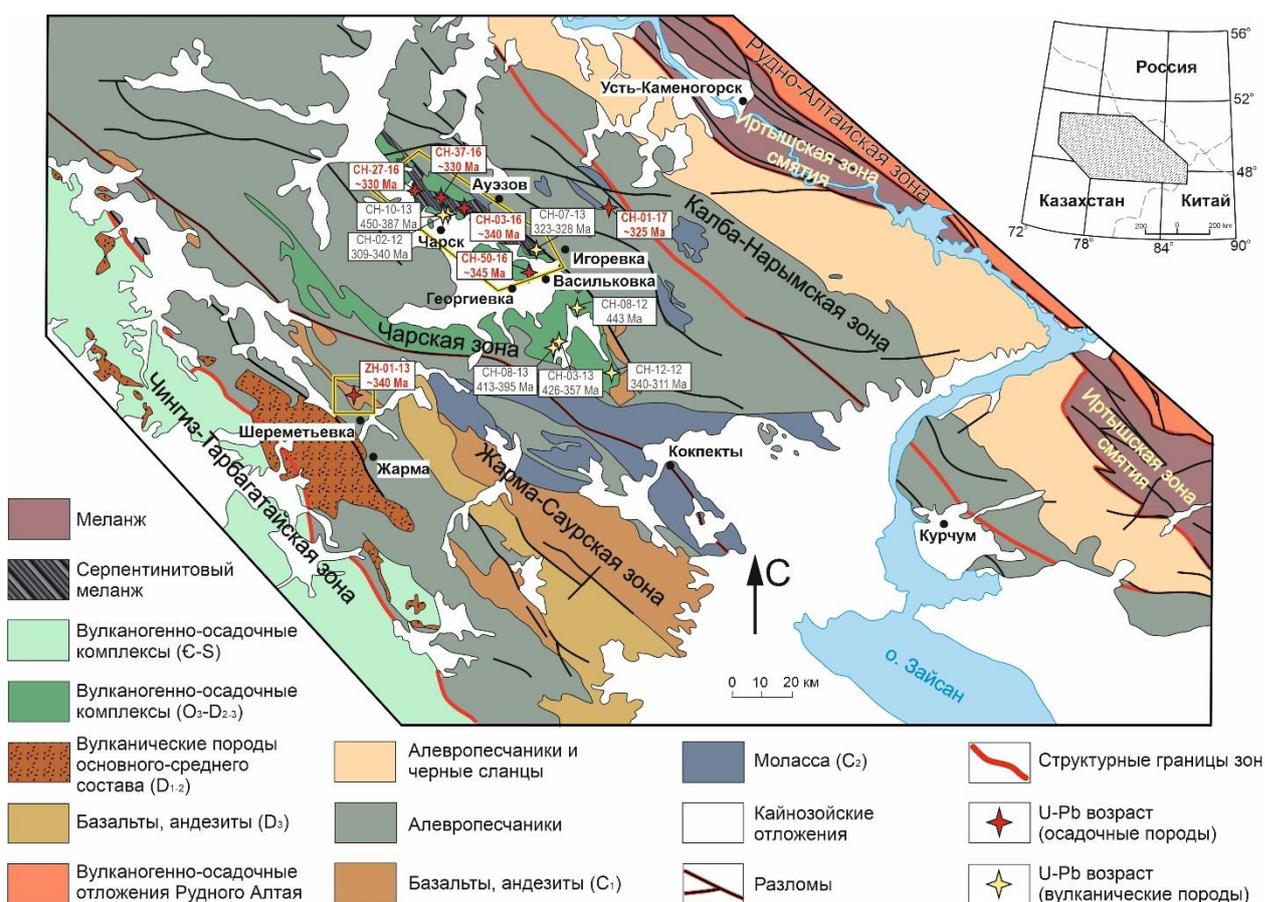


Рис. 4. Фрагмент геологической схемы восточного Казахстана по (Хромых, 2020) с изменениями.

Большинство цирконов, проанализированных на U-Pb возрасты, обладают осцилляторной зональностью или имеют полосчатую внутреннюю структуру. Католюминесцентные изображения показывают, что цирконы имеют либо однородную

внутреннюю структуру, либо секториальную, кольцевую и полосчатую осцилляторную зональность. Лазерная съемка производилась внутри сегментов с осцилляторной зональностью, чтобы избежать возможных древних ядер или метаморфизованных частей. Размер зерен циркона колеблется от 40 до 200 мкм, большинство зерен - от 50 до 120 мкм. Цирконы округлой или идиоморфно-призматической формы, прозрачные или слегка желтые. Значения Th/U для всех проанализированных цирконов выше 0.04, но ниже 2.09, что свидетельствует об их магматическом происхождении. Проанализировано 76 зерен, из которых 65 показали относительно хорошую конкордантность. Цирконы показали возраст от 301 до 445 млн лет. U-Pb распределение возраста также унимодальное с максимумом 340 млн лет. Самый молодой возраст - 301 млн лет. В целом, унимодальное распределение U-Pb возраста обломочного циркона из песчаников Жарма-Саурской зоны характеризуется пиком на 340 млн лет (рис. 5).

Изученные образцы представляют собой массивные темно-серые, серые и зеленовато-серые песчаники. Для мелкозернистых образцов проводился подсчет зерен для оценки их модельного состава методами Шутова (1967) и Дикинсона (Dickinson et al., 1983). Мы насчитали не менее 300 зерен пород и обломков минералов (Lv - вулканические, Ls - осадочные), кварца (Q) и полевого шпата (F). По классификациям Петиджона (Pettijohn et al., 1987) и Геррона (Herron et al., 1988) песчаники являются граувакками и сланцами соответственно. Концентрации основных оксидов в них в целом близки к PAAS. По микроэлементному составу граувакки Жарма-Саурской зоны характеризуются более низким содержанием Rb, Nb и Zr по сравнению с PAAS. В целом, они характеризуются узкими диапазонами концентраций La (11-22 ppm), Nd (14-21 ppm), Yb (1,7-2,4 ppm) и Σ REE (88-138 ppm), которые несколько ниже, чем у PAAS. Содержания Ba (142 ppm), K (132 ppm) более высокие, а Th (32 ppm), Sr (25 ppm) более низкие по сравнению с PAAS.

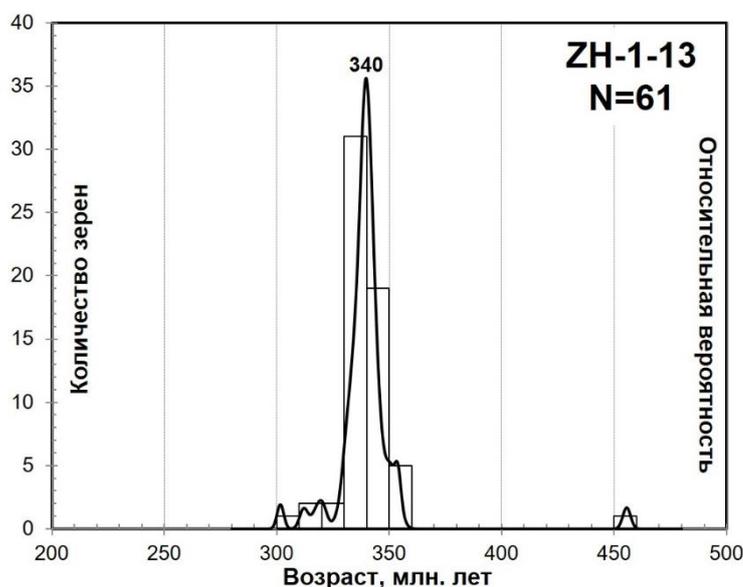


Рис. 5. Гистограмма и кривая распределения U-Pb возрастов детритовых цирконов из песчаника Жарма-Саурской зоны.

Таким образом, Жарма-Саурская зона Восточного Казахстана наряду с надсубдукционными магматическими формациями включает осадочные толщи с преобладанием граувакковых песчаников, сформированных в условиях преддугового

бассейна или желоба. По разным классификациям песчаники петрографически представляют собой литарениты, а геохимически - сланцы. Распределения U-Pb возрастов цирконов в основном унимодальные, что свидетельствует об их формировании при разрушении внутриокеанических дуг. Их основные геохимические особенности с точки зрения, как основных окислов, так и микроэлементов очень близки к характеристикам надсубдукционных магматических пород. Данные по изотопам Hf в цирконе и Nd по породе предполагают происхождение их магматических протолитов из ювенильных мантийных источников, характерных в первую очередь для внутриокеанических дуг. Распределения U-Pb возрастов цирконов из граувакковых песчаников имеют схожую форму с таковыми, полученными из аналогичных пород, представленных в соседних регионах западной Джунгарии, но отличаются от спектров детритовых цирконов из песчаников Горного Алтая и Китайского Алтая, где преобладают континентальные дуги. Комплексный анализ всех новых данных и предыдущих результатов позволяет нам сделать вывод, что граувакковые песчаники восточного Казахстана образовались на конвергентной окраине тихоокеанского типа, в пределах с одной или нескольких внутриокеанических дуг.

Публикации с участием аспиранта

1. Перфилова А.А., Сафонова И.Ю., Савинский И.А., 2020. Источники и тектонические обстановки формирования терригенных пород Итмурундинского аккреционного комплекса (северное Прибалхашье, центральный Казахстан). В кн.: Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии. Материалы XXXI молодежной научной школы-конференции, посвящённой памяти член-корреспондента АН СССР К.О. Кратца (Санкт-Петербург, 5–9 октября 2020 г). — Санкт-Петербург: Своё издательство, 2020. — 214-217 с.
2. Safonova I.Yu., Perfilova A.A., Aoki S., Komiya T., Wang B., Sun M., 2021. Traces of intra-oceanic arcs recorded in sandstones of eastern Kazakhstan: implications from U–Pb detrital zircon ages, geochemistry, and Nd–Hf isotopes. International Journal of Earth Sciences. <https://doi.org/10.1007/s00531-021-02059-z>.
3. Перфилова А.А., Сафонова И.Ю., Котлер П.Д., Савинский И.А., Гурова А.В. Тектонические обстановки образования вулканических и осадочных пород Итмурундинской зоны центрального Казахстана. Геодинамика&Тектонофизика (подана в редакцию журнала после ревизии).