

**ИСТОЧНИКИ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНЕ-СРЕДНЕДЕВОНСКОЙ(?)
АЛЕВРОЛИТО-ПЕСЧАНИКОВОЙ ТОЛЩИ ЗЕЯ-СЕЛЕМДЖИНСКОГО ФРАГМЕНТА
НОРА-СУХОТИНСКОГО ТЕРРЕЙНА: ГЕОХИМИЯ И U–Th–Pb (LA–ICP–MS)
ДАТИРОВАНИЕ ЦИРКОНА**

Ю.В. Смирнов¹, В.Б. Хубанов², Ю.Н. Смирнова¹

¹Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск, Россия; e-mail: smirnova@ascnet.ru

²Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия; e-mail: khubanov@mail.ru

Поступила в редакцию 26 января 2024 г.

В публикации приведены первые результаты геохимических и U–Th–Pb (LA–ICP–MS) изотопных исследований терригенных отложений условно ниже-среднедевонской алевролитопесчаниковой толщи бассейна р. Каменушка Зея-Селемджинского фрагмента Нора-Сухотинского террейна. По своим геохимическим особенностям изученные нами песчаники соответствуют отложениям, сформированным в обстановке активной континентальной окраины либо островной дуги, в области сноса преобладали магматические породы кислого и среднего состава при незначительном вкладе литогенного (second cycle) материала. Нижняя возрастная граница накопления песчаников алевролитопесчаниковой толщи, согласно конкордантному возрасту трех наиболее молодых зерен циркона, составляет 459 ± 9 млн лет. Достаточно большие вариации U–Th–Pb возраста зерен детритового циркона из образца песчаника свидетельствуют о разновозрастном исходном материале в областях сноса. Результаты исследований в совокупности с существующими палеогеодинамическими моделями формирования Южно-Монгольско-Хинганского орогенного пояса позволяют предполагать, что главными источниками кластического материала для терригенных пород алевролитопесчаниковой толщи являлись магматические породы палеозойского и неопротерозойского возраста Мамынского террейна при определенном вкладе островодужных раннепалеозойских образований Нора-Сухотинского террейна.

Ключевые слова: ранний палеозой, песчаники, геохимия, U–Th–Pb (LA–ICP–MS) данные, Южно-Монгольско-Хинганский орогенный пояс.

ВВЕДЕНИЕ

В строении Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) выделяются крупные континентальные массивы и разделяющие их складчатые (орогенные) пояса. Одной из ключевых структур в восточной части ЦАСП является Южно-Монгольско-Хинганский орогенный пояс, который протягивается от Рудного Алтая и смежных районов Китая в Южную Монголию, далее на северо-восток Китая и в приграничные районы Приамурья, где он теряется в зоне сочленения Аргунского и Бурей-Цзямусинского супертеррейнов [10] (рис. 1, а).

Северо-восточная часть Южно-Монгольско-Хинганского пояса в российской литературе описывается как Нора-Сухотинский террейн [22]. В геологическом строении террейна в междуречье рек Зея и Селемджа (Зея-Селемджинского фрагмента) прини-

мают участие осадочные и вулканогенно-осадочные породы неклинской и дагмарской толщ. На геологической карте последнего поколения их возраст принят средне-позднерифейским и позднерифейским, соответственно [11, 12]. Наиболее молодые породы – это отложения условно ниже-среднедевонской алевролитопесчаниковой толщи и нижнекаменноугольной граматухинской толщи (рис. 1, б) [11, 12]. По существующим представлениям [11], осадочные и вулканогенно-осадочные породы в бассейне р. Амур (Приамурского фрагмента) Нора-Сухотинского террейна рассматриваются в составе верхнесилурийской широкопадинской свиты, нижнедевонской большекаменушинской свиты, среднедевонских буссеевской и гуранской свит, ниже-среднекаменноугольной богданихинской свиты и нижнепермской береинской свиты. Терригенные отложения террейна выходят на

дневную поверхность фрагментарно из-под рыхлых кайнозойских пород [11, 12].

Отсутствие протяженных естественных разрезов палеозойских отложений Нора-Сухотинского террейна, в основном лишенных органических остатков, не позволяет однозначно определить возраст пород и провести их корреляцию. В этой связи актуально использование современных методов исследований осадочных пород, в том числе U–Th–Pb датирования зерен обломочного циркона, которое в настоящее время широко применяется для определения нижней возрастной границы накопления немых осадочных толщ и реконструкции питающих провинций [1, 5, 6, 8, 9 и др.].

В публикации приведены основные геохимические особенности песчаников алевролито-песчаниковой толщи бассейна р. Каменушка Зея-Селемджинского фрагмента Нора-Сухотинского террейна (рис. 1, в), а также результаты изотопного (U–Th–Pb) датирования зерен детритового циркона. Главная цель исследований – это выявление основных источников сноса кластического материала. Выполнена корреляция полученных результатов с ранее изученными девонскими терригенными отложениями в бассейнах р. Зея Зея-Селемджинского фрагмента и р. Белая Приамурского фрагмента Нора-Сухотинского террейна, результаты исследований которых наиболее подробно приведены в публикациях [15, 21].

КРАТКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Наиболее древние породы в структуре Зея-Селемджинского фрагмента Нора-Сухотинского террейна объединены в состав неклинской и дагмарской толщ, распространенных в бассейнах рек Зея, Селемджа и Орловка. В составе толщ преобладают слюдисто-кварцевые, биотит-кварцевые, серицит-кварцевые, хлорит-серицитовые, актинолит-хлоритовые, кварц-эпидот-актинолитовые сланцы. В меньшем количестве присутствуют метапесчаники. Среди отложений дагмарской толщи в виде линз и прослоев присутствуют мраморизованные известняки. Общая мощность неклинской и дагмарской толщ достигает 5250 м [2, 3, 12]. Взаимоотношения между толщами, выше- и нижележащими породами не наблюдаются, возраст принят условно средне-позднерифейский и позднерифейский, соответственно [11, 12]. Выполненные нами и опубликованные в 2017 г. результаты U–Th–Pb датирования зерен циркона из метапесчаников позволили установить, что нижняя возрастная граница накопления отложений неклинской толщи приходится на ранний ордовик, а дагмарской толщи – на средний ордовик [21].

Отложения изучаемой алевролито-песчаниковой толщи встречаются в бассейнах рек Зея, Селемджа и

Каменушка. В составе толщи выделяются кварцевые и полевошпат-кварцевые песчаники, алевролиты, среди которых отмечаются пласты (до 70 м) среднегалечных конгломератов и гравелитистых песчаников и тонкие слои (до 60 см) туфов основного и среднего состава и туффитов. Отложения алевролито-песчаниковой толщи накапливались в мелководном морском бассейне. Общая мощность толщи достигает 1300 м. На контакте с интрузивными породами для отложений рассматриваемой толщи отмечается проявление контактового метаморфизма с проявлением сланцеватой и роговиковой текстур, появлением в составе пород новых минералов (биотита и графита). Контакты с нижележащими отложениями не выявлены. Возраст толщи принят условно ранне-среднедевонский на основании корреляции с фаунистически охарактеризованными отложениями в бассейне р. Амур [2, 12]. По данным U–Th–Pb датирования зерен циркона из образца алевролита, отобранного в бассейне р. Зея, выявлено, что нижняя возрастная граница накопления алевролита приходится на средний ордовик [21]. Здесь также стоит отметить близкий конкордантный возраст наиболее молодой группы циркона, установленный для песчаника среднедевонской гуранской свиты бассейна р. Белой, правого притока р. Амур, в пределах Приамурского фрагмента Нора-Сухотинского террейна [15]. В составе гуранской свиты кроме песчаников выделяются сланцы с прослоями гравелитов, конгломератов и вулканитов основного состава [11].

Нижекаменноугольная граматухинская толща Зея-Селемджинского фрагмента (бассейны рек Зея и Орловка) Нора-Сухотинского террейна сложена песчаниками аркозовыми, алевролитами с прослоями известняков и вулканогенно-осадочными породами – туфоконгломератами и туфами – общей мощностью до 1500 м. Контакты с более древними образованиями не выявлены. Возраст принят на основании фаунистических остатков [12]. По результатам U–Th–Pb датирования наиболее молодая группа циркона из песчаника граматухинской толщи, отобранного на левобережье р. Орловка, имеет среднеордовикский возраст [21].

МЕТОДИКА АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Краткое минералого-петрографическое описание терригенных отложений алевролито-песчаниковой толщи выполнено для 12 образцов с помощью поляризационного микроскопа Axio Scope A1, оснащенного цифровой камерой Axio Cam ICc3. В шлифах был определен состав обломочного материала, аксессуарных минералов и цемента. Их содержания в шлифах были подсчитаны с использованием трафа-

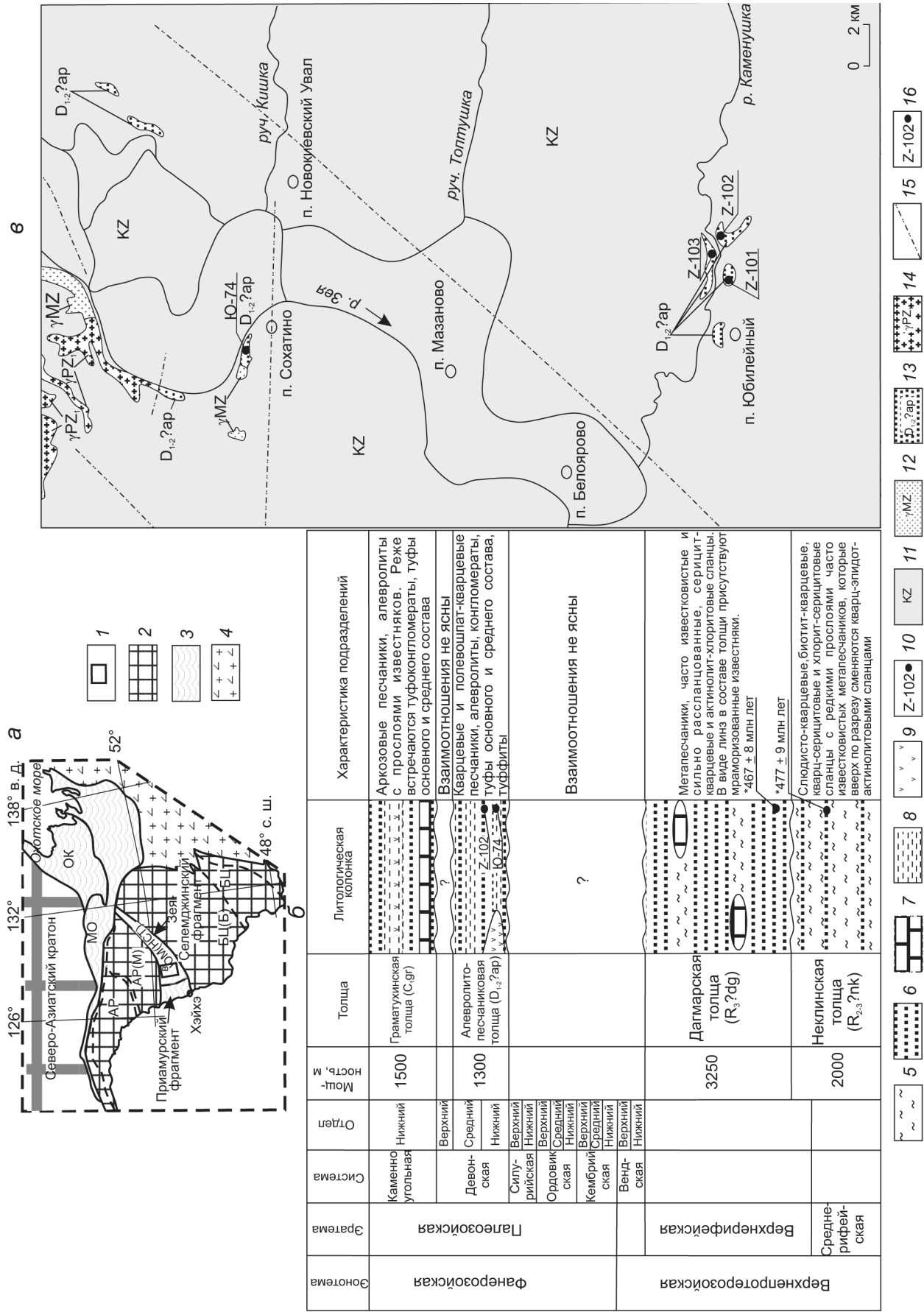


Таблица 1. Петрографическая характеристика песчаников алевролито-песчаниковой толщи в бассейне р. Каменушка.

№ образца	Координаты	Петрографические особенности
Z-101... Z-101-4	в.д. 128°51'50.0" с.ш. 51°32'59.1"	Песчаники зеленовато-серого цвета, мелко-среднезернистые (0.10–0.25 мм), с массивной текстурой. Обломочный материал угловатой и слабоокатанной форм, представленный кварцем (30–35 %), плагиоклазами (5–15 %), калиевыми полевыми шпатами (до 5 %), обломками микрокварцитов, слюдисто-кварцевых метаморфических сланцев и гранитов (до 5 %). В незначительном количестве (до 5 %) встречаются мусковит и биотит. Цемент гидрослюдистый базального типа. Акцессорные минералы: циркон, апатит, гранат, магнетит.
Z-102... Z-102-3	в.д. 128°53'18.5" с.ш. 51°33'00.6"	Песчаники зеленовато-серого цвета с мелко-среднезернистой структурой (0.10–0.30 мм) и массивной текстурой, сложенный слабоокатанными обломками кварца (30–35 %), плагиоклаза (15–20 %), калиевого полевого шпата (5–10 %). В незначительном количестве присутствуют чешуйки биотита и мусковита (до 10 %). Единичны обломки микрокварцитов, слюдисто-кварцевых сланцев и гранитов. Цемент гидрослюдистый базального типа. Акцессорные минералы: циркон, апатит, гранат, сфен, магнетит.
Z-103... Z-103-2	в.д. 128°53'21.0" с.ш. 51°33'03.0"	Песчаники желтовато-серого цвета, мелко-среднезернистые (0.15–0.40 мм), с массивной текстурой. Обломочный материал слабоокатанной формы и представлен кварцем (30–35 %), плагиоклазом (15–20 %), калиевым полевым шпатом (до 5 %), обломками микрокварцитов, слюдисто-кварцевых метаморфических сланцев и гранитов (до 3 %). Мусковит и биотит встречаются в виде единичных чешуек. Цемент гидрослюдистый базального или контактового типов. Акцессорные минералы: циркон, апатит, гранат, магнетит.

ретов для визуального определения компонентов [7]. Петрографическая характеристика песчаников алевролито-песчаниковой толщи приведена в таблице 1.

Содержания порообразующих оксидов и микроэлементов в породах определены рентгенофлуоресцентным методом в Институте геологии и природопользования ДВО РАН (г. Благовещенск) на рентгеновском спектрометре Lab Center XRF-180. На стадии пробоподготовки проводилось взвешивание навески пробы на аналитических весах AUW220D фирмы Shimadzu, просушивание навески при температуре 105 °С в сушильном шкафу SNOL 58/350 в течение двух часов, определение потерь при прокаливании при температуре 950 °С в муфельной печи Nabertherm в течение двух часов. Далее производилось смешивание пробы со смесью тетрабората и метабората лития с последующей гомогенизацией и сплавлением. Относительная погрешность определений порообразующих

компонентов и микроэлементов составила 3–10 %. Геохимические особенности пород приведены в таблице 2.

Выделение зерен обломочного циркона произведено в минералогической лаборатории Института геологии и природопользования ДВО РАН с применением тяжелых жидкостей. Непосредственно U–Th–Pb датирование зерен выполнено в ЦКП «Геоспектр» Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН (г. Улан-Удэ) на одноколлекторном магнитно-секторном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Element XR (Termo Scientific), оснащенном устройством лазерной абляции UP-213 (New Wave Research). Диаметр лазерного пучка составлял 30 мкм при плотности потока энергии ~4.5 Дж/см². Детально описание аналитических процедур приведено в публикациях [16, 23]. Конкордантные возрасты зерен циркона рассчитаны в программе Isoplot (vers. 3.6) [29, 38,

Рис. 1. Тектоническая схема восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса (а) по [22], стратиграфическая колонка осадочных пород Зейя-Селемджинского фрагмента Нора-Сухотинского террейна (б), по [11], геологическая схема Зейя-Селемджинского фрагмента Нора-Сухотинского террейна (в), по [2, 11].

(а): 1 – положение объекта исследований; 2 – континентальные массивы (супертеррейны): АР – Аргунский (АР(М) – Мамынский террейн), БЦ – Бурей-Цязмусинский (БЦ(Б) – Бурейнский террейн); 3 – палеозойские–раннемезозойские складчатые пояса: ЮМ – Южно-Монгольско-Хинганский (НСТ – Нора-Сухотинский террейн), МО – Монголо-Охотский, ОК – Охотско-Корякский; 4 – позднеюрско-раннемеловые складчатые пояса; (б): 5 – сланцы; 6 – песчаники; 7 – известняки; 8 – алевролиты; 9 – вулканы основного и среднего состава; 10 – места отбора образцов для геохимических и U–Th–Pb (LA–ICP–MS) изотопных исследований и их номера; *нижняя возрастная граница накопления пород приводится по данным U–Th–Pb (LA–ICP–MS) датирования обломочных зерен циркона [21]; (в): 11 – кайнозойские рыхлые отложения; 12 – мезозойские кислые интрузивные образования; 13 – ниже-среднедевонские терригенные отложения алевролито-песчаниковой толщи; 14 – раннепалеозойские граниты, гранодиориты и плагиограниты; 15 – разломы, 16 – места отбора и номер образцов для геохимических и U–Th–Pb (LA–ICP–MS) изотопных исследований.

Таблица 2. Химический состав песчаников бассейна р. Каменушка алевролитно-песчаниковой толщи Зей-Селемджинского фрагмента Нора-Сухотинского террейна.

Компоненты	Z-101	Z-101-1	Z-101-2	Z-101-3	Z-101-4	Z-102	Z-102-1	Z-102-2	Z-102-3	Z-103	Z-103-1	Z-103-2
SiO ₂	69.98	65.60	70.12	69.66	70.28	67.68	68.97	69.79	69.27	73.39	73.41	72.40
TiO ₂	0.58	0.73	0.56	0.55	0.54	0.59	0.55	0.56	0.55	0.45	0.45	0.51
Al ₂ O ₃	13.03	16.11	13.67	13.82	13.98	14.11	13.68	13.49	13.47	11.37	11.59	11.90
Fe ₂ O ₃ *	4.87	5.90	4.16	4.80	4.55	5.20	4.79	4.32	4.51	4.13	4.02	4.43
MnO	0.04	0.06	0.03	0.03	0.13	0.06	0.05	0.06	0.06	0.04	0.04	0.03
MgO	1.66	2.23	1.56	1.54	1.77	1.89	1.63	1.63	1.67	1.05	1.19	1.12
CaO	1.01	0.40	0.52	0.52	0.49	1.57	1.50	1.90	1.92	1.03	1.02	1.64
Na ₂ O	3.30	1.90	3.13	2.77	3.11	2.90	3.00	3.28	3.18	2.83	3.14	2.78
K ₂ O	2.01	3.60	2.17	2.40	2.40	2.52	2.48	2.16	2.05	2.46	2.28	2.16
P ₂ O ₅	0.23	0.23	0.21	0.22	0.20	0.23	0.22	0.21	0.22	0.17	0.16	0.20
П.П.П.	2.35	2.94	2.18	2.61	2.30	2.48	2.18	1.90	2.18	2.11	1.86	2.32
Сумма	99.06	99.70	98.31	98.92	99.75	99.23	99.05	99.30	99.08	99.03	99.16	99.49
Rb	100	171	116	121	122	104	100	92	90	98	86	101
Sr	169	57	184	162	160	328	274	414	424	229	251	329
Ba	457	627	466	497	553	555	478	508	475	552	496	454
Y	34	38	36	36	37	32	23	33	32	29	28	32
Th	16.70	17.60	18.20	15.40	15.50	14.20	10.00	15.80	14.40	15.30	13.70	16.00
U	4.20	3.90	4.10	4.10	4.60	3.80	2.70	4.10	4.80	3.60	4.10	4.20
Zr	163	161	208	172	163	170	119	179	167	170	167	196
Nb	12	16	12	12	12	11	11	10	11	10	9	11
Zn	64	101	63	67	69	49	87	36	40	60	56	64
Co	10	13	8	9	9	9	7	7	8	6	6	8
Ni	39	48	29	32	35	24	22	21	23	26	29	28
Sc	12	14	11	12	11	10	15	11	10	10	7	6
V	60	77	58	53	55	64	73	60	60	41	56	46
Cr	101	106	124	109	114	85	73	88	80	144	114	109
Pb	14	19	19	19	23	18	20	17	16	17	16	15

Примечание. Содержания породообразующих компонентов приведены в мас. %, элементов-примесей – в г/т. Fe₂O₃* – общее железо в форме Fe₂O₃.

41]. Для построения кривой относительной вероятности зерен циркона и вычисления ее пиков использовались только те значения возрастов, которые характеризуются конкордантным возрастом (СА), при этом в них значения показателя дискордантности составляли не более 10 %, а ошибка значений отношения возрастов ²⁰⁶Pb/²³⁸U и ²⁰⁷Pb/²³⁵U не более 3 %. Пики для кривой относительной вероятности возрастов зерен циркона рассчитаны с помощью программы AgePick [33].

ОСНОВНЫЕ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД

Песчаники бассейна р. Каменушка желтовато-серого и зеленовато-серого цвета, с мелко-среднезернистой структурой (0.10–0.40 мм) и массивной текстурой. Обломочный материал плохой сортировки, угловатой и слабоокатанной форм, представлен преимущественно кварцем (30–35 %), плагиоклазами (альбитом и олигоклазом – 5–20 %), калиевыми полевыми шпатами (5–10 %) (рис. 2). В песчаниках

отмечается присутствие чешуек биотита и мусковита (до 10 %). Обломки микрокварцитов, гранитов и слюдисто-кварцевых сланцев встречаются до 5 %. Цемент базальный, реже контактовый гидрослюдистого состава. Акцессорные минералы: циркон, апатит, гранат, сфен, магнетит.

На классификационной диаграмме (Fe₂O₃ + FeO + MgO + MnO + TiO₂) – SiO₂ – (Al₂O₃ + CaO + Na₂O + K₂O) [4] точки состава песчаников алевролитно-песчаниковой толщи лежат в поле пород полимиктового состава (рис. 3, а). На диаграмме Na₂O – (Fe₂O₃* + MgO) – K₂O [27] рассматриваемые породы соответствуют преимущественно грауваккам (рис. 3, б). Подобный вывод следует из анализа диаграммы log(SiO₂/Al₂O₃) – log(Fe₂O₃/K₂O) [35] (рис. 3, в).

По соотношению петрогенных оксидов и микроэлементов можно в той или иной мере судить о составе пород в областях размыва и геодинамической природе песчаников. Положение фигуративных точек песчаников алевролитно-песчаниковой толщи на диаграмме Zr/

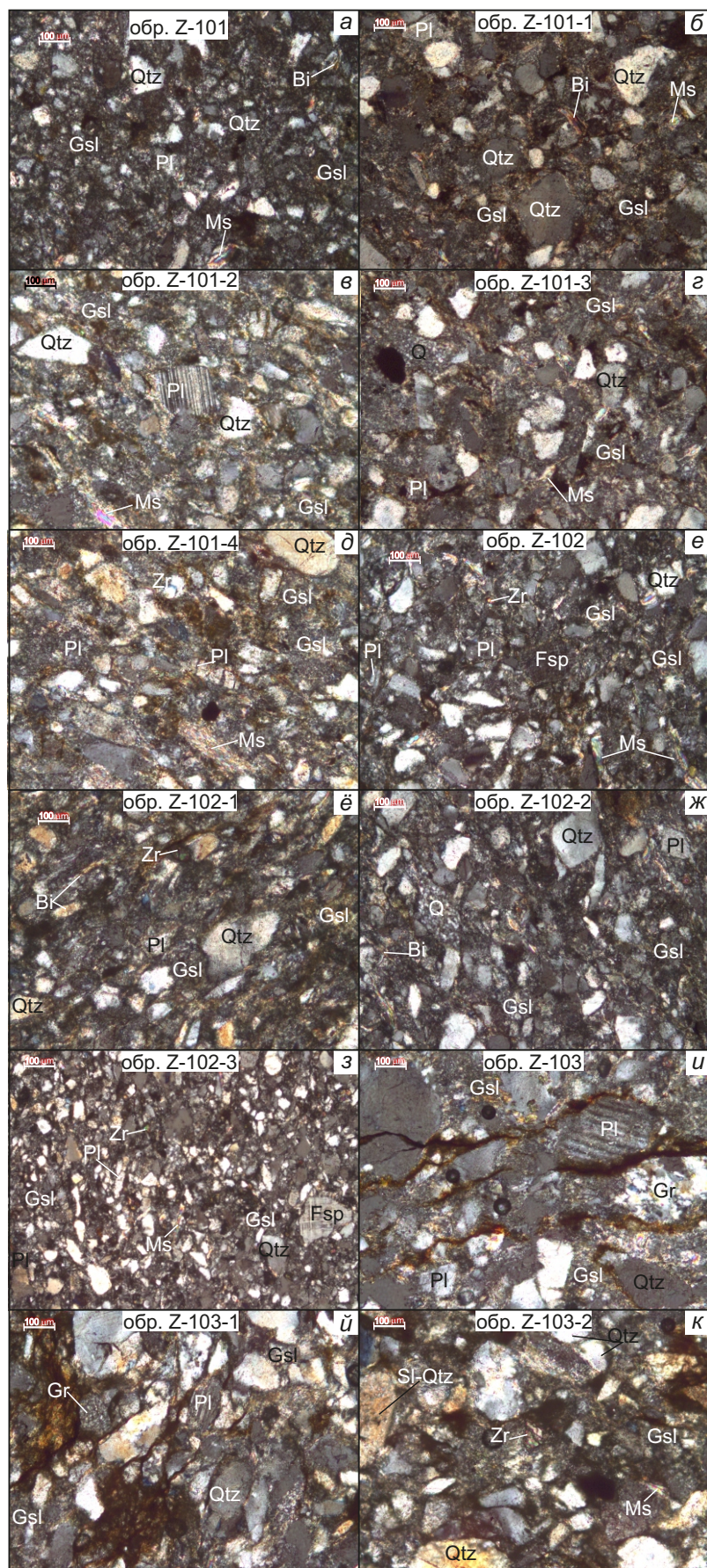


Рис. 2. Микрофотографии образцов песчанников бассейна р. Каменушка алевролито-песчанниковой толщи Зeya-Селемджинского фрагмента Нора-Сухотинского террейна.

Никели скрещены. Сокращения: обломки Qtz – кварца, Pl – плагиоклаза, Fsp – калиевого полевого шпата, Gr – гранитов, Q – микрокварцитов, Sl-Qtz – слюисто-кварцевых сланцев; чешуйки Bi – биотита, Ms – мусковита; Zr – циркон; Gsl – гидрослюдистый цемент.

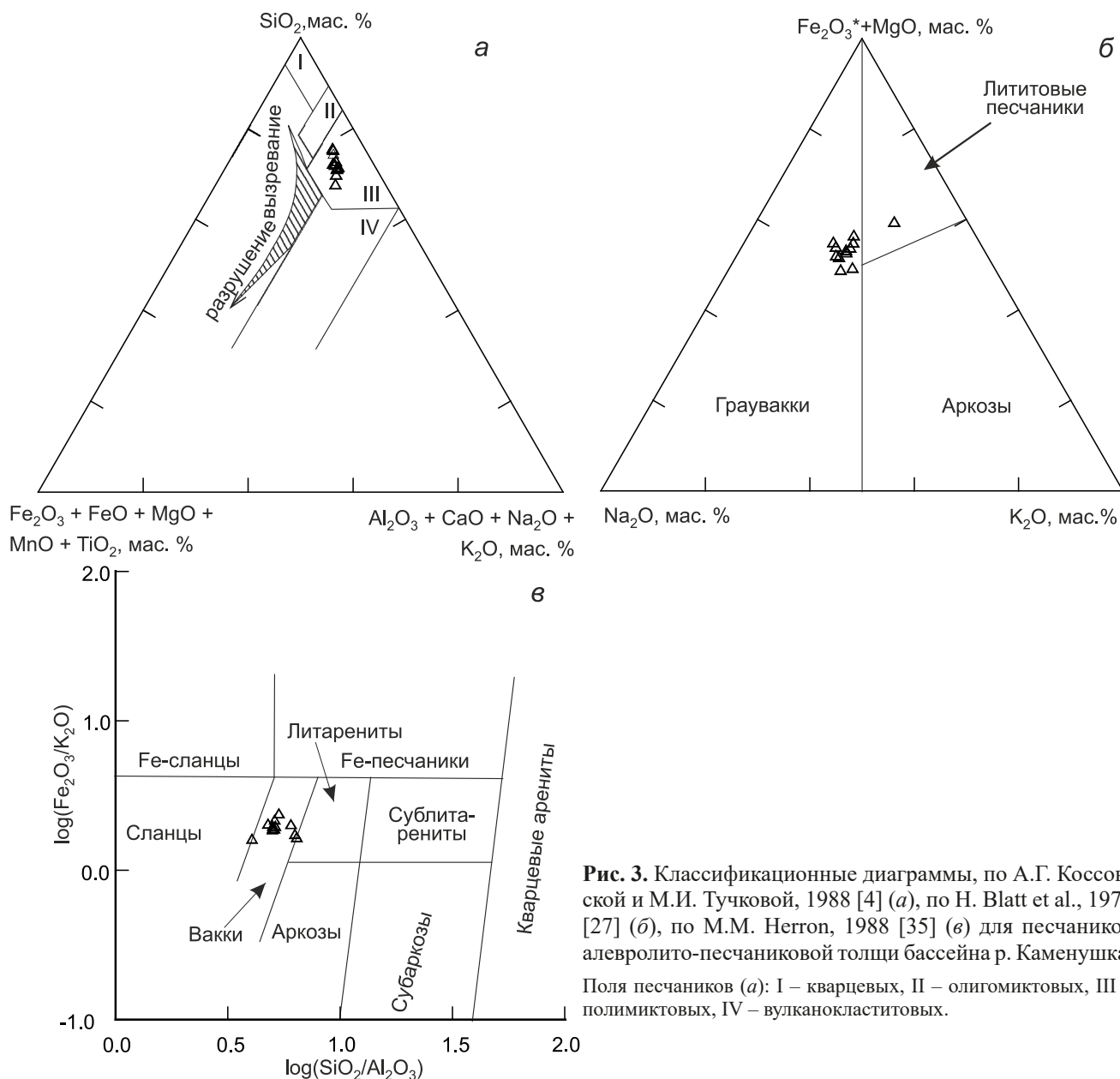


Рис. 3. Классификационные диаграммы, по А.Г. Коссовской и М.И. Тучковой, 1988 [4] (а), по Н. Blatt et al., 1972 [27] (б), по М.М. Herron, 1988 [35] (в) для песчаников алевролитопесчанниковой толщи бассейна р. Каменушка. Поля песчаников (а): I – кварцевых, II – олигомиктовых, III – полимиктовых, IV – вулканокластических.

Sc – Th/Sc [39] указывает на то, что в области сноса присутствовали как первичные (магматические) горные породы, так и осадочный (литогенный) материал.

На треугольной диаграмме $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{K}_2\text{O}$ [25, 28] точки изученных песчаников сосредоточены вблизи точки среднего состава фанерозойских гранитов (рис. 4, а). На преимущественно кислый и средний состав магматических пород в области сноса указывает положение фигуративных точек состава рассматриваемых песчаников на диаграммах Rb – K [31], $\text{FeO}^* - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{MgO}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{MgO}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, $(\text{CaO} + \text{MgO}) - \text{FeO}^* - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, $(\text{CaO} + \text{MgO}) - \text{SiO}_2/10 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ [24] (рис. 4, б–г).

Для сравнения геохимического состава песчаников алевролитопесчанниковой толщи с ранее изученными девонскими терригенными породами Нора-Сухотинского террейна на диаграммы связи геохимического состава отложений с составами магматических горных пород были нанесены точки состава алевролитов алевролитопесчанниковой толщи Зейя-Селемджинского фрагмента [21] и песчаников гуранской свиты Приамурского фрагмента [15]. В алевролитах алевролитопесчанниковой толщи, несмотря на значительные вариации основных породообразующих оксидов, отмечается тяготение точек состава к породам, накопление которых обусловлено размывом магматических образований преимущест-

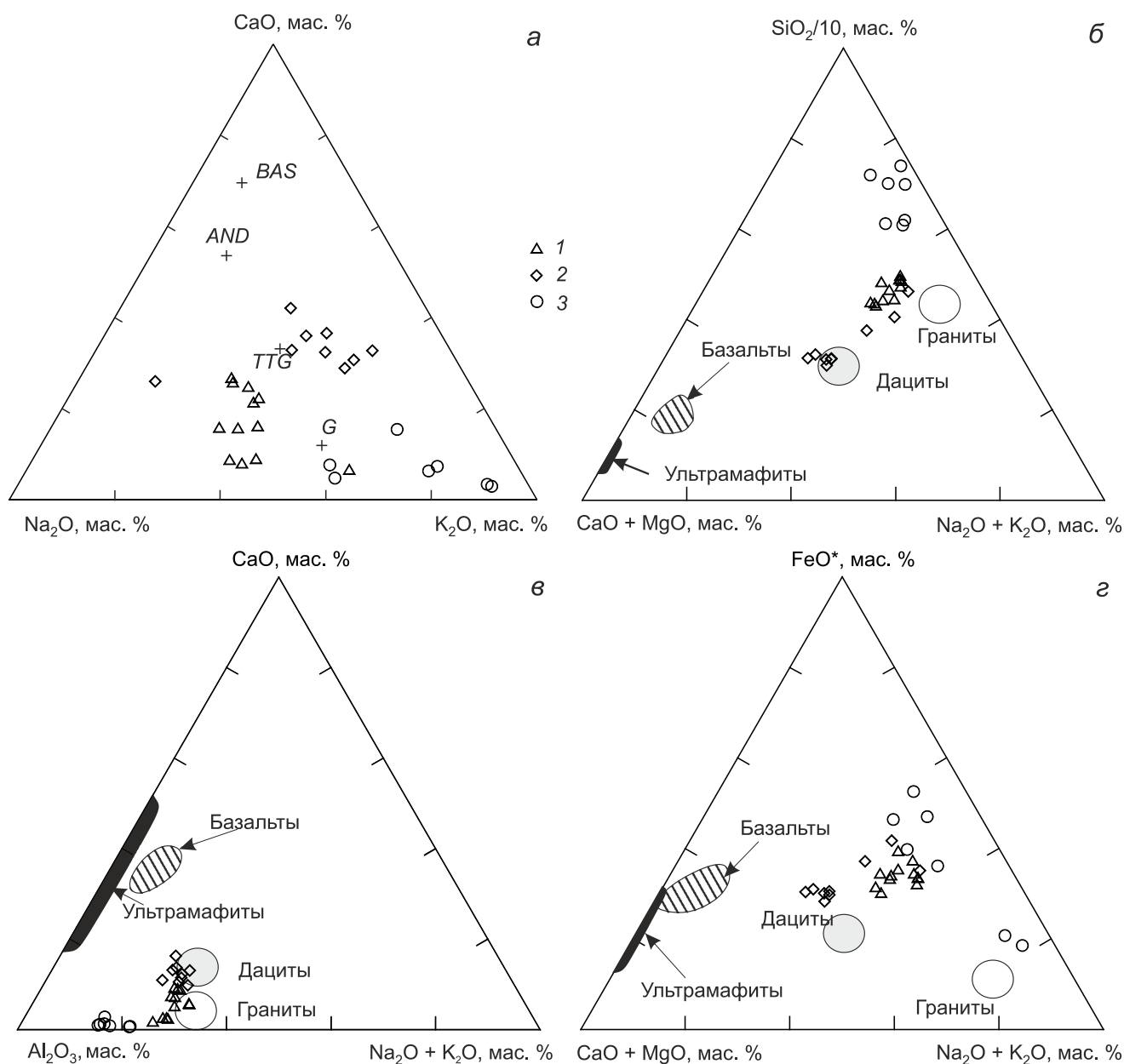


Рис. 4. Диаграммы связи составов изученных пород с составами магматических пород: $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{K}_2\text{O}$ [25, 28] (а), $(\text{CaO} + \text{MgO}) - \text{SiO}_2/10 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ [24] (б), $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ [24] (в), $(\text{CaO} + \text{MgO}) - \text{FeO}^* - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ [24] (г). FeO^* – общее железо в виде FeO .

(а): 1 – песчаники алевролито-песчаниковой толщи бассейна р. Каменушка, 2 – алевролиты алевролито-песчаниковой толщи бассейна р. Зeya, по данным [21], 3 – песчаники гуранской свиты бассейна р. Белая, по данным [15]. (а) Средний состав магматических пород, по [28]. BAS – палеозойских базальтов, AND – палеозойских андезитов, TTG – фанерозойских тоналит-трондьемит-гранодиоритов, G – фанерозойских гранитов; (б–г), по [24].

венно кислого состава. Сравнивая песчаники алевролито-песчаниковой толщи с песчаниками гуранской свиты, стоит отметить в последних понижение концентраций Na_2O , CaO , $(\text{CaO} + \text{MgO})$ и $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ и повышение концентраций SiO_2 , что, по-видимому, связано с более высоким содержанием в их составе обломков кварца, в том числе с волнистым погасани-

ем, свидетельствующее об определенном вкладе метаморфических образований среди пород питающих провинций.

Для реконструкции палеогеодинамической обстановки накопления терригенных отложений алевролито-песчаниковой толщи использовались диаграммы, в основе которых лежит анализ соотношений основных по-

родообразующих оксидов и микроэлементов. Согласно [25], при смене обстановок накопления осадочных пород от пассивной континентальной окраины к активной континентальной окраине и далее к континентальной и океанической островной дугам лежит закономерность возрастания содержаний ($\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO}$), TiO_2 и соотношения $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$. На диаграммах ($\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO}$) – TiO_2 , ($\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO}$) – $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ [25] фигуративные точки состава рассматриваемых песчаников локализуются в полях осадочных пород, сформированных в обстановке активной континентальной окраины и континентальной островной дуги (рис. 5, а, б). По данным [25] на диаграммах поле континентальной островной дуги представляет обстановки конвергентной окраины плиты и островной дуги – это преддуговые, междугровые и задугровые бассейны, тогда как поле активной континентальной окраины включает бассейны седиментации окраины Андского типа и сдвигового континентального рифтогенеза.

В песчаниках алевролитово-песчаниковой толщи отмечается дефицит Th, Zr по отношению к Co и Sc, что характерно для осадочных пород, накопление которых происходило в обстановках активной континентальной окраины и континентальной островной дуги (рис. 5, в, г).

С целью корреляции девонских осадочных пород Нора-Сухотинского террейна на диаграммы, используемые для определения палеогеодинамических обстановок осадконакопления, были вынесены точки состава песчаников среднедевонской гуранской свиты. Они, в отличие от песчаников алевролитово-песчаниковой толщи, тяготеют к полям осадочных пород, сформированных в обстановках пассивной и активной континентальных окраин, а также континентальной островной дуги (рис. 5). Такая неопределенность указывает на то, что для корректной интерпретации палеогеодинамической обстановки накопления девонских осадочных пород Нора-Сухотинского террейна необходимо учитывать не только геохимические, но и иные данные, что будет сделано ниже.

РЕЗУЛЬТАТЫ U–TH–PB ДАТИРОВАНИЯ ЗЕРЕН ЦИРКОНА

Из песчаника алевролитово-песчаниковой толщи (обр. Z-102) было выделено 120 зерен детритового циркона. Для 50 зерен получены конкордантные оценки возраста (табл. 3, рис. 6, а). Значительное количество зерен циркона с дискордантными оценками возраста связано с малым размером большинства изученных зерен, который варьирует от 30 до 60 мкм, в то время как диаметр лазерного пучка при U–Th–Pb анализе составлял 30 мкм. Большая часть цирконов (27 зерен) – кембрий-ордовикского возраста (454–

523 млн лет). Неопротерозойские значения возраста выявлены для 18 зерен циркона (543–959 млн лет). Мезопротерозойские (1073–1421 млн лет) и палеопротерозойские (1638–1755 млн лет) значения возраста типичны для 2 и 3 зерен, соответственно. Пики на кривой относительной вероятности возраста обломочного циркона соответствуют значениям ~ 927, ~ 875, ~ 753, ~ 504 и ~ 467 млн лет. Для более высокой точности определения нижней возрастной границы накопления терригенных отложений необходимо использование результатов по трем и более молодым зернам циркона [29, 41]. Конкордантный возраст трех наиболее молодых зерен циркона составляет 459 ± 9 млн лет.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Первоначально рассмотрим результаты минералого-геохимических исследований. Песчаники бассейна р. Каменушка по геохимическому составу – граувакки. Гранулометрические особенности обломочного материала, а именно, угловатая и слабоокатанная форма обломочного материала указывает на близость источников сноса. Присутствие в исследованных песчаниках алевролитово-песчаниковой толщи обломков кварца, полевых шпатов и слюд (биотита и мусковита), а также наличие таких акцессорных минералов, как циркон, апатит и сфен, позволяют предполагать, что основными поставщиками исходного материала послужили преимущественно кислые и средние магматические породы. Дополнительными источниками сноса кластического материала, по-видимому, являлись метаморфические породы, о чем свидетельствует присутствие граната среди акцессориев, а также обломков микрокварцитов и сланцев. Подобный вывод также следует из анализа диаграмм, основанных на содержании родообразующих оксидов и микроэлементов.

Положение фигуративных точек состава на дискриминантных диаграммах для определения палеогеодинамических обстановок осадконакопления позволяет предполагать, что их накопление происходило в обстановке, связанной с субдукционными процессами. На активный тектонический режим в период накопления терригенных отложений указывает присутствие в изученных песчаниках слабоокатанных и плохо сортированных обломков, наличие в составе толщи вулканогенно-осадочных пород.

Полученные данные не противоречат существующим моделям формирования части Южно-Монгольско-Хинганского орогенного пояса, расположенной на сопредельной территории Китая (Хэгэншань-Хэйхэ структурной зоны (ХХСЗ)), согласно которым существовала зона субдукции (~508–330 млн лет назад), имеющая северо-западное падение [30, 32, 36, 37, 43, 44 и др.].

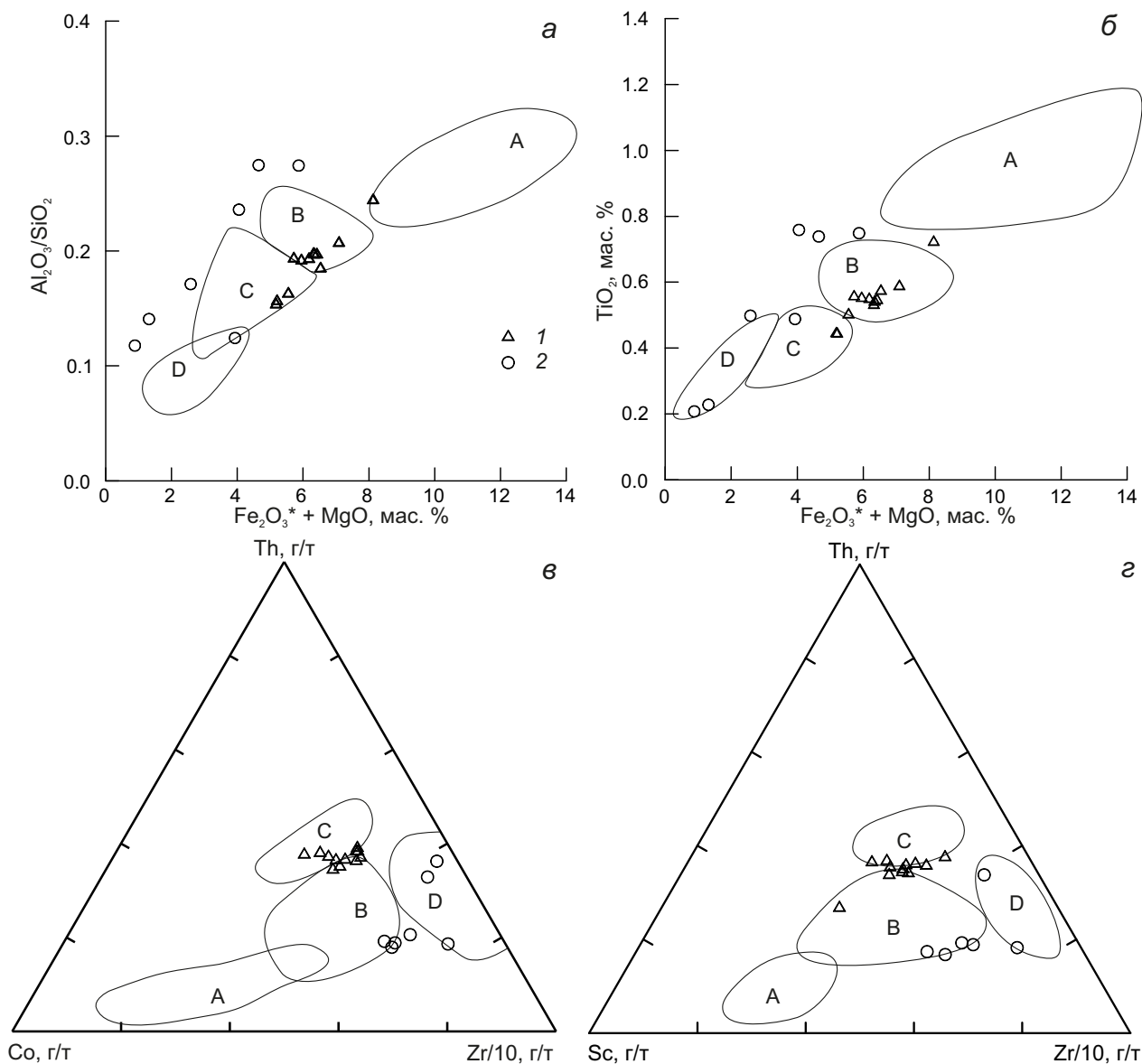


Рис. 5. Диаграммы $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO}) - \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (а) [25], $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO}) - \text{TiO}_2$ (б) [25], Co – Th – Zr/10 [26] (в), Sc – Th – Zr/10 [26] (г) для песчаников бассейна р. Каменушка алевролито-песчаниковой толщи Зeya-Селемджинского фрагмента Нора-Сухотинского террейна.

1 – песчаники алевролито-песчаниковой толщи бассейна р. Каменушка, 2 – песчаники гуранской свиты бассейна р. Белая, по данным [15]. Поля, характеризующие песчаники из тектонических обстановок: А – океанические островные дуги, В – континентальные островные дуги, С – активные континентальные окраины, D – пассивные континентальные окраины. Значения Fe_2O_3^* – общее железо в виде Fe_2O_3 .

Неотъемлемой частью исследований было уточнение нижней возрастной границы накопления пород алевролито-песчаниковой толщи. Согласно данным U–Th–Pb изотопных исследований зерен детритового циркона выявлено, что конкордантный возраст трех наиболее молодых зерен циркона из песчаника алевролито-песчаниковой толщи составляет 459 ± 9 млн лет. Это значение указывают на то, что нижняя граница осадконакопления песчаников але-

вролито-песчаниковой толщи приходится на границу среднего и позднего ордовика. Учитывая, что в терригенных отложениях алевролито-песчаниковой толщи ископаемая фауна и флора не обнаружена, то не исключено, что они могут представлять более ранний (силурийский) этап развития Нора-Сухотинского террейна [11]. Близкие значения нижних возрастных границ осадконакопления были получены для алевролита алевролито-песчаниковой толщи в бассейне р. Зeya

Таблица 3. Результаты U–Th–Pb (LA–ICP–MS) датирования зерен детритового циркона из песчаника алевролитно-песчанниковой толщи (обр. Z-102) бассейна р. Каменушка Зейя-Селенджинского фрагмента Нора-Сухотинского террейна.

№ п/п	№ образца/ № зерна	Th, г/г	U, г/г	Th/ U	Изотопные отношения					Возраст, млн лет					D	**					
					$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm 1\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\pm 1\sigma$	CA	$\pm 2\sigma$							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Z-102/1	238	293	0.8	14.6994	0.0008	1.4704	0.0126	0.1568	0.0010	0.74	939	6	918	5	870	23	Discordant		-2.2	
2	Z-102/2	77	187	0.4	16.3026	0.0009	0.7141	0.0093	0.0845	0.0006	0.54	523	4	547	6	651	32	Discordant		4.6	
3	Z-102/3	213	632	0.3	8.9509	0.0012	4.8116	0.0357	0.3126	0.0020	0.86	1753	10	1787	6	1828	19	Discordant		1.9	
4	Z-102/4	369	323	1.1	17.3641	0.0007	0.6058	0.0060	0.0763	0.0005	0.66	474	3	481	4	514	27	475	6	1.4	**
5	Z-102/5	237	495	0.5	17.5593	0.0007	0.6377	0.0058	0.0813	0.0005	0.68	504	3	501	4	489	26	503	6	-0.5	**
6	Z-102/6	314	1279	0.2	16.7001	0.0007	0.6934	0.0055	0.0840	0.0006	0.90	520	3	535	3	599	24	Discordant		2.8	
7	Z-102/7	120	667	0.2	15.5594	0.0007	0.9853	0.0081	0.1113	0.0007	0.76	680	4	696	4	750	23	Discordant		2.4	
8	Z-102/8	151	186	0.8	17.6056	0.0008	0.5746	0.0069	0.0734	0.0005	0.57	457	3	461	4	483	32	457	6	0.9	**
9	Z-102/9	270	1087	0.2	17.7778	0.0006	0.6101	0.0050	0.0787	0.0005	0.78	489	3	484	3	461	25	486	6	-1.0	**
10	Z-102/10	1270	1193	1.1	17.3853	0.0006	0.5896	0.0048	0.0744	0.0005	0.82	463	3	471	3	511	24	Discordant		1.7	
11	Z-102/11	340	397	0.9	13.8427	0.0009	0.7762	0.0070	0.0780	0.0005	0.71	484	3	583	4	993	24	Discordant		20.5	
12	Z-102/12	82	109	0.8	17.1116	0.0010	0.6047	0.0090	0.0751	0.0005	0.45	467	3	480	6	546	36	468	6	2.8	**
13	Z-102/13	260	309	0.8	18.0668	0.0007	0.6238	0.0064	0.0818	0.0006	0.72	507	3	492	4	426	28	Discordant		-2.9	
14	Z-102/14	1	16	0.1	1.2624	0.0086	153.5395	1.2956	1.4070	0.0107	0.90	5662	29	5118	9	4908	15	Discordant		-9.6	
15	Z-102/15	42	20	2.1	1.3512	0.0082	69.2607	0.5836	0.6793	0.0051	0.89	3342	20	4318	8	4811	16	Discordant		29.2	
16	Z-102/16	386	914	0.4	16.3079	0.0007	0.6744	0.0057	0.0798	0.0005	0.74	495	3	523	3	651	24	Discordant		5.7	
17	Z-102/17	189	314	0.6	16.5399	0.0008	0.6037	0.0070	0.0725	0.0005	0.60	451	3	480	4	620	30	Discordant		6.3	
18	Z-102/18	5	44	0.1	2.7421	0.0045	7.1784	0.0680	0.1429	0.0011	0.81	861	6	2134	8	3770	19	Discordant		147.8	
19	Z-102/19	91	191	0.5	17.0707	0.0008	0.6544	0.0080	0.0811	0.0006	0.60	503	3	511	5	552	31	504	7	1.7	**
20	Z-102/20	232	226	1.0	16.5837	0.0009	0.6499	0.0079	0.0782	0.0006	0.63	486	3	508	5	615	31	Discordant		4.7	
21	Z-102/21	657	578	1.1	17.5623	0.0007	0.6428	0.0059	0.0819	0.0006	0.80	508	3	504	4	489	26	506	7	-0.7	**
22	Z-102/22	94	103	0.9	7.1741	0.0019	1.5350	0.0173	0.0800	0.0006	0.66	496	4	945	7	2220	24	Discordant		90.5	
23	Z-102/23	307	395	0.8	12.4797	0.0010	1.0202	0.0093	0.0924	0.0006	0.71	570	4	714	5	1200	23	Discordant		25.3	
24	Z-102/24	1272	1097	1.2	10.8885	0.0010	1.7572	0.0141	0.1389	0.0009	0.81	839	5	1030	5	1464	21	Discordant		22.8	
25	Z-102/25	429	567	0.8	15.8378	0.0009	0.6937	0.0087	0.0798	0.0005	0.50	495	3	535	5	713	31	Discordant		8.1	
26	Z-102/26	503	1937	0.3	17.0010	0.0007	0.6483	0.0053	0.0800	0.0005	0.76	496	3	507	3	560	24	Discordant		2.2	
27	Z-102/27	294	454	0.6	14.5624	0.0008	1.3723	0.0120	0.1451	0.0010	0.79	873	5	877	5	889	24	876	10	0.4	**
28	Z-102/28	28	2	14	1.2652	0.0107	128.3194	2.9351	1.1787	0.0264	0.98	5020	78	4937	23	4905	19	Discordant		-1.7	
29	Z-102/29	854	1477	0.6	13.8793	0.0008	0.7978	0.0067	0.0804	0.0005	0.74	498	3	596	4	988	22	Discordant		19.5	
30	Z-102/30	123	329	0.4	17.0911	0.0007	0.7506	0.0076	0.0931	0.0006	0.64	574	4	569	4	549	27	573	7	-1.0	**
31	Z-102/31	127	205	0.6	17.3822	0.0008	0.6684	0.0080	0.0844	0.0006	0.59	522	4	520	5	511	31	522	7	-0.4	**
32	Z-102/32	218	490	0.4	14.5518	0.0008	1.3140	0.0117	0.1388	0.0009	0.73	838	5	852	5	890	24	Discordant		1.6	
33	Z-102/33	277	557	0.5	15.3894	0.0008	1.1950	0.0107	0.1335	0.0009	0.75	808	5	798	5	774	24	802	9	-1.2	**
34	Z-102/34	486	443	1.1	15.9413	0.0008	0.6937	0.0072	0.0803	0.0006	0.72	498	3	535	4	699	27	Discordant		7.5	
35	Z-102/35	1174	1325	0.9	17.3883	0.0007	0.6351	0.0056	0.0802	0.0005	0.71	497	3	499	3	511	25	498	6	0.4	**
36	Z-102/36	300	254	1.2	17.4551	0.0008	0.6545	0.0076	0.0830	0.0006	0.62	514	3	511	5	502	30	514	7	-0.5	**
37	Z-102/37	594	1646	0.4	15.7480	0.0007	1.0904	0.0092	0.1247	0.0008	0.76	757	5	749	4	725	24	753	8	-1.1	**
38	Z-102/38	128	279	0.5	13.3726	0.0009	1.8711	0.0181	0.1817	0.0013	0.74	1076	7	1071	6	1063	24	1073	12	-0.5	**

Таблица 3. (Продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
39	Z-102/39	167	212	0.8	12.5976	0.0011	0.8373	0.0096	0.0766	0.0006	0.68	476	3	618	5	1182	27	Discordant			
40	Z-102/40	958	1512	0.6	14.7951	0.0008	0.7734	0.0068	0.0831	0.0006	0.82	515	3	582	4	856	24	Discordant			
41	Z-102/41	429	1431	0.3	14.7449	0.0008	0.7406	0.0066	0.0793	0.0005	0.71	492	3	563	4	863	24	Discordant			
42	Z-102/42	50	337	0.2	13.7874	0.0009	1.5873	0.0150	0.1589	0.0011	0.73	951	6	965	6	1001	24	959	11	1.5	**
43	Z-102/43	70	338	0.2	14.3082	0.0009	1.4833	0.0143	0.1541	0.0011	0.74	924	6	924	6	925	25	924	11	-0.1	**
44	Z-102/44	253	394	0.6	15.5135	0.0009	0.7321	0.0083	0.0825	0.0006	0.64	511	3	558	5	757	28	Discordant			
45	Z-102/45	184	158	1.2	15.2022	0.0009	1.2211	0.0146	0.1348	0.0010	0.62	815	6	810	7	799	29	814	11	-0.6	**
46	Z-102/46	270	293	0.9	16.9405	0.0008	0.7320	0.0082	0.0901	0.0006	0.59	556	4	558	5	568	29	556	7	0.3	**
47	Z-102/47	140	205	0.7	9.8922	0.0013	3.3495	0.0352	0.2406	0.0017	0.67	1390	9	1493	8	1644	24	Discordant		7.4	
48	Z-102/48	2487	2045	1.2	6.2352	0.0018	1.4830	0.0130	0.0672	0.0005	0.85	419	3	923	5	2460	19	Discordant		120.4	
49	Z-102/49	714	1150	0.6	16.3265	0.0007	0.6775	0.0064	0.0803	0.0006	0.79	498	3	525	4	648	25	Discordant		5.4	
50	Z-102/50	1091	1119	1.0	15.9109	0.0008	0.7071	0.0067	0.0817	0.0006	0.78	506	3	543	4	703	25	Discordant		7.2	
51	Z-102/51	277	177	1.6	14.5836	0.0009	1.4567	0.0161	0.1543	0.0011	0.64	925	6	913	7	886	27	920	12	-1.3	**
52	Z-102/52	304	373	0.8	17.7999	0.0008	0.6128	0.0070	0.0792	0.0006	0.66	492	3	485	4	459	30	490	7	-1.3	**
53	Z-102/53	731	1175	0.6	15.9566	0.0008	0.7600	0.0073	0.0881	0.0006	0.71	544	4	574	4	697	26	Discordant		5.5	
54	Z-102/54	130	498	0.3	12.9333	0.0009	1.7288	0.0166	0.1624	0.0011	0.70	970	6	1019	6	1129	24	Discordant		5.1	
55	Z-102/55	284	305	0.9	16.4582	0.0009	0.6728	0.0079	0.0804	0.0006	0.64	499	3	522	5	631	30	Discordant		4.8	
56	Z-102/56	87	689	0.1	14.4949	0.0009	0.7694	0.0078	0.0810	0.0006	0.73	502	3	579	5	898	26	Discordant		15.4	
57	Z-102/57	266	766	0.4	10.7991	0.0011	2.1638	0.0204	0.1697	0.0012	0.75	1011	7	1170	7	1480	22	Discordant		15.7	
58	Z-102/58	919	408	2.2	6.2406	0.0020	1.4792	0.0149	0.0671	0.0005	0.74	418	3	922	6	2458	21	Discordant		120.3	
59	Z-102/59	3	14	0.2	1.5143	0.0088	31.8777	0.3643	0.3506	0.0033	0.82	1938	16	3547	11	4647	19	Discordant		83.0	
60	Z-102/60	213	275	0.8	17.2503	0.0008	0.6328	0.0079	0.0793	0.0006	0.61	492	3	498	5	528	32	493	7	1.2	**
61	Z-102/61	259	364	0.7	9.3809	0.0013	4.3747	0.0425	0.2981	0.0021	0.72	1682	10	1708	8	1742	22	Discordant		1.5	
62	Z-102/62	252	523	0.5	9.2191	0.0013	4.6354	0.0446	0.3104	0.0022	0.74	1743	11	1756	8	1774	22	1755	16	0.7	**
63	Z-102/63	152	189	0.8	15.7928	0.0011	0.7001	0.0110	0.0803	0.0006	0.48	498	4	539	7	719	37	Discordant		8.2	
64	Z-102/64	583	1423	0.4	15.4178	0.0008	0.9698	0.0096	0.1086	0.0008	0.74	665	4	688	5	770	25	Discordant		3.6	
65	Z-102/65	632	1576	0.4	15.3468	0.0008	0.6982	0.0070	0.0778	0.0006	0.77	483	3	538	4	779	26	Discordant		11.3	
66	Z-102/66	55	82	0.7	16.4366	0.0012	0.7343	0.0130	0.0877	0.0007	0.45	542	4	559	8	634	41	543	8	3.2	**
67	Z-102/67	81	841	0.1	9.1191	0.0013	4.2189	0.0411	0.2795	0.0020	0.74	1589	10	1678	8	1794	22	Discordant		5.6	
68	Z-102/68	108	117	0.9	16.8067	0.0011	0.6909	0.0109	0.0844	0.0007	0.53	522	4	533	7	585	38	523	8	2.2	**
69	Z-102/69	197	291	0.7	17.7211	0.0008	0.5807	0.0075	0.0748	0.0006	0.62	465	3	465	5	468	33	465	7	0.1	**
70	Z-102/70	337	637	0.5	15.2718	0.0008	1.1296	0.0119	0.1253	0.0009	0.68	761	5	768	6	790	26	763	10	0.8	**
71	Z-102/71	645	1094	0.6	13.3869	0.0010	0.7667	0.0081	0.0746	0.0005	0.63	464	3	578	5	1061	25	Discordant		24.7	
72	Z-102/72	484	1981	0.2	17.3943	0.0007	0.6305	0.0066	0.0797	0.0006	0.72	494	3	496	4	510	27	495	7	0.4	**
73	Z-102/73	215	253	0.8	17.4186	0.0009	0.5908	0.0081	0.0748	0.0006	0.58	465	3	471	5	507	34	466	7	1.4	**
74	Z-102/74	514	987	0.5	16.8435	0.0008	0.6574	0.0072	0.0804	0.0006	0.68	499	3	513	4	581	28	Discordant		2.9	
75	Z-102/75	128	180	0.7	14.8456	0.0010	1.3555	0.0169	0.1462	0.0011	0.60	880	6	870	7	849	30	877	12	-1.1	**
76	Z-102/76	50	3	16.7	1.1674	0.0113	363.2666	7.8495	3.0808	0.0627	0.94	9066	99	5989	22	5019	19	Discordant		-33.9	
77	Z-102/77	627	733	0.9	9.2945	0.0014	1.1851	0.0129	0.0800	0.0006	0.69	496	4	794	6	1759	23	Discordant		60.0	
78	Z-102/78	1102	1129	0.9	12.8733	0.0010	1.1871	0.0126	0.1110	0.0008	0.68	679	5	795	6	1139	25	Discordant		17.1	
79	Z-102/79	47	526	0.1	17.7368	0.0008	0.6272	0.0076	0.0808	0.0006	0.61	501	4	494	5	467	31	500	7	-1.3	**

Таблица 3. (Окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
80	Z-102/80	189	299	0.6	17.9083	0.0009	0.5618	0.0077	0.0731	0.0006	0.60	455	3	453	5	446	34	454	7	-0.4	**
81	Z-102/81	714	1198	0.6	8.6408	0.0015	4.7872	0.0512	0.3005	0.0022	0.68	1694	11	1783	9	1891	23	Discordant		5.2	
82	Z-102/82	242	1159	0.2	15.5135	0.0009	0.7585	0.0085	0.0855	0.0006	0.63	529	4	573	5	757	27	Discordant		8.4	
83	Z-102/83	217	254	0.8	13.6277	0.0010	1.3318	0.0165	0.1319	0.0010	0.61	799	6	860	7	1024	28	Discordant		7.7	
84	Z-102/84	895	1174	0.8	13.3245	0.0010	1.6162	0.0178	0.1565	0.0012	0.70	937	6	977	7	1070	26	Discordant		4.2	
85	Z-102/85	434	530	0.8	17.9630	0.0008	0.6297	0.0079	0.0822	0.0006	0.58	509	4	496	5	439	31	507	7	-2.6	**
86	Z-102/86	239	139	1.7	15.7654	0.0011	0.6754	0.0110	0.0774	0.0006	0.48	480	4	524	7	723	38	Discordant		9.1	**
87	Z-102/87	1608	1086	1.5	15.2184	0.0009	1.1038	0.0125	0.1220	0.0009	0.65	742	5	755	6	797	28	746	10	1.7	**
88	Z-102/88	222	379	0.6	14.1523	0.0010	1.5483	0.0184	0.1592	0.0012	0.63	952	7	950	7	948	28	951	13	-0.3	**
89	Z-102/89	961	2372	0.4	7.4322	0.0018	1.9927	0.0221	0.1076	0.0008	0.67	659	5	1113	8	2158	23	Discordant		68.9	
90	Z-102/90	295	795	0.4	17.7305	0.0008	0.6559	0.0080	0.0845	0.0006	0.58	523	4	512	5	467	31	521	7	-2.1	**
91	Z-102/91	64	151	0.4	16.1160	0.0012	0.6750	0.0116	0.0790	0.0006	0.44	490	4	524	7	676	39	Discordant		6.8	
92	Z-102/92	4842	2750	1.8	8.0276	0.0017	1.2515	0.0144	0.0730	0.0006	0.71	454	3	824	6	2023	23	Discordant		81.4	
93	Z-102/93	414	1330	0.3	12.1936	0.0011	0.9165	0.0108	0.0812	0.0006	0.63	503	4	661	6	1246	26	Discordant		31.2	
94	Z-102/94	79	138	0.6	14.2816	0.0011	1.4939	0.0210	0.1550	0.0012	0.55	929	7	928	9	929	32	929	13	-0.1	**
95	Z-102/95	79	151	0.5	11.0108	0.0013	3.0710	0.0390	0.2457	0.0019	0.61	1416	10	1426	10	1443	27	1421	18	0.7	**
96	Z-102/96	226	358	0.6	17.4520	0.0009	0.6606	0.0091	0.0838	0.0007	0.61	519	4	515	6	503	33	518	8	-0.7	**
97	Z-102/97	82	197	0.4	9.6749	0.0014	4.0692	0.0498	0.2860	0.0022	0.63	1622	11	1648	10	1685	25	1638	19	1.6	**
98	Z-102/98	738	1148	0.6	17.4856	0.0008	0.6437	0.0080	0.0818	0.0006	0.59	507	4	505	5	498	31	506	7	-0.4	**
99	Z-102/99	391	855	0.5	17.4917	0.0008	0.6543	0.0083	0.0832	0.0006	0.57	515	4	511	5	497	31	515	7	-0.8	**
100	Z-102/100	656	359	1.8	18.3824	0.0009	0.5838	0.0085	0.0780	0.0006	0.53	484	4	467	5	388	36	Discordant		-3.5	
101	Z-102/101	614	1735	0.4	16.0462	0.0009	0.6862	0.0085	0.0800	0.0006	0.60	496	4	531	5	685	30	Discordant		6.9	
102	Z-102/102	143	254	0.6	9.9830	0.0014	2.8515	0.0366	0.2068	0.0016	0.60	1212	9	1369	10	1627	26	Discordant	13	13.0	**
103	Z-102/103	73	126	0.6	14.0528	0.0012	1.5129	0.0225	0.1545	0.0012	0.52	926	7	936	9	962	33	928		1.0	
104	Z-102/104	1031	1300	0.8	11.6442	0.0012	1.5204	0.0190	0.1286	0.0010	0.62	780	6	939	8	1335	27	Discordant		20.3	
105	Z-102/105	158	296	0.5	11.1222	0.0014	1.5131	0.0207	0.1223	0.0010	0.60	744	6	936	8	1424	29	Discordant		25.8	
106	Z-102/106	190	449	0.4	6.9808	0.0020	7.8967	0.0991	0.4005	0.0031	0.62	2171	14	2219	11	2267	24	Discordant		2.2	
107	Z-102/107	543	1298	0.4	13.9587	0.0010	1.5224	0.0193	0.1544	0.0012	0.61	926	7	939	8	976	29	930	13	1.5	**
108	Z-102/108	77	114	0.7	15.8831	0.0012	0.6800	0.0126	0.0785	0.0007	0.48	487	4	527	8	707	41	Discordant		8.2	**
109	Z-102/109	220	508	0.4	17.3040	0.0009	0.5996	0.0085	0.0754	0.0006	0.56	469	4	477	5	522	34	469	7	1.8	**
110	Z-102/110	494	608	0.8	15.5135	0.0011	0.6692	0.0101	0.0754	0.0006	0.53	469	4	520	6	757	34	Discordant		11.0	
111	Z-102/111	213	891	0.2	14.7754	0.0010	1.1482	0.0153	0.1233	0.0010	0.61	749	6	776	7	859	30	Discordant		3.6	
112	Z-102/112	82	231	0.4	17.3280	0.0010	0.6527	0.0106	0.0822	0.0007	0.52	509	4	510	7	518	38	509	8	0.2	**
113	Z-102/113	317	846	0.4	16.3693	0.0009	0.6904	0.0096	0.0821	0.0007	0.61	509	4	533	6	643	32	Discordant		4.8	
114	Z-102/114	348	572	0.6	16.2628	0.0010	0.6873	0.0099	0.0812	0.0007	0.60	503	4	531	6	656	33	Discordant		5.5	
115	Z-102/115	162	671	0.2	16.3052	0.0010	0.6745	0.0096	0.0799	0.0006	0.53	496	4	523	6	651	33	Discordant		5.6	
116	Z-102/116	120	174	0.7	9.6302	0.0016	4.2812	0.0594	0.2996	0.0024	0.58	1689	12	1690	11	1694	28	1690	21	0.0	**
117	Z-102/117	179	446	0.4	15.0534	0.0011	0.8749	0.0127	0.0957	0.0008	0.58	589	5	638	7	820	33	Discordant		8.3	
118	Z-102/118	170	239	0.7	17.2206	0.0010	0.6296	0.0105	0.0788	0.0007	0.53	489	4	496	7	532	39	490	8	1.4	**
119	Z-102/119	65	503	0.1	14.4592	0.0011	1.3758	0.0199	0.1445	0.0012	0.57	870	7	879	9	903	32	872	13	1.0	**
120	Z-102/120	364	544	0.7	17.2891	0.0009	0.6704	0.0099	0.0842	0.0007	0.56	521	4	521	6	524	35	521	8	-0.1	**

(обр. Ю-74) и песчаника гуранской свиты в бассейне р. Белая (обр. Z-94), и они приходятся на средний и поздний ордовик, соответственно [15, 21].

По результатам U–Th–Pb изотопных исследований выявлено, что в изученном образце песчаника в бассейне р. Каменушка отсутствуют зерна циркона архейского возраста. Палео- и мезопротерозойская группы цирконов встречаются в небольшом количестве и не образуют статистически значимых групп. Преобладающая часть зерен имеет неопротерозойский и раннепалеозойский возраст.

Проводя корреляцию девонских отложений в пределах Зея-Селемджинского фрагмента Нора-Сухотинского террейна стоит отметить значительное сходство кривых вероятности возрастов обломочных цирконов для песчаников алевролито-песчаниковой толщи бассейна р. Каменушка и алевролитов алевролито-песчаниковой толщи бассейна р. Зея (рис. 6, а, б). Для них характерны близкие возрастные интервалы раннепалеозойских и неопротерозойских зерен циркона. В то же время для песчаников и алевролитов алевролито-песчаниковой толщи отмечаются незначительные отличия по геохимическому составу (рис. 4), что, по-видимому, связано с появлением среди продуктов размытия при накоплении песчаников алевролито-песчаниковой толщи магматических и осадочных пород, тогда как алевролиты алевролито-песчаниковой толщи сформировались за счет продуктов разрушения только магматических горных пород.

Сравнивая осадочные породы р. Каменушка Зея-Селемджинского фрагмента с песчаниками бассейна р. Белой Приамурского фрагмента, включаемых в состав среднедевонской гуранской свиты [11], отметим в последних омоложение пород в области сноса – это появление зерен циркона второго этапа позднего ордовика и практически полное отсутствие мезо- и палеопротерозойских зерен обломочного циркона (рис. 6). Различия также отражаются и в геохимическом составе пород (рис. 4, 5). Следовательно, несмотря на близкие значения нижней возрастной границы накопления осадочных пород гуранской свиты Приамурского фрагмента и алевролито-песчаниковой толщи Зея-Селемджинского фрагмента Нора-Сухотинского террейна, в их формировании принимали участие различные по геохимическому составу и возрасту породы.

Вышеприведенные данные в совокупности с положением Нора-Сухотинского террейна между Мамынским террейном Аргунского супертеррейна и Буреинским террейном Бурей-Цзямусинского супертеррейна позволяют предполагать, что основной объем кластического материала для песчаников алевролито-песчаниковой толщи Зея-Селемджинского фрагмента поступал со стороны Мамынского террейна. Потенциальными источниками зерен циркона неопротерозойского и раннепалеозойского возраста, вероятно, являлись магматические породы раннепалеозойского и неопротерозойского возраста, широко распространенные в строении Мамынского террейна [17–20, 42]. Дополнительными источниками раннепалеозойских зерен циркона могли быть раннепалеозойские островодужные образования Нора-Сухотинского террейна [13, 14]. Вопрос об источниках более древних (мезо- и палеопротерозойских) зерен циркона открыт, так как в структуре Мамынского террейна образования данного возраста не установлены.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие выводы:

Песчаники алевролито-песчаниковой толщи бассейна р. Каменушка Зея-Селемджинского фрагмента по своему геохимическому составу соответствуют грауваккам. Особенности распределения макро- и микроэлементов указывают на присутствие в области сноса преимущественно непереотложенной (first cycle) кластики кислых и средних магматических пород при возможном участии литогенного материала.

Геохимический состав изученных терригенных отложений, присутствие обломков гранитов в них, плохая степень сортировки и окатанности обломочного материала, значительное количество зерен циркона с возрастом, близким возрасту толщи, в совокупности с существующими моделями формирования Южно-Монгольско-Хинганского орогенного пояса свидетельствуют об их формировании в период тектонической и магматической активности в регионе.

Согласно результатам U–Th–Pb (LA–ICP–MS) датирования выявлено, что наиболее молодые зерна циркона из песчаника бассейна р. Каменушка харак-

Примечание к таблице 3. Rho – коэффициент корреляции между ошибками отношений $^{207}Pb/^{235}U$ – $^{206}Pb/^{238}U$: $Rho = (\sigma(^{206}Pb/^{238}U) / (^{206}Pb/^{238}U)) / (\sigma(^{207}Pb/^{235}U) / (^{207}Pb/^{235}U))$, где σ – относительная ошибка того или иного отношения [34, 40]; CA – конкордантный возраст, рассчитанный в программе Isoplot (vers. 3.6) [29, 38, 41], D – дискордантность, вычислялась как $D = (Возраст(^{206}Pb/^{238}U) / Возраст(^{206}Pb/^{207}Pb) * 100) - 100$ %. ** – для построения кривой относительной вероятности цирконов и вычисления её пиков использовались только те значения возрастов, которые характеризуются конкордантным возрастом (CA), при этом в них значения показателя дискордантности составляли не более 10 %, а ошибка значений отношения возрастов $^{206}Pb/^{238}U$ и $^{207}Pb/^{235}U$ не более 3 %.

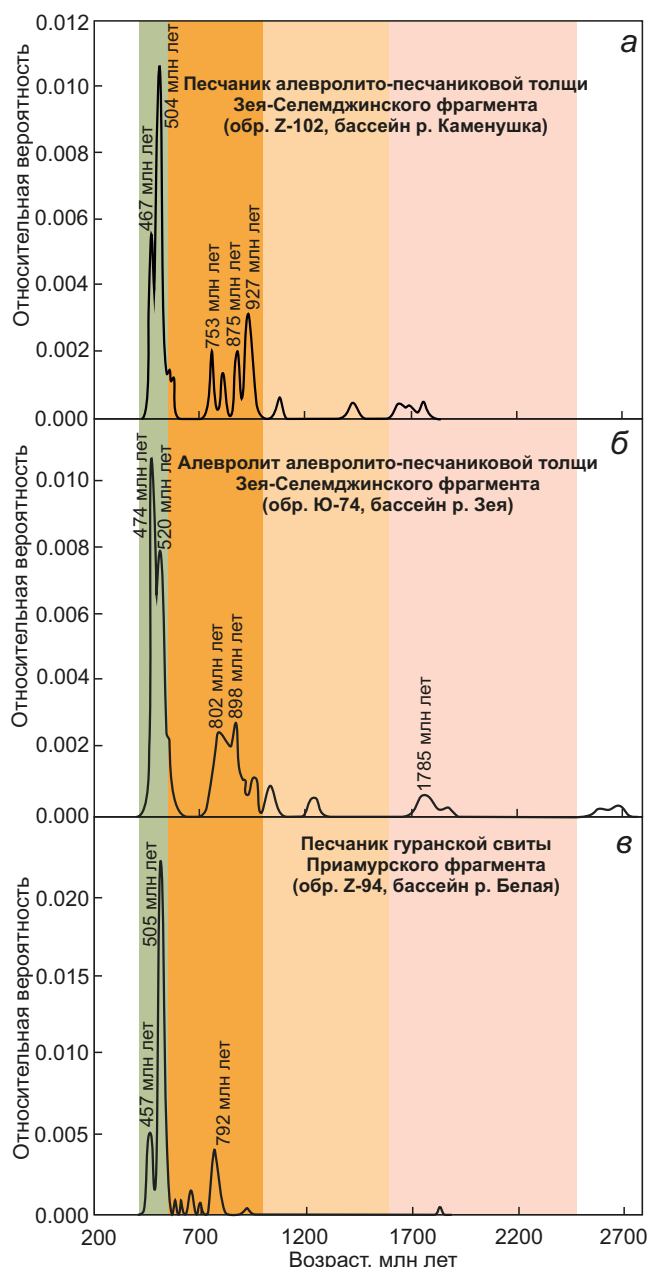


Рис. 6. Кривые относительной вероятности возрастов зерен циркона из девонских терригенных отложений Нора-Сухотинского террейна: (а) песчаника алевролитопесчаниковой толщи бассейна р. Каменушка Зей-Селемджинского фрагмента (обр. Z-102), (б) алевролита алевролитопесчаниковой толщи бассейна р. Зей Зей-Селемджинского фрагмента (обр. Ю-74), по данным [21], (в) песчаника гуранской свиты бассейна р. Белая Приамурского фрагмента (обр. Z-94), по данным [15].

теризуются возрастом 459 ± 9 млн лет, следовательно нижняя возрастная граница их накопления приходится на средний-поздний ордовик.

В изученном песчанике алевролитопесчаниковой толщи доминируют зерна раннепалеозойского и

неопротерозойского возраста. Их потенциальными поставщиками, исходя из геодинамических моделей формирования Южно-Монгольско-Хинганского орогенного пояса, были раннепалеозойские и неопротерозойские магматические породы Мамынского террейна при участии раннепалеозойских образований Нора-Сухотинского террейна.

Для терригенных отложений алевролитопесчаниковой толщи бассейна р. Каменушка и р. Зей Зей-Селемджинского фрагмента отмечается значительное сходство кривых относительной вероятности возрастов зерен циркона. В то же время по геохимическому составу они отличаются, что, по-видимому, связано с присутствием в области сноса при накоплении песчаников алевролитопесчаниковой толщи не только магматических горных пород, но и литогенного (second cycle) материала.

Таким образом, выполненные геохимические и U-Th-Pb изотопные исследования песчаников алевролитопесчаниковой толщи бассейна р. Каменушка Зей-Селемджинского фрагмента Нора-Сухотинского террейна позволили уточнить нижнюю возрастную границу их накопления, реконструировать состав и возраст пород питающих провинций, а также определить вероятную обстановку их накопления.

Благодарности. Авторы благодарят сотрудников ЦКП «Амурского центра минералого-геохимических исследований» ИГиП ДВО РАН (Е.Н. Воропаеву, О.Г. Медведеву, В.И. Рождествину, А.С. Сегреневу, Е.В. Ушакову), а также персонал ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) за проведение аналитических исследований.

Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 21-77-10001, <https://rscf.ru/project/21-77-10001/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова Г.Н., Ерофеева К.Г., Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шешуков В.С., Дубенский А.С., Ляпунов С.М., Яковлева А.И., Паньков В.Н. Первые результаты U-Pb датирования зерен детритового циркона из олигоцена юго-востока Воронежской антеклизы и их значение для палеогеографии // Докл. АН. Науки о Земле. 2020. Т. 494, № 1. С. 14–19.
2. Васькин А.Ф. Государственная геологическая карта СССР. Амуро-Зейская серия. 1:200 000. Лист М-52-III (Свободный). Л.: ВСЕГЕИ, 1986.
3. Зубков В.Ф. Государственная геологическая карта СССР. Амуро-Зейская серия. 1:200 000. Лист N-52-XXXIV (Норск). М.: Аэрогеология, 1978.
4. Коссовская А.Г., Тучкова М.И. К проблеме минералогопетрохимической классификации и генезиса песчаных пород // Литология и полезн. ископаемые. 1988. № 2. С. 8–24.
5. Кузнецов Н.Б., Балуев А.С., Терехов Е.Н., Колодяжный С.Ю., Пржиялговский Е.С., Романюк Т.В., Дубенский А.С., Шешуков В.С., Яковлева А.И., Паньков В.Н. Первые результаты U-Pb датирования зерен детритового циркона из олигоцена юго-востока Воронежской антеклизы и их значение для палеогеографии // Докл. АН. Науки о Земле. 2020. Т. 494, № 1. С. 14–19.

- ский А.С., Шешуков В.С., Ляпунов С.М., Баянова Т.Б., Серов П.А. О времени формирования Кандалакшского и Керещкого грабенов палеорифтовой системы Белого моря в свете новых данных изотопной геохронологии // Геодинамика и тектонофизика. 2021. Т. 12, № 3. С. 570–607.
6. Кузнецов Н.Б., Колодяжный С.Ю., Романюк Т.В., Страшко А.В., Балув А.С., Терехов Е.Н., Межеловская С.В., Дубенский А.С., Шешуков В.С. О времени и условиях формирования шокшинских кварцито-песчаников Южно-Онежской впадины в свете новых данных изотопной геохронологии // Геодинамика и тектонофизика. 2023. Т. 14, № 1. 0685.
7. Логвиненко Н.В., Сергеева Э.И. Методы определения осадочных пород. Л.: Недра, 1986. 240 с.
8. Маслов А.В., Мизенс Г.А., Вовна Г.М., Киселев В.И., Ронкин Ю.Л. Обломочные цирконы из песчаников нижнего триаса Бельской впадины Предуралья: LA-ICP-MS U-Pb изотопные возрасты и распределение редких и рассеянных элементов // Литосфера. 2016. № 1. С. 7–28.
9. Мотова З.Л., Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Хубанов В.Б. U-Pb (LA-ICP-MS) Возраст детритовых цирконов и источники вещества терригенных отложений ипситской свиты карагасской серии (Саянский сегмент Саяно-Байкало-Патомского пояса) // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9, № 4. С. 1313–1329.
10. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бодарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У.Дж., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртоого О., Янь Х. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 7–41.
11. Петрук Н.Н., Волкова Ю.Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Дальневосточная серия. Масштаб 1:1 000 000. Лист М-52 (Благовещенск). Третье поколение. СПб.: ВСЕГЕИ, 2012.
12. Сережников А.Н., Волкова Ю.Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Дальневосточная серия. Масштаб 1:1 000 000. Лист N-52 (Зея) Третье поколение. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007.
13. Смирнов Ю.В., Сорокин А.А., Кудряшов Н.М. Раннепалеозойские габбро-амфиболиты в строении Бурейнского террейна восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса: первые геохронологические данные и тектоническая позиция // Докл. АН. 2012. Т. 445, № 1. С. 55–60.
14. Смирнов Ю.В., Сорокин А.А. Геохимические и изотопно-геохимические Sm-Nd-особенности метавулканитов, диабазов и метагабброидов северо-восточного фланга Южно-Монгольско-Хинганского орогенного пояса // Докл. АН. 2017. Т. 474, № 2. С. 220–225.
15. Смирнов Ю.В. Питающие провинции для нижнепалеозойских песчаников Нора-Сухотинского террейна: результаты U-Th-Pb и Lu-Hf изотопных исследований детритовых цирконов // Геодинамика и тектонофизика. 2022. Т. 13, № 5. 0671. С. 1–16.
16. Смирнова Ю.Н., Куриленко А.В., Хубанов В.Б. Состав и возраст пород областей сноса для ниже-среднекембрийских (?) терригенных отложений ерниченской толщи Аргунского массива, восточная часть Центрально-Азиатского складчатого пояса // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2023. Т. 31, № 5. С. 98–115.
17. Сорокин А.А., Кудряшов Н.М., Сорокин А.П. Фрагменты палеозойских активных окраин южного обрамления Монголо-Охотского пояса (на примере северо-восточной части Аргунского террейна, Приамурье) // Докл. АН. 2002. Т. 387, № 3. С. 382–386.
18. Сорокин А.А., Кудряшов Н.М. Первые U-Pb-геохронологические и геохимические данные для поздневендских и раннепалеозойских кислых вулканитов Мамынского террейна (Центрально-Азиатский складчатый пояс) // Докл. АН. 2015. Т. 465, № 4. С. 473–478.
19. Сорокин А.А., Котов А.Б., Кудряшов Н.М., Ковач В.П. Первые свидетельства проявления эдиакарского магматизма в истории геологического развития Мамынского террейна Центрально-Азиатского складчатого пояса // Тихоокеан. геология. 2015. Т. 34, № 6. С. 3–15.
20. Сорокин А.А., Кудряшов Н.М. Кембрий-ордовикская диорит-гранодиорит-гранитная ассоциация Мамынского террейна (Центрально-Азиатский складчатый пояс): U-Pb-геохронологические и геохимические данные // Докл. АН. 2017. Т. 472, № 3. С. 326–332.
21. Сорокин А.А., Смирнов Ю.В., Смирнова Ю.Н. Геохимические особенности и источники кластического материала палеозойских терригенных отложений северо-восточного фланга Южно-Монгольско-Хинганского орогенного пояса // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2017. Т. 25, № 2. С. 27–48.
22. Ханчук А.И. Геодинамика, магматизм и металлогения востока России: в 2 кн. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
23. Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Цыганков А.А. U-Pb изотопное датирование цирконов из PZ₃-MZ магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставления с SHRIMP данными // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 1. С. 241–258.
24. Bavin O.A. The nature of sulfidic metasediments at Kambalda and their broad relationships with associated ultramafic rocks and nickel ores // Econ. Geol. 1981. V. 76, I. 6. P. 1606–1628.
25. Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // J. Geol. 1983. V. 91, № 6. P. 611–627.
26. Bhatia M.R., Crook K.A.W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins // Contrib. Miner. Petrol. 1986. V. 92. P. 181–193.
27. Blatt H., Middleton G., Murray R. Origin of sedimentary rocks. Englewood Cliffs: New Jersey, Prentice-Hall, 1972. 634 p.
28. Condie K.C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales // Chem. Geol. 1993. V. 104, I. 1–4. P. 1–37.
29. Dickinson W.R., Gehrels G.E. Use of U-Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: A test against a Colorado Plateau Mesozoic database // Earth Planet. Sci. Lett. 2009. V. 288, I. 1–2. P. 115–125.
30. Feng Z.Q., Jia J., Liu Y.J., Wen Q.B., Li W.M., Liu B.Q., Xing D.Q., Zhang L. Geochronology and geochemistry of the Carboniferous magmatism in the northern Great Xing'an Range, NE China: Constraints on the timing of amalgamation of Xing'an and Songnen blocks // J. Asian Earth Sci. 2015. V. 113. P. 411–426.
31. Floyd P.A., Leveridge B.E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode

- and geochemical evidence from turbiditic sandstones // *J. Geol. Soc. London*. 1987. V. 144, I. 4. P. 531–542.
32. Fu W., Hou H., Gao R., Zhou J., Zhang X., Pan Z., Huang S., Guo R. Lithospheric structures of the northern Hegenshan-Heihe suture: Implications for the Paleozoic metallogenic setting at the eastern segment of the central Asian orogenic belt // *Ore Geol. Rev.* 2021. V. 137, 104305.
 33. Gehrels G.E. AgePick, Available online: <https://sites.google.com/a/laserchron.org/laserchron/home/.2007>.
 34. Gerdes A., Zeh A. Combined U–Pb and Hf isotope LA-(MC-)ICP-MS analyses of detrital zircons: comparison with SHRIMP and new constraints for the provenance and age of an Armorican metasediment in Central Germany // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2006. V. 249, I. 1–2. P. 47–61.
 35. Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // *J. Sediment. Petrol.* 1988. V. 58, I. 5. P. 820–829.
 36. Ji Z., Ge W.C., Yang H., Tian D.X., Chen H.J., Zhang Y.L. Late Carboniferous–Early Permian high- and low-Sr/Y granitoids of the Xing'an Block, northeastern China: Implications for the late Paleozoic tectonic evolution of the eastern Central Asian Orogenic Belt // *Lithos*. 2018. V. 322. P. 179–196.
 37. Liu B., Chen J.F., Han B.F., Liu J.L., Li J.W. Geochronological and geochemical evidence for a Late Ordovician to Silurian arc–back–arc system in the northern Great Xing'an Range, NE China // *Geosci. Front.* 2021. V. 12. P. 131–145.
 38. Ludwig K.R. Isoplot 3.6. A geochronological toolkit for Microsoft Excel // *Berkeley Geochronology Center Spec. Publ.* 2008. N 4. P. 1–77.
 39. McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics // *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* 1993. V. 284. P. 21–40.
 40. Powerman V.I., Buyantuev M.D., Ivanov A.V. A review of detrital zircon data treatment, and launch of a new tool 'Dezirteer' along with the suggested universal workflow // *Chem. Geol.* 2021. V. 583, 120437.
 41. Spencer C.J., Kirkland C.L., Taylor R.J.M. Strategies towards statistically robust interpretations of in situ U–Pb zircon geochronology // *Geosci. Frontiers*. 2016. V. 7. P. 581–589.
 42. Sorokin A.A., Kudryashov N.M., Kotov A.B., Kovach V.P. Age and tectonic setting of the Early Paleozoic magmatism of the Mamyn Terrane, Central Asian Orogenic Belt, Russia // *J. Asian Earth Sci.* 2017. V. 144. P. 22–39.
 43. Xu B., Zhao P., Wang Y.Y., Liao W., Luo Z.W., Bao Q.Z., Zhou Y.H. The pre-Devonian tectonic framework of Xing'an–Mongolia orogenic belt (XMOB) in north China // *J. Asian Earth Sci.* 2015. V. 97. P. 183–196.
 44. Zhang J.M., Xu B., Yan L.J., Wang Y.Y. Evolution of the Heihe–Nenjiang Ocean in the eastern Paleo-Asian Ocean: Constraints of sedimentological, geochronological and geochemical investigations from Early-Middle Paleozoic Heihe–Dashizhai Orogenic Belt in the northeast China // *Gondwana Res.* 2020. V. 81. P. 339–361.

Рекомендована к печати А.А. Сорокиным

после доработки 08.10.2024 г.

принята к печати 20.11.2024 г.

SOURCES OF TERRIGENOUS ROCKS OF THE LOWER-MIDDLE DEVONIAN(?) SILTSTONE-SANDSTONE SEQUENCE OF THE ZEYA-SELEMDZHA FRAGMENT OF THE NORA-SUKHOTINO TERRANE: GEOCHEMISTRY AND U–Th–Pb (LA–ICP–MS) ZIRCON DATING

Yu. V. Smirnov^a, V. B. Khubanov^b, Yu. N. Smirnova^a

^a*Institute of Geology and Nature Management, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,
Blagoveshchensk, Russia; e-mail: smirnova@ascnet.ru*

^b*Dobretsov Geological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Science, Ulan-Ude, Russia;
e-mail: khubanov@mail.ru*

The publication presents the first results of geochemical and U–Th–Pb (LA–ICP–MS) isotope studies on terrigenous deposits of the allegedly Lower-Middle Devonian siltstone-sandstone sequence of the Kamenushka River basin of the Zeya-Selemdzha fragment of the Nora-Sukhotino terrane. It has been found that the sandstones we studied correspond in their geochemical characteristics to sediments formed in a setting of an active continental margin or an island arc, with acidic and intermediate igneous rocks and minor recycled (second cycle) material being predominant in the source area. According to the concordant age of the three youngest zircon grains, the lower age limit for the accumulation of sandstones of the siltstone-sandstone sequence is 459 ± 9 Ma. Large variations in the U–Th–Pb age of detrital zircon grains from a sandstone sample indicate the heterochronous material in the source area. The obtained data along with the existing paleogeodynamic models for the formation of the South Mongolia-Khingian orogenic belt suggest that the main sources of clastic material were Paleozoic and Neoproterozoic igneous rocks of the Mamyn terrane, as well as Early Paleozoic island-arc rocks of the Nora-Sukhotino terrane.

Key words: Early Paleozoic, sandstones, geochemistry, U–Th–Pb (LA–ICP–MS) dating, South Mongolia–Khingian orogenic belt.