

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ПОЗДНЕМЕЛОВЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА ЖУРАВЛЕВСКО-АМУРСКОГО ТЕРРЕЙНА В НИЖНЕМ ПРИАМУРЬЕ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ U/Pb ДАТИРОВАНИЯ ЦИРКОНА)

И.А. Александров, А.И. Малиновский, В.В. Ивин, С.Ю. Будницкий

ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр-т 100-лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 690022; e-mail: alexandrov@fegi.ru

Поступила в редакцию 13 декабря 2023 г.

Проведено исследование возраста и вещественного состава малоизученных меловых терригенных отложений Нижнего Приамурья, входящих в состав Журавлевско-Амурского террейна и относимых к берриас-валанжинской комсомольской серии. В результате исследований получены надежные U/Pb датировки детритовых цирконов около 99 и 90 млн лет для пород, относимых к горинской и пионерской свитам, соответственно. Таким образом, впервые для осадочного комплекса в пределах Сихотэ-Алинского орогенного пояса по данным U/Pb датирования детритовых цирконов получен позднемеловой возраст осадконакопления. По вещественному составу и спектрам распределения возрастов детритовых цирконов изученные породы сходны с отложениями верхней готерив-альбской части разреза Журавлевско-Амурского террейна, а не нижней – берриас-валанжинской. В породах разреза пионерской свиты самая молодая популяция циркона возрастом около 90 млн лет составляет более 40 % всех датированных зерен. Основным источником кластического материала этого возраста, вероятно, были распространенные поблизости андезиты, вмещающие месторождение Многовершинное, а также гранитоиды нижеамурского комплекса. Источником кластики для отложений горинской свиты возрастом около 99 млн лет вероятно были кислые породы альб-сеноманской магматической провинции Тихоокеанской Азии. Вопрос несоответствия полученного нами позднемелового возраста и палеонтологически установленного берриас-валанжинского стратиграфического возраста свит требует дополнительных исследований. Новые данные о позднемеловом возрасте осадков Журавлевско-Амурского синдвигового окраинно-континентального бассейна требуют уточнения истории геологического развития рассматриваемого террейна и в целом Сихотэ-Алинского орогенного пояса.

Ключевые слова: терригенные отложения, U-Pb датирование циркона, поздний мел, Нижнее Приамурье, Журавлевско-Амурский террейн, Сихотэ-Алинский орогенный пояс.

ВВЕДЕНИЕ

Журавлевско-Амурский террейн входит в структуру Сихотэ-Алинского орогенного пояса (САОП) и представлен отложениями синдвигового окраинно-континентального бассейна [4, 23]. Террейн имеет протяженность около 800 км от южного Приморья до Сахалинского залива при ширине до 80 км (рис. 1, а). В Приморском и на юге Хабаровского края четко разделяются нижняя берриас-валанжинская и верхняя готерив-альбская части разреза Журавлевско-Амурского террейна [4]. К берриасу-валанжину здесь относятся журавлевская и ключевская свиты, в составе которых преобладают тонкозернистые осадки, а готерив-альбские отложения, напротив, более песчаные [4].

На севере террейна берриас-валанжинские терригенные толщи выделены в качестве комсомольской серии. По данным государственного геологического картирования [5] в Нижнем Приамурье из состава комсомольской серии распространены горинская и пионерская свиты берриасского и берриас-валанжинского возраста, соответственно. При этом горинская свита имеет песчаниковый состав, а пионерская сложена главным образом алевролитами и аргиллитами (до 90 %) [9]. Верхняя готерив-альбская часть разреза в пределах Нижнего Приамурья практически отсутствует. На пионерской свите с размывом залегает херпучинская толща условно готерив-барремского возраста (западнее района на рис. 1, б).

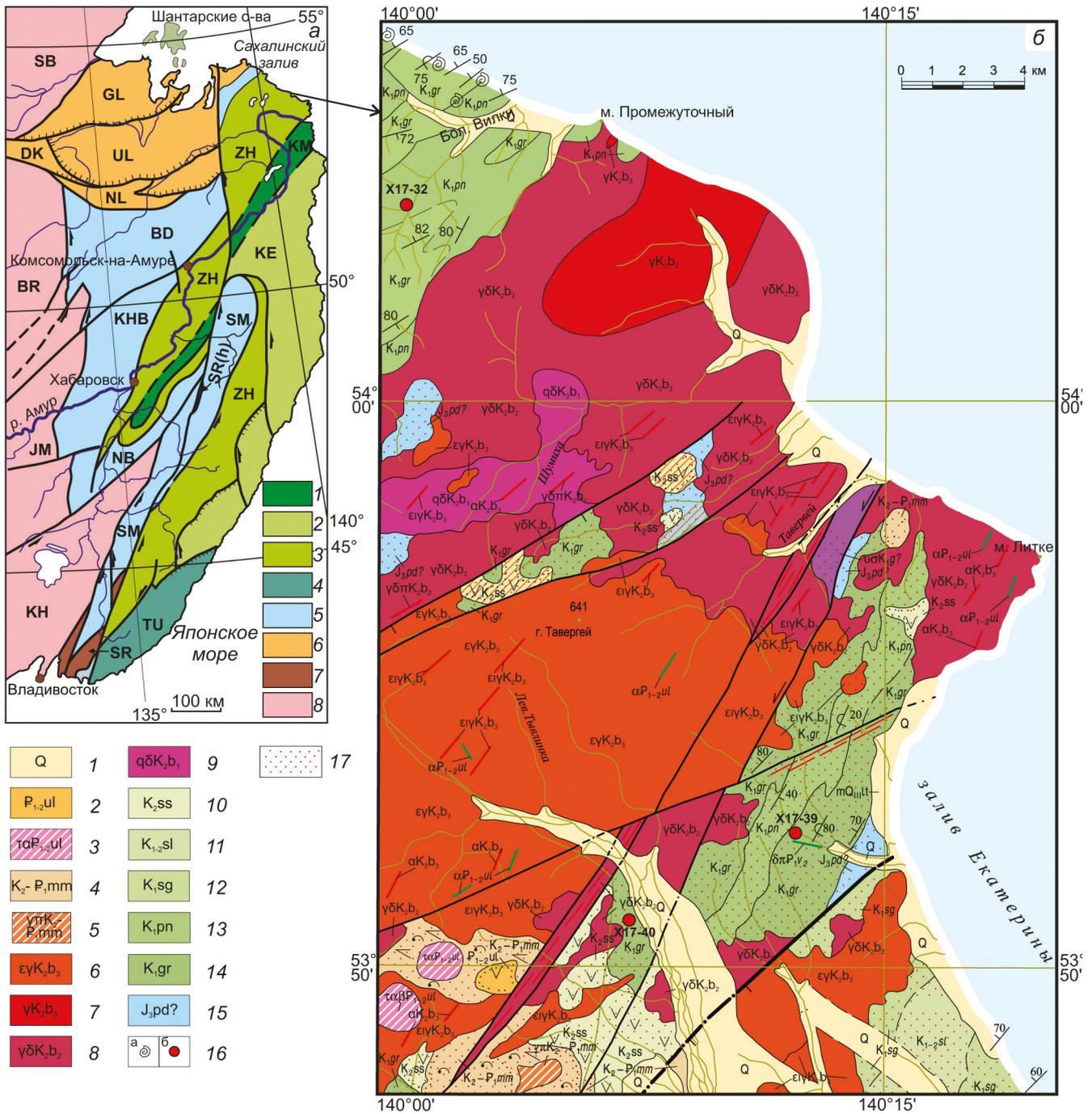


Рис. 1. Геологическая позиция района исследований.

а – Тектоническая схема террейнов Сихотэ-Алиня и прилегающих территорий [23].

1 – Киселевско-Маноминский террейн (KM) готеривско-раннеальбской аккреционной призмы; 2 – Кемский террейн (KE) готеривско-раннеальбской островной дуги; 3 – Журавлевско-Амурский террейн (ZH) раннемелового турбидитового бассейна; 4 – Таухинский террейн (TU) неокомской аккреционной призмы; 5 – юрские аккреционные террейны (Sm – Самаркинский, NB – Наданьхада-Бикинский, BD – Баджалский, КНВ – Хабаровский); 6 – террейны Монголо-Охотского орогенного пояса (DK – Джагды-Кербинский, NL – Ниланский, UL – Ульбанский, GL – Галамский); 7 – террейны палеозойской континентальной окраины, залегающие на юрской аккреционной призме (SR – Сергеевский, SR(h) – Хорский); 8 – раннепалеозойский супертеррейн Буря (BU) – Джамуси (JM) – Ханка (KH) и Сибирский кратон (SB).

б – Геологическая карта района исследований (компиляция по [5, 6, 8] и собственным данным).

1 – четвертичные отложения; 2–3 – улский базальт-андезитовый комплекс (P₁₋₂): 2 – улская вулканогенная толща; 3 – субвулканические образования; 4–5 – маломихайловский дацит-риолитовый комплекс (K₂-P₁): 4 – маломихайловская свита; 5 – субвулканиче-

В последние годы, с развитием метода локального U/Pb датирования детритовых цирконов, были получены новые данные о более молодом возрасте пород, включенных в состав комсомольской серии. В песчаниках горинской свиты были обнаружены цирконы возрастом 111 млн лет, а пионерской – 119 млн лет [7, 9]. Поскольку пионерская свита залегает выше, ее реальный возраст должен быть меньше 111 млн лет, т.е. не старше альба. Для уточнения возраста малоизученных отложений, включенных в Нижнем Приамурье в состав комсомольской серии, нами были датированы детритовые цирконы из песчаников горинской и пионерской свит.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Большую часть площади района исследований занимает Бекчиулский интрузивный массив, сложенный гранитоидами трех фаз одноименного комплекса (рис. 1, б). По результатам U/Pb датирования одного образца лейкогранита (55.1 млн лет) бекчиулский комплекс был отнесен к палеоцену [6], однако последующие многочисленные U/Pb датировки гранитоидов дали возрасты в диапазоне 85–66 млн лет [1, 2, 14], вследствие чего на карте (рис. 1, б) мы показали комплекс позднемиоценовым.

Описываемые стратифицированные терригенные отложения по данным геологической съемки относятся к Приамурской подзоне Горинской структурно-фациальной зоны [5]. По линии Предгорнинского разлома она граничит со структурами Чаятынской подзоны, небольшой фрагмент которой показан в юго-восточном углу карты (рис. 1, б).

Наиболее древним стратонем на исследованной территории является падалинская свита. К этой свите по предположению [5] относятся алевролиты и аргиллиты с прослоями кремнисто-глинистых пород, туфов и лав базальтов (рис. 1, б). Свита датируется поздней юрой, поскольку на данных отложениях согласно залегают породы берриасской горинской свиты [5]. Мощность свиты более 700 м.

Горинская свита на рассматриваемой территории представлена преимущественно песчаниками и алевролитами. Часто отмечается их тонкое переслаивание с образованием ритмов мощностью 10–15 см. В целом по простиранию общие особенности разреза свиты выдержаны, но меняется количественное соотношение песчаников и алевролитов так, что на одних

участках алевролиты могут преобладать над песчаниками, а на других – наоборот [5]. Возраст свиты считается берриасским. В данном районе она датирована по остаткам бухий в береговых обнажениях Сахалинского залива севернее устья р. Бол. Вилки (рис. 1, б) [8]. Мощность свиты более 900 м.

Пионерская свита согласно залегает на горинской, а также близка последней по составу. Отличается только большим объемом тонкозернистых терригенных пород, хотя эта разница не так значительна [5]. Для свиты также характерно ритмичное переслаивание песчаников с алевролитами и аргиллитами. Она датирована берриассом-валанжином по бухиям в том же прибрежном обнажении, что и нижележащая (рис. 1, б) [8]. Мощность – более 950 м.

В состав комсомольской серии также входит пиванская свита валанжинского возраста, согласно залегающая на пионерской. Кроме того, как было сказано во введении, к западу от рассматриваемого района (рис. 1, б) на отложениях пионерской свиты с размытом залегает херпучинская толща, выделенная в ходе геологической съемки [6]. Толща условно датирована готеривом-барремом, а ранее эти отложения относили к апт-альбской уктурской свите. Херпучинская толща и пиванская свита представлены терригенными породами разной зернистости – песчаниками, алевролитами, конгломератами, гравелитами. В отличие от пиванской свиты в составе херпучинской толщи алевролиты преобладают над песчаниками, а также присутствуют туфы и туфо-терригенные разновидности пород.

Для уточнения возраста пород комсомольской серии при помощи U/Pb датирования детритовых цирконов было отобрано три образца песчаника. Образцы X17-39 и X17-40, согласно данным геологической съемки [5], относятся к отложениям горинской свиты. Первый был отобран из делювия, а второй – из коренного обнажения. Образец X17-32 отобран из коренного обнажения пород пионерской свиты.

МЕТОДЫ

Все аналитические работы были выполнены в Центре коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН.

Изучение петрографического состава пород, контроль отсутствия вторичных преобразований в породах, которые могут в дальнейшем сказаться на полученных аналитических данных, а также определение и подсчет содержания основных пороодообра-

ские образования; 6–9 – бекчиулский диорит-гранитовый комплекс (K₂); 6 – третья фаза (субщелочные граниты); 7 – третья фаза (граниты); 8 – вторая фаза (гранодиориты); 9 – первая фаза (кварцевые диориты); 10 – сусанинская толща (K₂); 11 – силасинская свита (K₁₋₃); 12 – ситогинская свита (K₁); 13 – пионерская свита (K₁); 14 – горинская свита (K₁); 15 – падалинская (?) свита (J₃); 16 – точки отбора: а) места отбора датированных остатков бухий [8]; б) места отбора образцов датированных U/Pb-методом по циркону; 17 – контактовые роговики.

зующих компонентов осуществлялось при помощи поляризационных микроскопах МИН-8 и AxioPlan 2 imaging.

Для изучения геохимических особенностей терригенных пород был выполнен валовый элементный анализ образцов. Для этого навески исследуемых образцов были подвергнуты предварительному обжигу в муфельной печи при $t = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ с доступом воздуха. Для разложения образцов использовалась процедура сплавления с метаборатом лития с последующим растворением плавня с помощью смеси азотной и плавиковой кислот. Определение содержания петрогенных элементов (кроме SiO_2) проводилось на атомно-эмиссионном с индуктивно связанной плазмой спектрометре (iCAP 7600 Duo), а содержания микроэлементов – методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS Agilent 7500c). Для разложения образцов использовалась процедура сплавления с метаборатом лития. Концентрации H_2O , PPH и SiO_2 определялись методом гравиметрии.

Выделение цирконов для датирования осуществлялось путем дробления образцов и просеивания полученного материала с последующей магнитной и гравитационной (в бромформе) сепарацией. Затем зерна вручную отбирались под бинокляром. Локальный анализ изотопного состава U-Pb-Th циркона в описанных образцах выполнен на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Agilent 7500a с системой лазерной абляции UP-213 (New Wave Research) по стандартной методике [22]. Диаметр абляционного кратера составлял 40 мкм. Исследуемый материал из ячейки образца извлекался с помощью гелия, а в горелку ИСП-МС транспортировался потоком смеси газов гелия и аргона. U-Pb отношения нормализовались на соответствующие значения изотопных отношений стандартного циркона TEMORA и 91500. Измеренные величины обрабатывались с помощью программы «Glitter v. 4.4.4» (Access Macquarie Ltd), а непосредственно расчет возраста – IsoplotR [29]. Для обработки данных по возрастам детритовых цирконов использовалась программа detritalPu версии 1.3.18 [28]. Определение статистически значимых пиков и интервалов проводилось при помощи приложения BAD-ZUPA [21].

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ПОРОД

Изучались преимущественно песчаные породы, поскольку они наиболее информативны в плане выяснения палеогеодинамических обстановок формирования отложений, определения их источников питания, а также содержат наибольшее количество детритовых

цирконов, позволяющих установить возраст и возможное расположение магматических комплексов, за счет разрушения которых формировались отложения. Как дополнительные, привлечены данные по геохимии глинисто-алевритовых пород.

Изученные песчаные породы мелко- и среднезернистые. Сортировка материала средняя либо хорошая. Песчаные зерна обычно угловатые и угловато-окатанные, реже полуокатанные и окатанные, изометричные и удлиненные. Наиболее хорошо окатаны зерна кремнистых и осадочных пород, а наименее – эффузивных.

По соотношению породообразующих компонентов все изученные песчаники однотипны и относятся к полимиктовым. Обломочная часть занимает 70–90 % объема пород и состоит из кварца, полевых шпатов, биотита, обломков терригенных, кремнистых, кислых интрузивных и эффузивных пород, кварцитов, а также рудных минералов. Содержание кварца в изученных песчаниках колеблется от 30 до 35 %. Кварц в основном монокристаллический, изометричный либо слабо удлиненный, часто с волнистым погасанием. Поликристаллический кварц редок. Среди полевых шпатов, содержание которых колеблется в пределах 24–43 %, преобладают (до 90 % всех полевых шпатов) удлиненные, таблитчатые, реже изометричные зерна кислых плагиоклазов – альбита и олигоклаза. Содержание калиевых полевых шпатов, представленных изометричными зернами пелитизированного ортоклаза и, реже, решетчатого микроклина, в основном составляет 3–8 % и лишь иногда достигает 10–13 %. Основные и средние плагиоклазы редки. Обломки пород, составляющие в сумме от 25 до 35 % всех зерен, представлены в основном эффузивными (до 40 % всех обломков), терригенными и кремнистыми (до 25 %) породами. Обломки кварцитов и кварц-серицитовых сланцев редки. На классификационной диаграмме В.Д. Шутова [17] (рис. 2) песчаники образуют единое поле, попадая в область кварцево-полевошпатовых и, лишь частично, полевошпатово-кварцевых граувакк.

Следует отметить, что песчаные породы из изученных отложений по петрографическому составу близки песчаникам из альбских отложений дивнинской, светловоднинской и лужкинской свит южной части Журавлевско-Амурского террейна [11] (рис. 2). Различия между ними выражаются в несколько большем содержании в этих свитах кварца и полевых шпатов, что может объясняться большим влиянием местных кислых интрузивных источников питания.

По химическому составу изученные песчаники Нижнего Приамурья довольно однородны, характеризуясь незначительными колебаниями содержаний

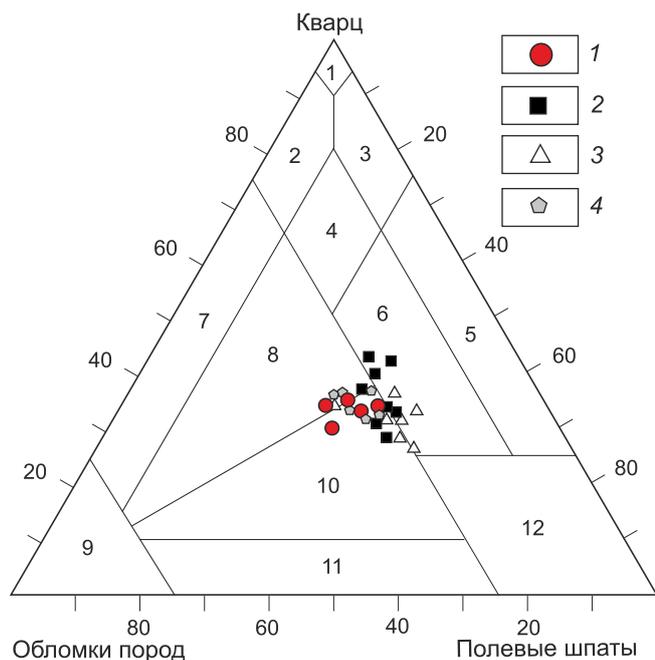


Рис. 2. Классификационная диаграмма типов песчаных пород по породообразующим компонентам, по [17].

Поля типов песчаников: 1–4 – кварцевые песчаники: 1 – мономиктовые кварцевые, 2 – кремнекластито-кварцевые, 3 – полевошпатово-кварцевые, 4 – мезомиктовые кварцевые; 5–6 – аркозовые песчаники: 5 – чистые или собственно аркозы; 6 – граувакковые аркозы; 7–8 – граувакковые песчаники: 7 – кварцевые граувакки; 8 – полевошпатово-кварцевые граувакки; 9 – собственно граувакки; 10 – кварцево-полевошпатовые граувакки; 11 – полевошпатовые граувакки; 12 – кристаллотуфы.

Песчаники из: 1 – изученных отложений Нижнего Приамурья; 2–4 – альбских отложений южной части Журавлевско-Амурского террейна [11], свиты: 2 – дивнинская, 3 – светловоднинская, 4 – лужкинская.

(%) SiO_2 (68.26–73.60), TiO_2 (0.41–0.59), Al_2O_3 (12.02–15.02), $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ (2.48–4.43), MgO (0.86–1.57), CaO (0.59–1.15), Na_2O (3.15–4.16), K_2O (2.60–3.36). По этим параметрам песчаники близки к кислым изверженным породам и занимают промежуточное положение между аркозами и граувакками. Кроме того, песчаники характеризуются свойственным грауваккам преобладанием Na_2O над K_2O , а на классификационной диаграмме соотношения логарифмов величин $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ и $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ [13] (рис. 3, а) их фигуративные точки группируются преимущественно в поле граувакк и лишь одна из них попадает в поле лититовых аренитов – разновидностей промежуточных между граувакками и аркозами. По сравнению с альбскими отложениями южной части Журавлевско-Амурского террейна, породы характеризуются более низким содержанием кремнекислоты, но, соответственно, более высокими концентрациями других породообразующих оксидов. Наиболее близки к

ним песчаники светловоднинской свиты, лежащие на диаграмме Ф.Дж. Петтиджона в поле граувакк (рис. 3, а). Остальные же позднемиоценовые песчаники юга террейна группируются в поле лититовых аренитов. Следует также отметить, что изученные песчаные породы Нижнего Приамурья по вещественному составу близки и к песчаным породам северной части Журавлевского террейна, развитым на севере хр. Сихотэ-Алинь, в бассейне реки Бута и в районе п. Высокогорный. Особенно это касается аптских пород катаевской свиты [12].

Абсолютные содержания петрогенных элементов в терригенных породах контролируются как составом обломочной части, так и уровнем их «зрелости», т.е. степенью химического выветривания материнских пород областей питания. Для количественной оценки уровня «зрелости» используется гидrolитатный модуль $\text{ГМ} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}) / \text{SiO}_2$ [18], величина которого зависит, с одной стороны, от содержания в породах обломочного кварца или богатых кремнеземом обломков пород, а с другой – от количества и состава полевых шпатов, а также глинистых компонентов, входящих в состав цемента. Для изученных песчаных пород характерны относительно высокие его значения (0.22–0.30), что свидетельствует о невысоком уровне их «зрелости» и образовании преимущественно за счет физического разрушения материнских пород при подчиненной роли химического выветривания. Невысокая степень выветривания исходных пород подтверждается и относительно низкими (53–60) значениями индекса химического изменения ($\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})] \times 100$) [25], а также повышенными (59–68) величинами индекса выветривания $\text{WIP} = 100 \times (2 \times \text{Na}_2\text{O} / 0.35 + \text{MgO} / 0.9 + 2 \times \text{K}_2\text{O} / 0.25 + \text{CaO} / 0.7)$ [26]. Все это свидетельствует о преобладании в составе палеоводосборов геохимически «незрелых», слабо выветрелых материнских пород [19] (рис. 3, б).

По содержанию и характеру распределения редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) изученные песчаники близки между собой. Суммарные содержания РЗЭ в них относительно невелики и варьируют от 100 до 145 г/т. Спектры их распределения, нормализованные к составу хондрита [20] (рис. 4), во всех изученных пробах однотипны и характеризуются нормальными трендами распределения с умеренной степенью фракционирования и относительно невысоким отношением легких лантаноидов к тяжелым ($\text{La}_N/\text{Yb}_N = 7.91\text{--}10.99$). Помимо этого, спектры распределения характеризуются отчетливо выраженной отрицательной европиевой аномалией ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.63\text{--}0.79$). По сравнению с постархейским

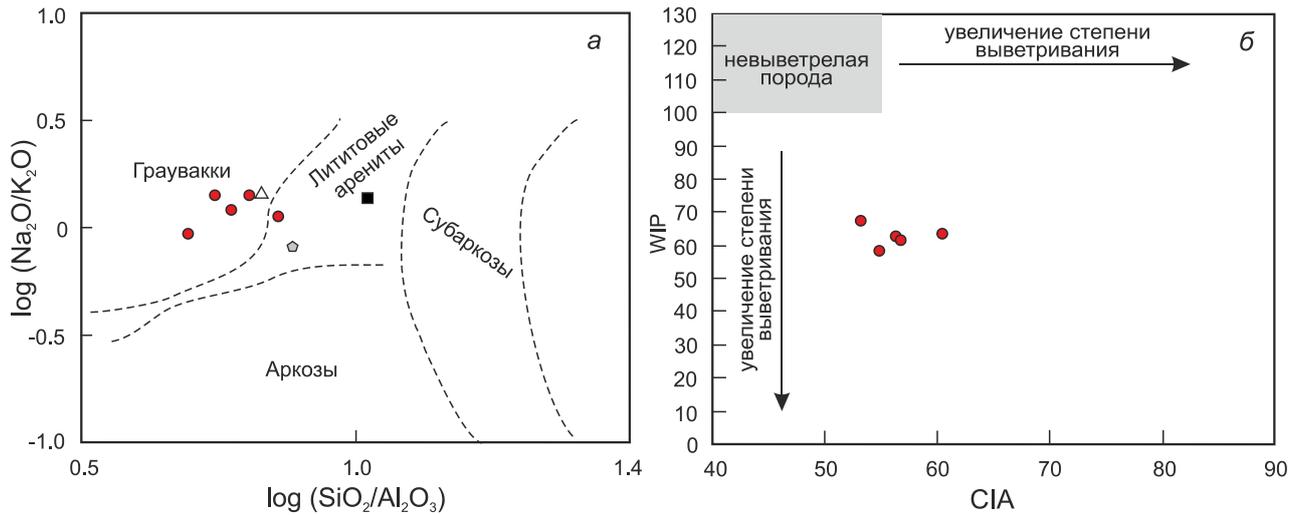


Рис. 3. Литохимические диаграммы для изученных песчаных пород Нижнего Приамурья.

a – Классификационная диаграмма $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ – $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ в сравнении с породами южной части Журавлевско-Амурского террейна [13] (средние значения по свитам альбского возраста). *б* – Диаграмма степени химического выветривания CIA–WIP [19]. Условные обозначения см. на рис. 2.

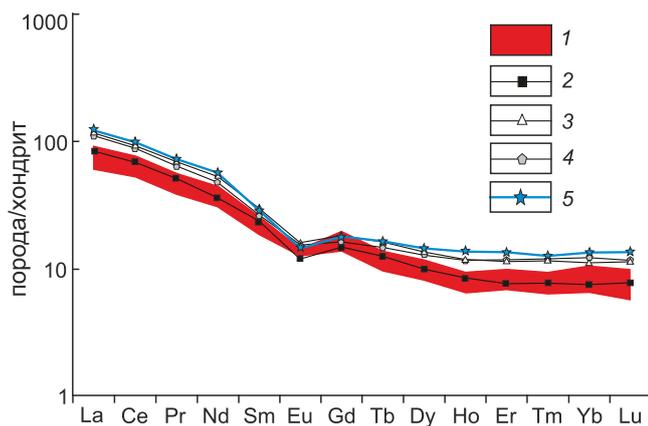


Рис. 4. Спектры распределения РЗЭ, нормированные к хондриту, по [20], в песчаных породах Нижнего Приамурья и позднемиловых отложениях южной части Журавлевско-Амурского террейна, а также сопоставление их с PAAS, по [15].

1 – Нижнее Приамурье; 2 – южная часть Журавлевского Террейна, свиты: 2 – дивнинская, 3 – светловоднинская, 4 – лужкинская; 5 – PAAS.

австралийским средним глинистым сланцем (PAAS) [15], породы незначительно обеднены всеми элементами (1.1–2 раза) и лишь Gd иногда находится в равных концентрациях.

Сравнение изученных песчаников и альбских пород южной части Журавлевского террейна показывает их близость как по концентрациям отдельных микроэлементов, так и по общему характеру поведения спектров их распределения (см. рис. 4).

ВОЗРАСТ И ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ИЗУЧЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

U/Pb методом изучено 184 детритовых зерна циркона и получено 174 датировки с конкордантностью более 80 %, которые были использованы в расчетах. Поскольку в породах преобладают и более интересуют цирконы мезозойского возраста, то датировка по $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ является наиболее надежной, а данные по $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ могут содержать большие ошибки из-за малого содержания ^{235}U .

В образцах X17-39 и X17-40 горинской свиты был получен близкий возраст цирконов наиболее молодой группы, трактуемый как нижний предел осадконакопления. Для образца X17-39 по кластеру из семи совпадающих в пределах ошибки датировок получен возраст 99 млн лет, а для образца X17-40 среднее по двум самым молодым значениям – 96.6 млн лет. При этом следующий кластер самых молодых десяти значений в пределах ошибки дает 99.8 млн лет. Таким образом, нижний предел осадконакопления протолитов изученных отложений, относимых к горинской свите, надежно определен на уровне 99 млн лет.

Для песчаника X17-32 пионерской свиты группа самых молодых полученных возрастов включает 15 датировок (~40 %), а среднее их значение равно 90 млн лет. Таким образом, накопление первичных осадков происходило не ранее этой датировки.

На рисунке 5 представлены диаграммы распределения вероятностей возраста для исследованных образцов. Кривые кумулятивного распределения, построенные отдельно для каждого образца, демон-

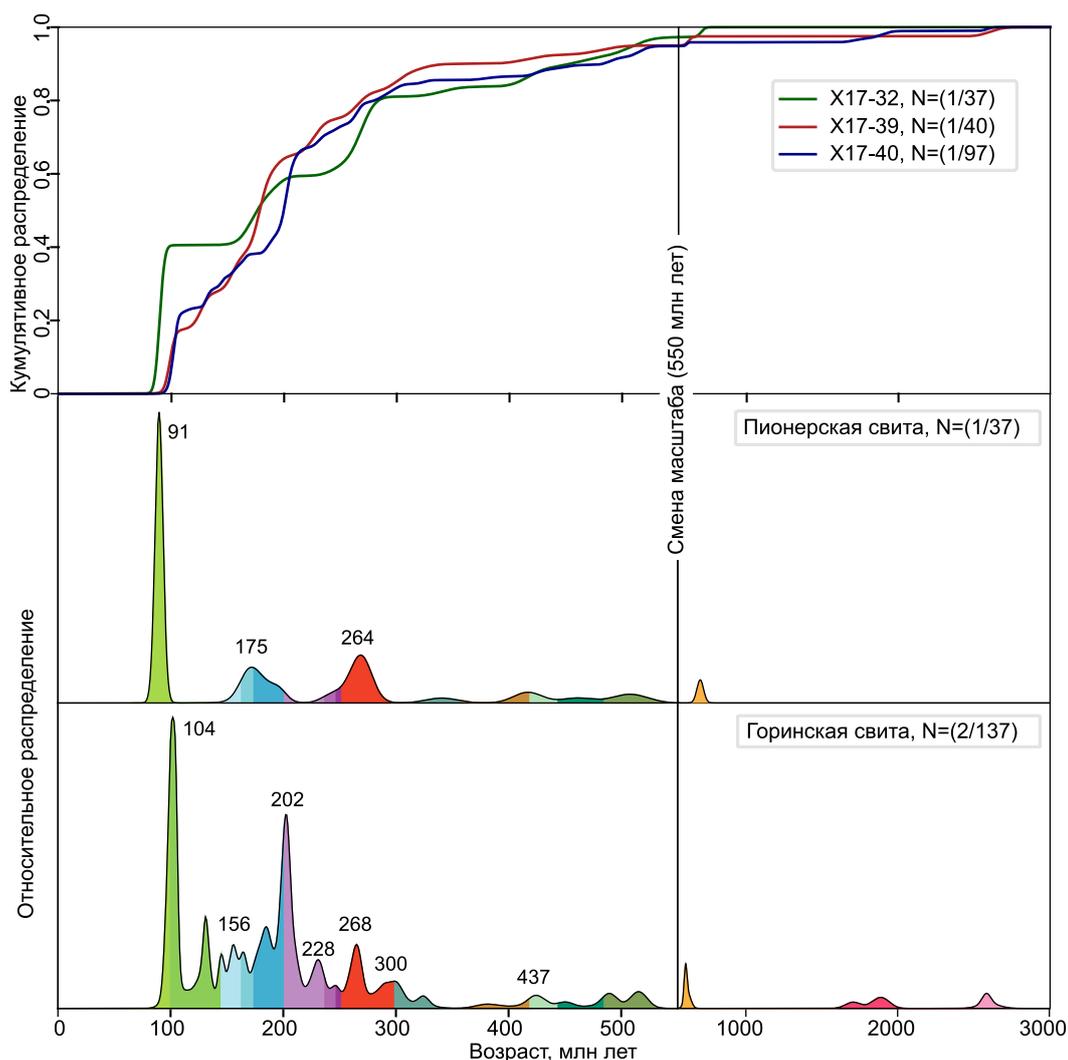


Рис. 5. Диаграммы распределение вероятностей возраста изученных пород.

Образец X17-32 – пионерская свита, X17-39 и X17-40 – горинская свита. N – количество образцов/датировок. Кривые распределения вероятностей построены с помощью программы detritalPy [28], а возрасты статистически значимых пиков – BAD-ZUPA [21].

стрируют сходство, и на диаграмме относительного распределения образцы горинской свиты были объединены. Были рассчитаны статистически значимые пики, которые для пионерской свиты при малой выборке составили 91, 175 и 264 млн лет (рис. 5). Присутствуют единичные или парные более древние датировки палеозойского и одна неопротерозойского возраста.

Статистически значимые пики относительного распределения вероятности возраста для большей выборки горинской свиты – 104, 156, 202, 228, 268, 300 и 437 млн лет. Несколько визуально видимых пиков кривой не отвечают строгим критериям значимости, но можно отметить рубежи около 130 и 174 млн лет (рис. 5). Последний коррелирует с нашими данными

для пионерской свиты. В образцах также обнаружено три зерна палеопротерозойского (1.7–1.9 млрд лет) и два – неoarхейского возраста (~2.6 млрд лет).

Следует отметить, что к западу от места отбора датированного нами образца пионерской свиты (за границами участка на рис. 1, б) распространены вулканиты, в которых залегают рудные зоны золотосеребряного месторождения Многовершинное. При геологической съемке возрастом 90.8 млн лет U/Pb методом по циркону был датирован андезит из этих отложений [14] (в цитируемом источнике отнесен к большинской свите). Также к западу от района исследований имеются близкие U/Pb датировки гранитоидов нижнеамурского комплекса 92.6 и 94 млн лет [14]. Эти магматические породы могут быть основным источни-

Таблица. Критерии сходства спектров возрастов детритовых цирконов.

	N	I	II	III	IV
I	174	1	<u>0.79/0.61</u> 0.34	<u>0.72/0.51</u> 0.24	<u>0.61/0.39</u> 0.10
II	607	<u>0.79/0.61</u> 0.34	1	<u>0.9/0.68</u> 0.63	<u>0.64/0.44</u> 0.18
III	202	<u>0.72/0.51</u> 0.24	<u>0.9/0.68</u> 0.63	1	<u>0.61/0.41</u> 0.18
IV	38	<u>0.61/0.39</u> 0.10	<u>0.64/0.44</u> 0.18	<u>0.61/0.41</u> 0.18	1

Примечание: I – исследованные породы нижнего Приамурья; II–III данные предшественников по Журавлевско-Амурскому террейну [7]; II – Коппи-Лужкинская зона, III – Горинская зона; IV – Удильский сегмент Киселевско-Маноминского террейна [3]. Подчеркнутые значения – сходство/подобие. Значения ниже – коэффициент взаимной корреляции. См. описание в тексте.

ком детрита для описываемых отложений пионерской свиты. Источником молодых цирконов (около 100 млн лет) в изученных породах горинской свиты в регионе могут быть образования крупной альб-сеноманской магматической провинции Тихоокеанской Азии [16], которые, например, известны в Среднем Приамурье в пределах Баджалского террейна [10]. Интересно, что в образце пионерской свиты отсутствуют цирконы этого возраста, таким образом, изученные породы горинской свиты не могли быть донором для вышележащих образований.

При исследовании распределения возрастов детритового циркона из терригенных отложений террейнов САОП [24] по количеству докембрийских зерен было выделено два крайних типа осадков. Первый тип содержит почти исключительно циркон фанерозойского возраста, иногда с небольшим количеством зерен, датированных около 1.8 и 2.5 млрд лет. Второй тип, напротив, имеет значительные популяции циркона палеопротерозойского и палеопротерозой-неоархейского возраста (более 40 % зерен). При этом породы первого типа, к которому относятся и изученные нами песчаники, распространены в северной части САОП. Опубликованные данные по U/Pb датированию циркона в породах такого типа меловых Журавлевско-Амурского и Киселевско-Маноминского террейнов были использованы для сравнения (рис. 6). Для диаграммы использовались только фанерозойские и неопротерозойские датировки.

При сравнении следует отметить, что в целом детритовые цирконы поздне мелового возраста ранее не были обнаружены в терригенных отложениях террейнов САОП [3, 7, 9, 24], поэтому выборки в этой молодой части естественно будут не совпадать.

В таблице приведены рассчитанные численные критерии близости распределения значений в выборках, применяемые при исследовании возраста детритовых цирконов. Два из этих критериев в английском оригинале были названы словами-синонимами, что унаследуется в нашем переводе. Первый из них – сходство (англ. *similarity*), второй – подобие (англ. *likeness*). Ниже подчеркнутых величин сходства/подобия в таблице приведены значения коэффициента взаимной корреляции (англ. *cross-correlation*). Максимальное значение всех критериев равно единице и обозначает полное совпадение исследуемых выборок (сравнение выборки с собой же). Расчеты выполнялись с помощью программы *detritalPy* [28] по функции распределения вероятностей (PDP). Описание и тестирование применимости этих и других статистических критериев сопоставления данных по датированию детритовых цирконов приведены в работе Дж. Сэйлора и К. Сандела [27].

Как видно из диаграмм (рис. 6) и таблицы, наибольшее сходство с данными по Нижнему Приамурью по всем численным параметрам имеют спектры распределения Коппи-Лужкинской зоны Журавлевско-Амурского террейна. Там были датированы цирконы преимущественно из отложений верхней готерив-альбской части разреза (7 образцов усть-колумбинской и каталевской свиты), и лишь один образец ранневаланжинской верхней подсвиты журавлевской свиты [7]. При этом степень сходства с данными по цирконам из пород комсомольской свиты (включая горинскую и пионерскую свиты) Горинской зоны правобережья Амура [7] ощутимо меньше. Таким образом, источники кластического материала для изученных отложений в большей степени совпадают с источни-

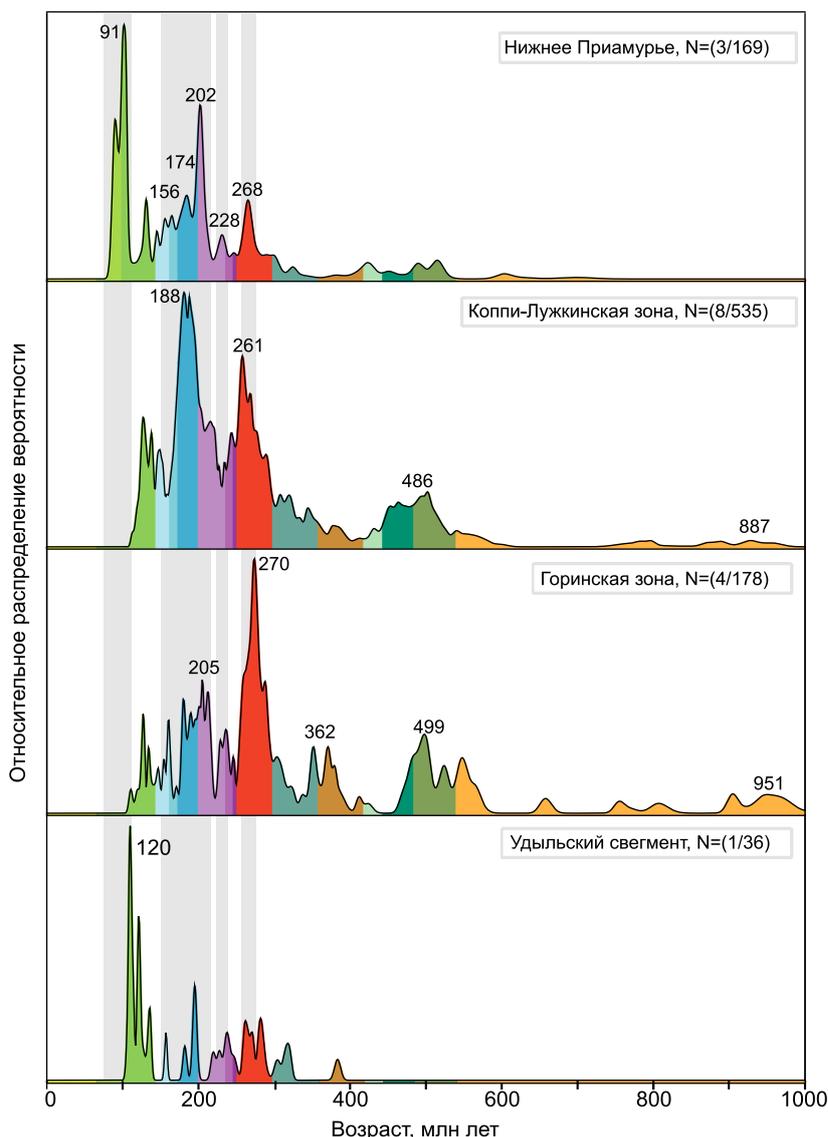


Рис. 6. Диаграммы сопоставления распределения вероятностей возраста изученных пород Нижнего Приамурья с данными по Коппи-Лужкинской и Горинской зонам Журавлевско-Амурского террейна [7] и Удильскому сегменту Киселевско-Маноминского террейна [3]. Примечание см. рис. 5.

ками верхней готерив-альбской части Журавлевско-Амурского террейна.

А.Н. Диденко с коллегами [7], опубликовавшие большой объем данных по возрасту детритовых цирконов САОП и сделавшие возможным выполненные здесь сопоставления, провели детальный анализ возможных источников кластики исследованных терригенных пород. В связи со сходством спектра распределения возрастов Коппи-Лужкинской зоны и полученных нами, результаты этого анализа также актуальны в качестве реконструкции вероятных допозднемиловых источников терригенных отложений Нижнего Приамурья.

Вопрос несовпадения полученного нами позднемилового возраста и палеонтологически установленного берриас-валанжинского стратиграфического возраста свит требует дополнительных исследований. Проблема возраста пород комсомольской серии недавно поднималась А.В. Кудымовым с коллегами [9], которыми были получены альбские датировки детритового циркона в породах горинской свиты [7, 9]. Отложения Нижнего Приамурья вследствие удаленности и труднодоступности изучены гораздо хуже стратотипических и прочих канонических разрезов выделенных стратонов на более населенных территориях. Не ставя под сомнение датировки, выполнен-

ные предшественниками по остаткам бухий [8], остается предположить наличие не выявленных в ходе геологической съемки в гористой труднопроходимой местности более молодых образований, включенных в состав свит комсомольской серии. Тем не менее, датирование детритовых цирконов из песчаников непосредственно из обнажения, богатого остатками представителей *Bivalvia* [8], сопровождаемое дополнительными палеонтологическими исследованиями, представляется важным для решения вопроса о возрасте данных толщ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведено исследование возраста и вещественного состава малоизученных меловых терригенных отложений Нижнего Приамурья.

2. Впервые для осадочного комплекса в пределах САОП по данным U/Pb датирования детритовых цирконов получен поздне меловой возраст продуктов осадконакопления.

3. Для песчаников из отложений Нижнего Приамурья, относимых к горинской и пионерской свитам берриас-валанжинской комсомольской серии, получены надежные датировки нижнего предела осадконакопления 99 и 90 млн лет, соответственно. По вещественному составу и спектрам распределения возрастов детритовых цирконов изученные породы также больше сходны с отложениями верхней, готерив-альбской части разреза Журавлевско-Амурского террейна.

4. В породах разреза пионерской свиты самая молодая популяция циркона возрастом около 90 млн лет составляет более 40 % всех датированных зерен. Основным источником кластического материала этого возраста, вероятно, были распространенные поблизости андезиты, вмещающие месторождение Многовершинное, а также гранитоиды нижнеамурского комплекса.

5. Источником кластики для отложений горинской свиты возрастом около 99 млн лет вероятно были кислые породы альб-сеноманской магматической провинции Тихоокеанской Азии.

6. Вопрос несовпадения полученного нами поздне мелового возраста и палеонтологически установленного берриас-валанжинского стратиграфического возраста свит требует дополнительных исследований.

7. Новые данные о поздне меловом возрасте осадков Журавлевско-Амурского синсдвигового окраинно-континентального бассейна требует уточнения истории геологического развития рассматриваемого террейна и в целом Сихотэ-Алинского орогенного пояса.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-17-00198, <https://rscf.ru/project/22-17-00198/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров И.А., Ивин В.В., Будницкий С.Ю., Москаленко Е.Ю. Возраст гранитоидов Бекчиулского интрузивного массива (Нижнее Приамурье) // Геодинамика и тектонофизика. 2023. Т. 14, № 2: 0694.
2. Александров И.А., Ивин В.В., Будницкий С.Ю., Москаленко Е.Ю., Ивина В.В. Этапы и особенности поздне мелового гранитоидного магматизма северной части Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса (Нижнее Приамурье) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы научной конференции. Вып. 21. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2023. С. 11–13.
3. Архипов М.В., Войнова И.П., Кудымов А.В., Песков А.Ю., Ото Ш., Нагата М., Голозубов В.В., Диденко А.Н. Сравнительный анализ пород островодужного генезиса Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов: геохимия, геохронология и палеомагнетизм // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 3. С. 50–75.
4. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Николаевская, лист N-54-XXI: Объясн. зап. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. 492 с.
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист N-54. Николаевск-на-Амуре: Объясн. зап. СПб: Изд-во СПб картфабрика ВСЕГЕИ, 2016. 477 с.+9 вкл.
7. Диденко А.Н., Ото Ш., Кудымов А.В., Песков А.Ю., Архипов М.В., Мияке Ю., Нагата М. Возраст цирконов из осадочных пород Хабаровского, Самаркинского и Журавлевско-Амурского террейнов северной части Сихотэ-Алинского орогенного пояса: тектонические следствия // Тихоокеан. геология. 2020. Т. 39, № 1. С. 3–23.
8. Козлов А.А., Белецкая С.В., Овчининский В.Д. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Нижнеамурская. Лист N-54-XIV, XV. М., 1981. 92 с.
9. Кудымов А.В., Ото Ш., Архипов М.В., Песков А.Ю., Зябрев С.В., Нагата М., Диденко А.Н. Возраст (U-Pb, LA-ICP-MS) детритовых цирконов из осадочных пород комсомольской серии (северный Сихотэ-Алинь) // Тихоокеан. геология. 2022. Т. 41, № 5. С. 20–32.
10. Лебедев А.Ю., Александров И.А., Ивин В.В. Новые данные U/Pb датирования меловых магматических пород Комсомольского рудного района (Среднее Приамурье) // Докл. АН. Науки о Земле (в печати).
11. Малиновский А.И., Голозубов В.В. Строение, состав и обстановки формирования нижнемеловых отложений Журавлевского террейна (Центральный Сихотэ-Алинь) // Литология и полез. ископаемые. 2012. № 4. С. 399–424.
12. Малиновский А.И., Голозубов В.В., Медведева С.А. Веще-

- ственный состав, источники питания и обстановки формирования нижнемеловых отложений Северного Сихотэ-Алиня // Тихоокеан. геология. 2022. Т. 41, № 6. С. 24–44.
13. Петтиджон Ф.Дж., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 535 с.
 14. Синькова Е. А., Петров О.В., Ханчук А.И., Шевченко С.С., Снежко В.В., Халенев В.О., Бучнев И.Н., Сергеев С.А. Геохронологический атлас-справочник основных структурно-вещественных комплексов России – базовый информационный ресурс для геологической отрасли страны // Региональная геология и металлогения. 2022. № 90. С. 5–14. <http://geochron.vsegei.ru/>
 15. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
 16. Ханчук А.И., Гребенников А.В., Иванов В.В. Альб-сеноманские окраинно-континентальный орогенный пояс и магматическая провинция Тихоокеанской Азии // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 3. С. 4–29.
 17. Шутов В.Д. Классификация песчаников // Литология и полез. ископаемые. 1967. № 5. С. 86–102.
 18. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
 19. Bahlburg H., Dobrzinski N.A. Review of the chemical index of alteration (CIA) and its application to the study of Neoproterozoic glacial deposits and climate transitions // Geological Society of London. 2011. V. 36. P. 81–92.
 20. Boynton W.V. Chapter 3. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies // Rare Earth Element Geochemistry / Ed. P. Henderson. Amsterdam: Elsevier, 1985. P. 115–122.
 21. Furukawa T. A new evaluation protocol for detrital zircon: BAD-ZUPA // 2020. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4138657>.
 22. Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology // Chemical Geology. 2004. V. 211. P. 47–69.
 23. Khanchuk A.I., Kemkin I.V., Kruk N.N. The Sikhote-Alin orogenic belt, Russian South East: Terranes and the formation of continental lithosphere based on geological and isotopic data // Journ. of Asian Earth Sciences. 2016. V. 120. P. 117–138.
 24. Liu K., Xiao W., Wilde S., Zhang J., Alexandrov I., Kasatkin S., Ge M. Syn-subduction strike-slip faults shape an accretionary orogen and its provenance signatures: Insights from NE Asia during the Late Jurassic to Early Cretaceous // Tectonics. 2021. V. 40, № 7. e2020TC006541.
 25. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 715–717.
 26. Parker A. An index of weathering for silicate rocks // Geol. Magazine. 1970. V. 107(6). P. 501–504.
 27. Saylor J.E., Sundell K.E. Quantifying comparison of large detrital geochronology data sets // Geosphere. 2016. V. 12. P. 203–220.
 28. Sharman G.R., Sharman J.P., Sylvester Z. detritalPy: A Python-based toolset for visualizing and analysing detrital geochronologic data // Depositional Record. 2018. V. 4. P. 202–215.
 29. Vermeesch P., Isoplot R. A free and open toolbox for geochronology // Geoscience Frontiers 2018. V. 9. P. 1479–1493.

Рекомендована к печати А.И. Ханчуком

после доработки 11.01.2024 г.

принята к печати 11.01.2024 г.

I.A. Alexandrov, A.I. Malinovsky, V.V. Ivin, S.Yu. Budnitskiy

First data on Late Cretaceous terrigenous deposits in the upper part of the Zhuravlevka-Amur terrane section in lower Priamurie (based on U/Pb detrital zircon geochronology)

The study was performed on the age and composition of little-studied Cretaceous terrigenous deposits of lower Priamurie, which are part of the Zhuravlevka-Amur terrane and are referred to the Berriasian-Valanginian Komsomolsk Series. U/Pb dating of detrital zircons yielded reliable dates of 99 and 90 Ma for the Gorin and Pioneer formations, respectively. Thus, for the first time, a Late Cretaceous age of sedimentation was identified for the sedimentary complex within the Sikhote-Alin orogenic belt based on U/Pb dating of detrital zircons. In terms of composition and detrital zircon age distribution patterns, the studied rocks are similar to the sediments of the upper Hauterivian-Albian part of the Zhuravlevka-Amur terrane section, and not the Berriasian-Valanginian. In rocks of the Pioneer Formation, the youngest population of zircon with an age of about 90 Ma accounts for more than 40 % of all the dated grains. Andesites of the Bolba Formation and granitoids of the Nizhneamurskii Complex, which are distributed nearby are probably the main source of clastic material of this age. Felsic rocks of the Albian-Cenomanian igneous province of Pacific Asia were probably the source of detritus for sediments of the Gorin Formation of about 99 Ma. The issue of inconsistency between the Late Cretaceous age obtained by us and the paleontologically established Berriasian-Valanginian stratigraphic age of the formations requires additional research. New data on the Late Cretaceous age of sediments of the Zhuravlevka-Amur pull-apart continental margin basin invite further investigations to better understand the geologic evolution of the terrane and the Sikhote-Alin orogenic belt as a whole.

Key words: terrigenous deposits, detrital zircon geochronology, Late Cretaceous, lower Priamurie, Zhuravlevka-Amur terrane, Sikhote-Alin orogenic belt.