

**ВОЗРАСТ (U-Pb, LA-ICP-MS) ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ ИЗ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД  
КОМСОМОЛЬСКОЙ СЕРИИ (СЕВЕРНЫЙ СИХОТЭ-АЛИНЬ)**

*А.В. Кудымов<sup>1</sup>, Ш. Ото<sup>2</sup>, М.В. Архипов<sup>1</sup>, А.Ю. Песков<sup>1</sup>, С.В. Зябрев<sup>1</sup>, М. Нагата<sup>2</sup>,  
А.Н. Диденко<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup>ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000;  
e-mail: itig@itig.as.khb.ru; e-mail: arhipov\_mv@mail.ru

<sup>2</sup>Высшая школа науки и техники Университета г. Тояма, Япония (Graduate School of Science and Engineering,  
University of Toyama, Japan)

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская 136, г. Хабаровск

Поступила в редакцию 21 марта 2022 г.

Проведено геохронологическое изучение детритовых цирконов из осадочных пород горинской (91 циркон с конкордантным возрастом), пионерской (117 цирконов с конкордантным возрастом) и пиванской (115 цирконов с конкордантным возрастом) свит комсомольской серии. Сопоставление изотопного  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возраста самых молодых популяций цирконов из этих свит с их стратиграфическим возрастом показало, что только для одной из них (пиванской) они не противоречивы. Для двух других свит возраст самых молодых цирконов оказался существенно моложе верхней границы их стратиграфического возраста. Согласно вновь полученным данным: 1) возраст «берриас-валанжинских» отложений пионерской свиты не древнее баррема; 2) возраст «титон-берриасских» отложений горинской свиты не древнее готерива. В основу расчленения отложений комсомольской серии на свиты положены, прежде всего, литологические критерии, а так как состав свит очень схож, сходные отложения в других нижнемеловых разрезах региона могли быть отнесены к другим стратонам, поэтому сформулированный выше вывод справедлив только для изученных нами разрезов.

**Ключевые слова:** детритовые цирконы, геохронология, Журавлевско-Амурский террейн, Сихотэ-Алинь.

**ВВЕДЕНИЕ**

Берриас-валанжинские отложения на Северном Сихотэ-Алине традиционно относят к комсомольской серии. Сложена она, снизу в верх: горинской, пионерской и пиванской свитами. Слагают рассматриваемые отложения Горинскую зону Журавлевско-Амурского террейна [6]. Возраст этих сложнодислоцированных отложений основан на редких биостратиграфических, в том числе и на радиоляриевых данных. Последние определяются многими исследователями крайне неоднозначно.

Из-за литологического сходства свит и крайне редких находок органических остатков с неоднозначными датировками расчленение серии на свиты проведено достаточно условно. Кроме этого, выделение границ и самой Горинской зоны, по этим же причинам, проведено также ненадежно. Исходя из вышеизложенного, геохронологические исследова-

ния осадочных пород в данном регионе крайне актуальны.

В настоящее время для датирования осадочных толщ активно применяется метод U-Pb определения возраста зерен цирконов ( $\text{ZrSiO}_4$ ), основанный на измерении продуктов распада параллельных радиевой ( $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$ ) и актиниевой ( $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$ ) серий [20]. Циркон является одним из лучших минералов для определения времени его кристаллизации из магмы или метаморфических флюидов по следующим причинам: 1) в момент своего образования содержит уран, но практически не содержит общего свинца; 2) имеет высокую температуру закрытия  $\sim 900$  °C; 3) обладает высокой стабильностью по отношению к процессам выветривания на земной поверхности и вторичным изменениям при низко- и среднетемпературном метаморфизме. Самый молодой возраст детритовых цирконов в образце осадочной породы

интерпретируется как возраст самой молодой магматической активности в области сноса, с одной стороны, и, с другой, – принимается за нижнее ограничение возраста самой осадочной формации [20].

Для получения новых данных о геохронологии осадочных формаций Сихотэ-Алиньского орогенного пояса и возможного ответа на дискуссионные вопросы об их возрасте Институтом тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН (Россия) и Университетом г. Тояма (Япония) была разработана программа на 2018–2022 годы по геохронологическому изучению детритовых цирконов из осадочных пород региона.

Частично результаты нашего изучения геохронологии детритовых цирконов осадочных пород комсомольской серии Горинской зоны Журавлевского террейна опубликованы [6]. Более детальные материалы с учетом новых проб приведены в данной статье.

Для геохронологического изучения было отобрано 6 проб песчаников из трех свит комсомольской серии [5, 9] – горинской, пионерской и пиванской – по правобережью р. Амур, напротив г. Комсомольск-на-Амуре и вдоль автодороги г. Хабаровск–п. Лидога (рис. 1–3).

#### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ, СТРОЕНИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ВОЗРАСТ ИЗУЧЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

В статье анализируются данные проб по геохронологии детритовых цирконов, отобранных в пределах Горинской тектоно-стратиграфической зоны [6] Журавлевско-Амурского террейна (синсдвигового осадочного бассейна [4]). Зона соответствует Горинской структурно-формационной подзоне (СФП) Баджало-Горинской структурно-формационной зоны (СФЗ) [7], или рассматриваемые отложения включались в Приамурскую СФП Западной СФЗ [5]. Журавлевско-Амурский террейн занимает большую часть площади Сихотэ-Алиньского складчатого пояса. Породы террейна сложно дислоцированы. Установлена гигантская Z-образная складка с крутым шарниром, делящая террейн на две части [4, 19] – восточную и западную. Восточная часть протягивается с юга Приморья до 50° с.ш. и расположена юго-восточнее Самаркинского террейна. Западная часть террейна располагается западнее Центрального Сихотэ-Алиньского разлома и соответствует Горинской зоне, протягивающейся от нижнего течения р. Уссури на юге до берегов Сахалинского залива на севере. Расположена она между Хабаровским на западе и Киселевско-Маноминским на востоке террейнами (рис. 1). Б.А. Натальин с соавторами [11–14] отнес западную часть нижнемеловых отложений Журавлевского террейна Горинской зоны и Чаятынской структурно-формацион-

ной зоны, расположенной восточнее Горинской [5, 9], к амурскому комплексу. По их мнению, комплекс слагает чешуйчато-надвиговую структуру, осложненную левосдвиговыми деформациями [11].

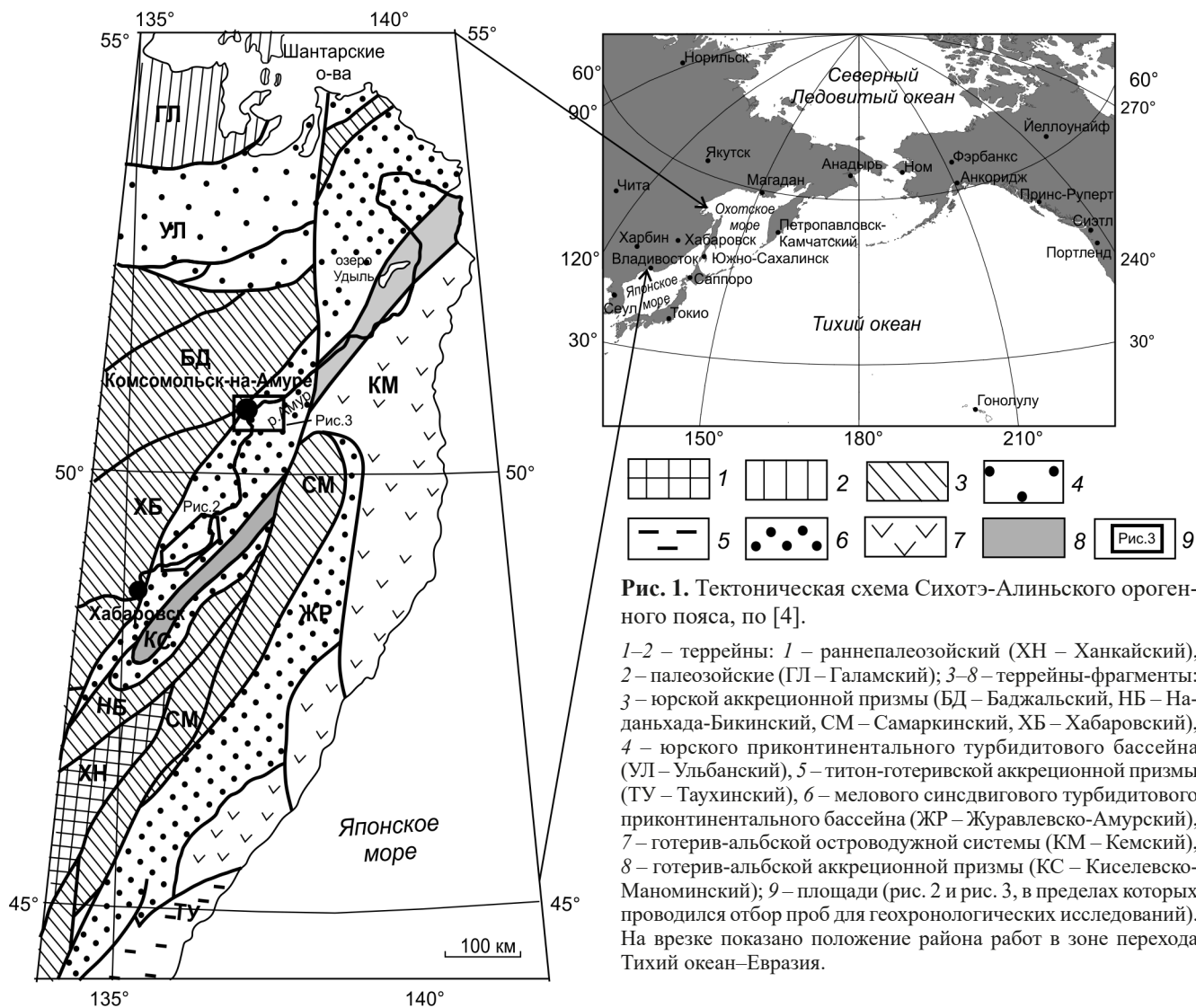
Как было отмечено выше, были изучены осадочные породы трех свит, отнесенных к комсомольской серии [5, 9], – горинской, пионерской и пиванской. Первые две свиты представлены типичным флишем – перемежающимися слоями песчаников и алевролитов [9].

*Горинская свита* имеет песчаниковый состав и содержит прослои алевролитов, линзы гравелитов, конгломератов, седиментационных брекчий. Свита была выделена Е.Б. Бельтеневым в 1956 г. в нижнем течении р. Горин.

Отложения горинской свиты распространены по берегам р. Амур (в районах г. Хабаровска и Комсомольска-на-Амуре) и далее полосой (8–15 км) прослеживаются в северо-восточном направлении, вплоть до побережья Охотского моря. Слагают образования свиты преимущественно ядра антиклинальных складок. В результате ранних исследований непосредственные соотношения свиты с более древними образованиями не наблюдались. Однако Е.Б. Бельтнев [2, 5] и вслед за ним другие исследователи считали, что свита согласно залегает на юрской подалинской свите. Последующий анализ фактического материала дал основания считать границу отложений горинской свиты с нижележащими образованиями тектонической [5]. Недавние исследования В.А. Кайдалова и др. [7] показали, что отложения горинской свиты без видимого несогласия, но со следами размыва, залегают на кремнисто-алевролитовой юрской лимуранской толще, выделенной им вместо подалинской свиты.

Наиболее полный разрез свиты изучен в обнажениях левобережья нижнего течения р. Горин [2, 5] и на правобережье р. Амур (напротив г. Комсомольск-на-Амуре). Разрез отложений представляет собой чередование пачек (25–100 м, иногда до 210 м) тонкого (3–30 см), реже грубого (до 70 см) переслаивания мелкозернистых песчаников и алевролитов с пластами (20–80 м, редко до 150 м) алевролитов и среднезернистых песчаников. Причем, вверх по разрезу увеличивается количество пластов алевролитов. В более южных ареалах распространения описываемых отложений, по левобережью р. Амур, в низах разреза отложений заметно возрастает роль среднезернистых песчаников, в которых отмечаются включения обломков алевролитов и линзы (первые метры) мелкогалечных конгломератов, гравелитов и крупнозернистых песчаников.

Северо-восточнее, в междуречье Прав. Пильда-Ямтульмакит [7], подошва свиты вскрыта горными



выработками. Здесь на алевролитах лимурчанской толщи без видимого несогласия, но со следами размыва, залегают конгломераты (280 м) мелкогалечные с песчаным заполнителем. Они содержат прослои (через 5–10 м) неравномернозернистых песчаников. Выше разрез наращивается мелкозернистыми песчаниками (220 м) с редкими прослоями (до 3 м) алевролитов; алевролитами (120 м) и мелкозернистыми песчаниками (более 50 м).

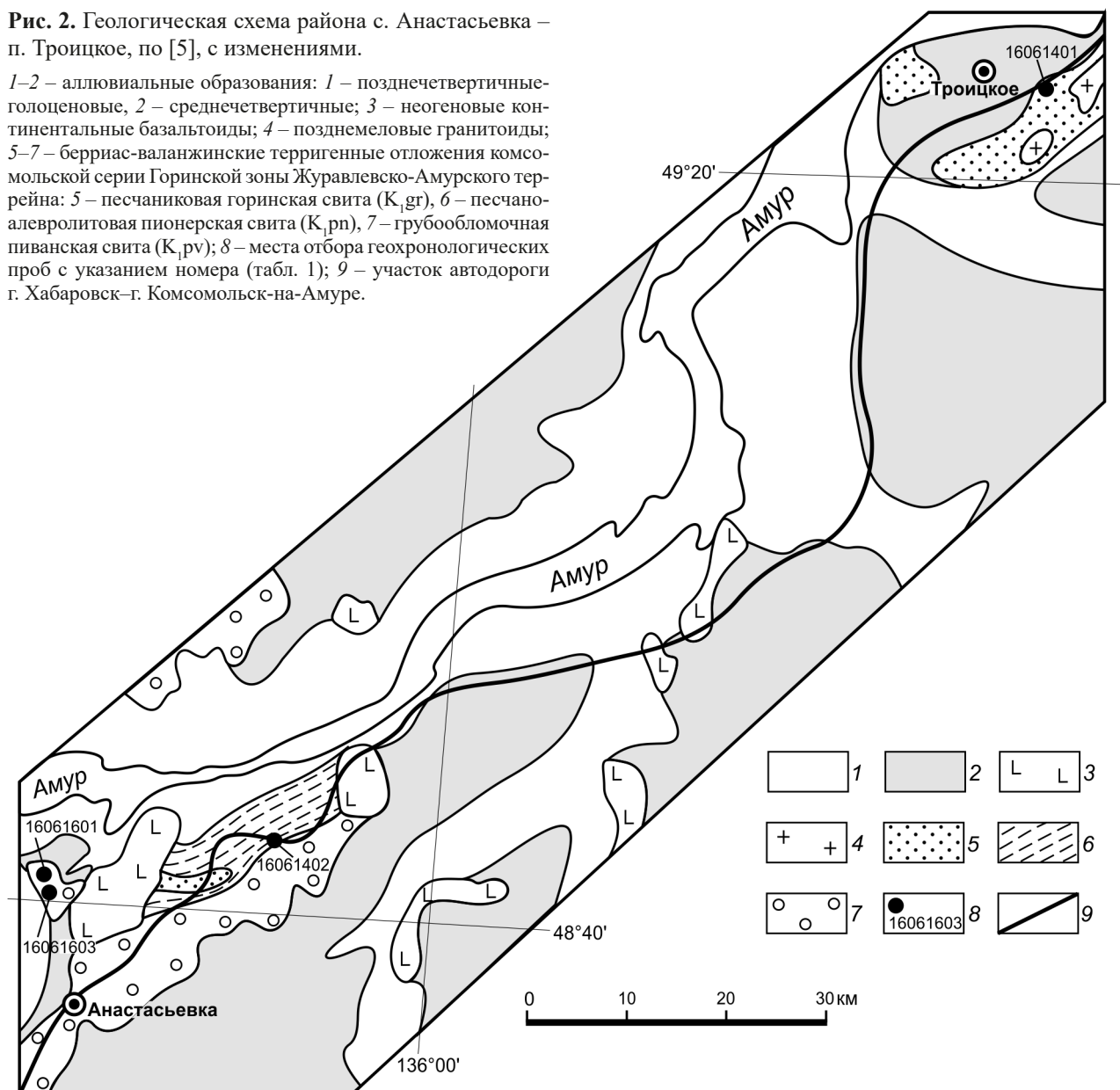
Верхние горизонты свиты изучены с помощью горных выработок на правом берегу среднего течения р. Пильда [7]. Здесь в полосе выхода горинской свиты шириной более 8 км снизу вверх наблюдались: песчаники средне-мелкозернистые (более 70 м), алевролиты (30 м) с прослоями среднезернистых песчаников, песчаники мелко-среднезернистые (210 м) с редкими тонкими (до 10–15 см) прослоями алевролитов; пачка

(30 м) ритмично чередующихся (через 5–10 см) пород (песчаников и алевролитов); песчаники мелко-среднезернистые (90 м); алевролиты тонкослоистые (20 м); песчаники мелко-среднезернистые (110 м) с редкими прослоями (до 0.5 м) алевролитов; пачка (40 м) ритмично чередующихся песчаников и алевролитов (мощность ритмов 15–20 см); песчаники мелкозернистые (120 м), с частыми, через 5–10 м, прослоями (мощностью до 1.5 м) тонкослоистых алевролитов. Общая мощность свиты, с учётом перекрытия части разреза по двум представленным пересечениям, составляет примерно 1100 м.

Таким образом, преимущественный объём горинской свиты составляют песчаники мелко- и среднезернистые, преимущественно массивные, с редкими и тонкими прослоями алевролитов; в основании свиты нередко присутствуют маломощные прослои

**Рис. 2.** Геологическая схема района с. Анастасьевка – п. Троицкое, по [5], с изменениями.

1–2 – аллювиальные образования: 1 – позднечетвертичные голоценовые, 2 – среднечетвертичные; 3 – неогеновые континентальные базальтоиды; 4 – позднемеловые гранитоиды; 5–7 – берриас-валанжинские терригенные отложения комсомольской серии Горинской зоны Журавлевско-Амурского террейна: 5 – песчаниковая горинская свита (K<sub>1</sub>gr), 6 – песчано-алевролитовая пионерская свита (K<sub>1</sub>pn), 7 – грубообломочная пиванская свита (K<sub>1</sub>pv); 8 – места отбора геохронологических проб с указанием номера (табл. 1); 9 – участок автодороги г. Хабаровск–г. Комсомольск-на-Амуре.



и линзы конгломератов. Эпизодически, на разных уровнях разреза, отмечаются маломощные, в первые десятки метров, пачки ритмичного (флишоидного) переслаивания песчаников и алевролитов, сформированные по типу простых двух-, трёхкомпонентных циклитов. К уровням развития циклитов иногда приурочены маломощные (0.5–1.5 м) линзы седиментационных брекчий [7]. Изменения состава свиты по простиранию выражаются, в основном, в изменении объёма алевролитовых слоев.

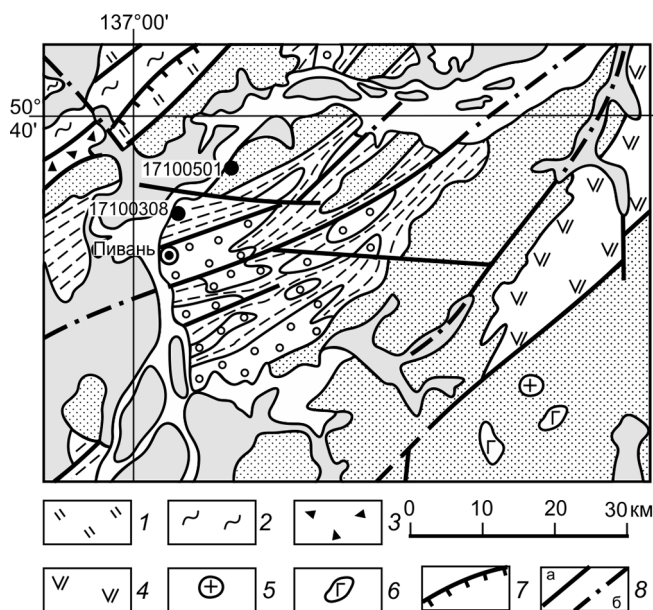
В стратиграфических схемах, принятых Четвертым ДВ МРСС [9], возраст горинской свиты определен по бухиям и ограничен берриасом, хотя по В.Н. Верещагину [3] и А.А. Капице (1968), фауна

нижних алевролитовых слоев свиты более характерна для поздней юры [5]. Согласно [1], по фауне бухий и растительным остаткам возраст отложений горинской свиты определен в интервале поздняя юра–ранний мел. Согласно [5], возраст отложений горинской свиты оценен как титон–берриас.

Вышележащая *пионерская свита* также была выделена Е.Б. Бельтенёвым в 1956 г.

Выходы пионерской свиты прослежены, так же как горинской, на северо-восток от правобережья р. Амур до побережья Охотского моря и маркируют они ядра синклиналичных структур.

В отличие от горинской свиты пионерская сложена в основном (до 90 % объема) алевролитами и



**Рис. 3.** Геологическая схема района г. Комсомольск-на-Амуре, по [5], с изменениями.

1–3 – фрагменты юрской Баджальской аккреционной призмы: 1 – средне-верхнетриасовые вулканогенно-кремнистые образования бокторской толщи ( $T_{2-3} bk$ ), 2 – среднеюрская силинская свита ( $J_2 sl$ ), 3 – олистолиты в песчаниковой силинской свите; 4 – нижне-верхнемеловая вулканогенно-терригенная мачтовая толща; 5 – позднемеловые гранодиориты; 6 – континентальные базальтоиды; 7 – надвиг; 8 – разрывные нарушения: а – проявленные на поверхности (пунктир – предполагаемые), б – перекрытые четвертичными отложениями. Остальные условные обозначения приведены на рис. 2.

аргиллитами. Песчаники преимущественно мелкозернистые, образуют редкие пропластки и пласты мощностью 3–25 м (иногда до 50 м) и пачки (20–95 м) грубого (через 0.1–0.5 м, редко до 1.2 м) чередования их с алевролитами или тонкоритмичного (через 5–10 см, иногда до 20 см) переслаивания с алевролитами и аргиллитами [5]. В юго-западном направлении от г. Комсомольск-на-Амуре в отложениях свиты уменьшается мощность пластов и прослоев песчаников. К примеру, в береговых обнажениях р. Амур, несколько южнее г. Комсомольск-на-Амуре, песчаники встречаются лишь в виде редких пластов (3–12 м) и в виде тонких прослоев в составе пачек (до 20 м) переслаивания их с алевролитами и аргиллитами. В то же время, мощные пласты песчаников (10–40 м) в низах разреза свиты обнаруживаются на восточном побережье оз. Петропавловское и на хребтах Большой Хехцир и Малый Хехцир [5].

Северо-восточнее г. Комсомольск-на-Амуре наиболее полные разрезы свиты вскрыты линиями канав в нескольких пересечениях: в бассейне верхнего течения р. Лимури (Дьяков В.Н., 1991), в междуречье

Лимурчан–Пильда, на левобережье р. Уенга (Дьяков М.К., 1989) и в других местах [7]. На правобережье р. Пильда в разрезе, описанном выше при характеристике горинской свиты, на горинских песчаниках согласно залегают (снизу вверх): алевролиты (140 м), мелкозернистые песчаники (60 м), алевролиты (150 м), мелкозернистые песчаники (более 110 м) с редкими включениями обломочков алевролитов размером до 3 мм.

На правобережье р. Лимурчан, в бассейне руч. Маристый [7] на песчаниках горинской свиты залегают слои пионерской свиты (снизу вверх): алевролиты (50 м), ритмично переслаивающиеся через 15–20 см с тонкими (3–5 см) прослоями мелкозернистых песчаников; алевролиты неясно слоистые (180 м), песчаники мелкозернистые (80 м), в основании – массивные, в верхах с прослоями (10–20 см) алевролитов; алевролиты (110 м), в основании – тонкослоистые, а сверху – массивные, с прослойками аргиллитов; песчаники (60 м) мелкозернистые, в верхней части с тонкими прослоями алевролитов; алевролиты тонкослоистые (более 70 м). Общая мощность пионерской свиты, с учётом данных крупномасштабных работ М.К. Дьякова с соавторами, оценивается в 900 м [7].

Как видно из описаний разрезов, характерной особенностью строения пионерской свиты является чередование мощных (150–200 м) ритмов, в основании которых залегают песчаники, сменяющиеся выше пачками переслаивания песчаников и алевролитов, а ещё выше – мощными пластами слоистых и массивных алевролитов. Всего таких ритмов может быть выделено не менее четырёх – пяти. В пачках переслаивания песчаников и алевролитов нередко выделяются простые маломощные циклиты, двух- (алевролит крупноалевролитовый – аргиллит) и трёх- (песчаник – алевролит – аргиллит) компонентные.

Геологический возраст пионерской свиты установлен по находкам органических остатков. Так в алевролитах преимущественно в нижней части разреза свиты в бассейнах рр. Горин, Батурина, Халбинка [2], на правобережье р. Амур напротив г. Комсомольска-на-Амуре и на Горной протоке [18], в карьерах южнее ст. Малмыж [16] и вдоль железной дороги Пивань–Советская Гавань [5], в береговых обнажениях оз. Петропавловское [5] и в других местах собраны многочисленные органические остатки, среди которых В.Н. Верещагиным и А.А. Капицей определены бухии, иноцерамы и др., характерные для берриасского и валанжинского ярусов. Кроме того, в районе ст. Известковая в алевролитах свиты выявлены радиоларии, характерные для нижнего мела [15]. Остатки бухий были найдены и по побережью Сахалинского залива. Кроме этого, в верховьях р. Утак В.И. Аной-

киным при проведении ГДП-200 [7] были обнаружены ископаемые остатки фауны, среди которых Е.А. Калининым определен вид *Buchia* cf. *volgensis* Lah., указывающий на валанжинский возраст вмещающих отложений. В пробах алевролитов, отобранных В.И. Анойкиным на правом берегу верхнего течения р. Лимури, С.В. Зябров выделил и определил богатый (свыше 40 видов) комплекс остатков радиолярий, по пробе из междуречья руч. Извилистого и р. Баккалак сделано заключение о берриас-барремском возрасте вмещающих отложений, а по пробе из приустьевой части правого берега р. Бирандя – о раннеготеривском. Эти определения указывают на более молодой, как принято считать, стратиграфический возраст пионерской свиты (берриас-валанжин [5]).

Пиванская свита согласно перекрывает отложения пионерской свиты и завершает разрез комсомольской серии. Она обнажается в ядрах синклинали складок на правом берегу р. Амур севернее оз. Хумми и в бассейнах рр. Горин и Халбинка, а также в выступах фундамента Среднеамурской впадины. Характерной особенностью разреза отложений свиты является широкое распространение пачек флишоидного переслаивания песчаников, алевролитов и реже аргиллитов.

На правом берегу р. Амур между озерами Пивань и Хумми (стратотип) [18], а также в бассейне р. Горин [2] нижняя часть разреза свиты (200–400 м) представлена в основном мелко- и среднезернистыми песчаниками. Иногда песчаники постепенно переходят в гравелиты, мелкогалечные конгломераты, а также в седиментационные брекчии, которые образуют непротяженные прослои мощностью 1–5 м, а в районе ст. Пивань-Пристань – пласт (30–35 м). Кроме этого, мелкозернистые песчаники здесь слагают пачки (10–60 м) ритмичного (через 2–70 см) переслаивания с алевролитами. Средняя часть разреза (до 800 м) представляет собой флишоидную толщу. В ней пачки (20–120 м) тонкого (через 3–10 см), реже относительно грубого (через 0.2–1 м) ритмичного переслаивания мелкозернистых и алевритистых песчаников с алевролитами и реже аргиллитами, чередуются с пластами среднезернистых песчаников (8–80 м), а выше по разрезу – также алевролитов или аргиллитов (3–50 м). Завершает разрез свиты горизонт (60–400 м) разнозернистых песчаников с редкими прослоями алевролитов мощностью 0.2–0.8 м и пластом (18 м) гравелитов. Мощность свиты оценивается в 900–1430 м.

В выступах фундамента Среднеамурской впадины пиванская свита имеет подобное вышеописанному строение (к примеру, разрез, изученный в береговых обнажениях нижнего течения р. Сита) [5, 10].

На хр. Малый Хехцир песчаники в основании разреза (350 м), кроме пачек переслаивания их с алевролитами, содержат линзы гравелитов и мелкогалечных конгломератов мощностью до 3 м. Выше по разрезу залегает пачка (300 м) переслаивающихся песчаников (0.3–3 м) и алевролитов (0.2–0.4 м), которая сменяется мощной (850 м) толщей ритмичного переслаивания песчаников, алевролитов и аргиллитов. Мощность пиванской свиты по р. Сита составляет 840 м, а на хр. Хехцир достигает 1500 м.

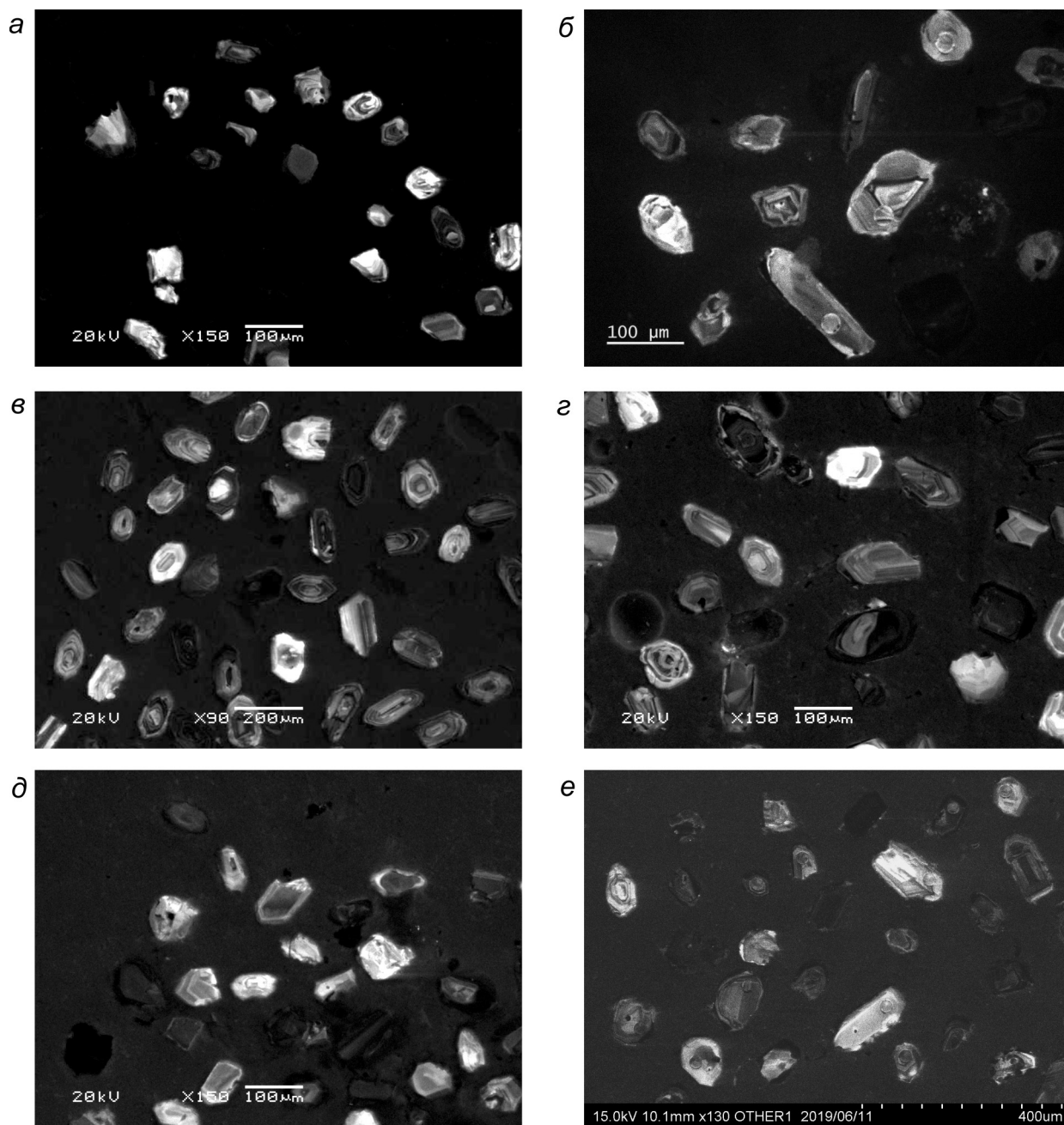
В алевролитах нижних и верхних частей свиты на правом берегу р. Амур [18] и в цементе гравелитов в бассейне р. Халбинка [2] собраны органические остатки, по заключению В. Н. Верещагина определяющие валанжинский возраст пиванской свиты.

Необходимо отметить, что недавние биостратиграфические исследования на опорном разрезе комсомольской серии по правому берегу р. Амур, напротив г. Комсомольск-на-Амуре [17] существенно уточнили возраст выделяемых здесь стратонев [5]. Так «толща ритмичного переслаивания», имеющая наиболее обширный выход в районе пристани Пивань (низы разреза – по [17]), отнесенная ранее к наиболее молодому стратону – валанжинской пиванской свите [5], отвечает верхневожскому подъярису [16]. Вышезалегающая «алевролитовая толща» [17], отнесенная согласно геологической карте масштаба 1:1 000 000 [5] к берриасской горинской свите, соответствует верхам верхневожского подъяруса-рязанскому ярусу. Самая верхняя «песчаниковая толща» [16] по макрофауне отнесена к нижнему валанжину.

#### МЕТОДИКА ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ

Из коренных обнажений осадочных отложений (преимущественно из песчаников) отбирались пробы весом до 7 кг. Дальнейшая пробоподготовка, экспериментальные измерения и первичный анализ данных проводились на базе Высшей школы науки и техники Университета г. Тояма (Япония).

После дробления и просеивания (< 250 мкм) проб зерна цирконов отделялись от остальной массы с помощью тяжелой жидкости (йодистый метилен, плотность 3.3 кг/м<sup>3</sup>). Потом зерна цирконов просматривались под бинокулярным микроскопом и выбирались наиболее целые формы (без видимых дефектов внутренней текстуры, включений, микротрещин и т.д.) (рис. 4). Затем зерна цирконов заливались акриловой смолой, полировались и изучались методами электронной микроскопии в обратно-отраженных электронах и катодоллюминесценции на сканирующем электронном микроскопе (JEOL JSM-5910LV), оснащенном детектором JEOL MP-Z01118T CL. Для анали-



**Рис. 4.** Катодолюминесцентные фотографии исследованных цирконов: горинской (*a* – 16061401, *б* – 17100501); пиванской (*в* – 16061601, *з* – 16061603) и пионерской (*д* – 16061402, *е* – 1700303) свит.

за выбирались зерна с четкой колебательной зональностью на катодолюминесцентных изображениях, которая свойственна магматическим цирконам [20], имеющим мало включений и микротрещин, чтобы избежать возможного влияния общего свинца на датировку возраста. Количество зерен для последующего изучения после такого анализа в каждой из 6 проб существенно сократилось. U-Pb-датирование цирконов проводилось в Институте сейсмических исследований Токийского

университета и в Высшей школе экологических исследований Нагойского университета на масс-спектрометре с лазерной абляцией и индуктивно связанной плазмой (LA-ICP-MS) Thermo Elemental Plasma Quad 3, сопряженном с New Wave UP-213 LA. Условия измерения были следующими: размер абляционного кратера составлял 25–30 мкм, плотность энергии 11–13 Дж/см<sup>2</sup>, частота импульсов 10 Гц, время предварительной абляции 8 с и основной – 10 с. В пиковом режиме из-

мерялась концентрация  $^{202}\text{Hg}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{238}\text{U}$ . В качестве контроля при проведении изотопно-геохимических экспериментальных исследований использовались стандартные цирконы 91500 с возрастом  $1062.4 \pm 0.4$  млн лет [24] и OD-3 с возрастом  $338 \pm 0.1$  млн лет [22].

Погрешности единичных анализов (отношений) и рассчитанный по ним U-Pb возраст для каждого отдельного зерна фиксировались с аналитической ошибкой измерения  $\pm 2\sigma$ . Зерна цирконов, в которых содержание  $^{206}\text{Pb}$  превышало 5 % мас., а отношение Th/U было менее 0.1, из дальнейшего анализа исключались. Погрешности вычисленных значений конкордантных возрастов и пересечений с конкордией также рассчитывалось на уровне  $2\sigma$ . Построение графиков с конкордией (рис. 5) проводилось с использованием программы Isoplot 3.75 [23].

В дальнейшем при расчете изотопных возрастов  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  зерна циркона с дискордантностью более 10 % исключались из дальнейшего анализа всей совокупности зерен. Для всех цирконов возраст рассчитывался по отношению  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , построение графиков распределения плотности вероятности их возраста проводилось в программе Isoplot 3.75 [23].

Для определения сходства или различия между полученными выборками первоначально они сортировались на основе визуального сопоставления их вероятностных функций распределения, которые отображают наличие и относительное обилие возрастных пиков. Сопоставление распределений возраста обломочных цирконов в исследованных образцах проводилось с использованием диаграмм плотности вероятности, их кумулятивных зависимостей, а также непараметрического теста Колмогорова-Смирнова [21], что позволяет избежать субъективизма при сравнении данных. С помощью теста Колмогорова-Смирнова сравниваются возрастные спектры детритных цирконов, чтобы оценить нулевую гипотезу о том, что два распределения одинаковы. В частности, тест K-S сравнивает максимальную разность вероятностей между двумя кумулятивными функциями распределения возрастных спектров, который суммирует вероятности с увеличением возраста и приводит к повышенной чувствительности относительного обилия возрастных пиков, а не к их наличию или отсутствию. Тест Колмогорова-Смирнова применялся в двух модификациях: 1) с использованием кумулятивной функции распределения, рассчитанной с учетом ошибок определения возраста каждого зерна циркона на уровне доверия 95 % ( $2\sigma$ ); 2) с использованием метода Монте-Карло для генерации случайного возраста каждого зерна в интервале  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возраст  $\pm 2\sigma$  [21].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Приведем геохронологические данные изученных пород по самым молодым популяциям детритовых цирконов из них.

Для пород **горинской свиты** (две пробы: № 17100501 –  $50.56892^\circ$  с.ш.,  $137.13861^\circ$  в.д. и № 16061401 –  $49.41222^\circ$  с.ш.,  $136.71099^\circ$  в.д., рис. 2, 3) изученные цирконы (рис. 4) по данным теста Колмогорова-Смирнова принадлежат одной совокупности:  $D = 0.2705$ ,  $p = 0.1350$ . Самые молодые популяции цирконов в пробе № 17100501 имеют возраст  $136.6 \pm 2.7$  млн лет (6 зерен), в другой пробе № 16061401 –  $110.8 \pm 4.8$  млн лет (1 зерно) (рис. 5–7).

Изученные цирконы (рис. 4) из двух проб (№ 16061402 –  $48.66595^\circ$  с.ш.,  $135.49855^\circ$  в.д. и № 17100303 –  $48.66199^\circ$  с.ш.,  $135.50412^\circ$  в.д.) **пионерской свиты** по данным теста Колмогорова-Смирнова также принадлежат одной совокупности:  $D = 0.1178$ ,  $p = 0.8214$ . Самые молодые популяции цирконов в пробе № 16061402 имеют возраст  $119.4 \pm 5.5$  млн лет (3 зерна), в другой пробе № 17100303 –  $142.2 \pm 1.0$  млн лет (2 зерна) (рис. 5–7).

Цирконы (рис. 4) из двух проб (№ 16061603 –  $48.66595^\circ$  с.ш.,  $135.49855^\circ$  в.д. и № 16061601 –  $48.66199^\circ$  с.ш.,  $135.50412^\circ$  в.д.) **пиванской свиты** по данным теста Колмогорова-Смирнова также принадлежат одной совокупности:  $D = 0.1178$ ,  $p = 0.8214$ . Самые молодые популяции цирконов в пробе № 16061601 имеют возраст  $154.2 \pm 3.3$  млн лет (2 зерна), в другой пробе № 16061603 –  $147.4 \pm 3.8$  млн лет (2 зерна) (рис. 5–7).

### СОПОСТАВЛЕНИЕ СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО ВОЗРАСТА ОТЛОЖЕНИЙ ИЗУЧЕННЫХ ПОРОД С ПОЛУЧЕННЫМИ ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ

Сопоставление возраста самых молодых популяций цирконов в изученных породах с их минимальным стратиграфическим возрастом показывает неоднозначную картину. Сопоставление изотопного  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возраста самых молодых популяций цирконов из этих свит с их стратиграфическим возрастом показало, что только для одной из них – валанжинской пиванской, самой верхней – они не противоречивы; возраст молодых цирконов составляет  $153.8 \pm 5.1$  млн лет (4 зерна), стратиграфический возраст пород свиты более 133–140 млн лет. Для двух других свит возраст самых молодых цирконов оказался моложе верхней границы их стратиграфического возраста. Согласно вновь полученным данным: 1) возраст отложений пионерской свиты не древнее баррема ( $125.1 \pm 4.0$  млн лет, 4 зерна), тогда как стратиграфический возраст



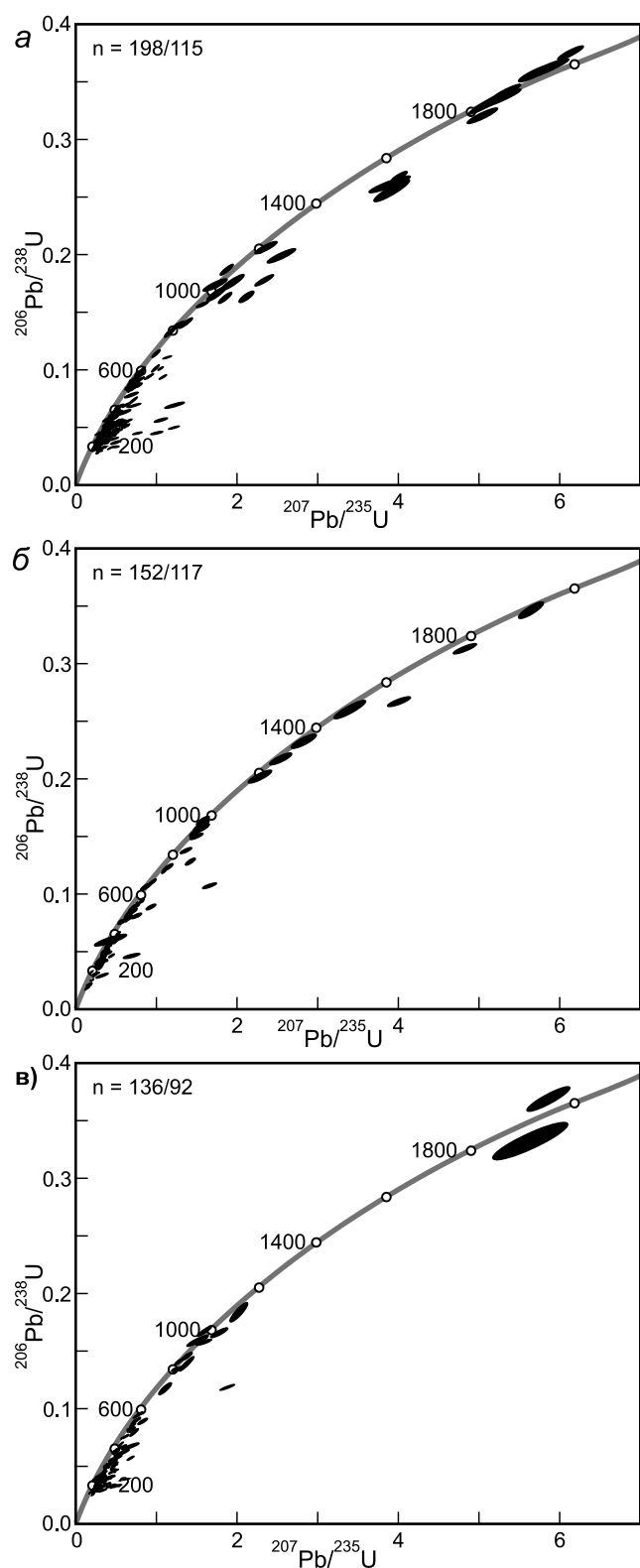


Рис. 5. Положение фигуративных точек изотопного состава исследованных зерен цирконов проб пиванской (а), пионерской (б) и горинской (в) свит на диаграммах  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} - ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  с конкордией.

свиты берриас–верхняя волга [8] древнее 140 млн лет; 2) возраст отложений горинской свиты не древнее готерива ( $128.6 \pm 10.6$  млн лет, 5 зерен), тогда как стратиграфический возраст свиты титон–берриас также древнее 140 млн лет.

Следует отметить, что для пиванской (верхней в стратиграфическом разрезе этих трех свит) и горинской (нижней) свит наблюдается обратная корреляция стратиграфического возраста рассматриваемых стратонтов и возраста самых молодых популяций детритовых цирконов. Для самой молодой валанжинской пиванской свиты комсомольской серии возраст самой молодой популяции цирконов в породах составляет в 154 млн лет (4 зерна), что соответствует поздней юре, и наоборот, для самой древней титон–берриасской горинской свиты возраст самой молодой популяции цирконов составляет 129 млн лет (5 зерен), что соответствует границе готерив–баррем.

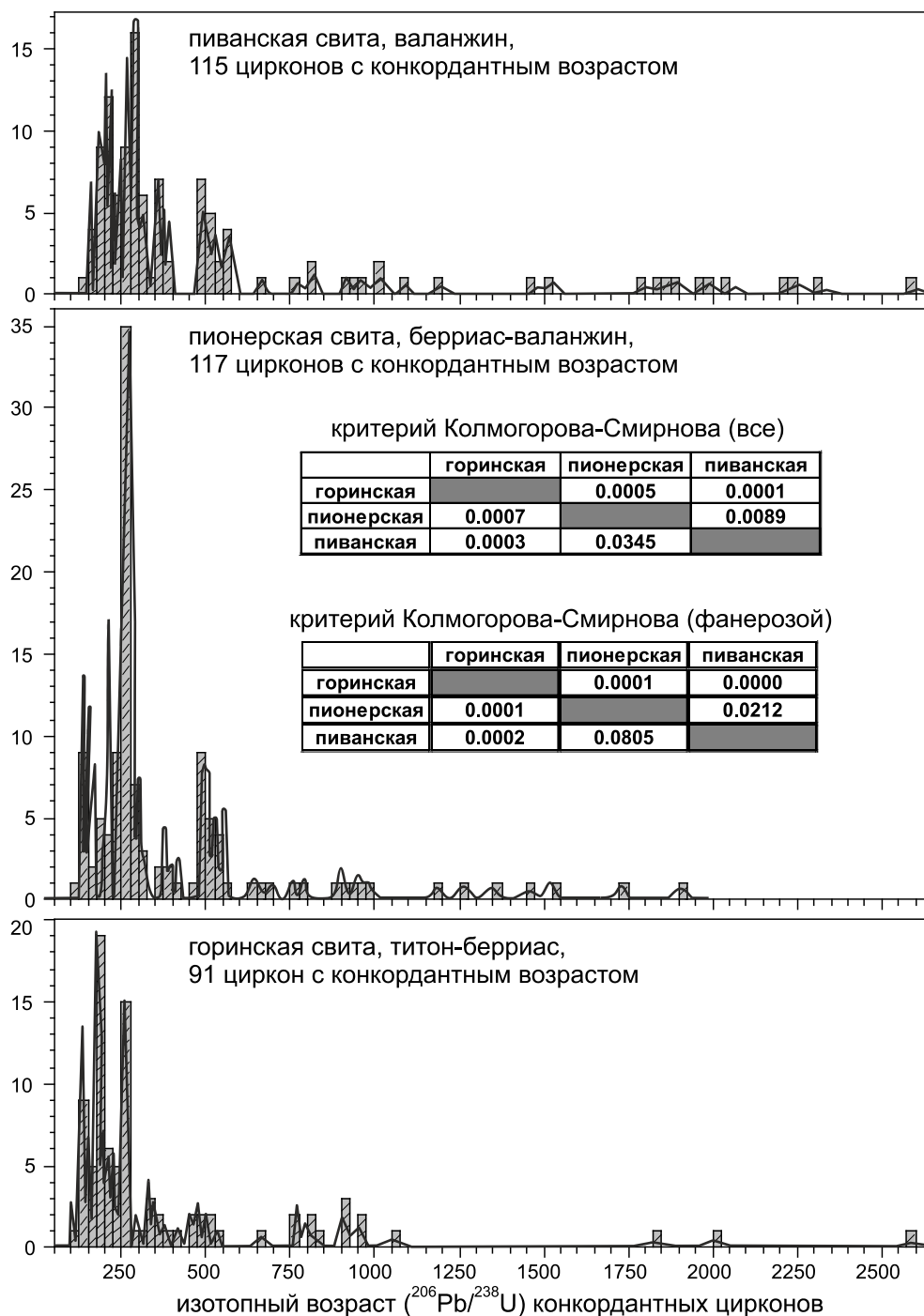
С помощью теста Колмогорова–Смирнова [21] мы сравнили возрастные спектры детритных цирконов трех свит для оценки нулевой гипотезы о равенстве этих распределений (рис. 6). Для всех цирконов вместе с докембрийскими гипотезу о равенстве их распределений в породах трех свит можно отвергнуть – критерий  $p$  существенно меньше порогового значения (0.05). Для фанерозойских цирконов ситуация несколько иная: 1) для сочетаний горинская–пионерская и горинская–пиванская свиты ситуация сохраняется – критерий  $p$  существенно меньше порогового значения; 2) для сочетания пионерская–пиванская свиты критерий  $p$  в случае его расчета с использованием метода Монте-Карло превышает пороговое значение, а значит различия в распределениях возраста детритовых цирконов этих свит не значимы.

На основании этих данных можно заключить, что источники кластического материала для пионерской и пиванской свит были одни и те же, тогда как горинской, с одной стороны, и пионерская–пиванская, с другой стороны, были различны.

#### ВЫВОДЫ

Всего лишь в двух пробах возраст самых молодых популяций цирконов, в какой то мере, сопоставляется со стратиграфическим возрастом рассмотренных отложений. Так, в одной пробе титон–берриасской горинской свиты нижний возраст по детритовым цирконам соответствует валанжину. В другой пробе берриас–валанжинской пионерской свиты нижний возраст по детритовым цирконам оценивается как берриас.

Главный вывод (на основании четырех проб) работы можно сформулировать следующим образом.

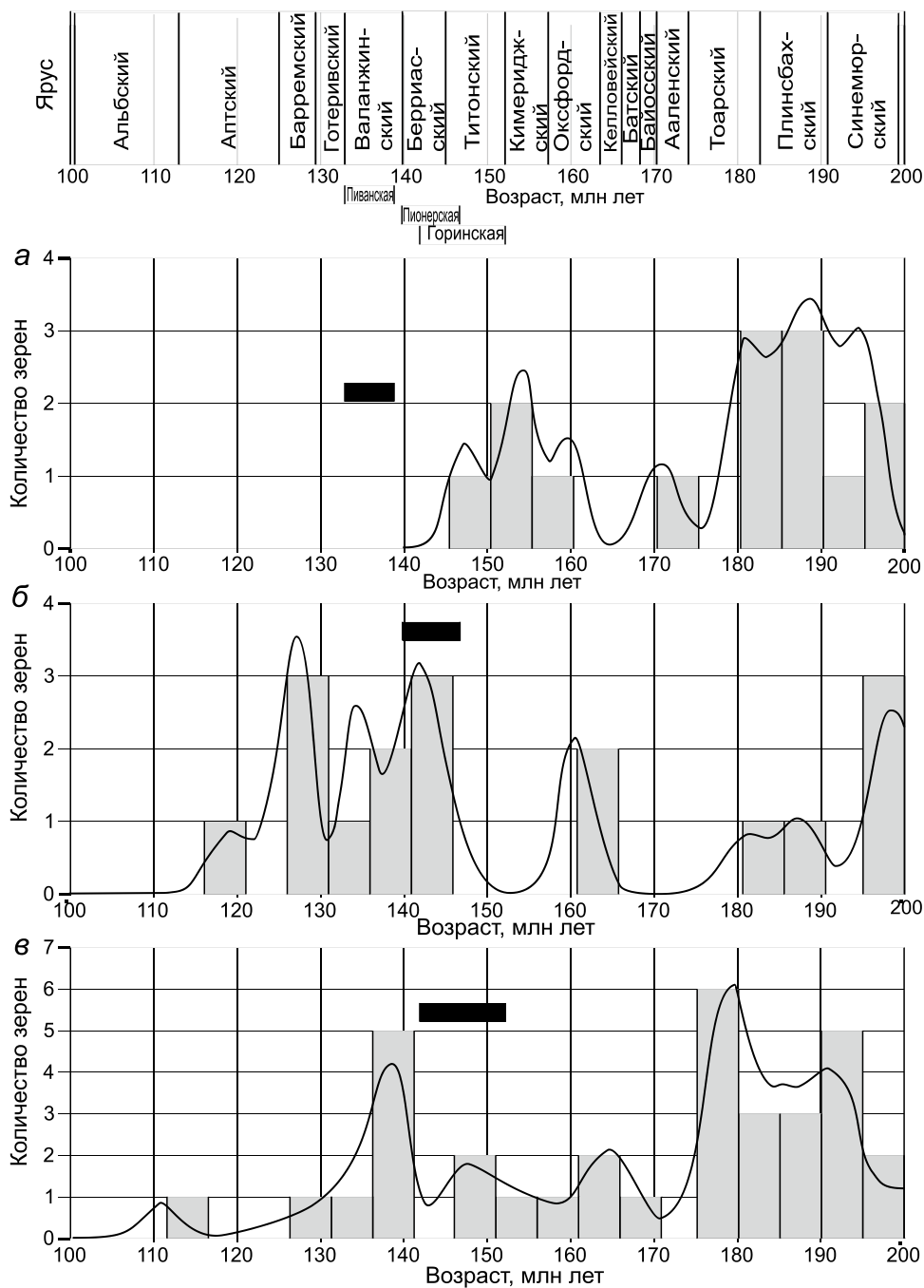


**Рис. 6.** Сопоставление суммарных гистограмм распределения возраста конкордантных цирконов трех свит комсомольской серии и расчетные критерии Колмогорова-Смирнова (над диагональю матрицы – кумулятивные функции фактических распределений, под диагональю – кумулятивные функции распределений, рассчитанных с использованием метода Монте-Карло).

Линейными графиками обозначена плотность вероятности распределения возрастов детритовых цирконов с конкордантными датировками.

Изотопный  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возраст самых молодых популяций детритовых цирконов из песчаников самой молодой валанжинской пиванской свиты оказался самым древним (поздняя юра), а из осадков самой древней

титон-берриасской горинской свиты – самым молодым (апт). Этот вывод, в какой то мере, подтверждает недавние биостратиграфические исследования в районе г. Комсомольск-на-Амуре [17]. Так, выделенная



**Рис. 7.** Сопоставление стратиграфического возраста пиванской (а), пионерской (б) и горинской (в) свит и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возраста самых молодых популяций цирконов в пробах этих свит. Линейными графиками обозначена плотность вероятности распределения возрастов детритовых цирконов с конкордантными датировками.

на геологической карте масштаба 1:1 000 000 [5] в районе пристани Пивань самая молодая валажинская пиванская свита по бухиям соответствует самой древней здесь толще «ритмичного переслаивания» поздневожского возраста [17].

Необходимо отметить, что сформулированный вывод справедлив лишь только для районов проведен-

ных исследований. В основу расчленения отложений на свиты положены, прежде всего, литологические критерии, а состав свит очень схож, поэтому отложения свит изученных районов в других местах могли быть отнесены к совершенно другим стратонам.

Установленное различие между геохронологическим и стратиграфическим возрастом изученных

стратонев комсомольской серии необходимо учитывать при различных геологических построениях, но лишь только на изученных территориях.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность рецензентам рукописи Ю.Н. Смирновой и В.Е. Кузнецову, чьи замечания способствовали улучшению качества представляемого материала. Исследования поддержаны Российско-Японской программой совместных исследовательских проектов РФФИ (грант № 21-55-50001) и JSPS (грант № 120214804).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аношкин В.И., Кириллова Г.Л., Эйхвальд Л.П. Новые представления о составе, строении и возрасте нижеамурского фрагмента позднеюрской - раннемеловой аккреционной призм (Дальний Восток) // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 6. С. 60–77.
2. Бельгенов Е.Б., Исаков А.И. Геологическая карта СССР. 1:200 000. Серия Нижне-Амурская. Лист М-53-ХП: Объяснит. зап. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 67 с.
3. Верещагин В.Н. Меловая система Дальнего Востока. Л.: Недра, 1977. (Тр. ВСЕГЕИ; нов. сер.; вып. 242). 208 с.
4. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1 (1–572 с). Кн. 2 (573–981).
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000. Лист М-53 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Хабаровск: Объясн. зап. СПб: Изд-во СПб картфабрика ВСЕГЕИ, 2009. 376 с.+3 вкл.
6. 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-Алиньского орогенного пояса: тектонические следствия // Тихоокеан. геология. 2020. Т. 39, № 1. С. 3–23.
7. Кайдалов В.А., Аношкин В.И., Беломестнова Т.Д. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:200 000. Лист М-54-1: Объясн. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 185 с.
8. Калинин Е.А. Руководящие комплексы фауны (bivalvia, ammonoidea) морского мела на севере Сихотэ-Алиня и в Нижнем Приамурье // Тектоника, глубинное строение и минералогия Востока Азии: X Косыгинские чтения: Материалы Всерос. конф. с международным участием, 10–12 сентября 2019, г. Хабаровск / Отв. ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Манилов. Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2019. С. 45–47.
9. Легенда Николаевской серии листов Госгелкарты-200/2.: Объясн. зап. / Отв. исп. Е.А. Тиньков; гл. научн. ред. В.А. Кайдалов. Хабаровск, 2009. 112 с.
10. Масиброда Г.В., Никольский В.М. Геологическая карта СССР. 1:200 000. Серия Сихотэ-Алинская. Лист М-53-XXXIV: Объясн. зап. М.: Союзгеолфонд, 1980. 121 с.
11. Натальин Б.А., Алексеенко С.Н. Структура нижнемеловых отложений фундамента среднеамурской впадины // Тихоокеан. геология. 1989. № 1. С. 37–46.
12. Натальин Б.А. Мезозойская аккреционная и коллизионная тектоника юга Дальнего Востока СССР // Тихоокеан. геология. 1991. Т. 20, № 5. С. 3–23.
13. Натальин Б.А., Фор М. Геодинамика восточной окраины Азии в мезозое // Тихоокеан. геология. 1991. № 6. С. 2–24.
14. Натальин Б.А., Фор М., Монье П. и др. Анюйский метаморфический купол (Сихотэ-Алинь) и его значение для мезозойской геодинамической эволюции Восточной Азии // Тихоокеан. геология. 1994. № 6. С. 3–25.
15. Огнянов Н.В., Селезнев П.Н., Усенко С.Ф. Геология и металлогения олова Дальневосточной оловоносной провинции // Геология оловорудных месторождений СССР. М.: Недра, 1986. Т. 2. Оловорудные месторождения СССР, кн. 1. С. 249–276.
16. Осипова Н. К. Геологическая карта СССР. 1:200 000. Серия Нижне-Амурская. Лист М-53-ХVII: Объясн. зап. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 79 с.
17. Урман О.С., Дзюба О.С., Кириллова Г.Л., Шурыгин Б.Н. Бухии и биостратиграфия пограничных юрско-меловых отложений в комсомольском разрезе (Дальний Восток России) // Тихоокеан. геология. 2012. Т. 33, № 5. С. 34–46.
18. Фрейдин А.И., Богуславский И.С., Николаева Т.В. Геологическая карта. 1:200 000. Лист М-53-ХVIII: Объясн. зап. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 80 с.
19. Ханчук А.И., Голозубов В.В., Симаненко В.П., Малиновский А.И. Гигантские складки с крутопадающими шарнирами в структурах орогенных поясов (на примере Сихотэ-Алиня) // Докл. АН. 2004. Т. 394. № 6. С. 791–795.
20. Corfu F., Hanchar J.M., Hosikin P.W.O., Kinny P. Atlas of zircon textures / J.M. Hanchar, P.W.O. Hosikin (eds.) // Zircon, reviews in mineralogy and geochemistry 53. Miner. Soc. Am. Washington, DC. 2003. P. 469–500.
21. Guynn J., Gehrels G. Comparison of detrital zircon age distributions using the K-S test 2010 // <https://sites.google.com/a/laserchron.org/laserchron/home/> (Tools/Proposal Tools).
22. Iwano H., Orihashi Y., Hirata T., Ogasawara M., Danhara T., Horie K., Hasebe N., Sueoka S., Tamura A., Hayasaka Y., Katsube A., Ito H., Tani K., Kimura J., Chang Q., Kouchi Y., Haruta Y., Yamamoto K. An inter-laboratory evaluation of OD-3 zircon for use as a secondary U-Pb dating standard // Island Arc. 2013. V. 22, Is. 3. P. 382–394.
23. Ludwig K.R. User's manual for Isoplot 3.75: a geochronological toolkit for Microsoft Excel // Spec. Public. N 5. Berkeley Geochronology Center, 2012. 75 p.
24. Wiedenbeck M., Hanchar J.M., Peck W.H., Sylvester P., Valley J., Whitehouse M., Kronz A., Morishita Y., Nasdala L., Fiebig J., Franchi I., Girard J.-P., Greenwood R.C., Hinton R., Kita N., Mason P.R.D., Norman M., Ogasawara M., Piccoli P.M., Rhede D., Satoh H., Schulz-Dobrick B., Skar O., Spicuzza M.J., Terada K., Tindle A., Togashi S., Vennemann T., Xie Q., Zheng T.-F. Further characterisation of the 91500 zircon crystal // Geostand. Geoanal. Res. 2004. V. 28. P. 9–39.

Рекомендована к печати А.А. Сорокиным

после доработки 14.04.2022 г.

принята к печати 23.04.2022 г.

*A.V. Kudymov, Sh. Oto, M.V. Arkhipov, A.Yu. Peskov, S.V. Zybrev, M. Nagata, A.N. Didenko*

**LA-ICP-MS U-Pb ages of detrital zircons from sedimentary rocks of the Komsomolskaya Group  
(northern Sikhote-Alin)**

A geochronological study of detrital zircons from sedimentary rocks of the Gorinskaya (91 zircons with concordant ages), Pionerskaya (117 zircons with concordant ages), and Pivanskaya (115 zircons with concordant ages) formations of the Komsomolskaya Group was carried out. Comparison of the  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  isotopic age of the youngest zircon populations from these formations with their stratigraphic age revealed that they are consistent only for one of them (Pivanskaya Formation). For the other two formations, the youngest zircons turned out to be significantly younger than the upper limit of their stratigraphic age. New evidence shows that: 1) the age of the «Berriassian-Valanginian» deposits of the Pionerskaya Formation is not older than the Barremian; and 2) the age of the «Titonian-Berriassian» deposits of the Gorinskaya Formation is not older than the Hauterivian. The division of deposits in the Komsomolskaya Group into formations is based primarily on lithological criteria, and since the composition of the formations is very similar, similar deposits in other Lower Cretaceous sections of the region may have been assigned to other stratigraphic units, so the above conclusion is valid only for the sections we studied.

**Key words:** detrital zircons, geochronology, Zhuravlevka-Amur terran, Sikhote-Alin.