

КОРДОНКИНСКИЙ ТЕРРЕЙН – ФРАГМЕНТ РАННЕПАЛЕОЗОЙСКОЙ АКТИВНОЙ ОКРАИНЫ

© 2021 В.В. Голозубов¹, А.И. Малиновский¹, А.А. Чашин¹, А.Т. Кандауров³,
В.Б. Хубанов², С.А. Касаткин¹, М.В. Желдак¹, Т.В. Оруджев¹

¹Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия, 690022;
e-mail: golozubov@fegi.ru

²Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия, 670047

³АО «Дальневосточное ПГО, Владивосток, Россия, 169009

Кордонкинская свита (нижний силур) образует линзовидный тектонический блок шириною до 4 км, вытянутый на юг от района пос. Пограничный (Приморский край) на расстояние около 30 км. Она образована глинистыми сланцами, вулканогенно-осадочными породами с горизонтами песчаников, алевролитов, конгломератов и кремней, содержит также потоки базальтов и андезибазальтов. Результаты литолого-геохимического изучения терригенных пород свиты свидетельствуют о том, что кордонкинская свита накапливалась во внешней приокеанической части палеоостроводужной системы. Свита прорвана и частично ассимилирована интрузиями гранитоидов среднепалеозойского и позднепермского возраста. Для ранней фазы гранитоидов получены U-Pb датировки по цирконам 373.1 ± 1.7 и 383.5 ± 1.6 млн лет (поздний девон). Поздняя фаза охарактеризована цифрами 261.2 ± 1.2 , 257.4 ± 0.93 и 261.5 ± 1.6 млн лет (кептенский ярус средней перми). Впервые установленные в этом районе гранитоиды девона фиксируют, по-видимому, эпизод приращения Кордонкинского блока к консолидированному в ордовике Бурея-Цзямусы-Ханкайскому орогенному поясу. Кордонкинский террейн, таким образом, фиксирует самостоятельный ранне-среднепалеозойский эпизод при формировании и закрытии Центрально-Азиатского палеоокеана.

Ключевые слова: кордонкинская свита, U-Pb датировки, раннесилурийская островодужная система, Приморье.

ВВЕДЕНИЕ

Кордонкинская свита (нижний силур) образует линзовидный тектонический блок шириною до 4 км, вытянутый на юг от района пос. Пограничный (Приморский край) на расстояние около 30 км (рис. 1). Западнее этого блока прослежены ранне-среднепермские породы казачкинской и решетниковской свит, прорванные позднепермскими интрузиями гранитоидов. На востоке свита прорвана и частично ассимилирована интрузиями гранитоидов среднепалеозойского и позднепермского возраста. Общая мощность свиты до 2000 м. Она образована глинистыми сланцами, вулканогенно-осадочными породами с горизонтами песчаников, алевролитов, конгломератов и кремней, содержит также потоки базальтов и андезибазальтов. Породы в той или иной мере претерпели зеленокаменные изменения.

Подошва свиты не установлена, контакты с пермскими отложениями повсеместно тектонические. Они смяты в сложную систему складок субмеридионального — северо-северо-западного простирания и нарушены многочисленными разрывами.

Впервые свита описана как туфогенно-осадочная толща в отчете Н.М. Органовой (1959)¹.

¹ Органова Н.М. Промежуточный отчет о работах 1957–1959 гг. по теме: Стратиграфия, петрография, полезные ископаемые верхнепалеозойских отложений Сунгари-Уссурийского геологического региона. Владивосток: Приморское геологическое управление, 1959. 120 с. [*Organova N.M.* Progress report on works of 1957–1959 on the topic of stratigraphy, petrography, mineral resources of upper Paleozoic sediments of the Songhua-Ussuriysk geological region. Vladivostok: Geological administration of Primorye, 1959. 120 p.]

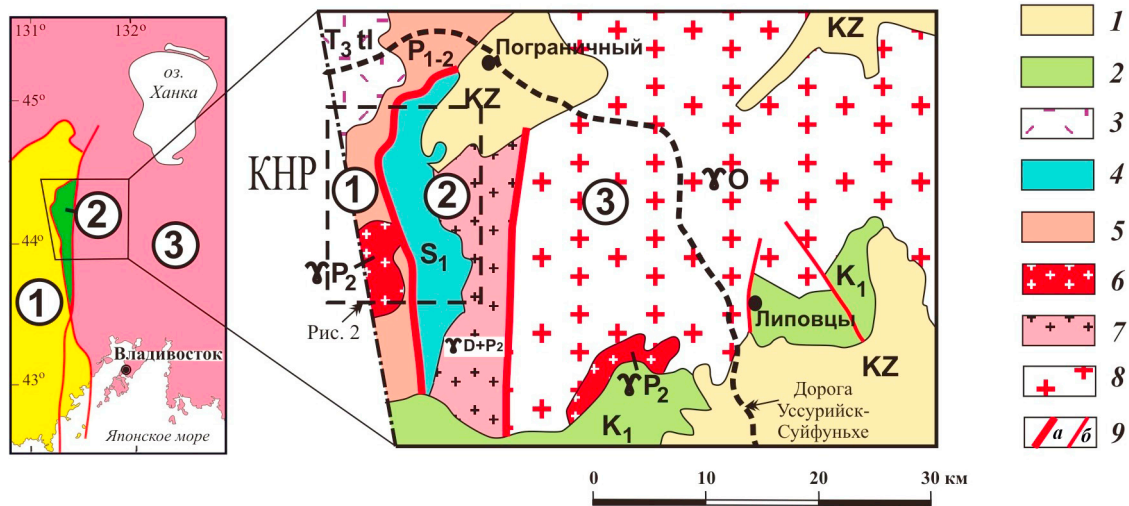


Рис. 1. Геологическая карта района исследований по (Геологическая..., 1986) с упрощениями: 1–3 — перекрывающиеся комплексы: 1 — кайнозойские, 2 — нижнемеловые и 3 — верхнетриасовые; 4 — нижнесилурийские терригенные и вулканогенные образования (кордонкинская свита); 5 — ниже- и среднепермские терригенные образования (казачкинская и решетниковская свиты); 6–8 — граниты позднепермские (6), девонские и позднепермские нерасчлененные (7), ордовикские (8); 9 — разломы: а — разграничивающие террейны, б — прочие. Цифрами в кружочках обозначены: 1 — Лаоэлин-Гродековский, 2 — Кордонкинский и 3 — Вознесенский террейны.

Fig. 1. Geological map of the study area according to (Geological..., 1986), simplified: 1–3 — overlapping complexes: 1 — Cenozoic, 2 — Lower Cretaceous and 3 — Upper Triassic; 4 — Lower Silurian terrigenous and volcanic rocks (the Kordonka Formation); 5 — Lower and Middle Permian terrigenous rocks (Kazachka and Reshetnikov Formations); 6–8 — Late Permian (6), Devonian and Late Permian undivided (7), and Ordovician granitoid (8); 9 — faults: а — bordering terranes, б — others. Numbers in circles indicate: 1 — Laoeling-Grodekovo, 2 — Kordonka, and 3 — Voznesensk terranes.

Обнаруженные на разрезе вдоль р. Кордонка остатки трилобитов первоначально датировали толщу ранним девоном (Максимова, Органова, 1959). В дальнейшем эта толща получила название кордонкинской свиты и на упомянутом выше опорном разрезе Н.М. Органова, а позднее Е.П. Гуров², Ю.Б. Евланов (1970) и Ю.Е. Литвинов (1962)³ собрали представительную коллекцию остатков трилобитов и брахиопод, характерных для силур-девона. Более точно свита была датирована в связи с тем, что 1980–1982 гг. Л.А. Изосов и А.С. Гонохов обнаружили в ее составе остатки граптолитов, брахиопод, трилобитов и тентакулитов, характерных для раннего силура (Изосов и др., 1983; Изосов и др., 1986; Изосов и др., 1988).

² Гуров Е.П. Отчет Байкальской геологической партии о работах, проведенных в 1960 г. Пос. Угловое: Приморское геологическое управление 1961. 201 с. [Gurov E.P. Report of Baikal geological survey party on works conducted in 1960. Uglovoye village.: Geological administration of Primorye, 1961. 201 p.]

³ Литвинов Ю.Е., Афанасьева В.М. Отчет Фадеевской геологической партии за 1960–1961 гг. Владивосток: Приморское геологическое управление. 1962. 309 с. [Litvinov Yu.E., Afanasieva V.M. Report of Fadeev geological survey party on works conducted in 1960–1961. Vladivostok: Geological administration of Primorye, 1962. 309 p.]

В этом отношении свита достаточно уникальна — доказанный нижний силур на территории Приморья больше нигде не установлен.

Более детально свита исследована А.Т. Кандауровым и В.А. Никогосяном (1984)⁴ в процессе геологической съемки масштаба 1:50 000, выполненной в 1982–1984 гг. с применением большого объема горных выработок.

Положение описываемого блока в структурах Юго-Западного Приморья, как и геодинамическая природа образующих ее комплексов, до настоящего времени остаются неясными. На тектонической схеме Б.А. Иванова (1960) этот блок включен в Гродековскую структурно-фациальную зону. При этом предполагалось, что главная складчатость в этой зоне, сопровождающаяся внедрением значительным объемом гранитных

⁴ Кандауров А.Т., Никогосян В.А. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейнов рек Кордонки, Золотой, Байкала и Фадеевки. Отчет Западной партии о работах в 1982–1984 гг. Владивосток: ПГО «Приморгеология». 1984. 255 с. [Kandaurov A.T., Nikogosyan V.A. Geological structure and mineral resources of the Kordonka, Zolotaya, Baikal, and Fadeevka Rivers' Basins. Report of the Western party on works conducted in 1982–1984. Vladivostok: Production geological association «Primorgeologiya». 1984. 255 p.]

батолитов, произошла в поздней перми (Иванов, 1960) в отличие от соседствующего Ханкайского массива, где платформенный этап наступил уже в ордовике (Геодинамика..., 2006; Крук и др., 2016). На более поздних тектонических схемах выходы нижнесилурийской кордонкинской свиты также включались в состав области позднепалеозойской складчатости (Мельников, Изосов, 1984; Олейник, 1983). На схеме террейнов Приморья (Ханчук и др., 1995) этот блок включен в состав Лаоэлин-Гродековского террейна — фрагмента позднепалеозойской активной окраины. Предполагается также, что последний составляет фрагмент восточного окончания Центрально-Азиатского складчатого пояса, возникшего на месте Солонкерского палеоокеана в завершающую фазу его развития (Парфенов и др., 2003). Однако эта реконструкция отвечает, в первую очередь, позднепалеозойскому — раннемезозойскому этапу и блок, сложенный раннесилурийскими породами, на этом фоне представляет собой экзотическое образование.

В настоящей статье отражены результаты литологических, геохронологических и структурных исследований свиты с целью выявления геодинамической обстановки ее формирования и места блока в современной структуре региона. В связи с очень плохой обнаженностью исследования выполнены на локальных участках — вдоль правобережья р. Кордонки (опорный разрез свиты) и вдоль дороги, соединяющей села Софья-Алексеевское и Байкал (рис. 2).

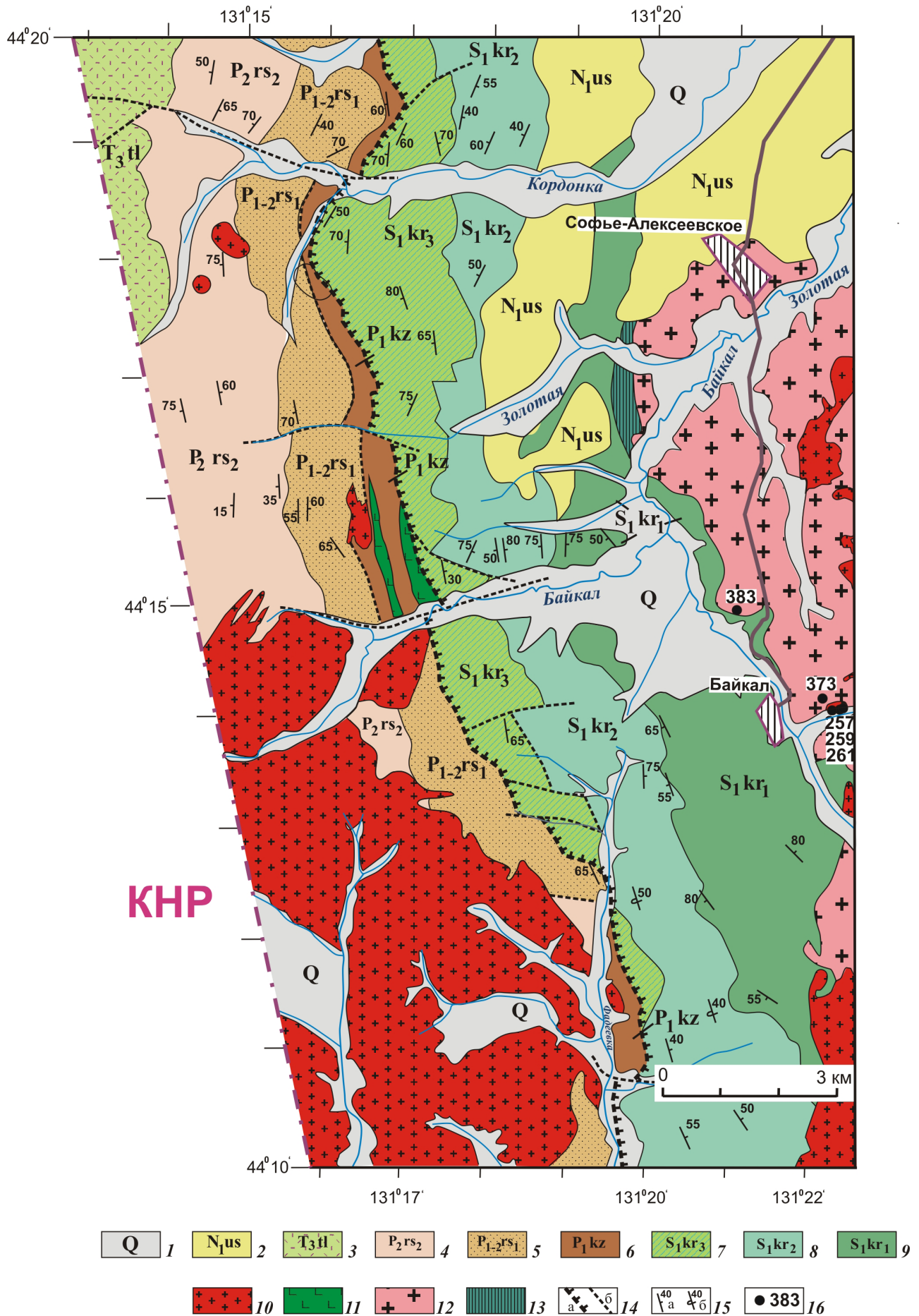
ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ КОРДОНКИНСКОЙ СВИТЫ

По литологическому составу кордонкинская свита разделена на три подсвиты (Изосов и др., 1986, 1988). Нижняя (до 810 м) сложена преимущественно вулканитами — лавами базальтов, их туфами и туффитами. Значительно реже встречаются прослои алевролитов и аргиллитов, а также линзы кремнистых пород и конгломератов. Средняя подсвита (720 м) образована преимущественно алевролитами и глинистыми сланцами с прослоями мелкозернистых песчаников. Верхняя подсвита (до 460 м) представляет собой переслаивание разнородных песчаников, алевролитов, гравелитов и конгломератов. На отдельных участках подсвита содержит также горизонты туфов андезитов и базальтов.

Для геохимических исследований с целью выявления геодинамической природы раннесилурийского вулканизма базальты и их туфы оказались непригодны из-за весьма интенсивных вторичных изменений. Кроме того, кордонкинская свита, как и располагающиеся западнее пермские казачкинская и решетниковская свиты, содержит большое количество даек и штоков пород основного и среднего состава, которые датируются поздней пермью. Эти породы также часто сильно изменены и определить по их составу принадлежность конкретного тела к силурийскому или позднепермскому комплексам весьма затруднительно. Поэтому

Рис. 2. Геологическая карта бассейнов рек Кордонка, Байкал и Фадеевка. Составлена по материалам геологической съемки масштаба 1:50 000 (Кандауров, Никогосян, 1984)⁴ с небольшими изменениями и дополнениями: 1 — четвертичный аллювий; 2 — миоценовая усть-суйфунская свита; 3 — верхнетриасовая тальминская толща; 4 — среднепермская верхняя подсвита решетниковской свиты, преимущественно алевролиты; 5 — ниже-среднепермская нижняя подсвита решетниковской свиты, переслаивание песчаников и алевролитов; 6 — нижепермская казачкинская свита, кислые вулканиты и вулканогенно-осадочные породы; 7–9 — нижесилурийская кордонкинская свита: 7 — верхняя подсвита, туфопесчаники, алевролиты, конгломераты, туфы основного и среднего состава, 8 — средняя подсвита, преимущественно алевролиты и глинистые сланцы, 9 — нижняя подсвита, туфы и лавы основного состава, туфогенно-осадочные породы; 10 — позднепермские гранитоиды; 11 — позднепермские субвулканические тела габбро и диабазов; 12 — девонские гранитоиды; 13 — раннесилурийские субвулканические тела основного и среднего состава; 14 — разломы: а — надвиг вдоль западной границы Кордонкинского террейна, б — прочие; 15 — залегания слоистости: а — без определения положения подошвы- кровли пластов, б — опрокинутые; 16 — точки отбора образцов для определения U-Pb возраста цирконов и возраст пород в млн лет.

Fig. 2. Geological map the Kordonka, Baikal, and Fadeevka river basins. Compiled on the basis of 1:50,000 scale geological survey (Kandaurov, Nikogosyan, 1984)⁴ with minor changes and additions: 1 — Quaternary alluvium; 2 — Miocene Ust-Suifun formation; 3 — Upper Triassic Talmin strata; 4 — Middle Permian upper subformation of the Reshetnikov Formation, mainly siltstones; 5 — Lower to Middle Permian lower subformation of the Reshetnikov Formation, composed of interlayering sandstones siltstones; 6 — Lower Permian Kazachka formation, felsic volcanic rocks and volcanic-sedimentary rocks; 7–9 — Lower Silurian Kordonka Formation: 7 — upper subformation, tuff-sandstones, siltstones, conglomerates, tuffs of basic and medium composition, 8 — middle subformation, mainly siltstones and argillaceous slates, 9 — lower subformation, tuffs and lavas of basic composition, tuffe-sedimentary rocks; 10 — Late Permian granitoids; 11 — Late Permian subvolcanic gabbro and diabases; 12 — Devonian granitoids; 13 — Lower Silurian subvolcanic bodies of basic and medium composition; 14 — faults: а — thrust along the western boundary of the Kordonka terrane, б — others; 15 — bedding attitude: а — without determined position of the sole and top of beds, б — overturned; 16 — sampling points for U-Pb dating of zircons and age of rocks in million years.



основное внимание было уделено исследованию терригенных пород, в первую очередь песчаников свиты, поскольку они содержат информацию о составе источников питания и геодинамической позиции бассейнов седиментации.

Исследованные песчаники от мелко- до крупнозернистых, иногда неравномернозернистые, обладают слабой либо средней степенью сортированности обломочного материала. Зерна угловатые и угловато-окатанные, реже окатанные, цемент, содержание которого достигает 30% объема породы, поровый, пленочный и базальный, представлен хлоритом с незначительной примесью смектита — продуктами разложения вулканического материала основного и среднего состава. Обломочная часть песчаников состоит из кварца, полевых шпатов и обломков пород, при этом на классификационной диаграмме В.Д. Шутова (1967) их фигуративные точки образуют единое поле, попадая в область кварцево-полевошпатовых граувакк. На диаграмме типов питающих провинций (Dickinson, Suczek, 1979) песчаники попадают в область магматических дуг (рис. 3а). Среди обломков

пород, количество которых в сумме составляет от 34 до 49 %, преобладают основные и средние эффузивные породы (40–64 % от общего количества обломков), меньше терригенных (17–35 %) и кремнистых (8–21 %) пород, а обломки кварцитов и сланцев редки. Таким образом, по составу породообразующих компонентов изученные кордонкинские песчаники близки и относятся к вулканомиктовым. Однако, судя по материалам геологической съемки (Кандауров, Никогосян, 1984)⁴, отдельные прослои песчаников представлены аркозами, а в составе галек конгломератов и обломков в вулканомиктовых брекчиях установлены граниты, которые, по-видимому, входили в состав фундамента вулканических построек.

В песчаниках установлены две ассоциации тяжелых минералов. Наиболее распространена ассоциация минералов, связанных с разрушением основных и ультраосновных магматических пород: хромит, магнетит, пироксен, роговая обманка, эпидот, а также ильменит и лейкоксен, которые, свою очередь, могут встречаться и в гранитоидах. Основной минерал этой ассоциации — хромит, среднее содержание которого

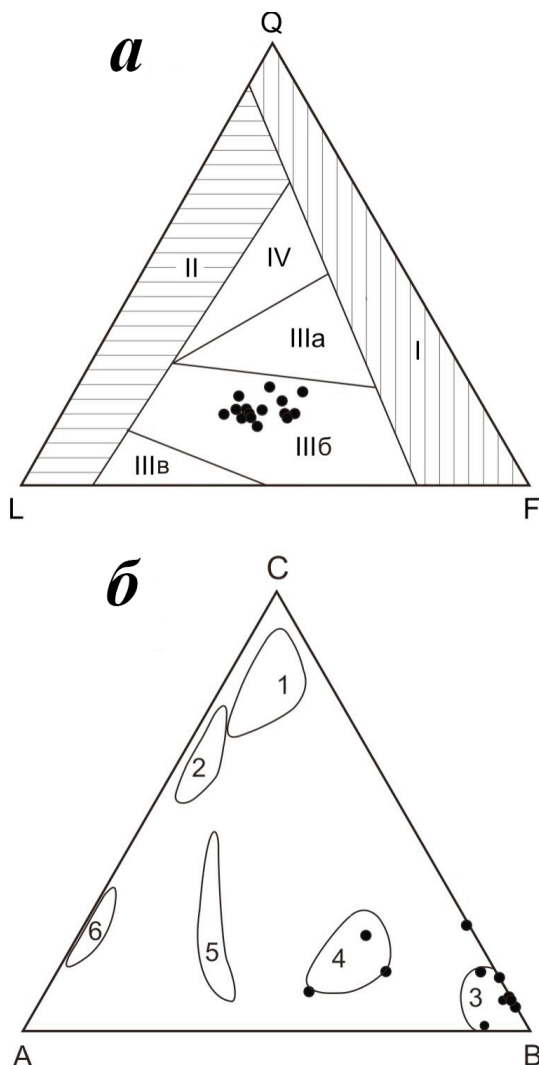


Рис. 3. Диаграммы типов питающих провинций для песчаных пород кордонкинской свиты: *a* — по породообразующим компонентам по (Dickinson, Suczek, 1979). Q — кварц; L — обломки пород; F — полевые шпаты. Типы питающих провинций: I — устойчивые кратоны и поднятые блоки основания, II — ремобилизованные орогены, III — магматические дуги (IIIa — расчлененные, глубоко эродированные, IIIб — переходные, IIIв — нерасчлененные, слабо эродированные), IV — смешанные источники питания; *б* — по тяжелым обломочным минералам, по (Garsanti, Ando, 2007). А — амфиболы; В — клинопироксены, ортопироксены, оливины и хромиты; С — другие прозрачные минералы. Типы питающих провинций: 1 — континентальные блоки (кратоны и краевые части рифтов); 2 — коллизионные орогены; 3–6 — магматические дуги: 3 — неэродированные, 4 — переходные слабоэродированные, 5 — переходные эродированные, 6 — сильноэродированные. Точками обозначены составы исследованных образцов.

Fig. 3. Diagrams of feeding province types for sandy rocks of the Kordonka Formation: *a* — by rock-forming components, according to (Dickinson, Suczek, 1979). Q — quartz; L — rock fragments; F — feldspars. Types of feeding provinces: I — stable cratons and uplifted basement blocks, II — remobilized orogens, III — magmatic arcs (IIIa — dissected, deeply eroded, IIIb — transitional, IIIc — undissected, weakly eroded), IV — mixed supply; *b* — by heavy detrital minerals, by (Garsanti, Ando, 2007). A — amphiboles; B — clinopyroxenes, orthopyroxenes, olivines, and chromites; C — other transparent minerals. Types of feeding provinces: 1 — continental blocks (cratons and marginal parts of rifts); 2 — collisional orogens; 3–6 — magmatic arcs: 3 — uneroded, 4 — transitional slightly eroded, 5 — transitional eroded, 6 — strongly eroded. The dots indicate compositions of tested samples.

составляет 55 %, в некоторых же пробах оно достигает 88% всех минералов. В значительно меньших количествах встречаются амфибол (в отдельных пробах до 50 %), пироксены (до 30%), магнетит (до 9%), эпидот (до 21%), ильменит и лейкоксен (в сумме до 45%). Вторую ассоциацию тяжелых минералов в песчаниках образуют циркон, гранат, турмалин и апатит — минералы, связанные с разрушением кислых изверженных и метаморфических пород. Содержание этих минералов крайне невелико, в сумме в среднем не превышает 8% и лишь в отдельных пробах циркон составляет 10–18%. На диаграмме, предложенной Э. Гарзанти и С. Андо (2007) выделяются поля ассоциаций тяжелых минералов, характерных для различных питающих провинций: континентальных блоков (кратонов и краевых частей рифтов), в различной степени эродированных магматических дуг и коллизионных орогенов. Точки составов ассоциаций тяжелых минералов изученных песчаников кордонкинской свиты на этой диаграмме (рис. 3б) попадают в поля питающих провинций островных дуг, главным образом неэродированных и, частично, переходных слабоэродированных. Островодужная природа источника обломочного материала подтверждается также микрохимическим составом пироксенов, амфиболов и хромитов, при этом часть из них происходила из ультраосновных магматических пород офиолитов, вероятно входивших в состав островной дуги. Речь идет, по-видимому, о внешней, прилегающей к океану части островодужной системы.

Анализ распределения содержаний петрогенных, редких и редкоземельных элементов в песчаниках кордонкинской свиты полностью подтверждает этот вывод (Малиновский, Голозубов, 2021). Областью питания, поставившей обломочный материал в этот бассейн, была сама дуга, сложенная основными и средними вулканитами и в меньшей мере магматическими и осадочными образованиями, входившими в состав ее фундамента.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ

В процессе геологической съемки масштаба 1:50 000 (Кондоуров, Никогосян, 1984)⁴ строение и структура Кордонкинского блока изучена с помощью линий горных выработок вдоль водораздела рек Кордонки и Атлантхи и на левобережье верховий р. Байкал (рис. 2). Установлено, что нижнесилурийские отложения образуют в целом моноклираль с преобладающим падением слоев на запад и запад-северо-запад под углами 40–60°, осложненную дополнительной мелкой складчатостью более высоких порядков (рис. 4а) и нарушенную многочисленными субпослойными разрывами и зонами расщепления и динамометаморфизма. Важно отметить, что подобный стиль дислокаций наблюдается и в пермских слоях, прилегающих с запада к Кордонкинскому блоку (рис. 4б). Очевидно, таким образом, что послепозднепермский этап деформаций был наиболее интенсивным с уничтожением следов более ранних тектонических событий.

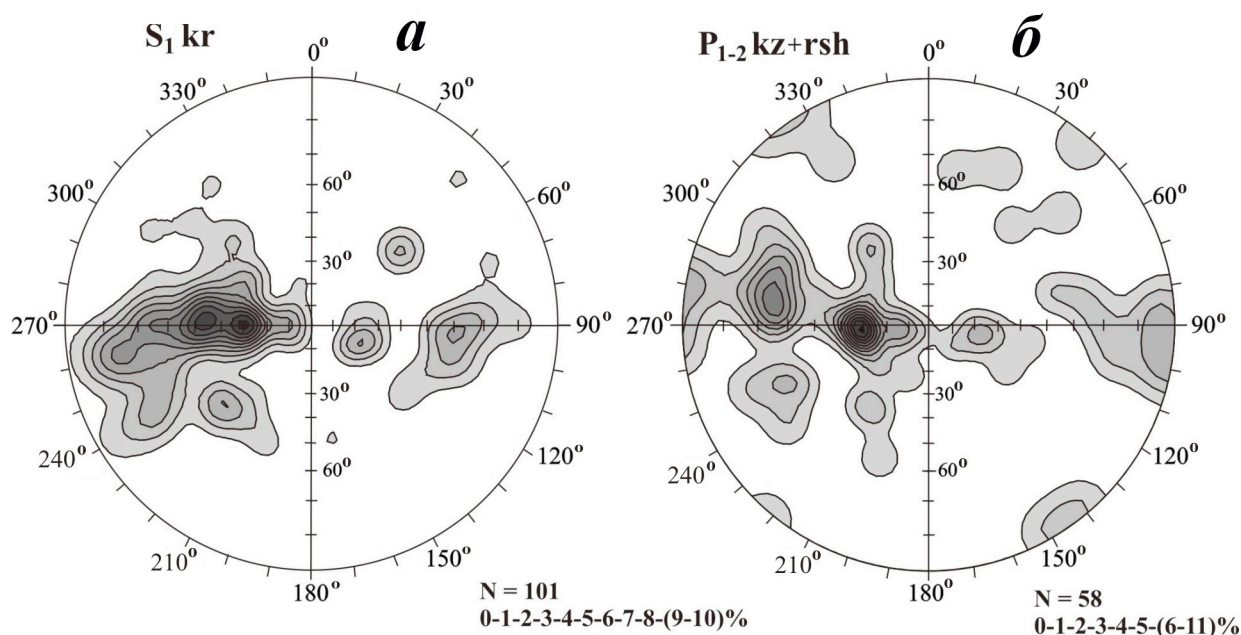


Рис. 4. Диаграмма ориентировок слоистости, замеренных в горных выработках на опорных разрезах в бассейнах рек Кордонка и Байкал. Верхняя полусфера. Пояснения в тексте.

Fig. 4. Diagram of bedding orientations measured in mine workings on reference sections basins in the Kordonka and Baikal river basins. Upper hemisphere. Explanation in the text.

Разлом, разграничивающий нижнесилурийские и расположенные западнее пермские образования, выявляется вполне отчетливо по сгущению в приконтактной области многочисленных зон милонитизации, дробления и тектонического расщепления, здесь многочисленные дайки и штоки позднепермских субвулканических пород преимущественно основного и среднего, реже умеренно кислого и кислого составов мощностью до нескольких сотен метров. На правом берегу р. Фадеевка (рис. 2) вблизи контакта в горных выработках описаны зоны дробления и милонитизации как пермских, так и силурийских пород, которые наклонены на северо-восток (в среднем 60°) под углами $20-60^\circ$. Вдоль непосредственного контакта выявлена зона милонитов мощностью 30 м, содержащих линзы расщепленных диоритов, падение которой также на северо-восток (60°) под углами $60-80^\circ$ (Изосов, Мельников, 1988). На участках, прилегающих с востока к зоне разлома, слоистость в кордонкинской свите нередко имеет падение на восток и восток-северо-восток (на общем фоне падений на запад и северо-запад), а на левом берегу р. Фадеевки при таких же наклонах слоев установлены опрокинутые залегания (рис. 2). Эти наблюдения могут служить косвенным подтверждением вывода о том, что кордонкинская свита в целом надвинута на пермские слои, как это предполагалось в работах (Изосов и др., 1988; Изосов, Мельников, 1988) и показано на рис. 2.

ГРАНИТОИДЫ ВОСТОЧНОГО ОБРАМЛЕНИЯ ВЫХОДОВ КОРДОНКИНСКОЙ СВИТЫ

Массив Софье-Алексеевских гранитоидов, обрамляющий с востока выходы кордонкинской свиты, согласно данным геологической съемки⁴ включает две фазы внедрения. Ранние гранитоиды прорывают и метаморфизуют кордонкинскую свиту и содержат многочисленные ксенолиты как пород этой свиты (базальтов, вулканогенно-осадочных и осадочных пород), так и интрузивных пород — габбро и габброидиоритов. Размеры ксенолитов достигают в плане десятков и первых сотен метров. Эти гранитоиды А.Т. Кандауров и В.А. Никогосян (1984)⁴ датировали средним палеозоем и сопоставлял их с гранитоидами расположенного восточнее Гродековского батолита. Это сопоставление позднее не подтвердилось, поскольку гродековские граниты, судя по результатам U-Pb датирования содержащихся в них цирконов, имеют возраст 449–452 млн лет (поздний ордовик) (Крук и др., 2016; Ханчук и др., 2010). Поздние гранитоиды, выделенные в позднепермский комплекс, обра-

зуют мелкие штоки среди более ранних и, кроме того, крупные интрузии юго-западнее и юго-восточнее выходов кордонкинской свиты.

Нами отобраны две пробы для U-Pb датирования цирконов из ранней фазы гранитоидов и три пробы — из небольшого штока поздней, предположительно позднепермской фазы. Точки отбора располагались в окрестностях с. Байкал, вблизи непосредственного контакта с нижней подсвитой кордонкинской свиты (рис. 2).

Методика датирования. Изотопные геохронологические исследования (U-Pb метод по циркону) палеозойских гранитоидных пород проводились авторами статьи в два этапа.

На первом этапе в Аналитическом центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН (г. Владивосток) из проб исследуемых гранитоидов весом ~ 0.8 кг по стандартной методике с использованием магнитного сепаратора и тяжелых жидкостей были выделены зерна циркона. Затем отобранные вручную под биноклем зерна минерала были помещены в эпоксидную смолу и отполированы с использованием алмазных паст ($9 \mu\text{m}$ и $1 \mu\text{m}$). Далее с помощью электронного микрозонда JXA-8100, оснащенного катодолюминесцентным детектором, в режиме катодолюминесценции (CL) было изучено внутреннее строение зерен циркона, а также выбраны точки для проведения изотопных измерений.

На втором этапе готовая шашка с цирконами была передана в Аналитический центр минералого-геохимических и изотопных исследований Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ) где были выполнены локальные U-Pb изотопные исследования зерен циркона методом LA-SF-ICP-MS на масс-спектрометре высокого разрешения Element XR, соединенного с приставкой лазерного проботбора UP-213 (New Wave Research) с длиной волны излучения 213 нм. Основные особенности методики анализа подробно изложены в работах (Буянтуев и др., 2017; Хубанов и др., 2016).

Возраст гранитоидов. Для определения возраста ранней фазы гранитоидов Софье-Алексеевского массива выполнено U-Pb изотопное исследование двух монофракций акцессорных цирконов. Первая была выделена из пробы крупно-среднезернистых гранитов розоватой окраски (Са-6), отобранной в западной части массива в правом борту пади Поперечной. Вторая — из среднезернистых кварцевых диоритов, встречающихся в верховьях пади Поперечной (Ча-2835а) (рис. 2).

Цирконы из крупно-среднезернистых гранитов представлены, преимущественно трещиноватыми идиоморфными прозрачными кристаллами бледно-розовой и светло-желтой

окраски, имеющими короткопризматический и, реже, длиннопризматический облик. Их размеры по длинной оси обычно составляют 80–150 мкм, иногда достигая 200 мкм. В катодolumинесцентном изображении (CL) для большинства зерен циркона присуще наличие «грубой» осцилляторной зональности. По мнению многих исследователей, наличие в минерале подобной зональности служит указанием на магматиче-

скую природу циркона (Corfu et al., 2003; Hoskin, Schaltegger, 2003).

Величина Th/U отношения в цирконах этой пробы варьирует от 0.70 до 1.9, что также свойственно для циркона магматического генезиса (Hoskin, Schaltegger, 2003). Средневзвешенный U-Pb возраст циркона из гранитов Софье-Алексеевского массива, рассчитанный по 23 точкам (рис. 5) составляет 383.5 ± 1.6 млн лет,

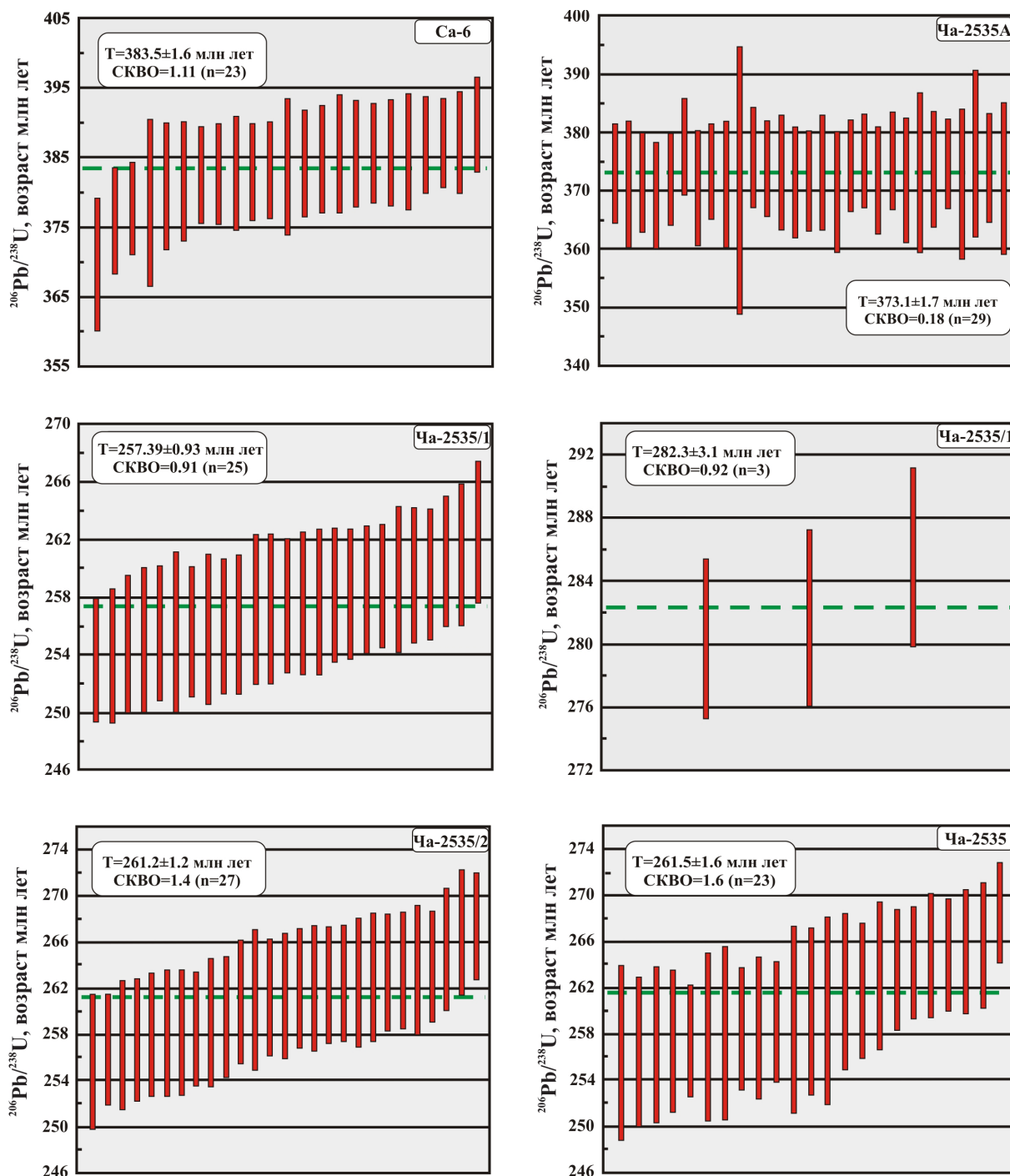


Рис. 5. Диаграммы средневзвешенных $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возрастов, с коррекцией на нерадиоогенный свинец ^{207}Pb -методом для цирконов из гранитоидов окрестностей с. Байкал (LA-ICP-MS).

Fig. 5. Plots of weighted average $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages corrected for non-radiogenic lead by the ^{207}Pb method for zircons from granitoids in the Baikal village vicinity (LA-ICP-MS).

среднеквадратичное отклонение (СКВО) = 1.11, что соответствует франскому ярусу позднего девона.

Цирконы, выделенные из кварцевых диоритов, представлены сравнительно мелкими (~50–70 мкм) идиоморфными кристаллами длиннопризматического и, реже, короткопризматического габитуса, а также их обломками. Основная часть цирконов — прозрачные кристаллы, окрашенные в бледно-розовые тона, хотя изредка встречаются и полупрозрачные трещиноватые зерна светло-желтой окраски. Величина Th/U отношения в изученных цирконах изменяется от 0.30 до 0.61.

Средневзвешенный U-Pb возраст цирконов из кварцевых диоритов, рассчитанный по 29 точкам, составляет 373.5 ± 1.7 млн лет (СКВО = 0.18), что соответствует фаменскому ярусу позднего девона.

Принимая во внимание то, что изученные цирконы по морфологическим и геохимическим признакам имеют магматическое происхождение, полученные для них возрастные оценки можно рассматривать в качестве возраста кристаллизации гранитоидов ранней фазы Софье-Алексеевского массива.

Кроме того, было проведено U-Pb датирование цирконов из гранитоидов, слагающих небольшое интрузивное тело предположительно пермского возраста, расположенное в двух км к северо-востоку от с. Байкал. Следует отметить, что из-за, плохой обнаженности территории и мощной коры выветривания границы тел, сложенные пермскими и вмещающими гранитоидами картируются далеко не всегда однозначно.

Из обнажений правом борту долины правого притока руч. Поперечного были отобраны две пробы крупно-среднезернистых биотитовых гранитов (Ча-2835/1 и Ча-2835/2) и проба мелкозернистых клинопироксеновых габбро диоритов (Ча-2835). Место отбора проб показано на рис. 2.

Цирконы, выделенные из двух проб биотитовых гранитов, сходны по морфологии и представлены преимущественно идиоморфными прозрачными и полупрозрачными слабо трещиноватыми кристаллами длиннопризматического и реже короткопризматического облика. Длина зерен меняется от 100 до 150 мкм и достигает в некоторых случаях 200 мкм. Для многих кристаллов циркона характерно наличие «тонкой» магматической зональности, отчетливо видной на катодолюминесцентных изображениях. Встречаются также зерна минерала без явных признаков зональности. Величина отношения Th/U варьирует в диапазоне от 0.32 до 2.23, что указывает на их магматическое происхождение. Средневзвешенный U-Pb возраст цирконов из биотитовых гранитов составляет 261.2 ± 1.2 млн

лет в пробе Ча-2835/2 (СКВО = 1.4; $n = 27$) и 257.4 ± 0.93 млн лет в пробе Ча-2835/1 (СКВО = 0.91; $n = 25$), что в целом соответствует вучапинскому и кептенскому ярусам средней и поздней перми. Полученные результаты La-ICP-MS датирования приведены на рис. 5.

В то же время среди кристаллов циркона, выделенных из пробы Ча-2835/1 обнаружено три зерна (рис. 5), средневзвешенный U-Pb возраст которых составляет 282.3 ± 3.1 млн лет (СКВО = 0.92) что соответствует нижней перми. Такое отклонение значения возраста по отношению к основной популяции проанализированных цирконов (более чем на 20 млн. лет) указывает на то, что они не формировались при кристаллизации биотитовых гранитов, а являются, по-видимому, ксеногенными.

Акцессорные цирконы, выделенные из клинопироксеновых габбро-диоритов (образующих, по-видимому, шток или дайку в гранитах) представлены трещиноватыми идиоморфными удлиненными (до 100–150 мкм) кристаллами, а также их обломками (от 50 до 70 мкм). Кристаллы чаще всего прозрачные реже полупрозрачные с желтоватым оттенком. Большая часть кристаллов циркона имеет достаточно однородное внутреннее строение, которое выражено в равномерной темной окраске зерен на CL-изображении. Иногда встречаются зерна, по краям которых наблюдается отчетливо выраженная тонкая осцилляторная зональность. Значения Th/U отношений в проанализированных цирконах варьирует в довольно широком диапазоне от 0.71 до 1.97, что свидетельствуют о магматическом генезисе минерала. Средневзвешенный U-Pb возраст, рассчитанный для рассматриваемой группы циркона, по 23 точкам измерений, составляет 261.5 ± 1.6 млн лет (СКВО = 1.16), что отвечает кептенскому ярусу средней перми.

Судя по тому, что по морфологическим и геохимическим особенностям в поздних гранитах и клинопироксеновых габбро-диоритах Софье-Алексеевского массива присутствуют только магматические цирконы с практически одинаковыми датировками 257.4 ± 0.93 , 261.2 ± 1.2 и 261.5 ± 1.6 млн лет, полученные цифры возраста следует рассматривать в качестве времени кристаллизации этих пород.

Таким образом, восточнее выходов кордонкинской свиты обнажены гранитоиды как минимум трех фаз внедрения. Гранитоиды первой фазы образуют большую часть Гродековского батолита и, как уже упоминалось, датированы поздним ордовиком (Крук и др., 2016; Ханчук и др., 2010). Впервые установленные нами гранитоиды позднего девона, образующие Софье-Алексеевскую интрузию, разделяют кордонкинскую свиту и Гродековский батолит.

Граница между девонскими и ордовикскими гранитоидами проведена нами условно — ею является, по-видимому, зона Западно-Приморского разлома, имеющего меридиональное простира-ние (рис. 1), выявленного и прослеженного в процессе геологической съемки масштаба 1:50 000 (Кандауров, Никогосян, 1984)⁴. И, наконец, гранитоиды третьей, позднепермской фазы, которые широко распространены в пределах как южной части Ханкайского супертеррейна, так и в прилегающих с юго-запада структурах более позднего, средне- и позднепалеозойского времени.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Блок, сложенный раннесилурийскими образованиями, имеет свою, отличную от прилегающих блоков, геологическую историю. Формирование его, судя по приведенным выше данным, происходило во внешней, приокеанической части раннесилурийской активной окраины континента. Впервые установленные нами в этом районе гранитоиды девона фиксируют, надо полагать, эпизод причленения этого блока к консолидированному в ордовике Бурей-Цзямусы-Ханкайскому орогенному поясу (в данном случае — к Вознесенскому террейну и входящему в его состав Гродековскому батолиту). Соответственно, блок, сложенный кордонкинской свитой и прорывающими ее девонскими гранитоидами, не следует, как это делалось ранее, включать в состав Лаоэлин-Гродековского террейна (и Солонкерского орогенного пояса в целом), формирование и аккреция которого происходили значительно позднее, в пермь-раннетриасовое время (Голозубов и др., 2017). Также вряд ли правомерно включение этого блока (который, несмотря на относительно малые размеры, вполне может быть назван террейном) в состав Бурей-Цзямусы-Ханкайского орогенного пояса, консолидация которого завершилась внедрениями ордовикских гранитоидов гродековского комплекса. Кордонкинский террейн, таким образом, фиксирует самостоятельный ранне-среднепалеозойский эпизод при формировании и закрытии Центрально-Азиатского палеоокеана.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 19-05-00037 и № 19-05-00229).

Список литературы [References]

Буянтубеев М.Д., Хубанов В.Б., Врублевская Т.Т. U-Pb LA-ICP-MS датирование цирконов из субвулканитов бимодальной дайковой серии Западного Забайкалья: методика, свидетельства позднепа-

леозойского растяжения земной коры // Геодинамика и тектонофизика, 2017. Т. 8. № 2. С. 369–384 [Buyantuev M.D., Khubanov V.B., Vrublevskaya T.T. U-Pb LA-ICP-MS dating of zircons from subvolcanics of the bimodal dyke series of the Western Transbaikalia: technique, and evidence of the Late Paleozoic extension of the crust // Geodynamics & Tectonophysics. 2017. V. 8. № 2. P. 369–384 (in Russian). <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-2-0246>].

Геологическая карта Приморского края. М. 1:1 000 000 / под ред. В.А. Бажанова, Ю.Н. Олейника. Магадан, 1986 [Geological map of Primorye. Scale 1:1 000 000 / ed. V.A. Bazhanov, Yu.N. Oleynik. Magadan, 1986].

Голозубов В.В., Крук Н.Н., Киселев В.И. и др. Первые свидетельства среднетриасового вулканизма в Южном Приморье // Тихоокеанская геология, 2017. № 2. С. 44–57 [Golozubov V.V., Kruk N.N., Kiselyov V.I. et al. First evidences of Middle Triassic volcanism in South Primorye // Russian Journal of Pacific Geology. 2017. V. 11. № 2. P. 110–122. <https://doi.org/10.1134/S1819714017020038>].

Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Ред. А.И. Ханчук. Кн. 1. Владивосток: Дальнаука, 2006. 572 с. [Geodynamics, Magmatism and Metallogeny of the Russian Far East. Khanchuk A.I. (ed.). Book 1. Vladivostok, Dalnauka, 2006. 572 p. (in Russian)].

Евланов Ю.Б. Литолого-формационная характеристика палеозойских отложений Туманган-Суйфунской складчатой области (северо-западный сектор Тихоокеанского пояса). Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. Владивосток: 1970, 24 с. [Evlanov Yu.B. Lithologo-formational characteristics of Paleozoic sediments of the Tumangan-Suifun folded area (northwestern sector of the Pacific belt). Synopsis of cand. diss. Vladivostok: 1970, 24 p.]

Иванов Б.А. Структурно-фациальное и тектоническое районирование Южного Сихотэ-Алиня // Советская геология. 1960, № 10. С. 42–59 [Ivanov B.A. Structural and facial, and tectonic zoning of the South Sikhote-Alin. // Sovetskaya geologiya. 1960. № 10. P. 42–59].

Изосов Л.А., Евланова М.А., Корень Т.Н. Первая находка силурийских граптолитов в Приморье // ДАН СССР. 1983. Т. 269. № 5. С. 1153–1155 [Izosov L.A., Evlanova M.A., Koren T.N. The first finding of Silurian graptolites in Primorye. // Doklady Earth Science. 1983. V. 269. № 5. P. 1153–1155].

Изосов Л.А., Кандауров А.Т., Бажанов В.А. и др. Силурийские отложения Приморья // Тихоокеанская геология. 1988. № 5. С. 75–82 [Izosov L.A., Kandaurov A.T., Bazhanov V.A. et al. Silurian sediments of Primorye // Tikhookeanskaya Geologiya. 1988. № 5. P. 75–82].

Изосов Л.А., Кандауров А.Т., Гонов А.С. К стратиграфии силура Приморья // Новые данные по стратиграфии Приморского сектора Япономорского региона. Препринт, Владивосток, 1986. С. 1–12 [Izosov L.A., Kandaurov A.T., Gonokhov A.S. To the Silurian stratigraphy of Primorye. /New data on the stratigraphy of the Primorye secot of the Sea of Japan area. Preprint, Vladivostok, 1986. P. 1–12].

Изосов Л.А., Мельников Н.Г. Чешуйчато-покровные структуры Западного Приморья // Тихоокеан-

- ская геология. 1988. № 6. С. 47–53 [*Izosov L.A., Melnikov N.G.* Imbricate-overlapped structures of the western Primorye // *Tikhookeanskaya Geologiya*, 1988. № 6. P. 47–53].
- Максимова З.А., Органова Н.М.* Первая находка девонской фауны в Западном Приморье // ДАН. 1959. Т. 128. № 3. С. 594–595 [*Maksimova Z.A., Organova N.M.* The first finding of Devonian fauna in the western Primorye // *Doklady Earth Science*. V. 128. № 3. P. 594–595].
- Крук Н.Н., Руднев С.Н., Голозубов В.В. и др.* А-граниты Гродековского батолита: возраст, состав, индикаторная роль в раннепалеозойской геологической истории Южного Приморья // Вестник КРАУНЦ, Науки о Земле. 2016. № 2 Вып. 30. С. 5–15 [*Kruk N.N., Rudnev S.N., Golozubov V.V. et al.* A-granites of the Grodekovo batholiths: age, composition and indicator role in the Early Paleozoic geological history of Southern Primrye // *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle*. 2016. № 2 (30). P. 5–15 (in Russian)].
- Малиновский А.И., Голозубов В.В.* Нижнесилурийские терригенные отложения Лаоэлин-Гродековского террейна (Южное Приморье): вещественный состав и обстановки формирования // Тихоокеанская геология. 2021. Т. 40. № 1. С. 25–44 [*Malinovsky A.I., Golozubov V.V.* Lower Silurian Terrigenous Rocks of the Laeoling–Grodekovo Terrane, Southern Primorye: Composition and Formation Settings // *Russian Journal of Pacific Geology*. 2021. V. 15. P. 1–19. <https://doi.org/10.1134/S1819714021010036>].
- Мельников Н.Г., Изосов Л.А.* Структурно-формационное районирование Приморья (докайнозойские структуры) // Тихоокеанская геология. 1984. № 1. С. 53–61 [*Melnikov N.G., Izosov L.A.* Structural-formational zoning of Primorye (pre-Cenozoic structures). // *Russian Journal of Pacific Geology*. 1984. № 1. P. 53–61].
- Олейник Ю.Н.* Тектоническое районирование Приморского края // Тихоокеанская геология. 1983. № 1. С. 11–19 [*Oleynik Yu.N.* Tectonic zoning of Primorye // *Russian Journal of Pacific Geology*. 1983. № 1. P. 11–19].
- Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др.* Модель формирования орогенных поясов центральной и северо-восточной Азии // Тихоокеанская геология, 2003. № 6. С. 7–41 [*Parfenov L.M., Berzin N.A., Khanchuk A.I. et al.* Formation model of orogenic belts of the Central and Northeastern Asia // *Russian Journal of Pacific Geology*. 2003. № 6. P. 7–41].
- Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д. и др.* Геология и полезные ископаемые Приморского края (очерк). Владивосток: Дальнаука, 1995. 68 с. [*Khanchuk A.I., Ratkin V.V., Ryazantseva M.D. et al.* Geology and mineral resources of Primorye (essay). Vladivostok: Dalnauka, 1995. 68 p.].
- Ханчук А.И., Сахно В.Г., Аленичева А.А.* Первые U–Pb–SHRIMP-датирования по цирконам магматических комплексов Юго-Западного Приморья // ДАН. 2010. Т. 431. № 4. С. 516–520 [*Khanchuk A.I., Sakhno V.G., Alenicheva A.A.* First SHRIMP U–Pb Zircon Dating of Magmatic Complexes in the Southwestern Primor’e Region // *Doklady Earth Sciences*. 2010. V. 431. P. 424–428. <https://doi.org/10.1134/S1028334X10040033>].
- 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 сопоставление с SHRIMP данными // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 1. С. 241–258 [*Khubanov V.B., Buyantuev M.D., Tsygankov A.A.* U–Pb dating of zircons from PZ3–MZ igneous complexes of Transbaikalia by sector-field mass spectrometry with laser sampling: technique and comparison with SHRIMP. *Russian Geology and Geophysics*. 2016. V. 57 № 1. P. 190–205. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.01.013>].
- Шутов В.Д.* Классификация песчаников // Литология и полезные ископаемые. 1967. № 5. С. 86–102 [*Shutov V.D.* Sandstone classification // *Lithology and Mineral Resources*. 1967. № 5. P. 86–102].
- Corfu F., Hanchar J.M., Hoskin P.W.O. et al.* Atlas of zircon textures // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2003. V. 53. P. 469–495. <https://doi.org/10.2113/0530469>
- Dickinson W.R., Suczek C.A.* Plate tectonics and sandstone composition // *American Association of Petroleum Geologists*. 1979. V. 63. № 12. P. 2164–2182.
- Garzanti E., Ando S.* Plate tectonics and heavy mineral suites of modern sands // *Heavy minerals in use. Developments in sedimentology*. Amsterdam: Elsevier, 2007. V. 58. P. 741–764. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(07\)58029-5](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(07)58029-5)
- Hoskin P.W.O., Schaltegger U.* The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2003. V. 53. P. 27–62. <https://doi.org/10.2113/0530027>

**KORDONKA TERRANE — A FRAGMENT
OF THE EARLY PALEOZOIC ACTIVE MARGIN**

**V.V. Golozubov¹, A.I. Malinovsky¹, A.A. Chashchin¹, A.T. Kandaurov³,
V.B. Khubanov², S.A. Kasatkin¹, M.V. Zheldak¹, T.V. Orudzhev¹**

¹*Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia, 690022*

²*Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia, 670047*

³*JSC «Far Eastern PGO» Vladivostok, Russia, 690091*

The Kordonka Formation (lower Silurian) forms a lens-shaped tectonic block up to four km wide, extending southward from the Pogranichny village area (Primorsky Krai) for about 30 km. The formation is composed of argillaceous slate, volcanic-sedimentary rocks with horizons of sandstones, siltstones, conglomerates, and cherts, and also contains flows of basalts and andesite-basalts. The results of lithological-geochemical study of the terrigenous rocks of the formation indicate that the Kordonka Formation was accreted in the outer pre-oceanic part of the paleo-island arc system. The eastern part of the formation is intruded and partially assimilated granitoids of Middle Paleozoic and Late Permian age. The early phase of the granitoids was dated by U-Pb zircon 373.5±1.7 and 383.5±1.6 Ma (Late Devonian). The late phase is characterized by 261.2±1.2, 257.4±0.93 and 261.5±1.6 Ma (Wuchiapingian and Capitanian stages of the Middle and Late Permian). The Devonian granitoids first identified in this area may be evidence of the Kordonka block accession to the Bureya-Jiamusi-Khanka orogenic belt consolidated during the Ordovician. The Kordonka terrane thus marks an independent Early-Middle Paleozoic episode in the formation and closure of the Central Asian paleo-ocean.

Keywords: Kordonka formation, Early Silurian island arc system, U-Pb datings, Primorye.

Поступила в редакцию 12.11.2021 г.

После доработки 09.12.2021 г.

Принята в печать 27.12.2021 г.