

Научная статья

УДК 551.242

DOI: 10.37102/0869-7698\_2023\_230\_04\_2

EDN: BWOTRC

## Геодинамическая обстановка формирования позднемеловых гранитоидов Центрального Сихотэ-Алиня

И.В. Кемкин<sup>✉</sup>, А.В. Гребенников

*Игорь Владимирович Кемкин*

доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

kemkin@fegi.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9105-288X>

*Андрей Владимирович Гребенников*

кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

greandr@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7780-3632>

**Аннотация.** В результате LA-ICP-MS U-Pb изотопного датирования цирконов впервые получены новые данные о позднемеловом возрасте ряда гранитных массивов, локализованных в центральной части Сихотэ-Алинского орогенного пояса. Выделено три разновозрастных комплекса плутонических пород. Первый имеет возраст 105–92 млн лет и соответствует Татибинской серии синорогенного магматизма. Второй (86–83 млн лет) и третий (~73 млн лет) комплексы сформировались в посторогенный этап развития. Полученные данные опровергают распространенное мнение об отсутствии позднемелового магматизма на восточной окраине палео-Азиатского континента на значительном удалении от позднемелового окраинно-континентального Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса (ВСАВП). Возрасты изученных гранитоидов идеально совпадают с временем изменения угла конвергенции между палео-Тихоокеанской плитой и восточной окраиной палео-Азиатского континента в позднемеловое время. Эти изменения в направлении движения океанической плиты по отношению к континенту (а точнее, развороты плиты) сопровождались, очевидно, разрывами погружаемой плиты (слэба) за счет разной скорости субдукции разных частей океанической плиты с последующим подъемом астеносферного вещества сквозь проницаемые зоны, вызывая частичное плавление нижней коры и как результат внутриконтинентальный интрузивный магматизм.

**Ключевые слова:** Сихотэ-Алинь, позднемеловые гранитоиды, трансформная окраина

**Для цитирования:** Кемкин И.В., Гребенников А.В. Геодинамическая обстановка формирования позднемеловых гранитоидов Центрального Сихотэ-Алиня // Вестн. ДВО РАН. 2023. № 4. С. 20–37. [http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698\\_2023\\_230\\_04\\_2](http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_230_04_2).

# Geodynamic setting of the formation of late cretaceous granitoids in the Central Sikhote-Alin

I.V. Kemkin, A.V. Grebennikov

*Igor V. Kemkin*

Doctor of Sciences in Geology and Mineralogy, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences

Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

kemkin@fegi.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9105-288X>

*Andrei V. Grebennikov*

Candidate of Sciences in Geology and Mineralogy, Leading Researcher

Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

grandr@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7780-3632>

**Abstract.** As a result of LA-ICP-MS U-Pb isotope dating of zircons, new data on the Late Cretaceous age of a number of granite massifs localized in the central part of the Sikhote-Alin orogenic belt were obtained for the first time. Three complexes of plutonic rocks of different ages have been identified. The first has an age of 105–92 Ma and corresponds to the Tatiba Series of synorogenic magmatism. The second (86–83 Ma) and third (~73 Ma) complexes formed during the post-orogenic stage of development. The obtained data refute the widespread opinion about the absence of Late Cretaceous magmatism on the eastern margin of the Paleo-Asian continent at a considerable distance from the Late Cretaceous continental marginal East Sikhote-Alin volcano-plutonic belt (ESAVPB). The ages of the studied granitoids ideally coincide with the time of the change in the convergence angle between the Paleo-Pacific Plate and the eastern margin of the Paleo-Asian continent in the Late Cretaceous. These changes in the direction of movement of the oceanic plate with respect to the continent (or rather, plate rotations) were apparently accompanied by ruptures of the submerged plate (slab) due to different subduction rates of different parts of the oceanic plate, followed by asthenospheric matter rising through the permeable zones, causing partial melting of the lower crust, and, as a result, intracontinental intrusive magmatism.

**Keywords:** Sikhote-Alin, Late Cretaceous granitoids, transform margin

**For citation:** Kemkin I.V., Grebennikov A.V. Geodynamic setting of the formation of late cretaceous granitoids in the Central Sikhote-Alin. *Vestnik of the FEB RAS*. 2023;(4):20-37. (In Russ.). [http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698\\_2023\\_230\\_04\\_2](http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_230_04_2).

## Введение

Мезо-кайнозойская геодинамическая эволюция восточной окраины Евразийского континента является предметом острой дискуссии на протяжении уже не одного десятилетия (см., напр., [1–20 и др.]). Тем не менее многие модели геолого-тектонического развития данной территории, предложенные в основном

иностранными исследователями, крайне противоречивы, а главное, абсолютно не согласуются с геологическими данными по Сихотэ-Алинь-Северо-Сахалинскому орогенному поясу (далее Сихотэ-Алинь) [7].

Сихотэ-Алинь является классическим примером окраинно-континентального орогенного пояса, сформированного в результате активного взаимодействия палео-Тихоокеанской (Изанаги) океанической плиты и палео-Азиатского континента в юрско-меловое время, и, таким образом, своеобразной летописью имевших здесь место различных геологических событий и процессов и последовательности их проявления. В связи с этим при разработке моделей геологического развития такой огромной территории, как центральный сектор Тихоокеанской окраины Азии, необходимо использовать всю совокупность накопленных геологических данных по разным регионам Восточной Азии, включая Японию, Корею, северо-восточный Китай и Сихотэ-Алинь, тем более что в досреднемиоценовое время они составляли единую восточную окраину палео-Азиатского континента (см., напр., [4, 21, 22 и др.]). Игнорирование (или частичное использование) данных по сопредельным территориям приводит к формированию ошибочных представлений о геологическом строении тех или иных структурных зон, времени и этапности проявлений магматизма или тектонических дислокаций, что в конечном счете служит причиной дальнейших некорректных выводов о специфике и последовательности геологических событий, определяющих историю геологического развития всей палео-Азиатской территории.

В частности, анализ данных по пространственно-временному распределению гранитоидного магматизма в восточных районах Китая привел китайских исследователей (см., напр., [10, 13, 17]) к выводу об отсутствии магматической активности на всей восточной окраине палео-Азиатского континента в позднемеловой–раннепалеогеновый (с ~ 88 по 50 млн лет) период, несмотря на то что позднемеловые вулканоплутонические комплексы достаточно широко распространены в восточной части Сихотэ-Алиня, где они именуется как Восточно-Сихотэ-Алинский вулканоплутонический пояс – ВСАВП (см., напр., [7, 23]), а также во Внутренней зоне Японии (вдоль Япономорского побережья) и южной части Корейского полуострова (см., напр., [24–27 и др.]). Эти позднемеловые магматические породы на основании их петрогеохимических характеристик, согласно авторам [7, 23–27], интерпретируются как образования окраинно-континентальной магматической дуги, сформировавшейся в результате субдукции палео-Тихоокеанской плиты под восточную окраину палео-Азиатского континента. Тем не менее перерыв в магматической деятельности в течение порядка 40 млн лет, выявленный на всем протяжении от северо-восточного до юго-восточного Китая, связывается китайскими исследователями с прекращением субдукции палео-Тихоокеанской плиты под палео-Азиатский континент и сменой ее трансформным скольжением относительно континента в северном направлении. Причиной смены геодинамической обстановки на восточной окраине палео-Азиатского континента считается блокировка зоны субдукции в интервале 100–90 млн лет гипотетическим микроконтинентом или океаническим плато (см., напр., [11, 13, 16, 28 и др.]). Очевидно, что режим трансформной окраины в позднемеловое время никак не сочетается с широким развитием позднемеловых надсубдукционных вулканоплутонических образований, детально изученных как в Сихотэ-Алине, так и Японии и Корее.

В настоящей статье приводятся новые оригинальные данные о позднемеловом возрасте ряда гранитоидных массивов, локализованных в центральной части

Сихотэ-Алиня, с целью показать, что магматическая деятельность в позднем мелу не прекращалась даже на значительном удалении от окраинно-магматической дуги (ВСАВПП) в глубине континента, и тем самым обосновать несостоятельность тезиса об отсутствии магматической активности на позднемеловой восточной окраине палео-Азиатского континента – с одной стороны, а с другой – учитывая отсутствие пространственной и генетической связи позднемеловых гранитоидов с разновозрастными образованиями ВСАВПП, предложить иной, нежели надсубдукционный, механизм генерации гранитных расплавов при формировании изученных интрузивов.

### **Краткая геологическая характеристика района локализации изученных гранитоидных массивов**

Объект исследования – ряд крупных гранитоидных массивов, приуроченных к Журавлевско-Амурскому террейну Сихотэ-Алинского орогенного пояса. Последний представляет собой тектонический коллаж (рис. 1, см. врезку) фрагментов разновозрастных структурно-вещественных комплексов (террейнов), сформировавшихся изначально в значительно удаленных друг от друга структурных зонах и пространственно совмещенных на окраине палео-Азиатского континента в ходе активного взаимодействия океанической и континентальной литосферных плит. Сихотэ-Алинь является типовым примером складчатой области, формирование и дальнейшее развитие которой осуществлялось на фоне чередования двух геодинамических режимов – субдукционной (в юре и позднем мелу) и трансформной окраины (в раннем мелу и палеоцене) [7, 15, 22, 29, 30 и др.]. В режиме субдукционной окраины в юрское время под восточной оконечностью палео-Азиатского континента формировались мощные интенсивно дислоцированные и смятые в разноамплитудные складки тектоно-седиментационные комплексы юрской аккреционной призмы, представленные в современной структуре Сихотэ-Алиня Самаркинским, Наданьхада-Бикинским, Хабаровским и Баджальским террейнами (см., напр., [9]). В раннем мелу, в режиме трансформного скольжения палео-Тихоокеанской плиты, вдоль восточной окраины палео-Азиатского континента формировались мощные толщи турбидитов синдвигового окраинного бассейна, слагающие Журавлевско-Амурский террейн. На юго-восточной его окраине в силу ортогональной ориентировки границы континент–океан возникла новая зона субдукции, где формировались тектоно-седиментационные комплексы позднеюрско-раннемеловой аккреционной призмы, представленной в Сихотэ-Алине Таухинским террейном.

Трансформный характер взаимодействия палео-Азиатской и палео-Тихоокеанской плит в совокупности с блокировкой южной зоны субдукции в готериве [22, 31] обусловили крупномасштабные левосдвиговые перемещения блоков континентальной окраины и аккреционных комплексов по разломам системы Тань-Лу и дополнительное смятие породных ассоциаций террейнов юрской аккреционной призмы, что привело к значительному увеличению их мощности. Увеличение литостатического давления и температуры в нижних частях складчатой структуры обусловило возникновение очагов плавления (анатексис) осадочных пород и генерацию синорогенных гранитоидов раннего (готерив-баремского) этапа [32]. Интрузивы этого этапа, известные как Хунгарийская серия (по [33]), локализуются главным образом в террейнах юрской аккреционной призмы и образуют

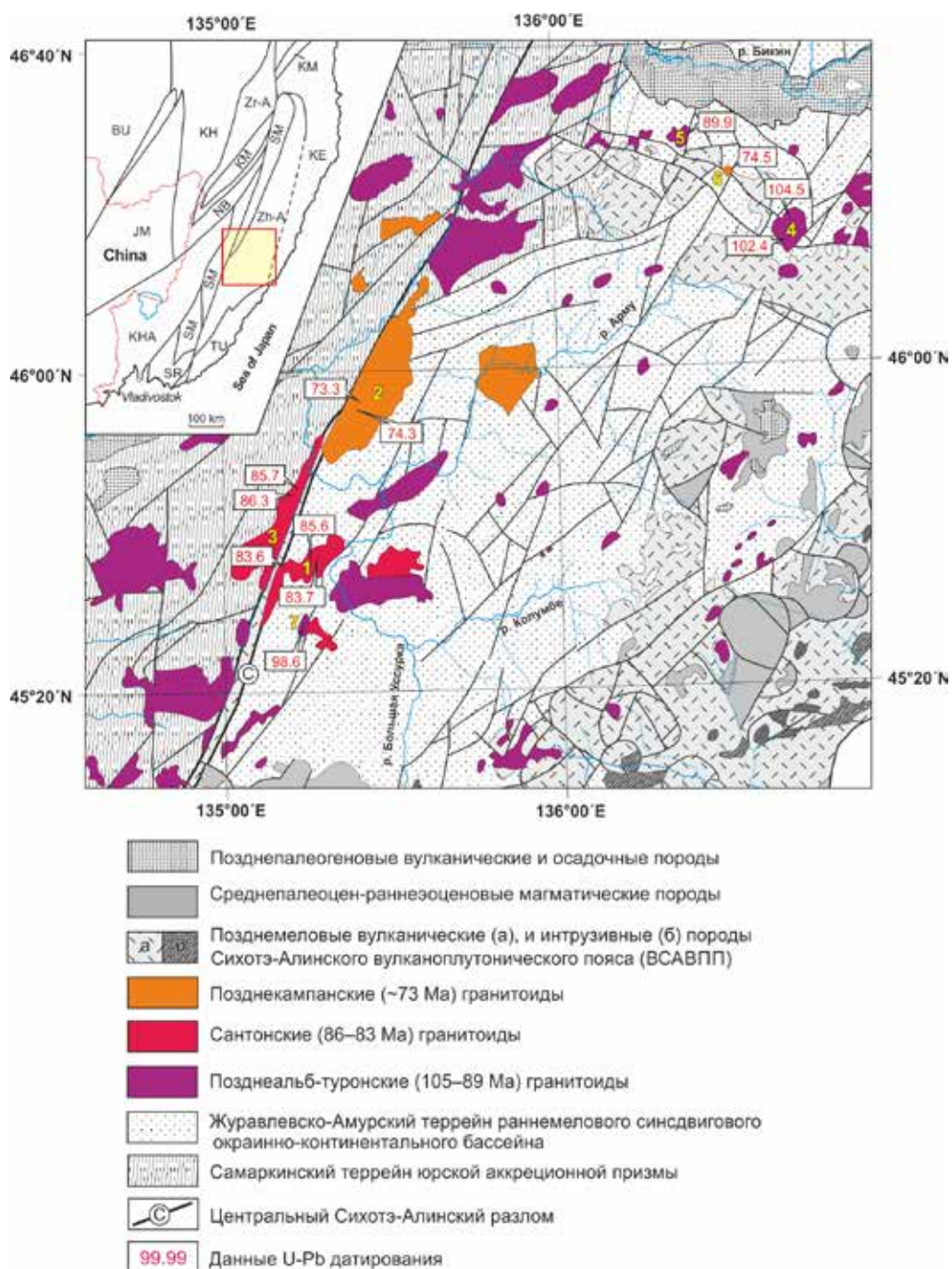


Рис. 1. Схематическая геологическая карта центральной части Сихотэ-Алинского орогена. Интрузивы: 1 – Водораздельный; 2 – Дальне-Арминский; 3 – Перевальный; 4 – Правоваленкуйский; 5 – Снежный; 6 – Усть-Малиновский; 7 – ручья Ловлягин. Террейны на врезке: BU – Бурейнский, JM – Цзямусы, КНА – Ханкайский, Sr – Сергеевский, SM – Самаркинский, NB – Наданьхада-Бикинский, КН – Хабаровский, TU – Таухинский, Zr-A – Журавлевско-Амурский, KE – Кемский, KM – Киселевско-Маномиинский

достаточно крупные (от нескольких десятков до первых сотен квадратных километров) массивы. Они характеризуются однотипным минеральным составом и представлены крупно-, среднезернистыми биотитовыми и двуслюдяными, нередко кордиеритсодержащими меланократовыми гранитами, гранодиоритами и кварцевыми диоритами. Возраст хунгарийских гранитоидов, определенный Rb-Sr и K-Ar методами, дает широкий интервал – 234–107 млн лет [34–36 и др.]. Редкие U-Pb датировки по цирконам характеризуют возраст пород в интервале 131–123 млн лет [26, 37, 38 и др.].

В конце раннего мела (ранний–средний альб) в ходе продолжающегося трансформного взаимодействия палео-Тихоокеанской и палео-Азиатской плит к восточной окраине последней была придвинута и аккретирована раннемеловая островодужная система, фрагменты которой в структуре Сихотэ-Алиня представлены Кемским (тыловая часть дуги) и Киселевско-Маноминским (синхронная аккреционная призма) террейнами [7, 31 и др.]. Коллизия островодужной системы с палео-Азиатским континентом сопровождалась возобновлением крупномасштабных левосдвиговых дислокаций по разломам системы Тань-Лу, фрагментированием островодужных комплексов и последующей трансляцией их блоков вдоль континентальной окраины, а также смятием породных ассоциаций террейнов юрско-меловых аккреционных призм и раннемелового турбидитового бассейна в разноамплитудные сжатые складки северо-восточного простирания. Очередное утолщение мощности приращенной континентальной окраины обусловило возникновение новых очагов плавления и проявление синорогенного гранитоидного магматизма второго (альб-раннесеноманского) этапа (Татибинская серия, по: [33]). В отличие от хунгарийского (раннего) гранитоидный магматизм второго этапа проявился гораздо масштабнее. Татибинские гранитоиды интрузируют практически все террейны Сихотэ-Алинского орогена, включая террейны юрской аккреционной призмы и раннемеловые террейны – синсдвигового турбидитового бассейна (Журавлевско-Амурский террейн) и фрагмента островной дуги (Кемский террейн). Интрузивные массивы второго этапа характеризуются многофазным строением. Ранние фазы внедрения представлены диоритами, кварцевыми диоритами и граномонцонитами. Во вторую фазу формировались гранодиориты, биотит-роговообманковые и биотитовые граниты, а в третью – гранит-порфиры, лейкократовые граниты и аплиты. Возраст Татибинских гранитоидов, согласно единичным данным U-Pb датирования по цирконам, определяется в интервале 110–96 млн лет [26, 39–41 и др.].

Рассматриваемые в настоящей статье позднемеловые гранитоиды локализируются главным образом в пределах восточной части Журавлевско-Амурского террейна, в непосредственной близости от его границы с Самаркинским террейном (рис. 1). Породные ассоциации Журавлевско-Амурского террейна, слагающего центральную часть орогена [7, 15 и др.], протягиваются в северо-восточном направлении полосой шириной 80 км, а местами до 100 км (например, район верховий рек Бикин, Самарга и др.). Западной границей террейна служит Центрально-Сихотэ-Алинский разлом и его ответвления, отделяющие Журавлевско-Амурский террейн от Самаркинского террейна юрской аккреционной призмы. На юге Журавлевско-Амурский террейн ограничен Таухинским террейном позднеюрско-раннемеловой аккреционной призмы, а на востоке – Кемским террейном раннемеловой островной дуги. Террейн сложен мощным (порядка 11 000 м) комплексом терригенных отложений, представленных главным образом аркозовыми

песчаниками, алевролитами и аргиллитами, характеризующимися в большинстве случаев ритмичным строением (турбидиты), а также переслаивающимися с ними пачками конгломератов и гравелитов. В основании Журавлевско-Амурского террейна (например, в приустьевой части р. Колумбе) выделяется толща глинистых кремней и кремнистых аргиллитов позднепермско-берриасского возраста (см., напр., [31]). Предполагается, что кремнисто-глинистые породы, залегающие на толеитовых базальтах, представляют собой фрагмент осадочного чехла палео-Тихоокеанской плиты, которая в течение юрского времени субдуцировалась под палео-Азиатскую окраину, а в раннемеловое время, сменив направление движения, трансформно смещалась вдоль последней к северу и засыпалась терригенной кластикой [7, 31 и др.].

На основании находок макрофауны отложения террейна разделены на восемь последовательно залегающих свит, возрастной диапазон которых охватывает интервал от берриаса по альб [42]. Вмещающие гранитоиды песчано-алевролитовые породы смяты в сжатые разноамплитудные складки северо-восточного простирания и разбиты на блоки многочисленными разломами, представляющими собой левые сдвиги.

Породные ассоциации восточного фланга Журавлевско-Амурского террейна, равно как и других раннемеловых террейнов (Кемского, Таухинского и Киселевско-Маноминского), несогласно перекрыты сеноман-маастрихтскими вулканогенно-осадочными образованиями ВСАВП, интерпретируемыми как надсубдукционные (см., напр., [7]), что указывает на очередную смену геодинамического режима на восточной окраине палео-Азиатского континента на рубеже раннего и позднего мела.

### **Объекты и методика исследования**

В ходе данного исследования были изучены массивы Водораздельный, Дальне-Арминский, Перевальный, Правоваленкуйский, Снежный, Усть-Малиновский и Ловлягин (см. рис. 1), обнажающиеся на территории междуречья рек Бикин и Большая Уссурка. Основной объем упомянутых интрузивов составляют различной зернистости (от крупно- до мелкозернистых) изредка порфиридные биотитовые (иногда содержащие амфибол) граниты и гранодиориты, сформировавшиеся в первую (основную) фазу внедрения. При этом для большинства массивов характерно, что центральные их части сложены крупно- или среднезернистыми разностями, а в приконтактных частях они сменяются тонкозернистыми и порфиридными. Вторая фаза, проявленная на большинстве массивов, представлена мелкими дайками и жилами биотит-мусковитовых гранитов, гранит-порфиоров и аплитов. Состав гранитоидов практически однотипен, но с незначительными вариациями содержания как основных породообразующих, так и акцессорных минералов. Краткое описание типов пород, местоположений образцов, названий интрузивов, петрографические характеристики и минеральные ассоциации изученных образцов гранитоидов представлены в табл. 1.

U-Pb изотопное датирование было выполнено для 12 образцов, отобранных из упомянутых выше гранитоидных массивов. Для анализа использовались не измененные вторичными процессами образцы горных пород, которые подвергались дроблению и измельчению. Выделение цирконов осуществлялось по стандартной методике.

## Петрографическая характеристика изученных гранитоидов

Образец	Местоположение	Тип породы	Структура	Минеральный состав	Массив
19-Пра-1	46° 17' 07,40" N, 136° 42' 32,40" E	Монzogранит	Крупнозернистая	Pl (45–50 %), Kfs (20 %), Q (20 %), Bi (10 %), Hbl (≤1 %) Акцессории (<1 %): Ap, Zrn, Mnz, Aln, Ep, Mg	Правоваленкуйский
19-Пра-2	46° 15' 06,84" N, 136° 40' 00,84" E	Кварцевый монзонит		Pl (60–65 %), Bi и Hbl (15–20 %), Q (6 %), Kfs (10–15 %) Акцессории (1 %): Mg, Ap, Xnt	
19-Лов-1	45° 27' 43,66" N, 135° 15' 55,41" E	Гранодиорит	Мелко-, среднезернистая, неоднородная	Pl (60–65 %), Kfs (10–15 %), Q (10 %), Bi и Hbl (~10 %) Акцессории (~2 %): Mag, Tit, Zrn, Ap, Aln	Ручья Ловлягин
19-Сне-1	46° 27' 40,28" N, 136° 24' 16,38" E	Гранодиорит	Мелко-, среднезернистая, неоднородная	Pl (60–65 %), Kfs (10–15 %), Q (10 %), Bi and Hbl (~10 %) Акцессории (1 %): Ap, Zrn, Aln, Ep, Tit, Mg	Снежный
19-Пер-1	45° 43' 10,10" N, 135° 10' 43,70" E	Лейкогранит	Крупнозернистая равномерная	AF (65 %), Q (30 %), Bi (5 %) Акцессории (<1 %): Zrn, Ap, Mnz, Aln	Перевальный
19-Пер-2	45° 41' 46,32" N, 135° 11' 28,64" E	Монzogранит	Среднезернистая	Q (30 %), Kfs (20 %), Pl (35–40 %), Bi (10 %), Hbl (≤1 %) Акцессории (1 %): Zrn, Ap, Mnz, Aln	
19-Вод-1	45° 35' 32,56" N, 135° 13' 17,74" E	Лейкогранит	Крупно-, мелко зернистая	AF (70 %), Q (25 %), Bi (5 %) Акцессории (1 %): Grt, Zrn, Ep	Водораздельный
19-Вод-2	45° 35' 23,05" N, 135° 15' 23,29" E	Монzogранит	Крупнозернистая неоднородная	AF (65 %), Q (30 %), Bi (5 %), Ms (~3 %) Акцессории (1 %): Zrn, Ap	
19-Вод-3	45° 35' 21,00" N, 135° 15' 44,10" E		Крупнозернистая	AF (65 %), Q (30 %), Bi (~5 %), Ms (~3 %) Акцессории (1 %): Zrn, Xnt, Trm	
19-У-М-1	46° 21' 29,70" N, 136° 29' 31,02" E	Лейкогранит	Мелко-, среднезернистая, порфиоровидная	AF (60 %), Q (25 %), Pl (5–10 %), Bi (5 %) Accessory (1 %): Ilm, Zrn, Aln	Усть-Малиновский
19-Дал-1	45° 56' 01,33" N, 135° 24' 41,48" E	Монzogранит	Крупнозернистая	Q (35 %), AF (25 %), Pl (30 %), Bi (5 %), Hbl (~5 %) Акцессории (1 %): Zrn, Ap, Mnz, Aln	Дальне-Арминский
19-Дал-2	45° 55' 59,79" N, 135° 25' 12,99" E	Лейкогранит	Крупнозернистая равномерная	Q (40 %), AF (25 %), Pl (25 %), Bi (5 %), Hbl (5 %) Акцессории (1 %): Zrn, Ap, Mnz, Aln, Flr	

Примечание. AF – щелочные полевые шпаты (включая ортоклаз, микроклин и альбит); Bi – биотит; Hbl – амфибол; Kfs – ортоклаз и/или микроклин; Ms – мусковит; Pl – плагиоклаз; Q – кварц. Акцессорные минералы: Aln – алланит (ортит); Ap – апатит; Ep – эпидот; Flr – флюорит; Grt – гранат; Ilm – ильменит; Mg – магнетит; Mnz – монацит; Tit – сфен; Trm – турмалин; Xnt – ксенотим; Zrn – циркон.



Для выбора конкретных участков датирования использовали изображения цирконов в проходящем и отраженном свете и катодолюминесцентные снимки (CLI), на которых видны внутренняя структура, зональность, трещиноватость, включения. U-Pb датирование и микроэлементный анализ цирконов проводились методом LA-ICP-MS в центральной лаборатории региональной геологии и минерализации Хэбэйского университета (Key Laboratory of Regional Geology and Mineralization, Hebei GEO University, China).

## Результаты и обсуждение

Из каждой пробы гранитоидов для U-Pb изотопного датирования пород было выделено значительное количество зерен цирконов (от 100 и более), но для проведения анализа изотопных соотношений U и Pb было выбрано по 25 наиболее представительных экземпляров, не содержащих видимых включений. Подвергнутые анализу цирконы имеют размеры от 50 до 300 мкм и в целом характеризуются более или менее идиоморфной формой, короткопризматическим габитусом и пирамидальными окончаниями. Практически для всех кристаллов цирконов характерно наличие четкой осцилляторной зональности, что свидетельствует об их магматическом происхождении [43]. U-Pb содержания проанализированных цирконов представлены в табл. 2.

В целом большинство проанализированных цирконов имеют относительно низкие содержания урана – от  $211,8 \pm 8,7$  до  $1644,0 \pm 74,3$  г/т. Отношения Th/U всех зерен циркона колеблются от 0,35 до 0,78 (табл. 2), что также указывает на их магматическое происхождение.

Таблица 2

Содержания U и Th по данным LA-ICP-MS и рассчитанный возраст

Образец	Кол-во точек	U усред. значение, ppm	Th усред. значение, ppm	Th/U ( $\pm 2\sigma$ )	СКВО (конкордант.)	Вероятность (конкордант.)	Возраст, млн лет ( $\pm 2\sigma$ )
19-Пра-1	19	$505,9 \pm 14,0$	$222,4 \pm 8,8$	$0,449 \pm 0,049$	1,9	0,17	$104,5 \pm 0,5$
19-Пра-2	20	$438,9 \pm 17,2$	$347,2 \pm 15,9$	$0,776 \pm 0,056$	0,03	0,96	$102,4 \pm 0,5$
19-Лов-1	17	$211,8 \pm 8,7$	$151,4 \pm 10,3$	$0,656 \pm 0,062$	2,0	0,16	$98,6 \pm 1,0$
19-Сне-1	18	$763,7 \pm 18,3$	$285,3 \pm 9,4$	$0,379 \pm 0,042$	1,3	0,18	$92,3 \pm 0,5$
19-Пер-1	13	$819,5 \pm 40,5$	$462,9 \pm 22,4$	$0,768 \pm 0,073$	1,5	0,13	$85,7 \pm 1,0$
19-Пер-2	22	$1263,4 \pm 45,9$	$595,4 \pm 24,5$	$0,485 \pm 0,056$	1,3	0,25	$86,3 \pm 1,0$
19-Вод-1	13	$1644,0 \pm 74,3$	$519,6 \pm 21,1$	$0,346 \pm 0,065$	0,91	0,48	$83,6 \pm 0,5$
19-Вод-2	14	$1246,0 \pm 57,1$	$431,1 \pm 18,8$	$0,428 \pm 0,073$	0,98	0,32	$85,6 \pm 1,0$
19-Вод-3	17	$1054,7 \pm 37,2$	$545,3 \pm 35,5$	$0,582 \pm 0,068$	1,8	0,07	$83,7 \pm 1,0$
19-У-М-1	24	$404,3 \pm 14,0$	$227,2 \pm 10,1$	$0,600 \pm 0,057$	0,30	0,58	$74,5 \pm 1,0$
19-Дал-1	15	$489,1 \pm 10,9$	$274,7 \pm 9,3$	$0,552 \pm 0,042$	0,65	0,42	$73,4 \pm 0,5$
19-Дал-2	18	$508,7 \pm 14,4$	$262,4 \pm 10,2$	$0,545 \pm 0,048$	0,50	0,48	$74,3 \pm 0,5$

Для гранитоидов Водораздельного массива выполнено 75 анализов цирконов (по 3 образцам: 19-Вод-1, 19-Вод-2, 19-Вод-3), которые показывают, что  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  средний возраст пород находится в интервале от  $85,6 \pm 1,0$  до  $83,6 \pm 0,5$  млн лет. По цирконам образцов лейкогранита и монцогранита Перевального массива (19-Пер-1 и 19-Пер-2) выполнено 50 анализов изотопного соотношения  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , которые показали средний возраст в интервале от  $86,3 \pm 1,0$  до  $85,7 \pm 1,0$  млн лет.

Для кварцевого монцонита и монцогранитов массива Правовалинкуйский (образцы 19-Пра-1 и 19-Пра-2)  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возраст пород, определенный по 50 анализам, попадает в интервал от  $104,5 \pm 0,5$  до  $102,4 \pm 0,5$  млн лет, а для гранодиорита массива ручья Ловлягин (19-Лов-1) по данным 25 анализов цирконов  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  средний возраст соответствует  $98,6 \pm 1,0$  млн лет. Возраст гранодиорита массива Снежный  $92,3 \pm 0,5$  млн лет.

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  средний возраст лейкогранитов Усть-Малиновского массива (19-У-М-1) составляет  $74,5 \pm 1,0$  млн лет. Для гранитоидов Дальне-Арминского массива выполнено 50 анализов цирконов (19-Дал-1 и 19-Дал-2), которые характеризуют  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  средний возраст в диапазоне от  $74,3 \pm 0,5$  до  $73,4 \pm 0,5$  млн лет.

Таким образом, результаты проведенного U-Pb изотопного датирования гранитоидных массивов, расположенных в районе междуречья рек Бикин – Большая Уссурка, показывают наличие как минимум трех разновозрастных комплексов. Один из них (позднеальб-сеноманский) представлен массивами Правовалинкуйский, Снежный и ручья Ловлягина с возрастом 105–93 млн лет, что соответствует второй фазе (Татибинская серия) синорогенного магматизма в Сихотэ-Алине. Второй (сантонский), включающий Перевальный и Водораздельный массивы, имеет возраст 86–83 млн лет, и третий (кампанский) представлен Дальне-Арминским и Усть-Малиновским массивами, кристаллизационный возраст которых составляет ~73 млн лет. Последние два комплекса характеризуют посторогенный этап развития Сихотэ-Алинской складчатой области, и в возрастном отношении эти позднемеловые гранитоиды близки интрузивным образованиям ВСАВПП. Однако будучи локализованными в зоне сочленения Самаркинского и Журавлевско-Амурского террейнов, они значительно территориально удалены (60–80 км, а местами и более) от районов развития вулканоплутонических образований ВСАВПП и не обнаруживают с ними пространственной и генетической связи.

В районе распространения разновозрастных Сихотэ-Алинским аккреционных комплексов на территории Китая (хр. Наданьхада (по [44]) или хр. Вандашан (по [45]) позднемеловых гранитоидов не установлено, равно как и на всем протяжении от северо-восточного до юго-восточного Китая (см., напр., [10, 13 и ссылки в них]). Напротив, юрско-раннемеловые (в интервале от ~190 до ~88 млн лет) и палеогеновые (моложе 50 млн лет) имеют значительное распространение (см., напр., [10, 17, 19 и ссылки в них]). Отсутствие магматической активности в восточных районах Китая на протяжении почти 40 млн лет (с ~88 до ~50) послужило основанием ряду исследователей предложить умозрительную модель мезозойской геодинамической эволюции восточной окраины Азии, которая полностью противоречит имеющимся геологическим данным по Сихотэ-Алиню, Сахалину и Японии. В соответствии с этой моделью проявление юрско-раннемелового гранитоидного магматизма в восточной части Китая связывается с субдукцией палео-Тихоокеанской плиты под восточную окраину палео-Азиатского континента. Процессы дегидратации субдуцированного слэба обуславливают размягчение и разуплотнение надслэбовой литосферы (basal hydration weakening) и ее утонение

(lithosphere thinning), что, в свою очередь, приводит к парциальному плавлению нижнекорового материала и генерации гранитоидных магм. Таким образом, согласно этой модели в интервале времени ~190–88 млн лет (юра, весь ранний мел и начало позднего мела) восточный край палео-Азиатского континента представлял собой активную окраину субдукционного типа (см., напр., [11, 13, 16, 28 и др.]). Однако многочисленные опубликованные данные по Японии и Сихотэ-Алиню [7, 22, 31, 46, 47 и ссылки в них] показывают, что режим субдукции палео-Тихоокеанской плиты на рубеже юры и мела (~145 млн лет) сменился трансформным скольжением последней вдоль края континента в северном направлении. Следовательно, как минимум с конца титонского времени выплавление гранитных магм на восточной окраине палео-Азиатского континента обуславливалось процессами, не связанными с субдукцией палео-Тихоокеанской плиты.

Режим трансформной окраины продолжался до позднего сеномана (~95 Ма), и затем вновь возобновился режим субдукции палео-Тихоокеанской плиты (см., напр., [7, 22, 47, 48 и ссылки в них]), результатом чего явилось формирование структурно-вещественных комплексов латерального ряда субдукционной окраины, т.е. окраинно-континентальной магматической дуги (ВСАВПП), преддугового прогиба (верхние части Западно-Сахалинского и Сорачи-Ёзо террейнов) и мел-палеогеновой аккреционной призм (Шиманто террейн). Если же ориентироваться только на данные по возрастному распределению гранитоидов в восточной части Китая, то на период позднего мела отмечается перерыв в проявлении магматической активности, что связывается с прекращением субдукции из-за заклинивания желоба достаточно крупным объектом (океаническое плато или микроконтинент) в интервале 100–90 млн лет, что обусловило изменение направления движения палео-Тихоокеанской плиты параллельно континентальной

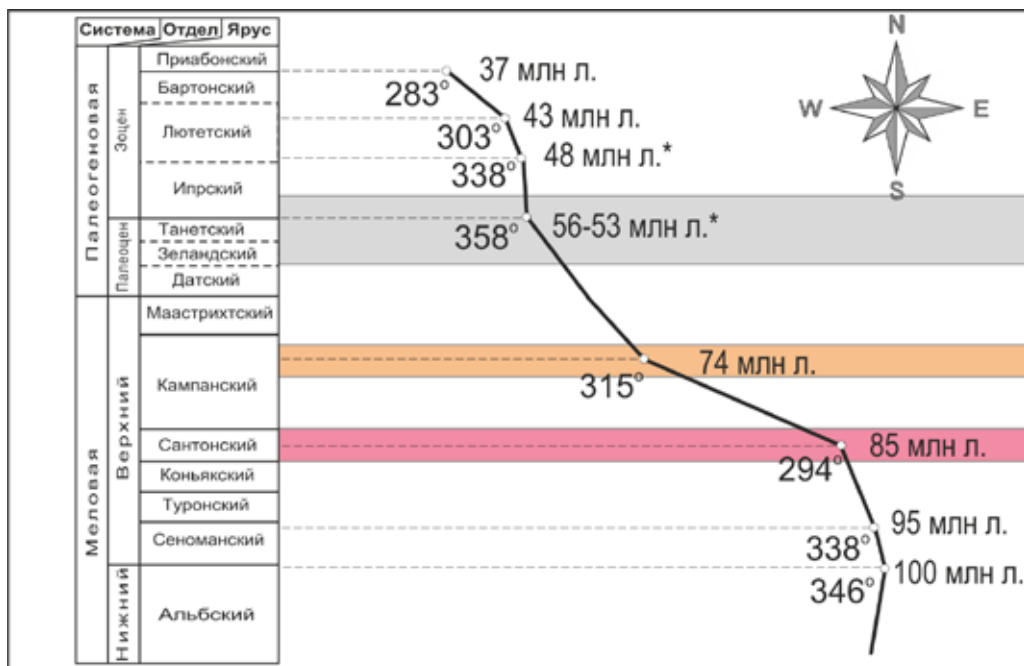


Рис. 2. Вектор направления движения Тихоокеанской плиты (по: [49]) и U-Pb возраста гранитоидов центральной зоны Сихотэ-Алиня. Звездочка означает недостаточную достоверность данных

окраине и смену режима субдукции режимом трансформного скольжения (см., напр., [13, 16]).

Полученные новые U-Pb изотопные датировки для изученных гранитоидов Центрального Сихотэ-Алиня убедительно показывают, что магматическая активность на восточной окраине палео-Азии в поздне меловое время не прекращалась даже на значительном удалении вглубь континента от конвергентной границы (т.е. от ВСАВП и одновозрастных вулканоплутонических комплексов Внутренней зоны Японии и юга Корейского полуострова).

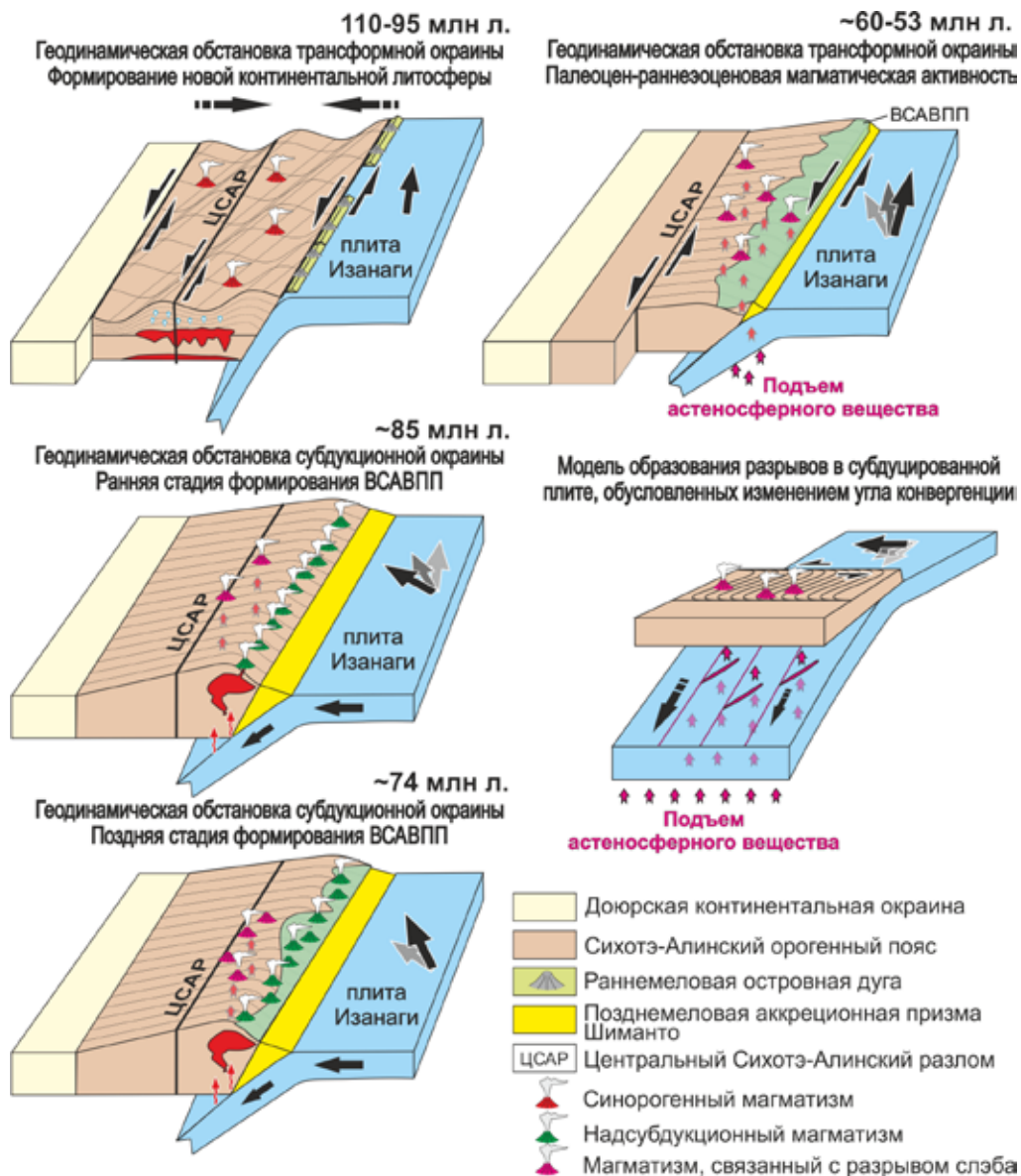


Рис. 3. Схематические диаграммы магматических событий в различных геодинамических обстановках на восточной окраине палео-Азии, включая разрывы слэба, вызванные изменением движения океанической плиты по отношению к континенту

Значительная удаленность изученных массивов вглубь континента от районов распространения вулканоплутонических комплексов ВСАВП не позволяет связать их формирование с процессами надсубдукционного магматизма, протекавшими на тот момент на окраине палеоконтинента. Кроме того, время внедрения изученных позднемеловых гранитоидов идеально совпадает с временем изменений направления вектора движения палео-Тихоокеанской плиты и, соответственно, периодами изменений угла конвергенции последней с восточной окраиной палео-Азии (рис. 2).

Согласно построениям [49, 50 и др.] вектор движения палео-Тихоокеанской плиты в сантонском веке (~85 млн лет) изменился с  $338^\circ$  на  $294^\circ$ , а в кампане (~74 млн лет) в обратную сторону – к  $315^\circ$ . Последующее изменение направления движения палео-Тихоокеанской плиты (к  $358^\circ$ ) реконструируется в интервале времени 60–53 млн лет, что также ознаменовано проявлением среднепалеоцен-раннеэоценовым этапом магматической активности на восточной окраине палео-Азии, который представлен нетипичными (для субдукции) магматическими образованиями А-типа [30].

Мы полагаем, что смена вектора движения океанической плиты по отношению к континентальной окраине (фактически разворот плиты) сопровождается изменением скорости субдукции разных ее участков (замедлением на меньшем радиусе и увеличением на большем), что обуславливает возникновение разрывов (рис. 3) в субдуцированном слэбе (slab tear). Эти разрывы являются зонами внедрения (апвеллинга) подслэбового высокотемпературного и безводного астеносферного вещества, обусловившего частичное плавление корового материала и генерацию гранитных магм, внедрение которых и привело к формированию посторогенных гранитоидных интрузий (сантонского и позднекампанского возрастов) на рассматриваемой площади Сихотэ-Алиня.

## Выводы

1. По результатам U-Pb изотопного датирования впервые получены оригинальные данные о позднемеловом возрасте ряда гранитных массивов, локализованных в центральной части Сихотэ-Алинского орогенного пояса, считавшихся ранее раннемеловыми–синорогенными. Эти данные опровергают распространенное мнение об отсутствии позднемелового магматизма на восточной окраине палео-Азиатского континента на значительном удалении от окраинно-континентального Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса.

2. Возраст изученных гранитоидов идеально совпадает с временем изменения угла конвергенции между палео-Тихоокеанской плитой и восточной окраиной палео-Азиатского континента в позднемеловое время. Эти изменения в направлении движения океанической плиты по отношению к континенту, очевидно, сопровождались разрывами погружаемой плиты (за счет разной скорости субдукции разных частей плиты) с последующим астеносферным апвеллингом вдоль разрывов и частичным плавлением нижней коры, что в конечном итоге обусловило посторогенный интрузивный магматизм.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ханчук А.И., Панченко И.В., Кемкин И.В. Геодинамическая эволюция Сихотэ-Алиня и Сахалина в позднем палеозое и мезозое. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. 56 с. (Препринт).
2. Натальин Б.А. Мезозойская аккреционная и коллизийная тектоника юга Дальнего Востока СССР // Тихоокеан. геология. 1991. № 5. С. 3–23.
3. Faure M., Natal'in B.A., Monie P., Vrublevsky A.A., Borukaiev Ch.B., Prikhodko V.S. Tectonic evolution of the Anyui metamorphic rocks (Sikhote-Alin, Russia) and their place in the Mesozoic geodynamic framework of East Asia // *Tectonophysics*. 1995. Vol. 241. P. 279–301.
4. Maruyama S., Isozaki Y., Kimura G., Terabayashi M. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: Plate synthesis from 750 Ma to the present // *The Island Arc*. 1997. Vol. 6. P. 121–142.
5. Taira A. Tectonic evolution of the Japanese island arc system // *Ann. Rev. Earth Planetary Sci.* 2001. Vol. 29. P. 109–134.
6. Парфенов Л.М., Берзин А.Н., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгагов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртоого О., Янь Х. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 7–41.
7. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. 981 с.
8. Wu Fu-Yuan, Yang Jin-Hui, Lo Ching-Hua, Wilde Simon A., Sun De-You, Jahn Bor-Ming. The Heilongjiang Group: a Jurassic accretionary complex in the Jiamusi Massif at the western Pacific margin of Northeastern China // *The Island Arc*. 2007. Vol. 16. P. 156–172.
9. Kemkin I.V. Structure of terranes in a Jurassic accretionary prism in the Sikhote-Alin-Amur area: implications for the Jurassic geodynamic history of the Asian Eastern margin // *Russ. Geol. Geophysics*. 2008. Vol. 49. P. 759–770.
10. Wu Fu-Yuan, Sun De-You, Ge Wen-Chun, Zhang Yan-Bin, Grant M.L., Wilde S.A., Jahn Bor-Ming. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in Northeastern China // *J. Asian Earth Sci.* 2011. Vol. 41. P. 1–30.
11. Li Z.X., Li X.H., Chung S.-L., Lo C.-H., Xisheng X., Li W.-X. Magmatic switch-on and switch-off along South China continental margin since the Permian: Transition from an Andean-type to a western Pacific type // *Tectonophysics*. 2012. Vol. 532–535. P. 271–290.
12. Khanchuk A.I., Kemkin I.V. Jurassic geodynamic history of the Sikhote-Alin-Priamurye region // Anderson T.H., Didenko A.N., Johnson C.L., Khanchuk A.I., MacDonald J.H., Jr.(eds). *Late Jurassic Margin of Laurasia: A Record of Faulting Accommodating Plate Rotation*. Geological Society of America. 2015. Spec. paper 513. P. 509–526.
13. Niu Y., Liu Y., Xue Q., Shao F., Chen S., Duan M., Guo P., Gong H., Hu Y., Hu Z., Kong J., Li J., Liu J., Sun P., Sun W., Ye L., Xiao Y., Zhang Y. Exotic origin of the Chinese continental shelf: New insights into the tectonic evolution of the western Pacific and eastern China since the Mesozoic // *Sci. Bull.* 2015. Vol. 60, N 18. P. 1598–1616.
14. Grebennikov A.V., Khanchuk A.I., Gonevchuk V.G., Kovalenko S.V. Cretaceous and Paleogene granitoid suites of the Sikhote-Alin area (Far East Russia): Geochemistry and tectonic implications // *Lithos*. 2016. Vol. 261. P. 250–261.
15. 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 // *J. Asian Earth Sci.* 2016. Vol. 120. P. 117–138.
16. Tang J., Xu W.L., Niu Y.L., Wang F., Ge W.C., Sorokin A.A., Chekryzhov I.Y. Geochronology and geochemistry of Late Cretaceous–Paleocene granitoids in the Sikhote-Alin Orogenic Belt: Petrogenesis and implications for the oblique subduction of the paleo-Pacific plate // *Lithos*. 2016. Vol. 266/267. P. 202–212.
17. Tang J., Xu W., Wang F., Ge W. Subduction history of the Paleo-Pacific slab beneath Eurasian continent: Mesozoic–Paleogene magmatic records in Northeast Asia // *Science China Earth Sciences*. 2018. Vol. 61. P. 527–559.
18. Wu J.T.-J., Wu J. Izanagi-Pacific ridge subduction revealed by a 56 to 46 Ma magmatic gap along the northeast Asian margin // *Geology*. 2019. Vol. 47. P. 953–957.
19. Guo Feng, Wu Yangming, Zhang Bo, Zhang Xiaobing, Zhao Liang, Liao Jie. Magmatic responses to Cretaceous subduction and tearing of the paleo-Pacific Plate in SE China: An overview // *Earth-Sci. Rev.* 2021. Vol. 212. 103448.

20. Wang Yi-Ni, Xu Wen-Liang, Wang Feng, Zhang Xing-Zhou. Late Paleozoic-Mesozoic tectonic evolution of the northeastern Asian continental margin revealed by sedimentary formations and fossil accretionary complexes // *Earth-Sci. Rev.* 2022. Vol. 225. 103908.
21. Kojima S., Kemkin I.V., Kametaka M., Ando A. A correlation of accretionary complexes between southern Sikhote-Alin of Russia and Inner Zone of Southwest Japan // *Geosci. J.* 2000. Vol. 4. P. 175–185.
22. Kemkin I.V., Khanchuk A.I., Kemkina R.A. Accretionary prisms of the Sikhote-Alin Orogenic Belt: Composition, structure and significance for reconstruction of the geodynamic evolution of the eastern Asian margin // *J. Geodyn.* 2016. Vol. 102. P. 202–230.
23. Шатский Н.С. Тектоническая карта СССР и сопредельных стран в масштабе 1 : 5000000: объяснительная записка. М.: Госгеолтехиздат, 1957. 79 с.
24. Jin M.S., Lee Y.S., Ishihara S. Granitoids and their magnetic susceptibility in South Korea // *Resource Geol.* 2001. Vol. 51. P. 189–203.
25. Nakajima T., Takahashi M., Imaoka T., Shimura T. Granitic rocks // Moreno T., Wallis S., Kojima T., Gibbons W. (eds). *The Geology of Japan*. London: Geological Society, 2016. P. 251–272.
26. Jahn B.M., Valui G., Kruk N., Gonevchuk V., Usuki M., Wu J.T. Emplacement ages, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic characterization of Mesozoic to early Cenozoic granitoids of the Sikhote-Alin Orogenic Belt, Russian Far East: Crustal growth and regional tectonic evolution // *J. Asian Earth Sci.* 2015. Vol. 111. P. 872–918.
27. Kim S.W., Kwon S. et al. SHRIMP U-Pb dating and geochemistry of the Cretaceous plutonic rocks in the Korean Peninsula: A new tectonic model of the Cretaceous Korean Peninsula // *Lithos.* 2016. Vol. 262. P. 88–106.
28. Zhou X.M., Li W.X. Origin of Late Mesozoic igneous rocks of southeastern China: implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magma // *Tectonophysics.* 2000. Vol. 326. P. 269–287.
29. Гребенников А.В., Касаткин С.А., Федосеев Д.Г., Ханчук А.И. Среднепалеоцен-раннеэоценовый (60,5–53 млн лет) этап магматизма на юге Дальнего Востока России // *Тихоокеан. геология.* 2020. Т. 39, № 5. С. 34–40.
30. Grebennikov A.V., Kemkin I.V., Khanchuk A.I. Paleocene–early Eocene post-subduction magmatism in Sikhote-Alin (Far East Russia): New constraints for the tectonic history of the Izanagi-Pacific ridge and the East Asian continental margin // *Geosci. Front.* 2021. Vol. 12, N 4. 101142.
31. Кемкин И.В. Геодинамическая эволюция Сихотэ-Алиня и Япономорского региона в мезозое. М.: Наука, 2006. 258 с.
32. Ханчук А.И., Крук Н.Н., Голозубов В.В., Ковач В.П., Серов П.А., Холоднов В.В., Гвоздев В.И., Касаткин С.А. Природа континентальной коры Сихотэ-Алиня (по данным изотопного состава Nd в породах Южного Приморья) // *Докл. РАН.* 2013. Т. 451, № 4. С. 441–445.
33. Изох Э.П., Колмак Л.М., Наговская Г.Н., Русс В.В. Позднемезозойские интрузии Центрального Сихотэ-Алиня и связь с ними оруденения. М.: Недра, 1957. 246 с.
34. Тектоно-магматические системы аккреционной коры. Владивосток, 1989. 338 с.
35. Натальин Б.А., Фор М., Монье П., Борукаев Ч.Б., Приходько В.С., Врублевский А.А. Анюйский метаморфический купол (Сихотэ-Алинь) и его значение для мезозойской геодинамической эволюции Восточной Азии // *Тихоокеан. геология.* 1994. № 6. С. 3–25.
36. Гвоздев В.И. Рудно-магматические системы скарновых шеелит-сульфидных месторождений Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2010. 338 с.
37. Крук Н.Н., Симаненко В.П., Гвоздев В.И., Голозубов В.В., Ковач В.П., Серов П.А., Холоднов В.В., Москаленко Е.Ю., Куйбида М.Л. Геохимические особенности и источники расплавов раннемеловых гранитоидов Самаркинского террейна (Сихотэ-Алинь) // *Геология и геофизика.* 2014. Т. 55, № 2. С. 276–302.
38. Wu J.T.-J., Jahn B.M., Nechaev V.P., Chashchin A.A., Popov V.K., Yokoyama K., Tsutsumi Y. Geochemical characteristics and petrogenesis of adakites in the Sikhote-Alin area, Russian Far East // *J. Asian Earth Sci.* 2017. Vol. 145 (B). P. 512–529.
39. Ханчук А.И., Крук Н.Н., Валуй Г.А., Неволин П.Л., Москаленко Е.Ю., Фугзан М.М., Киринова Т.И., Травин А.В. Успенский интрузив Южного Приморья – петротип гранитоидов трансформных континентальных окраин // *Докл. РАН.* 2008. Т. 420. № 5. С. 664–668.
40. Сахно В.Г., Коваленко С.В., Лызганов А.В. Гранитоидный магматизм Арминского блока Центрального Сихотэ-Алиня Приморья: U-Pb датирование, изотопная характеристика ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ), особенности петрохимического состава и рудной минерализации // *Докл. РАН.* 2016. Т. 466, № 6. С. 692–698.

41. Крук Н.Н., Гвоздев В.И., Орехов А.А., Крук Е.А., Касаткин С.А., Голозубов В.В., Руднев С.Н., Ковач В.П., Серов П.А. Раннемеловые гранитоиды и монцитонитоиды южной части Журавлевского террейна (Сихотэ-Алинь): геохимические особенности и источники расплавов // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 3. С. 30–49.
42. Маркевич П.В., Коновалов В.П., Малиновский А.И., Филиппов А.Н. Нижнемеловые отложения Сихотэ-Алиня. Владивосток: Дальнаука, 2000. 282 с.
43. Koschek G. Origin and significance of the SEM cathodoluminescence from zircon // *J. Microsc.* 1993. Vol. 171. P. 223–232.
44. Shao J.A., Tang K.D., Wang C.Y., Zang Q.J., Zhang Y.P. Structural features and evolution of the Nandanhada terrane // *Sci. China. Ser. B.* 1992. Vol. 35, N 5. P. 621–630.
45. Sun M.D., Xu Y.G., Wilde S.A., Chen H.L. Provenance of Cretaceous trench slope sediments from the Mesozoic Wandashan Orogen, NE China: Implications for determining ancient drainage systems and tectonics of the Paleo-Pacific // *Tectonics.* 2015. Vol. 34, N 6. P. 1269–1289.
46. Ichikawa K., Mizutani S., Hara I., Hada S., Yao A. (eds). Pre-Cretaceous Terranes of Japan. Osaka, 1990. 413 p. (Publication of IGCP Project N 224: Pre-Jurassic Evolution of Eastern Asia).
47. Moreno T., Wallis S., Kojima T., Gibbins W. (eds). The Geology of Japan. London: Geological Society, 2016. 522 p.
48. 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.
49. Engebretson D., Cox A., Gordon R.G. Relative motions between oceanic and continental plates in the northern Pacific basin // *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* 1985. Vol. 206. P. 1–59.
50. Seton M., Flament N., Whittaker J., Müller R.D., Gurnis M., Bower D.J. Ridge subduction sparked reorganization of the Pacific plate-mantle system 60–50 million years ago // *Geophys. Res. Lett.* 2015. Vol. 42. P. 1732–1740.

## REFERENCES

1. Khanchuk A.I., Panchenko I.V., Kemkin I.V. Geodynamic evolution of the Sikhote-Alin and Sakhalin in the Late Paleozoic and Mesozoic. Preprint. Vladivostok: FEB AN USSR; 1988. 56 p. (In Russ.).
2. Natal'in B.A. Mesozoic accretionary and collisional tectonics of the south of the Far East of the USSR. *Pacific Geology.* 1991;(5):3-23. (In Russ.).
3. Faure M., Natal'in B.A., Monie P., Vrublevsky A.A., Borukaiev Ch.B., Prikhodko V.S. Tectonic evolution of the Anuyi metamorphic rocks (Sikhote-Alin, Russia) and their place in the Mesozoic geodynamic framework of East Asia. *Tectonophysics.* 1995;241:279-301.
4. Maruyama S., Isozaki Y., Kimura G., Terabayashi M. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: Plate synthesis from 750 Ma to the present. *The Island Arc.* 1997;6:121-142.
5. Taira A. Tectonic evolution of the Japanese island arc system. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences.* 2001;29:109-134.
6. Parfenov L.M., Berzin A.N., Khanchuk A.I., Badarch G., Belichenko V.G., Bulgatov A.N., Dril S.I., Kirillova G.L., Kuzmin M.I., Knockleberg U., Prokopiev A.V., Timofeev V.F., Tomurtogoo O., Yan H. Model of formation of orogenic belts in Central and Northeast Asia. *Pacific Geology.* 2003;22(6):7-41. (In Russ.).
7. Khanchuk A.I. (ed.). Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia: In 2 books. Vladivostok: Dalnauka; 2006. 981 p. (In Russ.).
8. Wu Fu-Yuan, Yang Jin-Hui, Lo Ching-Hua, Wilde Simon A., Sun De-You, Jahn Bor-Ming. The Heilongjiang Group: a Jurassic accretionary complex in the Jiamusi Massif at the western Pacific margin of Northeastern China. *The Island Arc.* 2007;16:156-172.
9. Kemkin I.V. Structure of terranes in a Jurassic accretionary prism in the Sikhote-Alin-Amur area: implications for the Jurassic geodynamic history of the Asian Eastern margin. *Russian Geology and Geophysics.* 2008;49:759-770.
10. Wu Fu-Yuan, Sun De-You, Ge Wen-Chun, Zhang Yan-Bin, Grant M.L., Wilde S.A., Jahn Bor-Ming. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in Northeastern China. *Journal of Asian Earth Sciences.* 2011;41:1-30.
11. Li Z.X., Li X.H., Chung S.-L., Lo C.-H., Xisheng X., Li W.-X. Magmatic switch-on and switch-off along South China continental margin since the Permian: Transition from an Andean-type to a western Pacific type. *Tectonophysics.* 2012;532-535:271-290.



12. Khanchuk A.I., Kemkin I.V. Jurassic geodynamic history of the Sikhote-Alin-Priamurye region. In: *Anderson T.H., Didenko A.N., Johnson C.L., Khanchuk A.I., MacDonald J.H., Jr. (eds). Late Jurassic Margin of Laurasia: A Record of Faulting Accommodating Plate Rotation*. Geological Society of America; 2015. Special paper 513. P. 509-526.
13. Niu Y., Liu Y., Xue Q., Shao F., Chen S., Duan M., Guo P., Gong H., Hu Y., Hu Z., Kong J., Li J., Liu J., Sun P., Sun W., Ye L., Xiao Y., Zhang Y. Exotic origin of the Chinese continental shelf: New insights into the tectonic evolution of the western Pacific and eastern China since the Mesozoic. *Science Bulletin*. 2015;60(18):1598-1616.
14. Grebennikov A.V., Khanchuk A.I., Gonevchuk V.G., Kovalenko S.V. Cretaceous and Paleogene granitoid suites of the Sikhote-Alin area (Far East Russia): Geochemistry and tectonic implications. *Lithos*. 2016;261:250-261.
15. 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. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2016;120:117-138.
16. Tang J., Xu W.L., Niu Y.L., Wang F., Ge W.C., Sorokin A.A., Chekryzhov I.Y. Geochronology and geochemistry of Late Cretaceous-Paleocene granitoids in the Sikhote-Alin Orogenic Belt: Petrogenesis and implications for the oblique subduction of the paleo-Pacific plate. *Lithos*. 2016;266/267:202-212.
17. Tang J., Xu W., Wang F., Ge W. Subduction history of the Paleo-Pacific slab beneath Eurasian continent: Mesozoic-Paleogene magmatic records in Northeast Asia. *Science China Earth Sciences*. 2018;61:527-559.
18. Wu J.T.-J., Wu J. Izanagi-Pacific ridge subduction revealed by a 56 to 46 Ma magmatic gap along the northeast Asian margin. *Geology*. 2019;47:953-957.
19. Guo Feng, Wu Yangming, Zhang Bo, Zhang Xiaobing, Zhao Liang, Liao Jie. Magmatic responses to Cretaceous subduction and tearing of the paleo-Pacific Plate in SE China: An overview. *Earth-Science Reviews*. 2021;212. 103448.
20. Wang Yi-Ni, Xu Wen-Liang, Wang Feng, Zhang Xing-Zhou. Late Paleozoic-Mesozoic tectonic evolution of the northeastern Asian continental margin revealed by sedimentary formations and fossil accretionary complexes. *Earth-Science Reviews*. 2022;225. 103908.
21. Kojima S., Kemkin I.V., Kametaka M., Ando A. A correlation of accretionary complexes between southern Sikhote-Alin of Russia and Inner Zone of Southwest Japan. *Geosciences Journal*. 2000;4:175-185.
22. Kemkin I.V., Khanchuk A.I., Kemkina R.A. Accretionary prisms of the Sikhote-Alin Orogenic Belt: Composition, structure and significance for reconstruction of the geodynamic evolution of the eastern Asian margin. *Journal of Geodynamics*. 2016;102:202-230.
23. Shatsky N.S. Tectonic map of the USSR and neighboring countries on a scale of 1: 5,000,000: Explanatory note. Moscow: Gosgeoltekhizdat; 1957. 79 p. (In Russ.).
24. Jin M.S., Lee Y.S., Ishihara S. Granitoids and their magnetic susceptibility in South Korea. *Resource Geology*. 2001;51:189-203.
25. Nakajima T., Takahashi M., Imaoka T., Shimura T. Granitic rocks. In: *Moreno T., Wallis S., Kojima T., Gibbons W. (eds). The Geology of Japan*. London: Geological Society; 2016. P. 251-272.
26. Jahn B.M., Valui G., Kruk N., Gonevchuk V., Usuki M., Wu J.T. Emplacement ages, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic characterization of Mesozoic to early Cenozoic granitoids of the Sikhote-Alin Orogenic Belt, Russian Far East: Crustal growth and regional tectonic evolution. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2015;111:872-918.
27. Kim S.W., Kwon S. et al. SHRIMP U-Pb dating and geochemistry of the Cretaceous plutonic rocks in the Korean Peninsula: a new tectonic model of the Cretaceous Korean Peninsula. *Lithos*. 2016;262:88-106.
28. Zhou X.M., Li W.X. Origin of Late Mesozoic igneous rocks of southeastern China: implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magma. *Tectonophysics*. 2000;326:269-287.
29. Grebennikov A.V., Kasatkin S.A., Fedoseev D.G., Khanchuk A.I. Middle Paleocene-Early Eocene (60.5–53 Ma) stage of magmatism in the south of the Russian Far East. *Pacific Geology*. 2020;39(5):34-40. (In Russ.).
30. Grebennikov A.V., Kemkin I.V., Khanchuk A.I. Paleocene–early Eocene post-subduction magmatism in Sikhote-Alin (Far East Russia): New constraints for the tectonic history of the Izanagi-Pacific ridge and the East Asian continental margin. *Geoscience Frontiers*. 2021;12(4). 101142.
31. Kemkin I.V. Geodynamic evolution of the Sikhote-Alin and the Sea of Japan region in the Mesozoic. Moscow: Nauka; 2006. 258 p. (In Russ.).

32. Khanchuk A.I., Kruk N.N., Golozubov V.V., Kovach V.P., Serov P.A., Kholodnov V.V., Gvozdev V.I., Kasatkin S.A. The nature of the continental crust of the Sikhote-Alin (according to the Nd isotope composition in the rocks of Southern Primorye). *Doklady Earth Sciences*. 2013;451(4):441-445. (In Russ.).
33. Izokh E.P., Kolmak L.M., Nagovskaya G.N., Russ V.V. Late Mesozoic intrusions of the Central Sikhote-Alin and the relationship of mineralization with them. M.: Nedra; 1957. 246 p. (In Russ.).
34. Tectonic-magmatic systems of the accretionary crust. Vladivostok, 1989. 338 p. (In Russ.).
35. Natal'in B.A., Fort M., Monier P., Borukaev Ch.B., Prikhodko V.S., Vrublevsky A.A. Anyui metamorphic dome (Sikhote-Alin) and its significance for the Mesozoic geodynamic evolution of East Asia. *Pacific Geology*. 1994(6):3-25. (In Russ.).
36. Gvozdev V.I. Ore-magmatic systems of skarn scheelite-sulfide deposits in the East of Russia. Vladivostok: Dalnauka; 2010. 338 p. (In Russ.).
37. Kruk N.N., Simanenko V.P., Gvozdev V.I., Golozubov V.V., Kovach V.P., Serov P.A., Kholodnov V.V., Moskalenko E.Yu., Kuybida M.L. Geochemical features and sources of melts of Early Cretaceous granitoids of the Samarka terrane (Sikhote-Alin). *Russian Geology and Geophysics*. 2014;55(2):276-302. (In Russ.).
38. Wu J.T.-J., Jahn B.M., Nechaev V.P., Chashchin A.A., Popov V.K., Yokoyama K., Tsutsumi Y. Geochemical characteristics and petrogenesis of adakites in the Sikhote-Alin area, Russian Far East. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2017;145(B):512-529.
39. Khanchuk A.I., Kruk N.N., Valuy G.A., Nevolin P.L., Moskalenko E.Yu., Fugzan M.M., Kirnozova T.I., Travin A.V. The Uspensky intrusive of South Primorye is a petrotype of granitoids of transform continental margins. *Doklady Earth Sciences*. 2008;420(5):664-668. (In Russ.).
40. Sakhno V.G., Kovalenko S.V., Lyzganov A.V. Granitoid magmatism of the Arma block of the Central Sikhote-Alin of Primorye: U-Pb dating, isotope characterization ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ), features of petrochemical composition and ore mineralization. *Doklady Earth Sciences*. 2016;466(6):692-698. (In Russ.).
41. Kruk N.N., Gvozdev V.I., Orekhov A.A., Kruk E.A., Kasatkin S.A., Golozubov V.V., Rudnev S.N., Kovach V.P., Serov P.A. Early Cretaceous granitoids and monzonitoids of the southern part of the Zhuravlevka terrane (Sikhote-Alin): geochemical features and sources of melts. *Pacific Geology*. 2019;38(3):30-49. (In Russ.).
42. Markevich P.V., Kononov V.P., Malinovsky A.I., Filipov A.N. Lower Cretaceous deposits of the Sikhote-Alin. Vladivostok: Dalnauka; 2000. 282 p. (In Russ.).
43. Koschek G. Origin and significance of the SEM cathodoluminescence from zircon. *Journal of Microscopy*. 1993;171:223-232.
44. Shao J.A., Tang K.D., Wang C.Y., Zang Q.J., Zhang Y.P. Structural features and evolution of the Nadanhada terrane. *Science in China*. Ser. B. 1992;35(5):621-630.
45. Sun M.D., Xu Y.G., Wilde S.A., Chen H.L. Provenance of Cretaceous trench slope sediments from the Mesozoic Wandashan Orogen, NE China: Implications for determining ancient drainage systems and tectonics of the Paleo-Pacific. *Tectonics*. 2015;34(6):1269-1289.
46. Ichikawa K., Mizutani S., Hara I., Hada S., Yao A. (eds). Pre-Cretaceous Terranes of Japan. Publication of IGCP Project no 224: Pre-Jurassic Evolution of Eastern Asia. Osaka; 1990. 413 p.
47. Moreno T., Wallis S., Kojima T., Gibbins W. (eds). The Geology of Japan. London: Geological Society; 2016, 522 p.
48. Khanchuk A.I., Grebennikov A.V., Ivanov V.V. Albion-Cenomanian continental marginal orogenic belt and igneous province of Pacific Asia. *Pacific Geology*. 2019;38(3):4-29. (In Russ.).
49. Engebretson D., Cox A., Gordon R.G. Relative motions between oceanic and continental plates in the northern Pacific basin. *Geological Society of America Special Papers*. 1985;206:1-59.
50. Seton M., Flament N., Whittaker J., Müller R.D., Gurnis M., Bower D.J. Ridge subduction sparked reorganization of the Pacific plate-mantle system 60–50 million years ago. *Geophysical Research Letters*. 2015;42:1732-1740.

