ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2021, том 499, № 1, с. 5–10

ГЕОЛОГИЯ

УДК 55.551.22

ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГЛАВНОГО БАТОЛИТОВОГО ПОЯСА СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ: U–Th–Pb SIMS И Ar–Ar-ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

© 2021 г.
М. В. Герцева[1], М. В. Лучицкая[2,*], И. В. Сысоев[1], член-корреспондент РАН С. Д. Соколов[2]

Поступило 05.02.2021 г.
После доработки 05.02.2021 г.
Принято к публикации 05.02.2021 г.

Проведено обобщение оригинальных и опубликованных геохронологических данных и геологической позиции различных комплексов гранитоидов Главного (Колымского) батолитового пояса Северо-Востока Азии. Показано, что формирование пояса происходило в два этапа. Первый позднеюрский этап магмогенерации гранитоидов колымского комплекса был следствием коллизии островодужных и кратонных террейнов, завершившейся амальгамацией Колымо-Омолонского супертеррейна (микроконтинента), что отражают U–Pb-оценки возраста цирконов из гранитоидов (155–147 млн лет). Во время второго, основного, этапа коллизии Сибирского континента и Колымо-Омолонского микроконтинента на рубеже юры и мела происходило становление интрузий колымского комплекса на более верхних горизонтах коры, что зафиксировано Ar–Ar-оценками возраста (146–133 млн лет). С этим же этапом связано выплавление гранитоидов нельканского, бакыдербекинского, саханьинского, омчикандинского комплексов Главного пояса с раннемеловыми U–Pb-оценками возраста по цирконам в интервале 145–130 млн лет.

Ключевые слова: Северо-Восток России, Главный батолитовый пояс, Колымо-Омолонский микроконтинент (супертеррейн), гранитоиды, циркон, Уяндино-Ясачненский вулканический пояс, U–Th–Pb SIMS и Ar–Ar-возрасты

DOI: 10.31857/S2686739721070057

Верхояно-Колымская складчатая область была сформирована в результате коллизии восточной окраины Северо-Азиатского кратона и Колымо-Омолонского микроконтинента (супертеррейна) в позднеюрско-раннемеловое время [6, 7, 11, 18]. Внутреннюю часть складчатой области составляет коллизионный пояс Черского, вдоль которого в северо-западном направлении на ~1100 км прослеживается Главный (Колымский) пояс позднеюрско-раннемеловых гранитоидных плутонов и к северу-северо-востоку сменяется Северным поясом гранитоидов (рис. 1). Расположение гранитных тел подчеркивает дугообразный рисунок коллизионного пояса.

Ранее опубликованные данные Ar–Ar-датирования гранитоидов Главного пояса позволили выделить две группы возрастов: 160–140 и 143–138 млн лет [16]. В.В. Акинин и соавт. [1] показали, что главный импульс гранитоидного магматизма Главного пояса имел место около 150 ± ± 3 млн лет назад (киммеридж–титон), а два менее проявленных импульса соответствуют интервалам 160–155 и 146–143 млн лет. В работе [15] отмечено, что интервал возраста гранитоидов Главного пояса составляет 158–144 млн лет с максимумом в 150 ± ± 3 млн лет. Кроме того, возраст главного импульса гранитного магматизма синхронен формированию вулканогенно-осадочных толщ Уяндино-Ясачненской вулканической дуги, примыкающей к Главному поясу с востока (рис. 1). Возраст вулканитов по палеонтологическим данным оксфорд-титонский, а по U–Th–Pb (SIMS)-оценкам возраста цирконов составляет 152–153 млн лет [3, 15, 19].

Т.Б. Русакова, И.Н. Котляр [10] на основании комплексного анализа изотопных данных (Rb–Sr, Ar–Ar, K–Ar, U–Th–Pb SIMS) и геологических материалов по ряду интрузивных комплексов Главного батолитового пояса считают, что возраст внедрения плутонов был среднеюрский (170–160 млн лет), а Ar–Ar- и K–Ar-оценки воз-

[1] *Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А.П. Карпинского, Московский филиал, Москва, Россия*
[2] *Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия*
**E-mail: luchitskaya@ginras.ru*

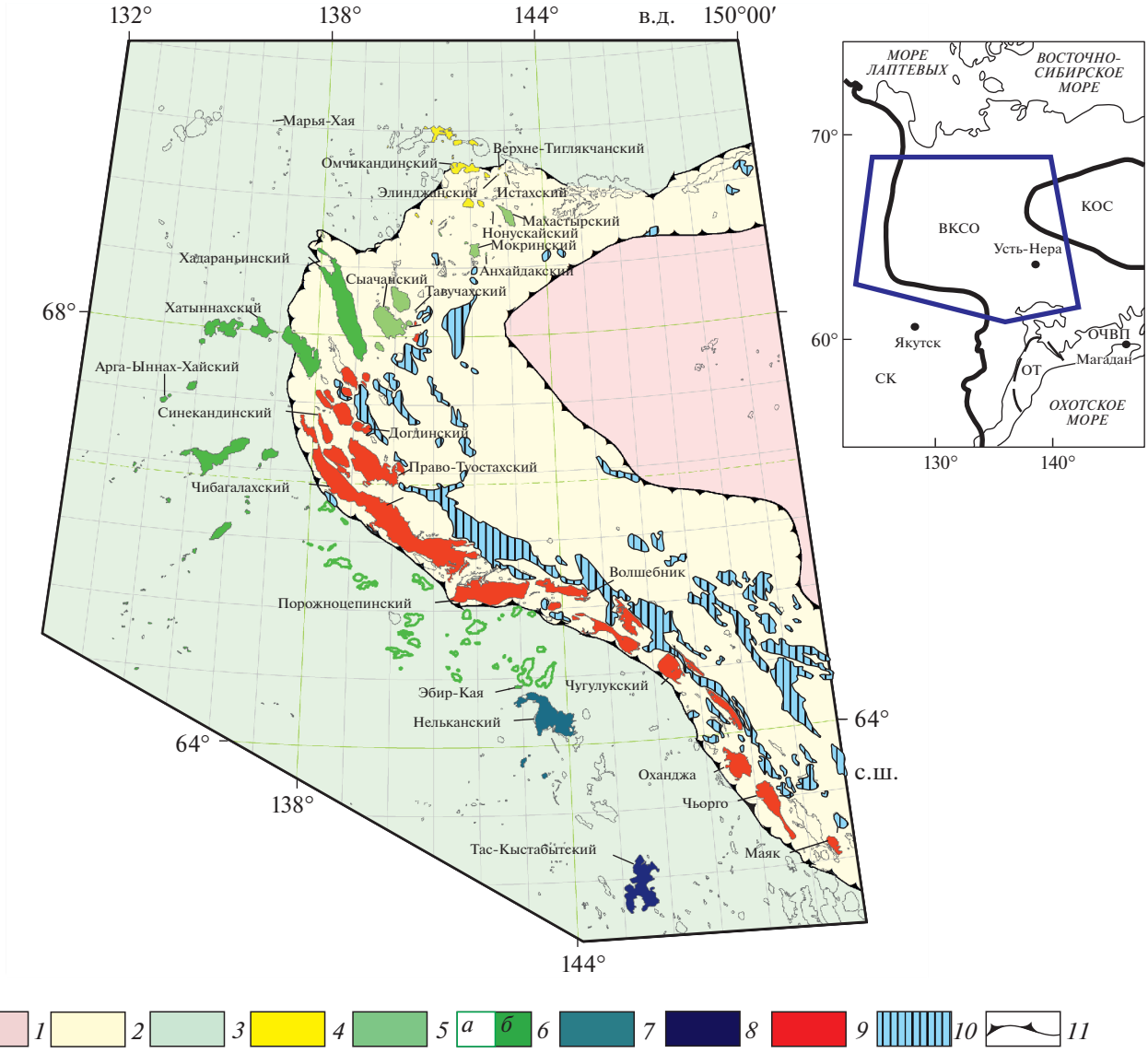

Рис. 1. Схема размещения гранитоидных комплексов Главного (Колымского) плутонического пояса на тектонической схеме Верхояно-Колымской складчатой области. *1* – коллаж островодужных террейнов; *2* – Колымо-Омолонский микроконтинент; *3* – Сибирский континент; *4–9* – комплексы гранитоидов: *4* – омчикандинский лейкогранит-гранитовый, *5* – саханьинский гранит-гранодиоритовый; *6* – бакы-дербекинский диорит-гранодиорит-гранитовый: *а* – предположительно, *б* – установленный; *7* – нельканский гранодиорит-гранитовый; *8* – тас-кыстабытский гранодиорит-гранитовый; *9* – колымский гранитовый; *10* – образования Уяндино-Ясачненского вулканического пояса; *11* – границы главных тектонических структур. На врезке: СК – Сибирский кратон, ВКСО – Верхояно-Колымская складчатая область, КОС – Колымо-Омолонский супертеррейн; ОТ – Охотский кратонный террейн; ОЧВП – Охотско-Чукотский вулканический пояс.

раста фиксируют моменты нарушения их изотопных систем.

Геодинамическая природа гранитоидов Главного батолитового пояса ранее однозначно трактовалась как коллизионная [2, 7, 12, 13]. Однако отсутствие цирконов с ядрами, имеющими докембрийский возраст, унаследованными от метаосадочного протолита, для большинства гранитоидов, преобладание амфибол-биотитовых разностей над двуслюдяными и близкий возраст основного импульса гранитоидного магматизма и вулканитов Уяндино-Ясачненской вулканической дуги позволили предполагать надсубдсукционную природу гранитоидов [1, 16]. По мнению [12], зарождение магматических очагов гранитоидов гранодиорит-гранитной формации Главного пояса имело место еще в надсубдукционных условиях, но основное их внедрение происходило в связи с коллизией. Становление гранитоидов гранит-лейкогранитной формации Главного пояса происходило на поздних этапах коллизии.

Полученные авторами новые U–Th–Pb SIMS-оценки возраста для гранитоидов различных интрузивных комплексов Главного батолитового пояса в совокупности с опубликованными ранее позволяют сделать вывод о том, что формирование пояса происходило в несколько этапов, с каждым из которых было связано выплавление гранитоидных магм.

По данным геологической съемки масштаба 1 : 1000000 последнего поколения выделяется ряд гранитоидных комплексов, показанных на рис. 1. Преобладающая часть крупных массивов, а также значительная часть мелких массивов и штоков гранитоидов Главного пояса относится к колымскому комплексу в пределах Колымо-Омолонского микроконтинента (рис. 1). Гранитоиды прорывают смятые в складки триасовые и юрские осадочные отложения, в том числе верхнеюрские вулканогенно-осадочные отложения Уяндино-Ясачненского вулканического пояса. Возраст комплекса различными исследователями трактуется как позднеюрский, так и раннемеловой [8, 14]. Образования комплекса относятся к гранодиорит-гранитной и гранит-лейкогранитной формациям [7, 11].

Гранитоиды раннемелового бакы-дербекинского диорит-гранодиорит-гранитового комплекса центральной части Главного пояса прорывают терригенные отложения средней–верхней юры [8] и распространены как в границах Колымо-Омолонского микроконтинента, так и за его пределами в сторону Сибирского континента.

Раннемеловые гранитоиды саханьинского гранит-гранодиоритового и омчикандинского лейкогранит-гранитового комплексов распространены в северной части Главного пояса. Первые прорывают палеозойские карбонатные отложения, триасовые и юрские осадочные и верхнеюрские вулканогенно-осадочные отложения, вторые – преимущественно юрские терригенные отложения [8]. Гранитоиды саханьинского комплекса развиты в пределах Колымо-Омолонского микроконтинента, а гранитоиды омчикандинского выходят за его пределы в сторону Сибирского континента (рис. 1).

Нельканский раннемеловой гранодиорит-гранитовый комплекс распространен в южной части Главного пояса в области Сибирского континента (рис. 1).

U–Pb-датирование цирконов из гранитоидов колымского, нельканского, бакы-дербекинского, саханьинского и омчикандинского комплексов осуществлялось на вторично-ионном микрозонде SIMS SHRIMP-II в Центре изотопных исследований (ЦИИ) ФГУП ВСЕГЕИ по методике, описанной в [17].

При достаточно широком диапазоне U–Th–Pb SIMS-оценок возраста гранитоидов Главного пояса – от поздней юры до раннего мела, возраст каждого отдельного интрузивного комплекса по цирконам имеет более узкие временные интервалы (табл. 1). Так, возраст колымского комплекса ограничивается интервалом в 7 млн лет, от 155 ± 1 (Порожноцепинский массив) до 148 ± 1 млн лет (Догдинский массив) и соответствует только поздней юре (кимериджу–титону). Близкие U–Th–Pb SIMS-конкордантные значения возраста (155–144 млн лет) приведены для гранитов Главного пояса в целом в работах [5, 14]. Интервалы формирования бакы-дербекинского комплекса составляют 10 млн лет от 140 млн лет (Хатыннахский массив) до 130 млн лет (Арга-Ыннах-Хайский массив), что соответствует валанжину и началу готерива (табл. 1). Близкий возрастной диапазон имеет саханьиньинский комплекс – от 140 до 134 млн лет. Нельканский комплекс охарактеризован двумя датировками по Нельканскому массиву – 144 ± 1 и 145 ± 2 млн лет (табл. 1). Омчикандинский комплекс имеет более молодые оценки возраста в диапазоне 133–129 млн лет, что соответствует готериву.

Как отмечено выше, все из традиционно относимых к колымскому комплексу массивов гранитоидов, для которых получены позднеюрские U–Th–Pb SIMS-оценки возраста по цирконам, распространены только в области развития вулканогенно-осадочных образований Уяндино-Ясачненской дуги, т.е. в пределах Колымо-Омолонского микроконтинента (рис. 1).

В юрско-меловое время по геологическим данным в рассматриваемом регионе можно выделить два этапа коллизии, зафиксированные угловыми несогласиями [11]. На первом этапе происходила коллизия островодужных (Алазейского, Хетачанского и Олойского) и кратонных (Приколымского и Омолонского) террейнов, которая завершилась их амальгамацией с образованием в конце средней юры Колымо-Омолонского супертеррейна (микроконтинента). На втором этапе имела место коллизия Колымо-Омолонского микроконтинента с Сибирским континентом (Северо-Азиатским кратоном) на границе юры и мела. С каждым этапом связаны образование утолщенной призмы континентальной коры и выплавление гранитов.

Следствием первого этапа коллизии (амальгамации) Колымо-Омолонского микроконтинента является позднеюрский этап магмогенерации гранитоидов колымского комплекса (147–155 млн лет, табл. 1). Позднеюрские U–Th–Pb SIMS-оценки возраста отражают время зарождения гранитных магм и кристаллизации цирконов. Используя принципиальную схему гранитообразования в континентальной коре коллизионных систем [9], можно предположить, что при этой коллизии в утолщенной призме континенталь-

Таблица 1. Абсолютный возраст гранитоидных комплексов Главного (Колымского) батолитового пояса

Название массива	U–Th–Pb SIMS, циркон	$^{39}Ar/^{40}Ar^*$, биотит
Колымский комплекс		
Догдинский	148 ± 1**	140
Кюэх-Оттохский	–	146 ± 1, 145 ± 1
Право-Туостахский	150 ± 2**	–
Чибагалахский	148 ± 2**, 150 ± 1**	143 ± 1
Порожноцепинский	155 ± 2**	143 ± 1
Чугулукский	151 ± 1, 149 ± 1**	–
Оханджа	149 ± 1	–
Синекандинский	–	141 ± 1
Чъорго	151 ± 1**	–
Волшебник	–	141 ± 1
Маяк	154 ± 2	140 ± 1
Тас-Кыстабытский		
Тас-Кыстабытский	149 ± 2; 151 ± 1	–
Нельканский комплекс		
Нельканский	144 ± 1; 148 ± 1**	145 ± 1, 145, 141 ± 1
Курдат	–	137, 141
Якутский	–	143 ± 1
Эргелях	142 ± 2**	143
Бакы-дербекинский комплекс		
Эбир-Хая	137	–
Арга-Ыннах-Хайский	131	–
Хатыннахский	140 ± 2	–
Хатакчанский	–	131 ± 1, 137 ± 1
Хадараньинский	146–131	–
Марья-Хая	137 ± 1	–
Бургачанский	–	131 ± 1
Кере-Юряхский	–	138 ± 1
Безымянный	–	131 ± 1
Саханьиньинский комплекс		
Сыачанский	138 ± 5	137 ± 1
Тавучахский	139 ± 1	–
Мокринский	136 ± 1	–
Анхайдахский	140 ± 2	–
Нонускайский	137 ± 1	–
Махастырский	136 ± 1; 134; 140	–
Саханьинский	–	140 ± 1, 136 ± 1
Омчикандинский комплекс		
Омчикандинский	131 ± 1	121 ± 1
Элинджинский	130 ± 1	–
Верхне-Тиглякчанский	132 ± 1	–
Истахский	129 ± 1	–

Примечание. * – данные из базы данных к работе [15]; ** – данные из работ [1, 14].

ной коры на глубинном уровне (~25–30 км) происходило выплавление гранитного расплава, а затем его перемещение на более высокий уровень коры (10–15 км), где он мог сохраняться определенное время в состоянии, близком к субсолидусному.

Во время следующего основного этапа коллизии Сибирского континента и Колымо-Омолонского микроконтинента, сопровождавшегося активными тектоническими подвижками, вероятно, гранитная магма переместилась по ослабленным зонам на верхний уровень коры коллизионной системы, и произошло становление интрузий колымского комплекса. Этот процесс зафиксирован Ar–Ar-оценками возраста 146–133 млн лет по биотитам из гранитоидов колымского комплекса (табл. 1). Таким образом, для гранитоидов, имеющих U–Th–Pb SIMS-позднеюрский возраст по цирконам, Ar–Ar-оценки возраста по биотитам соответствуют раннему мелу, отражая время закрытия изотопной системы биотита и становления интрузий в более верхних горизонтах коры. При этом некоторые гранитоиды колымского комплекса прорывают образования Уяндино-Ясачненской вулканической дуги [4].

Надо отметить, что по данным [12] гранитоиды гранодиорит-гранитной формации Главного пояса в целом сформировались на среднем–нижнем уровнях коры (24–32 км), а гранит-лейкогранитной формации пояса – на верхнекоровом (14–18 км).

Коллизионные деформации основного этапа на рубеже юры–мела также привели к утолщению призмы континентальной коры и выплавлению новой порции гранитоидов нельканского, бакы-дербекинского, саханьинского, омчикандинского комплексов Главного пояса. Гранитоиды этих комплексов внедрялись на верхнекоровом уровне и прорывали складчато-надвиговые структуры как в пределах пассивной окраины Сибири, так и образования Колымо-Омолонского микроконтинента. Они представлены комплексами с меловыми оценками возраста по цирконам в интервале 145–130 млн лет (табл. 1). Возраст магматических комплексов этого этапа становится более молодым с юга на север. Эта же тенденция была ранее отмечена в работе [6] для гранитоидов Главного пояса в целом. Нельзя также исключать, что часть гранитов Главного батолитового пояса может иметь надсубдукционное происхождение и связана с формированием Уяндино-Ясачненской вулканической дуги во фронтальной части Колымо-Омолонского микроконтинента [15].

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что магмогенерация гранитоидных магм колымского комплекса Главного батолитового пояса в позднеюрское время была связана с первым этапом коллизии островодужных и кратонных террейнов, приведшей к амальгамации Колымо-Омолонского супертеррейна (микроконтинента), а окончательное становление интрузий происходило в раннемеловое время во время основного этапа коллизии Сибирского континента и Колымо-Омолонского микроконтинента.

Магмогенерация гранитоидов нельканского, бакы-дербекинского, саханьинского и омчикандинского комплексов того же пояса в раннемеловое время произошла на завершающем этапе коллизии Колымо-Омолонского микроконтинента и Сибирского континента. Массивы гранитоидов, располагающиеся к юго-западу от границы Сибирского континента и Колымо-Омолонского микроконтинента, отнесенные по данным геологической съемки масштаба 1 : 1000000 последнего поколения к колымскому комплексу, по-видимому, принадлежат бакы-дербекинскому комплексу, что подтверждается раннемеловой U–Th–Pb SIMS-оценкой возраста по цирконам 137 млн лет из гранитоидов одного из массивов комплекса (табл. 1). Новые геохронологические данные и более детальная привязка гранитоидных комплексов к определенным этапам формирования структур позволят более точно прогнозировать их металлогеническую специализацию.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны рецензентам за конструктивные замечания и рекомендации, которые помогли улучшить статью.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена за счет средств Российского научного фонда, проект № 20-17-00197, базовое финансирование сотрудников ГИН РАН за счет субсидии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акинин В.В., Прокопьев А.В., Торо Х., Миллер Э.Л., Вуден Дж., Горячев Н.А., Альшевский А.В., Бахарев А.Г., Трунилина В.А.* U–Pb SHRIMP-возраст гранитоидов Главного батолитового пояса (Северо-Восток Азии) // ДАН. 2009. Т. 426. № 2. С. 216–221.
2. *Богданов Н.А., Тильман С.М.* Тектоника и геодинамика северо-востока Азии. Объяснительная записка к тектонической карте северо-востока Азии. Масштаб 1:5000000. М.: ИЛ РАН, 1992. 56 с.
3. *Ганелин А.В., Лучицкая М.В., Маскаев М.В.* U–Th–Pb (SIMS) датирование и условия формирования вулканитов Индигирского разреза Уяндино-Ясачненского вулканического пояса (Северо-Восток Азии) // Доклады РАН. Науки о Земле. 2021. Т. 496. № 1. С. 11–16.
4. Государственная геологическая карта СССР м-ба 1 : 200000. Серия Яно-Индигирская. Листы Q-54-

XXIII, XXIV. Объяснительная записка. Составил Ю.В. Кузнецов, редактор В.Г. Данилов. 1986 г.

5. *Кузнецов В.М., Жигалов С.В., Ведерникова Т.А., Шпикерман В.И.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1000000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист P-56 – Сеймчан. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. 426 с.+16 вкл.
6. *Оксман В.*С. Тектоника коллизионного пояса Черского. М.: ГЕОС, 2000. 268 с.
7. *Парфенов Л.М.* Континентальные окраины и островные дуги мезозоид Северо-Востока Азии. Новосибирск, 1984. 192 с.
8. *Протопопов Г.Х., Трущелев А.М., Кузнецов Ю.В., Радулевич Я.А. и др.* Государственная геологическая карта СССР м-ба 1 : 1000000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Листы Q-54 – Усть-Нера. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2020 г.
9. *Розен О.М., Федоровский В.С.* Коллизионные гранитоиды и расслоение земной коры (примеры кайнозойских, палеозойских и протерозойских коллизионных систем) // Тр. ГИН РАН. Вып. 545. М.: Научный мир, 2001. 188 с.
10. *Русакова Т.Б., Котляр И.Н.* Геохронология гранитоидных комплексов Главного Колымского батолитового пояса (Северо-Восток России) // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 1. С. 3–27.
11. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: МАИК "Наука/Интерпериодика", 2001. 571 с.
12. *Трунилина В.А., Роев С.П., Орлов Ю.С., Оксман В.С.* Магматизм различных геодинамических обстановок (зона сочленения Верхоянской окраины Сибирского континента и Колымо-Омолонского микроконтинента). Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1999. 152 с.
13. *Шпикерман В.И.* Домеловая минерагения Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 333 с.
14. *Шпикерман В.И., Полуботко И.В., Васькин А.Ф., Петухов В.В. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1000000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист. P-55 – Сусуман. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 520 с.+5 вкл.
15. *Akinin V.V., Miller E.L., Toro J., Prokopiev A.V., Gottlieb E.S., Pearce S., Polzunenkov G.O., Trunilina V.A.* Epidocity and the Dance of Late Mesozoic Magmatism and Deformation along the Northern Circum-Pacific Margin; North-eastern Russia to the Cordillera // Earth-Science Reviews. 2020. V. 208. P. 103272.
16. *Layer P.W., Newberry R., Fujita K., Parfenov L., Trunilina V., Bakharev A.* Tectonic Setting of the Plutonic Belts of Yakutia, Northeast Russia, Based on $^{40}Ar/^{39}Ar$ Geochronology and Trace Element Geochemistry // Geology. 2001. V. 29. № 2. P. 167–170.
17. *Larionov A.N., Andreichev V.A., Gee D.G.* The Vendian Alkaline Igneous Suite of Northern Timan: Ion Microprobe U–Pb Zircon Ages of Gabbros and Syenite / Gee D.G., Pease V. L. (eds.). The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica // Geological Society London. Memoirs. 2004. V. 30. P. 69–74.
18. *Nokleberg W.J., Parfenov L.M., Monger J.W.H., Norton I.O., Khanchuk A.I., Stone D.B., Scholl D.W., Fukita K.* Phanerozoic Tectonic Evolution of the Circumnorth Pacific. / U.S. Geological Survey Open-File Report. 98-754. Reston, Viginia, 1998. 125 p.
19. *Prokopiev A.V., Toro J., Miller E.L. et al.* Large Igneous Provinces of Asia, Mantle Plumes and Metallogeny. Novosibirsk: Publ. House SB RAS, 2007. P. 51–54.

THE STAGES OF FORMATION OF MAIN BATHOLITH BELT, NORTH-EAST RUSSIA: U–Th–Pb SIMS AND Ar–Ar GEOCHRONOLOGICAL DATA

M. V. Gertseva[a], M. V. Luchitskaya[b,#], I. V. Sysoyev[a], and Corresponding Member of the RAS S. D. Sokolov[b]

[a] *All-Russian Scientific Research Geological Institute, Moscow branch, Moscow, Russian Federation*

[b] *Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#] *E-mail: luchitskaya@ginras.ru*

The generalization of original and published geochronological data and geological position of different granitoid complexes of the Main batholith belt of North-East Asia is carried out. It is shown, that the belt formation occurred in two stages. The first Late Jurassic stage of melting of granitoids of kolymsky complex was a consequence of collision of island arc and cratonic terranes, terminated by amalgamation of Kolyma-Omolon superterrane (microcontinent). This event is reflected in the U–Pb ages of granitoids (155–147 Ma). During the second, main, stage of Siberian continent and Kolyma-Omolon microcontinent collision at the boundary of Jurassic and Cretaceous the emplacement of intrusions of kolymsky complex at the upper horizons of the crust occurred, fixed by Ar–Ar ages (146–133 Ma). The melting of granitoids of nel'kansky, bakyderbekinsky, sakhan'insky and omchikandinsky complexes of the Main belt with Early Cretaceous 145–130 Ma zircon ages is related to the same second stage.

Keywords: North-East Russia, Main batholith belt, Kolyma-Omolon microcontinent (superterrane), granitoids, zircon, U–Th–Pb SIMS and Ar–Ar ages