

РАННЕМЕЛОВОЙ ГРАНИТОИДНЫЙ МАГМАТИЗМ СИХОТЭ-АЛИНЯ: ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИСТОЧНИКИ РАСПЛАВОВ

**Крук¹ Н.Н., Голозубов² В.В., Гвоздев² В.И., Ковач³ В.П., Загорная³ Н.Ю.,
Москаленко² Е.Ю.**

¹*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск,
e-mail:kruk@igm.nsc.ru*

²*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток,
e-mail:golozubov@fegi.ru*

³*Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, г. Санкт-Петербург,
e-mail:v.kovach@mail.ru*

Позднемезозойский этап геологической эволюции Тихоокеанской окраины Азии характеризовался сочетанием надсубдукционных и трансформных геодинамических режимов, либо сменявших друг друга во времени, либо одновременно существовавших на разноориентированных (характеризующихся различными углами между направлением движения океанической плиты и простираемостью границы «континент-океан») отрезках протяженного окраинно-континентального пояса [Ханчук и др., 1997; Геодинамика..., 2006]. Наиболее масштабным и хорошо изученным на сегодняшний день является раннемеловой этап геологической истории Восточной Азии, с которым связано формирование масштабного Центрально-Сихотэ-Алинского плутонического пояса [Тихоокеанская..., 1991; Геодинамика..., 2006], а также формирование крупных синсдвиговых осадочных бассейнов и проявления специфического базальтового и андезитового вулканизма [Голозубов, Ли Донг-У, 1997; Голозубов и др., 2000; Симаненко и др., 2006 и др.].

Геологические комплексы, связанные с обстановкой трансформного тектогенеза, формировались в Сихотэ-Алине в течение всего раннего мела. Для этого этапа достаточно четко выделяются две стадии, различных как по характеру осадконакопления и стилю тектонических напряжений, так и по характеристикам ассоциирующего магматизма.

Ранняя (берриас-барремская) стадия характеризовалась сдвиговыми перемещениями вдоль зоны Центрально-Сихотэ-Алинского разлома [Иванов, 1972; Ханчук и др., 1997], широким развитием надвиговых деформаций в сопряженных и оперяющих разломных зонах, проявлением интенсивной складчатости на окраине континента (Самаркинский террейн юрской аккреционной призмы) и практически полным отсутствием вулканизма. Для этой стадии был характерен «лавиный» характер седиментации вдоль границы «континент-океан». Именно этому времени отвечало формирование Журавлевского турбидитового бассейна, скорость седиментации в котором по данным [Лисицын, 1988; Голозубов, Ханчук, 1995] достигала 500 м/млн лет. Одновременно вдоль края континента формировались цепочки крупных интрузий с возрастом 130-140 млн лет, сложенных высокоглиноземистыми гранитоидами хунгарийской серии [Изох и др., 1967; Тихоокеанская..., 1991], локализованных, главным образом, в пределах Самаркинского террейна к западу от зоны Центрально-Сихотэ-Алинского разлома.

Для второй (апт-альбской) стадии было характерно резкое усиление тектонической активности (в первую очередь – сдвиговых перемещений в зонах Центрально-Сихотэ-Алинского и Партизанского разломов), заложение на краю континента локальных осадочных бассейнов типа pull-apart (Партизанский, Алчанский и др.), приуроченных к изгибам крупных сдвиговых структур. Активная седиментация в этих бассейнах сопровождалась проявлением небольших объемов специфического базальт-андезит-риолитового вулканизма, сочетающего геохимические характеристики пород надсубдукционного и внутриплитного генезиса. Синхронно с этими процессами в Сихотэ-Алине фиксируется мощный всплеск интрузивного магматизма, проявления которого известны в пределах как Самаркинской аккреционной призмы, так и Журавлевского турбидитового бассейна. Гранитоидные и

габбро-гранитные интрузии этого рубежа, имеющие возраст 110-95 млн лет, были объединены Э.П. Изохом [Изох и др., 1967] в татибинскую серию, а позднее расчленены на ряд самостоятельных комплексов (татибинский, березовско-араратский, успенский, бачелазский и т.д.).

Состав гранитоидов берриас-барремского возраста однотипен для всей изученной территории. Они соответствуют «автономной» (без базитовых предшественников) унимодальной меланогранит-гранитной ассоциации нормальной щелочности ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 6.0-7.5$ мас. %) с существенно калиевой специализацией щелочей ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1.0-1.4$). Породы характеризуются повышенной глиноземистостью ($A/\text{CNK} > 1.1$), умеренной железистостью ($\text{FeO}/\text{FeO} + \text{MgO} = 0.65-0.83$), низкими содержаниями кальция и относятся к высокоглиноземистым гранитоидам по [Изох, 1965] или гранитодам S-типа по [Chappel, White, 1974]. Редкоэлементный состав пород (Rb 150-180 г/т; Sr 120-200 г/т; Ba 450-600 г/т; Y 20-25 г/т; Zr 190-240 г/т; Th 10-15 г/т; U 2-4 г/т; $\Sigma \text{PЗЭ} = 130-160$ г/т; $(\text{La}/\text{Yb})_N = 8-10$; $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.45-0.6$) также типичен для гранитоидов S-типа [Whalen et al., 1987]. Изотопный состав Nd в гранитоидах ($\epsilon\text{Nd}(T) = -2 \dots -3$; $T_{\text{Nd}}(\text{DM}-2) \approx 1.1$ млрд лет) сопоставим с изотопными характеристиками вмещающих осадочных толщ Самаркинского террейна. Таким образом, для берриас-барремской стадии эволюции активной континентальной окраины Сихотэ-Алиня ведущим механизмом формирования гранитоидов являлось анатектическое плавление осадочных пород Самаркинской аккреционной призмы.

Апт-альбские гранитоиды Сихотэ-Алиня характеризуются гораздо более широкими вариациями состава и разнообразием петрогеохимических типов.

Большинство интрузий, локализованных в пределах Самаркинского блока, представлены породами гранодиорит-гранитной ассоциации нормальной щелочности с калий-натриевой специализацией щелочей (отношение $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ изменяется от 0.5-0.9 в гранодиоритах до 1-1.2 в гранитах). Гранитоиды насыщены глиноземом ($A/\text{CNK} = 0.9-1.05$), имеют повышенные, в сравнении с берриас-барремскими гранитоидами, содержания кальция и фемических элементов, являясь по петрохимическому составу промежуточными между породами I и S-типов (по [Chappel, White, 1974]). Редкоэлементный состав гранитоидов характеризуется более низкими концентрациями Rb (110-130 г/т), Ba (250-400 г/т), Y (10-20 г/т), Zr (110-180 г/т), повышенными содержаниями Sr (300-400 г/т), более крутыми спектрами распределения PЗЭ ($(\text{La}/\text{Yb})_N = 12-15$) при близких их суммарных содержаниях (120-170 г/т), менее выраженной европиевой аномалией ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.6-0.8$). Изотопный состав Nd в гранитоидах ($\epsilon\text{Nd}(T) = -0 \dots -1$; $T_{\text{Nd}}(\text{DM}-2) = 0.88-1.0$ млрд лет) более радиогенный в сравнении с вмещающими толщами. Особенности геохимического состава и изотопных характеристик гранитоидов свидетельствуют о том, что формирование гранитоидных магм определялось плавлением «комбинированного» источника, включавшего, наряду с терригенными породами, субстраты метабазитового состава, обогащенные радиогенным Nd. По нашим предположениям этими субстратами являлись океанические базальты типа MORB и OIB, разномасштабные включения которых широко распространены в осадочных толщах Самаркинского террейна.

Одновременно ряд гранитоидных интрузий, локализованных в пределах Самаркинского блока (массивы рудного узла «Восток-2», Успенский и некоторые другие интрузивы) демонстрируют признаки корово-мантийного генезиса. В них в качестве включений («автолитов») и синплутонических даек наблюдаются породы основного состава. Эти базиты обогащены калием и фосфором, в меньшей степени титаном, характеризуются повышенными концентрациями элементов, типоморфных для ассоциаций латитового ряда (Sr , Ba , Zr , Hf). Эти особенности базитов наследуются наименее кремнекислыми членами гранитоидных серий (кварцевыми диоритами, гранодиоритами), также обнаруживающими геохимические характеристики, типичные для монцонитоидов, в то время, как наиболее кремнекислые породы (граниты и лейкограниты) по петрохимическому и редкоэлементному составу соответствуют анатектическим породам S-типа [Москаленко и др., 2011]. Вероятнее всего формирование широкого спектра гранитоидов в подобных случаях было связано с

анатексисом осадочных пород под воздействием мантийного базитового очага, обеспечивавшего дополнительную энергию для анатектических процессов и обусловившего смешение коровых выплавов с мантийными магмами.

Гранитоидные интрузии апт-альбского возраста, локализованные в пределах Журавлевского синсдвигового бассейна, немногочисленны. Крупнейшими из них являются массивы Кавалеровского рудного узла (Аракатский, Березовский, Порубский, Соболиный и др.). Массивы сложены широким спектром пород от монцогаббро и монцодиоритов до калий-натровых гранодиоритов и меланогранитов [Иванов и др., 1980; Гоневчук, 2002; Гоневчук и др., 2011]. Габброиды обогащены калием (до 2.5 мас. %), Sr (до 1100 г/т), Ba (до 900 г/т), Zr (до 250 г/т), Hf (до 6 г/т), РЗЭ (суммарно – до 150 г/т). Повышенная щелочность, существенно калиевый характер щелочей и аналогичные описанным выше геохимические характеристики характерны также для более кремнекислых пород ареала (кварцевых монцодиоритов, монцогранодиоритов). В то же время, наименее щелочные ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 5.5\text{-}6.7$ мас. %) гранодиориты характеризуются преобладанием натрия над калием ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0.6\text{-}0.71$), недосыщенностью глиноземом ($\text{A}/\text{CNK} = 0.84\text{-}0.92$), обогащены Sr (до 700 г/т), имеют «фоновые» концентрации Ba (< 500 г/т), обеднены Y (< 10 г/т), Th (5-6 г/т), U (1-2 г/т) и РЗЭ (суммарно – до 70 г/т), причем в первую очередь – тяжелыми (Yb < 1 г/т). Для пород характерны асимметричные спектры распределения РЗЭ с $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 12\text{-}14$ без аномалии по Eu. Таким образом, наименее щелочные гранитоиды Кавалеровского узла сочетают в себе признаки «стандартных» гранитов I-типа и пород высокоглиноземистых TTG (адакитов). Изотопный состав Nd становится более радиогенным с ростом кремнекислотности пород ($\epsilon\text{Nd}(T) = -3$ в габброидах, -0.7 в монцодиоритах и $+1.5$ – в низкощелочных гранодиоритах). Учитывая геохимические и изотопные данные, формирование пород Кавалеровской ассоциации происходило, преимущественно, за счет смешения в разной степени дифференцированных мантийных магм с выплавками из метабазитов океанического основания Журавлевского террейна при лимитированном участии вещества осадочных толщ.

Таким образом, гранитоидный магматизм раннемеловой трансформной континентальной окраины Сихотэ-Алиня характеризуется неоднородностью и многообразием источников: на ранней стадии существования трансформной окраины (берриас-баррем) за счет анатексиса осадочных пород верхней коры происходило формирование калиевых гранитоидов S-типа. На более позднем, апт-альбском рубеже, внедрение мантийных магм привело к повышению температуры в низах коры, что, в свою очередь, обусловило более активный анатексис, вовлечение в процессы гранитообразования более «тугоплавких» субстратов (океанические базальты) и определило широкое развитие процессов корово-мантийного взаимодействия с образованием пород монцитонитоидной серии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума СО РАН (партнерский интеграционный проект № 79) и РФФИ (проект № 10-05-00486).

Литература

Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / ред. А.И. Ханчук. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – 979 с.

Голозубов В.В., Ли Донг-У. Динамика формирования мелового Партизанско-Суходольского эпиконтинентального бассейна (Южное Приморье) // Тихоокеанская геология. 1997. Т. 16. № 6. С. 46-57.

Голозубов В.В., Ли Донг-У, Ханчук А.И. Динамика формирования раннемелового бассейна Кенсан (Юго-Восточная Корея) // Доклады академии наук. 2000. Т. 373. № 6. С. 795-799.

Голозубов В.В., Ханчук А.И. Таухинский и Журавлевский террейны (Сихотэ-Алинь) – фрагменты раннемеловой азиатской окраины // Тихоокеанская геология. 1995. Т. 14. № 2. С. 13-25.

Гоневчук В.Г. Оловоносные системы дальнего Востока: магматизм и рудогенез. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 297 с.

Гоневчук В.Г., Гоневчук Г.А., Лебедев В.А., Орехов А.А. Монцонитоидная ассоциация Кавалеровского рудного района (Приморье): геохронология и некоторые вопросы генезиса // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30. № 3. С. 20-31.

Иванов Б.А. Центрально-Сихотэ-Алинский разлом. – Владивосток, 1972. – 116 с.

Иванов В.С., Бурьянова И.З., Залищак Б.Л. и др. Гранитоиды и монцонитоиды рудных районов Приморья. – М: Наука, 1980. – 160 с.

Изох Э.П. Гипербазит-габбро-гранитный ряд и формация высокоглиноземистых гранитоидов. – Новосибирск: СО АН СССР, 1965. – 138 с.

Изох Э.П., Русс В.В., Кунаев И.В., Наговская Г.Н. Интрузии Северного Сихотэ-Алиня, их рудоносность и происхождение. – М: Наука, 1967. – 383 с.

Лисицын А.П. Лавинная седиментация и перерывы в осадконакоплении в морях и океанах. – М: Наука, 1988. – 309 с.

Москаленко Е.Ю., Крук Н.Н., Валуй Г.А. Новые данные по геологии и геохимии гранитоидов Успенского массива (Приморье) // Тихоокеанская геология. 2011. № 5. С. 80-92.

Симаненко В.П., Голозубов В.В., Сахно В.Г. // Геохимия вулканитов трансформных окраин (на примере Алчанского бассейна, северо-западное Приморье) // Геохимия. 2006. № 12. С.1251-1265.

Тихоокеанская окраина Азии: магматизм. – М: Наука, 1991. – 269 с.

Ханчук А.И., Голозубов В.В., Мартынов Ю.А., Симаненко В.П. Раннемеловая и палеогеновая трансформные окраины (Калифорнийский тип) Дальнего Востока // Тектоника Азии. – М: ГЕОС, 1997, С. 240-243.

Ханчук А.И., Крук Н.Н., Валуй Г.А. и др. Успенский массив южного Приморья – петротип гранитоидов трансформных континентальных окраин // Доклады академии наук. 2008. Т. 420. № 5. С.664-668.

Chappel B., White A. Two contrasting types of granites // Pacific Geology. 1974. V. 8. N 2. P. 173-174.

Whalen J. B., Currie K.L., Chappel B. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis // Contrib. Mineral. Petrol. 1987. V. 95. P. 407-419.