

УДК 553.43:552.321.1/.3+550.93+550.4.02(571.6)

## АЛЬБ-СЕНОМАНСКИЙ ГРАНИТОИДНЫЙ МАГМАТИЗМ И МЕДНЫЙ РУДОГЕНЕЗ СИХОТЭ-АЛИНЯ

Академик РАН А. И. Ханчук<sup>1</sup>, В. В. Иванов<sup>1,\*</sup>, Е. К. Игнатьев<sup>2</sup>,  
С. В. Коваленко<sup>3</sup>, Д. В. Семенова<sup>4</sup>

Поступило 22.04.2019 г.

В Сихотэ-Алине выделена позднеальб-раннесеноманская эпоха золото-медного порфирикового оруденения, которое ассоциируется с альб-сеноманскими гранитоидами, синхронными синдвиговому орогенезу и формированию континентальной литосферы в обстановке трансформной континентальной окраины. С мантийно-коровыми синорогенными интрузиями гранитоидов связано образование Au–Mo–Cu-оруденения в террейнах юрской аккреционной призмы и Cu–Au–W-оруденения в ранне-меловом террейне эпиокеанического турбидитового бассейна. Впервые приводятся данные об альб-сеноманском возрасте (100–95 млн лет, U–Pb-возраст по циркону) гранитоидов Au–Cu-порфирикового Малмыжского месторождения. Подобные сведения по Восточной и Юго-Восточной Азии о возрасте гранитоидов, с которыми связаны плутоногенно-гидротермальные месторождения меди, золота, олова и других металлов, дают основание предполагать существование альб-сеноманского металлогенического мегапояса, который прослеживается вдоль тихоокеанской континентальной окраины Азии.

*Ключевые слова:* позднеальб-раннесеноманская эпоха золото-медного порфирикового оруденения, синорогенные интрузии гранитоидов, Au–Mo–Cu-оруденение.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524883298-302>

Растущий спрос на медь актуализирует анализ её металлогении для юга Дальнего Востока, особенно в связи с открытием в Сихотэ-Алинском раннемеловом орогенном (САОП) поясе крупного Au–Cu-порфирикового Малмыжского месторождения. Новые и имеющиеся данные по геохронологии свидетельствуют о масштабном проявлении на юге Дальнего Востока альб-сеноманского магматизма с модалным интервалом плутоногенной активности в интервале 104–99 млн лет [1–5]. Это и вулканиты в западной и северной частях САОП и прилегающих к нему более древних структурах, и плутониты подобного возраста распространены там же (рис. 1). Но наиболее широко данные магматиты развиты в центральной части САОП, где они описаны как синдвиговые и синорогенные интрузии [6], синхронные с процессом формирования континентальной литосферы САОП [7]. При этом с мантийно-коровыми синорогенными интрузиями гранитоидов связано образование Au–Mo–Co-оруденение в террейнах юрской аккреционной призмы и

Cu–Au–W-оруденение в раннемеловом террейне эпиокеанического турбидитового бассейна.

Выяснилось, что даже соседние позднеальбские интрузии Сихотэ-Алиня могут иметь пёстрые петрогеохимические характеристики. В одном случае они представлены габбро, монцогаббро и монцонитами, в другом – адакитами и гранитоидами А-, I- и S-типа [7, 8]. Такая комбинация внутриплитных и надсубдукционных (или мантийных и коровых) признаков характерна для магматитов трансформных континентальных окраин.

С альб-сеноманскими интрузиями ассоциируются средние и крупные медные и медьсодержащие вольфрамовые и оловянные рудные объекты. Подобного возраста в регионе встречаются и золото-рудные месторождения.

В центральной части Журавлёвско-Амурского террейна на площади Малмыжского рудного поля Au–Cu-порфириковое оруденение контролируется цепочкой гранодиорит-диоритовых массивов и штоков. Ранее считалось, что они внедрились в конце позднего мела, однако это не подтвердили приведенные в настоящей статье результаты U–Pb-изотопного исследования зёрен циркона из четырёх проб гранитоидов различных участков рудного поля.

Анализы выполнены в Аналитическом центре ИГМ СО РАН методом LA–ИСП–МС на масс-спектрометре высокого разрешения с индуктивно связанной плазмой Element XR (“Thermo Finnigan”)

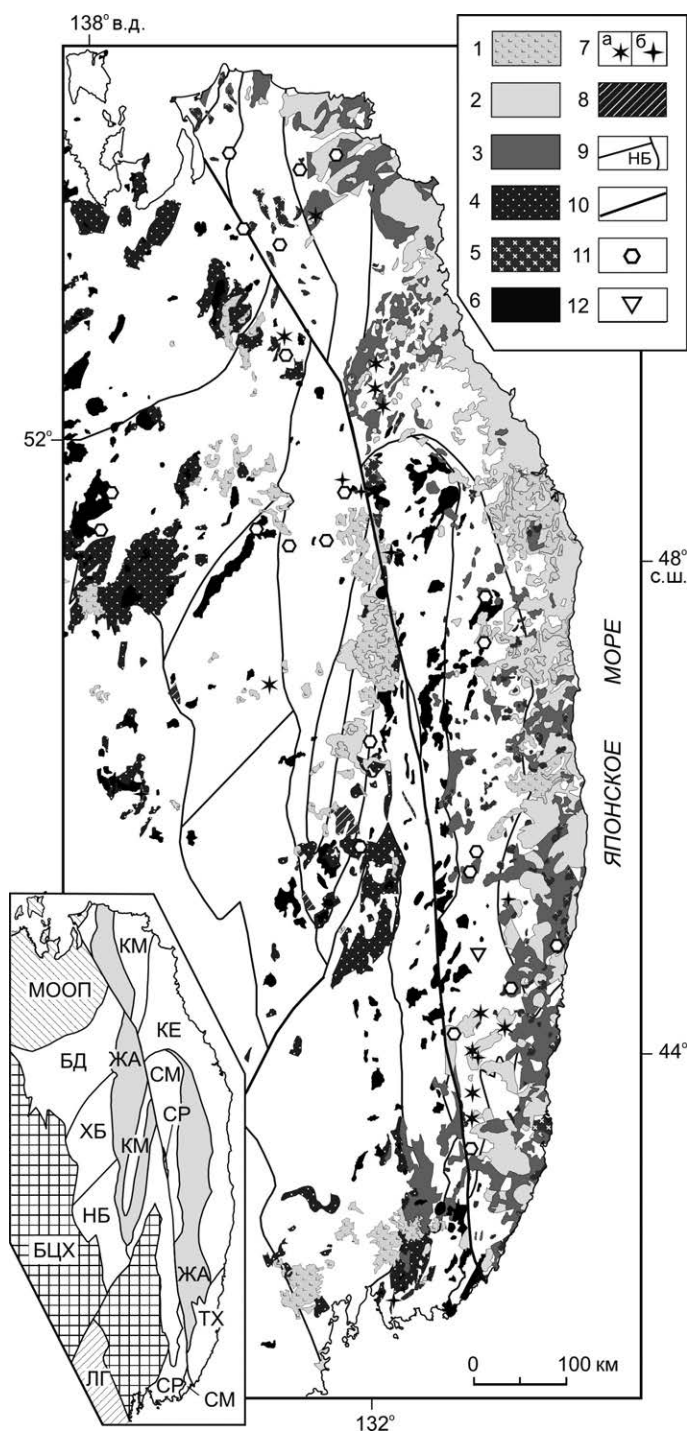
<sup>1</sup> Дальневосточный геологический институт  
Дальневосточного отделения Российской Академии наук,  
Владивосток

<sup>2</sup> ООО “Амур Минералс”, Владивосток

<sup>3</sup> ОАО “Приморгеология”, Владивосток

<sup>4</sup> Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева  
Сибирского отделения Российской Академии наук,  
Новосибирск

\*E-mail: [d159327@yandex.ru](mailto:d159327@yandex.ru)



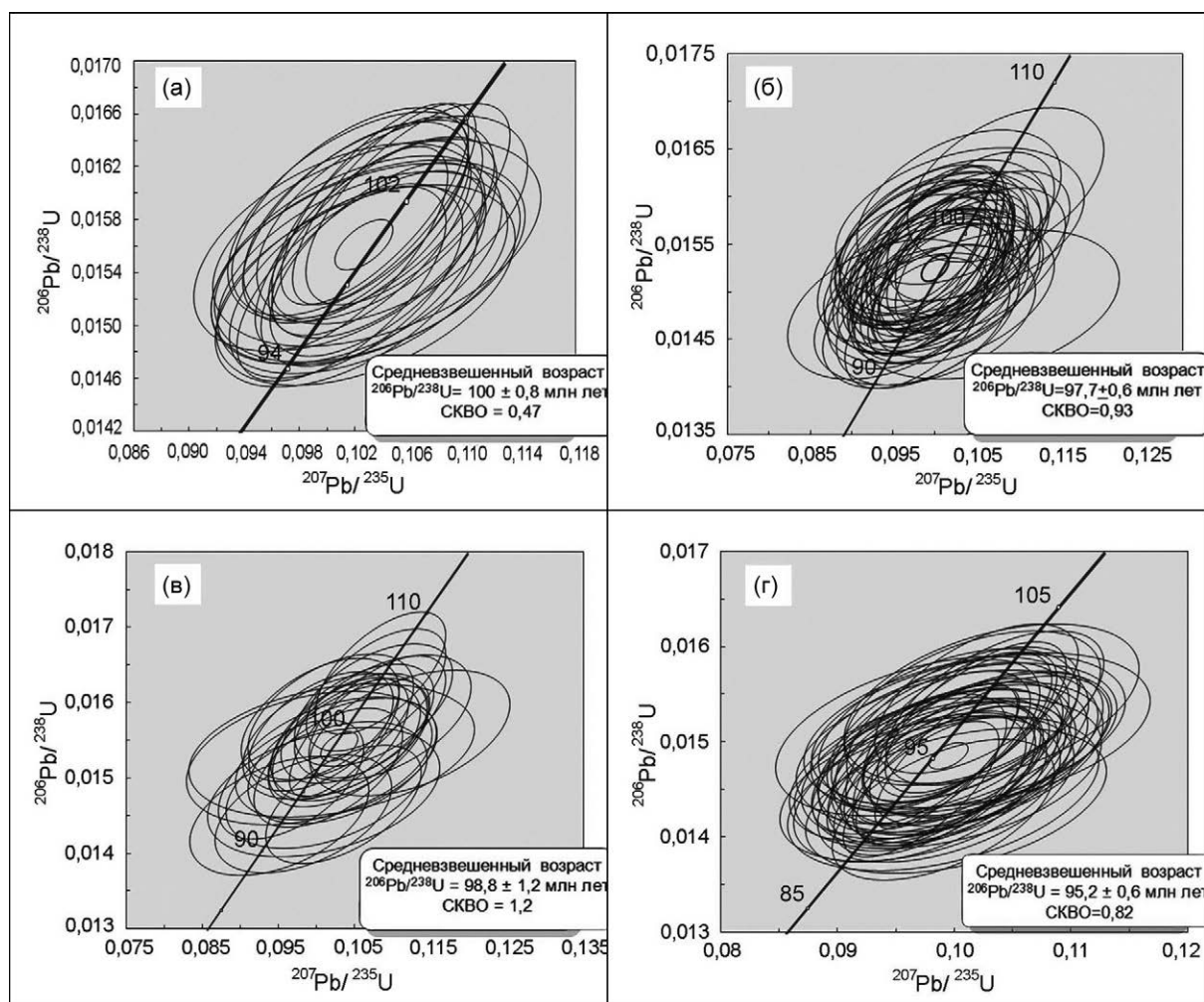
← **Рис. 1.** Меловые и кайнозойские магматические комплексы и альб-сеноманские месторождения меди и золота Сихотэ-Алинского орогенного пояса. 1–4 – вулканисты: 1 – плиоцен, внутриплитные платобазальты, 2 – палеоцен-миоцен: риолиты, бимодальные вулканисты, базальты и габбро-граниты трансформной окраины, 3 – верхний мел, андезиты-риолиты надсубдукционной окраины, 4 – верхний альб-нижний сеноман, базальт-риолиты трансформной окраины; 5 – позднемеловые гранитоиды; 6–8 – позднеальб-раннесеноманские интрузивы трансформной окраины: 6 – гранитоиды А-, I-, S-типов; 7 – а) монцогаббро монцититы и адakitы и б) габброиды; 8 – баррем-аптские граниты S-типа; 9 – границы и аббревиатура террейнов; 10 – Центральный Сихотэ-Алинский разлом; 11–12 – медные и медьсодержащие месторождения: 11 – Au–Cu и Au–Mo–Cu, 12 – Cu–Au–W. Террейны: БД – Баджалский, НБ – Наданьхада-Бикинский, СМ – Самаркинский и ХБ – Хабаровский средне-позднеюрской, ТХ – Таухинский позднеитон-валанжинской и КМ – Киселевско-Маноминский готерив-раннеальбской аккреционных призм; KE – Кемский, готерив-раннеальбской островной дуги; ЖА – Журавлёвско-Амурский раннемелового турбидитового бассейна; СР – Сергеевский террейн тектонических пластин палеозойского орогенного пояса на террейне юрской аккреционной призм. На врезке заштрихованы: БЦХ – Баджало-Цзямуси-Ханкайский супертеррейн раннепалеозойского, ЛГ – Лаоелин-Гродековский террейн триасового и МООП – Монголо-Охотский коллаж террейнов неокомского орогенного пояса.

режиме счёта для всех изотопов, кроме  $^{238}\text{U}$  (режим triple). Диаметр лазерного луча составлял 55 мкм, частота повторения импульсов 5 Гц и плотность энергии лазерного излучения 3,0–3,5 Дж/см<sup>2</sup>.

Данные масс-спектрометрии обрабатывали с помощью программы “Glitter” (GEMOC, университет Макуори). Изотопные U–Pb-отношения нормализовали на соответствующие значения изотопных отношений стандартных цирконов TEMORA-2 [9], Plesovice [10]. Коррекция проводилась по  $^{204}\text{Pb}$ . Погрешность U/Pb-датировок, полученных данным методом, рассчитана с учётом значений во всех проанализированных точках зёрен. В качестве датировок приняты средневзвешенные значения возраста, рассчитанного по  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , в виду низких содержаний в цирконе изотопа  $^{207}\text{Pb}$ .

Изученные кристаллы цирконов характеризуются высокими (>0,1) Th/U-отношениями. Наличие осцилляторной зональности во внешних частях цирконовых зёрен указывают на их магматическую природу и на соответствие полученных оценок времени внедрения и кристаллизации расплавов.

с системой лазерной абляции UP-213 (New Wave Research) на основе ультрафиолетового Nd:YAG лазера с длиной волны 213 нм. Параметры измерения масс-спектрометра оптимизировали для получения максимальной интенсивности сигнала  $^{208}\text{Pb}$  при минимальном значении  $^{248}\text{ThO}+^{232}\text{Th}+$  (<2%), используя стандарт NIST SRM612. Все измерения выполняли по массам  $^{202}\text{Hg}$ ,  $^{204}(\text{Pb}+\text{Hg})$ ,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ . Съёмка проводилась в режиме E-scan. Детектирование сигналов проводилось в



**Рис. 2.** Средневзвешенные значения возраста для цирконов из плутонитов разных участков Малмыжского рудного поля на диаграммах с конкордией. Использована программа Isoplot [11]. Погрешности единичных анализов на уровне  $1\sigma$ , погрешности вычисленных возрастов на уровне  $2\sigma$ : (а) – биотитовой гранодиорит ( $100 \pm 0,8$  млн лет; обр. 448), (б) – биотит-роговообманковой кварцевой диорит-порфир ( $97,7 \pm 0,6$  млн лет; обр. 272) и (в) – биотит-роговообманковый кварцевый диорит ( $98,8 \pm 1,2$  млн лет; обр. 2017-1) и (г) – биотит-роговообманковой кварцевой диорит-порфир ( $95,2 \pm 0,82$  млн лет; обр. 452).

Результаты датирования циркона из данных пород свидетельствуют об их альб-сеноманском возрасте, который варьирует в диапазоне 100–95,2 млн лет, в том числе из: кварцевых диоритов биотит-роговообманковых  $97,7 \pm 0,6$  и  $95,2 \pm 0,6$ , кварцевых диорит-порфиров  $98,8 \pm 1,2$  и гранодиоритов биотитовых  $100 \pm 0,8$  (рис. 2).

В южной части Журавлёвско-Амурского террейна золото-молибден-медное оруденение Лазурного месторождения сосредоточено главным образом в монцо-габбродиоритовом Северном штоке и его экзоконтакте, а также частично в прорывающем его Южном штоке, сложенном монцодиорит-гранодиоритами и монцогранодиоритами. Конкордантный средневзвешенный возраст цирконов этих пород, с

которыми связано порфировое оруденение, по результатам изотопного датирования цирконов U–Pb (SHRIMP)-методом равен  $103,5 \pm 1,4$  млн лет [2].

Штокверковые тела этих двух золотоносных медных объектов имеют между собой много общих черт в видовом составе вкрапленной, гнездово-вкрапленной и прожилковой благороднометалльно-оксидно-сульфидной минерализации. Их средне- и высоко-сернистые руды относятся к серебро-золотому, убогомышьяковистому, теллур-селеновому и слабо платиноносным подтипам [12].

В северной части Самаркинского террейна локализовано комплексное Cu–Au–W-месторождение Восток-2. Его кварц-шеелитовое и шеелит-сульфид-



ное с медью, золотом и серебром оруденение развито на контакте гранитоидов штока Центрального (многофазный Дальнинский монцодиорит-гранодиорит-гранитный комплекс) с известняками и терригенными породами. U–Pb-(SHRIMP-II)-датирование по цирконам из монцогранодиоритов Дальнинского массива и гранитоидов I–S-типа штока Центрального показало, что возраст для первого объекта равен  $103 \pm 1,5$  млн лет, а для второго колеблется от  $107,25 \pm 2,2$  до  $102,9 \pm 2,2$  млн лет (средневзвешенный возраст  $104 \pm 1,3$ ) [3].

Эти и другие материалы свидетельствуют, о том что в Сихотэ-Алине проявилась альб-сеноманская эпоха гранитоидного магматизма, с которым ассоциируется несколько более позднее позднеальб-раннесеноманское медное оруденение.

На рис. 1 показано, что к террейнам юрской аккреционной призмы приурочено Cu–W- и Cu–Sn-, а к раннемеловому террейну турбидитового бассейна Cu-порфиновые месторождения. Это дополняет сведения о проявлении вблизи рубежа 100 млн лет вольфрамового, оловянного и золотого оруденений, которые были сформированы также в обстановке трансформной континентальной окраины. Данные по возрасту благородно-цветнометалльных месторождений Китая и Вьетнама позволяют прогнозировать наличие альб-сеноманского металлогенического мегапояса, который протягивается вдоль тихоокеанской континентальной окраины Азии.

**Источник финансирования.** Работа выполнена при финансовой поддержке программы “Дальний Восток” 2018–2020, проект № 18–2–015.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гонеvчук В.Г., Ханчук А.И., Гонеvчук Г.А., Лебедев В.А. // Тихоокеан. геология. 2015. Т. 34. № 6. С. 16–33.
2. Сахно В.Г., Коваленко С.В., Аленичева А.А. // ДАН. 2011. Т. 438. № 1. С. 82–90.
3. Сахно В.Г., Гвоздев В.И., Аленичева А.А., Прасолов Э.М., Зарубина Н.В. // ДАН. 2012. Т. 443. № 1. С. 84–91
4. Сорокин А.А., Пономарчук В.А., Дербекo И.М., Сорокин А.П. // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2005. Т. 13. № 3. С. 63–78.
5. Сорокин А.А., Сорокин А.П., Пономарчук В.А., Травин А.В. // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 4. С. 473–485.
6. Иванов Б.А. Центральный Сихоте-Алинский разлом. Дальневост. книжное из-во. Владивосток. 1972. 112 с.
7. Khanchuk A.I., Kemkin I.V., Kruk N.N. // J. Asian Earth Sci. 2016. V. 120. P. 117–138.
8. Grebennikov A.V., Khanchuk A.I., Gonevchuk V.G., Kovalenko S.V. // Lithos. 2016. V. 261. P. 250–261.
9. Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., et al. // Chemical Geology. 2004. V. 205 (1–2). P. 115–140.
10. Slama, J., Kosler, J., Condon, D.J., et al. // Chemical Geology. 2004. V. 249 (1–2). P. 1–35.
11. Ludwig K.R. User’s Manual for Isoplot/Ex, Version 3.00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel,” Berkeley Geochronology Center Special Publication, V. 4. № 2. 2003. P. 1–70.
12. Иванов В.В., Кононов В.В., Игнатьев Е.К. // Тектоника, глубинное строение и минералогия Востока Азии. Хабаровск. 2013. С. 258–261.

## ALB-CENOMANIAN GRANITOID MAGMATISM AND COPPER ORE GENESIS OF THE SIKHOTE-ALIN

Academician of the RAS A. I. Khanchuk<sup>1</sup>, V. V. Ivanov<sup>1</sup>, E. K. Ignatiev<sup>2</sup>,  
S. V. Kovalenko<sup>3</sup>, D. V. Semenova<sup>4</sup>

Received October 11, 2018

<sup>1</sup>*Far Eastern Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Vladivostok, Russian Federation*

<sup>2</sup>*"Amur Minerals Ltd.", Vladivostok, Russian Federation*

<sup>3</sup>*Joint-Stock Company "Primorgeologia", Vladivostok, Russian Federation*

<sup>4</sup>*V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Novosibirsk, Russian Federation*

Late Albian-early Cenomanian epoch of Au-Cu porphyry mineralization has been distinguished within the Sikhote-Alin. It is associated with the Alb-Cenomanian granitic rocks which emplacement coincided with the processes of orogeny and neof ormation of continental lithosphere caused by compressive stress in the setting of transform continental margins of that time. The intrusion of the granitic magma into the crust of Jurassic accretionary wedge terranes and Early Cretaceous terrane of epicontinental turbidite basin provoked development of Au-Mo-Cu and Cu-Au-W ore genesis, respectively. U-Pb dating of zircons from host granites of the Malmuzh Au-Cu deposit yielded Alb-Cenomanian age of 100-95 Ma. This age harmonizes with the age data reported by other researchers on the granitic rocks of East and Southeast Asia which are productive for hydrothermal mineral deposits of copper, gold, tin and other metals. Such age consistency suggests that there is Albian-Cenomanian metallogenic megabelt extending throughout the entire East Asian continental margin.

*Keywords:* Albian, Cenomanian, granitoid magmatism, copper, gold, ore genesis, geochronology, Sikhote-Alin.