

Научная статья

УДК 552.313"628"(571.63)

doi:10.52349/0869-7892_2025_101_79-87

Ключевые слова: Приморский край, Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс, Зеркальнинская полигенная вулкано-тектоническая структура, Брусиловский вулканический грабен, палеоцен, эоцен, кислый вулканизм

Для цитирования: Соболев А. О. К проблеме выделения кайнозойского брусилловского комплекса на территории южной части Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса // Региональная геология и металлогения. 2025. Т. 32, № 1. С. 79–87. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_101_79-87

Original article

UDC 552.313"628"(571.63)

doi:10.52349/0869-7892_2025_101_79-87

Keywords: Primorsky Krai, East Sikhote-Alin Volcanic Belt, Zerkalninskoye polygenic volcanic and tectonic structure, Brusilovka Volcanic Graben, Paleocene, Eocene, felsic volcanism



© А. О. Соболев, 2025

К проблеме выделения кайнозойского брусилловского комплекса на территории южной части Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса

А. О. Соболев

ООО «Геоконсалт Групп», Санкт-Петербург, Россия, saofeast@mail.ru

Аннотация. Обоснование наличия кайнозойского салического комплекса в южной части Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса имеет важное значение, поскольку его возрастные формационные аналоги связаны с золото-серебряным эпипермальным оруденением. Подчеркивается, что именно брусилловский комплекс является рудогенерирующим для такого типа оруденения и из-за различий в металлогенической специализации, петрогенезисе, возрасте и геодинамических условиях становления главным образом отличается от более раннего богопольского комплекса, с которым его ошибочно путают. В статье приведены результаты авторских геологических работ в пределах Брусилловской вулканической структуры, в том числе представлено содержание пород брусилловского комплекса, отнесенных к контрастной базальт-трахириолитовой ассоциации; отмечено их сходство с породами кедровского вулканического комплекса. Указаны несоответствия в текущем исследовании геохронологии брусилловского комплекса: игнорирование предыдущих схем тектонического районирования территории и вещественных критериев выделения вулканических комплексов трахидацит-трахириолитовой формации; недостаточная выборка образцов вулканогенных образований, взятых не из стратотипа брусилловского комплекса; геологические неточности. Необходимо решить спор о валидности выделения брусилловского комплекса и комплексно охарактеризовать вулканогенные образования для реконструкции вулкано-тектонических структур.

Difficulties in identifying the Cenozoic Brusilovka Complex in the southern part of the East Sikhote-Alin Volcanic Belt

А. О. Sobolev

Geoconsult Group, Saint Petersburg, Russia, saofeast@mail.ru

Abstract. It is important to substantiate the presence of the Cenozoic Salic Complex in the southern part of the East Sikhote-Alin Volcanic Belt, since its age formational analogues relate to gold-silver epithermal mineralization. The Brusilovka Complex is emphasized to be ore-generating for this type of mineralization, and above all, it is mistakenly confused with the Bogopol Complex due to the differences in metallogenic specialization, petrogenesis, age, and geodynamic conditions of its formation. The paper presents the author's geological work findings within the Brusilovka volcanic structure, including the content of the Brusilovka Complex rocks, which refer to the contrasting basalt-trachyrhyolite association; the paper notes their similarity to the Kedrovka Volcanic Complex rocks. There are listed discrepancies in the current study of the Brusilovka Complex

For citation: Sobolev A. O. Difficulties in identifying the Cenozoic Brusilovka Complex in the southern part of the East Sikhote-Alin Volcanic Belt. *Regional Geology and Metallogeny*. 2025; 32 (1): 79–87. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_101_79-87

geochronology: ignoring previous tectonic zoning diagrams of the territory and material criteria for identifying volcanic complexes of the trachydacite-trachyrhyolite formation; insufficient sampling of volcanogenic formations taken not from the Brusilovka Complex stratotype; geological inaccuracies. It is necessary to resolve the dispute about the validity of identifying the Brusilovka Complex and comprehensively characterize the volcanogenic formations for reconstructing volcanic and tectonic structures.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема выделения брусилловской свиты и одноименного салического вулканического комплекса в Ольга-Тернейской зоне Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса (далее — ВСАВП) обсуждается уже почти 70 лет. Еще 23 года назад на V Дальневосточном региональном петрографическом совещании автором была отмечена необходимость «возвращения к жизни неоправданно упраздненного брусилловского комплекса (эоцен-олигоценного) в южной части ВСАВП, являющегося аналогом кедровского и колчанского» комплексов, проявленных в центральной и северной частях хр. Сихотэ-Алинь, а также «...выделение в Ольга-Тернейской структурно-формационной зоне ВСАВП олигоценного «прибрежного» интрузивного комплекса [1].

Брусилловская свита была впервые выделена в 1953 г. группой геологов ВСЕГЕИ (ныне — ФГБУ «Институт Карпинского») в ходе геологической съемки масштаба 1:50 000 в Дальнегорском (Тетюхинском) районе Приморского края в Зеркальнинской (Тадушинской) депрессии¹ и детально охарактеризована Е. В. Быковской в бассейне р. Брусилловка (Топауза)^{2,3}.

Последующие геологосъемочные работы, в частности в Северном Приморье, подтвердили существование эоцен-олигеновых салических пород, залегающих выше эоценовых базальтов. Именно с ними были связаны многочисленные выявленные золото-серебряные рудопрооявления и месторождения, особенно в Нижне-Амурской зоне ВСАВП. Но в Южном Приморье отсутствие качественного геохронологического датирования эффузивов и их вещественного изучения, присутствие пород брусилловского комплекса в виде преимущественно эктрузивных и субвулканических тел привело к отрицанию существования самостоятельного комплекса, конвергентного с богопольским комплексом датского возраста. Следствием этого стало упразднение брусилловской свиты в 1978 г. решением III Межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию и фанерозою Дальнего Востока СССР на основании того, что она является аналогом топаузской свиты (палеоцен-эоцен) и самостоятельного значения не имеет.

Одновременно в решениях совещания было указано: «обратить особое внимание на изучение палеогеновых эффузивных комплексов Сихотэ-Алиня, определить абсолютный возраст современными методами с целью более четкой дифференциации их привязки к региональной стратиграфической шкале»⁴. Однако данная рекомендация так и осталась невыполненной.

В серийной легенде к Государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (второе поколение) Приморского края в южной части ВСАВП среди кайнозойских салических комплексов выделен лишь эоценовый кедровский комплекс, а в серийной легенде к карте масштаба 1:200 000 (второе поколение) южнее Брусилловской вулканоструктуры — эоценовая «милоградская толща» риолитов, трахириолитов, туфов риолитов.

Автор статьи считает, что кайнозойские эоцен-олигеновые образования следует выделить в Ольга-Тернейской подзоне ВСАВП в виде брусилловского комплекса, оставив за кедровским олигоценными вулканиками Северного Приморья.

При составлении Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (серия Южно-Сихотэ-Алинская, лист К-53-III, IV) [2] все тематические работы коллектива ВСЕГЕИ (1980–2005 гг.) по расчленению и корреляции вулканических комплексов не были учтены.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Детальная петрографическая и петрогеохимическая характеристика пород брусилловского комплекса была представлена автором ранее [3–5], а также изложена в научно-исследовательской работе «Провести геодинамические реконструкции главных структур зоны перехода континент-океан Востока СССР для целей металлогенического районирования и регионального прогноза (по геодинамическим обстановкам)»⁵ в главе «Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс». В указанной

¹ Отчет о результатах геологической съемки и поисков в масштабе 1:50 000 за 1953–1954 годы в Тетюхинском районе Приморского края / В. Д. Бизин [и др.]. № 54145980. Л., 1954.

² Быковская Е. В. Стратиграфия и петрология мезо-кайнозойских вулканогенных образований Ольга-Тетюхинского района Приморского края. Л.: ВСЕГЕИ, 1956. 380 с.

³ Быковская Е. В. Стратиграфия и петрология верхнемезозойских и кайнозойских вулканогенных образований Ольга-Тетюхинского района: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Л.: ВСЕГЕИ; ЛГУ им. Г. В. Плеханова, 1960. 393 с.

⁴ Решения III Межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию и фанерозою Дальнего Востока СССР / редкол. В. Н. Верещагин [и др.]. Магадан: ГКП СВПО, 1982. С. 169.

⁵ Провести геодинамические реконструкции главных структур зоны перехода континент-океан Востока СССР для целей металлогенического районирования и регионального прогноза (по геодинамическим обстановкам). Союзгеолфонд, ВСЕГЕИ, 1991.

работе эоцен-олигоценые вулканы территории ВСАВП в Приморском и Хабаровском краях (брусиловский, кедровский, колчанский комплексы) отнесены к базальт-трахириолитовой формации.

В 2001 г. автором начаты тематические работы по выделению брусиловского комплекса по договору с ФГБУ «Приморская ПСЭ», которые, к сожалению, не были завершены из-за прекращения финансирования.

В результате авторских геологических исследований, проведенных в пределах Брусиловской вулканической структуры (1980–1985, 2001 гг.), установлено преимущественное развитие в ней игнимбритов (витроигнимбритов) риолитового состава и витрофировых риолитов и риодацитов. По ряду минералого-петрографических черт они сопоставляются с кислыми породами кедровского вулканического комплекса, описанного в работах В. А. Баскиной [6] и В. К. Попова [7].

Вулканы брусиловского комплекса относятся к олигофировому типу с содержанием вкрапленников от 10 до 20 %. Одной из важных черт этих пород, которая сближает их с вулканами кедровского комплекса, является ассоциация минералов-вкрапленников. Для игнимбритов (витроигнимбритов) это плагиоклаз + кварц + калиевый полевой шпат + ортопироксен, реже роговая обманка и биотит, для витрофировых риолитов и риодацитов — плагиоклаз + биотит + ортопироксен, реже клинопироксен и роговая обманка, без фенокристаллов кварца. Наиболее характерными и в какой-то мере диагностическими минералами для данных пород являются плагиоклаз и темноцветные минералы.

Преобладающим минералом этих вулканитов является плагиоклаз. Характерно, как и для пород кедровского комплекса, присутствие двух его генераций. Первая представлена наиболее крупными зернами (1,0–1,5 мм, редко до 2,5 мм) ситовидного облика, возникающего за счет коррозии и включения основной массы породы. В зернах генерации наблюдается обрастание относительно основного плагиоклаза (андезина) более кислым (олигоклазом). Вторая генерация представлена некорродированными зернами, которые, как правило, сдвойникованы и (или) зональны. Зональность обычно прямая, но отмечается и обратная, в редких случаях можно наблюдать кристаллы с повторяющейся зональностью (зональность с рекурренцией).

Темноцветные минералы образуют характерные ассоциации ортопироксен + клинопироксен, реже роговая обманка и биотит для игнимбритов (витроигнимбритов) и биотит + ортопироксен, реже клинопироксен и роговая обманка для витрофировых риолитов, риодацитов. Во всех случаях темноцветные минералы составляют первые проценты количественно-минералогического состава породы и представлены как обломочными, так и идиоморфными зернами. Среди темноцветных минералов игнимбритов (витроигнимбритов) преобладают ортопироксен и клинопироксен при более широком развитии ортопироксена (гиперстена); роговая обманка и биотит присутствуют в незначительных количествах, а иногда отсутствуют вовсе.

В витрофировых риолитах и риодацитах постоянно сочетание биотит + ортопироксен (преобладает биотит), моноклинный пироксен (авгит) и роговая обманка отмечаются в незначительных количествах или отсутствуют. Характерны гломеровые сростки ортопироксена и плагиоклаза.

В целом на основе изучения минералого-петрографического состава пород, преимущественно развитых в пределах Брусиловской вулканической структуры, можно отметить ряд черт, сближающих их с породами кедровского вулканического комплекса, который является составной частью эоцен-олигоценовой базальт-трахириолитовой ассоциации: а) присутствие как кварцсодержащих, так и базокварцевых витрофировых разновидностей; б) однотипная ассоциация минералов-вкрапленников; в) характер двух генераций плагиоклаза, являющегося главной составной частью пород; г) ассоциация темноцветных минералов и их облик.

Сравнение пород раннепалеогенового богопольского и брусиловского комплексов показало несколько меньшую кислотность последних ($\text{SiO}_2 = 68\text{--}73\%$) при большой вариации по щелочности от низкощелочных до субщелочных.

Вулканы брусиловского комплекса на примере пород Брусиловского грабена обогащены (по сравнению с породами богопольского комплекса Нерпинской и Тумановской кальдер) Cr, Ni, Co, Sn, Be, Ag, а перлиты — Cr, V, Ni, Zn, Pb, Ag, Co. Для экструзива на берегу оз. Известняк (Топауза), выполненного фельзориолитами, витроориолитами и плагиориолитами брусиловского комплекса, установлена обогащенность Sr, Co, Ti, Ag, Ba, Hg, Mo, Au. Содержание золота достигает на этом участке 0,1 г/т. Соотношение Th/U варьирует в них от 2 до 8, содержания урана не превышают 4 г/т. По сравнению с аналогичными разностями Богопольской кальдеры, перлиты Брусиловского грабена несколько обогащены элементами фемафильной группы и обеднены фельсифильно-гомеофильной: Ga, Mo, Be, Li, Hg [5].

При петрографической характеристике было отмечено, что среди фенокристаллов особое место занимает плагиоклаз (андезин), а также постоянно присутствуют наряду с базальтической роговой обманкой диопсид и гиперстен. В отдельных шлифах обнаружены реликты оливина в центральных частях иддингситовых псевдоморфоз по ним. Кварц и санидин представлены редкими зернами или вовсе отсутствуют. Все эти факты совместно с геологическими данными позволили отнести породы брусиловского комплекса к контрастной базальт-трахириолитовой ассоциации, не связанной непосредственно с формированием ВСАВП.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В 2022 г. была опубликована статья А. В. Гребенникова с соавторами [8], посвященная проблеме брусиловского комплекса, однако, по нашему мнению, она не способствовала положительному решению этого вопроса.

Авторы данной статьи не упомянули предыдущие схемы тектонического районирования территории ВСАВП, созданные в результате многолетних исследований геологов ВСЕГЕИ [4; 9; 10], а также вещественные критерии выделения вулканических комплексов трахидацит-трахириолитовой формации, к которой относятся брусиловский, милогородовский, кедровский и колчанский вулканические комплексы [1; 3–5], проявленные на территории, занимаемой предшествующим им мел-палеоценовым Восточно-Сихотэ-Алинским вулканогеном.

В своей работе А. В. Гребенников и коллеги приводят весьма своеобразную схему строения (рис. 1 в комментируемой статье) так называемой Брусиловской ВТС, проигнорировав при этом схему вулканогенно-тектонического районирования рассматриваемой территории, предложенную в 1986 г. А. О. Соболевым [4]. Согласно последней, в бассейнах рек Зеркальная и Брусиловка выделяется Зеркальная полигенная вулканогенно-тектоническая структура (ВТС), осложненная Брусиловским и Якутинским вулканогенно-тектоническими грабенами.

Дальнейшие выводы авторов статьи [8] основываются на *четырёх* образцах вулканических местоположений которых следовало бы указать на детальных геологических разрезах. Судя по тексту статьи, авторы не проводили площадное геолого-фациальное картирование и палеовулканические реконструкции, необходимые при детальном исследовании вулканогенно-тектонических структур. Ведь корректность определения возраста опробованных тел зависит от того, к каким вулканическим фациям относятся данные пробы (покров, экструзия или субвулканическое тело).

Отметим, что в 1980 г. Приморская геологическая партия отдела геологии и полезных ископаемых Восточных районов ВСЕГЕИ в составе Е. В. Быковской, А. О. Соболева, А. А. Таркнаева и троих техников в течение летнего сезона осуществила опытно-методическое геолого-фациальное картирование масштаба 1 : 100 000 территории Брусиловского вулканогенно-тектонического грабена. В ходе работ составлена карта, отобрано более 350 проб, которые подверглись петрографическому описанию и изучению, а также анализу силикатным, рентгеноспектральным и спектральным методами на 45 элементов. Результаты исследований изложены в [10; 11]. Тогда же были изучены и описаны детальные разрезы вулканических пород на побережье Японского моря и по берегам оз. Топауза (ныне — оз. Известняк). При этом в коренном обнажении на юго-западной части озера были сделаны находки флоры, на тот момент отнесенной к олигоцену.

Постулат о том, что «датирование “спорных” вулканических пород в пределах их страто- и петротипов является актуальной задачей в изучении кайнозойского вулканизма территории Сихотэ-Алиня» [8, с. 105], абсолютно бесспорный. Однако авторы цитируемой работы не соблюли этот принцип, выбрав для исследования геохронологии брусиловского комплекса вулканогенные образования не из его стратотипа, а опробовав точки на право- и левобережье р. Верх. Брусиловка (ранее — р. Верх. Топауза).

У авторов [8] речь в статье идет лишь о «стратотипической местности», каковой, по их мнению, является весь бассейн р. Верх. Брусиловка. Стратотипические разрезы, расположенные близ д. Брусиловка (например, разрез на гриве в междуречье Падь Богопольская — Верх. Брусиловка (ранее — р. Верх. Топауза)) т. н. 760–769 в работе Е. В. Быковской 1960 г.¹, не были опробованы. Еще один стратотипический разрез расположен также близ д. Брусиловка, на правобережье долины р. Верх. Брусиловка (т. н. 105–111, 1960 г.), но и он не был использован в качестве объекта опробования авторами комментируемой статьи. Это привело к тому, что под видом брусиловской свиты, по Е. В. Быковской [12], была опробована и заведомо богопольская свита (т. н. АВ-108/3 на рис. 1 в [8]), возраст литокластического туфа которой закономерно для богопольской свиты составил $61,0 \pm 1,5$ млн лет. Близкий к нему средневзвешенный возраст кристаллокластического туфа из т. н. АВ-108/5, вероятно, тоже отражает возраст богопольской свиты, хотя на карте Е. В. Быковской [12] эта точка наблюдения находится в поле выходов низов брусиловской свиты (рис. 1). Следует подчеркнуть, что статистические показатели последнего возрастного определения весьма далеки от идеала: $СКВО = 2,3$; P (вероятность конкордантности) = 0,01. Последнее легко объяснимо, если посмотреть на рис. 2в из работы [13]: проба явно состоит из двух разновозрастных ассоциаций цирконов. Наиболее молодая, хотя и немногочисленная группа, показывает значения возраста около 57 млн лет, в то время как преобладающая по объему ассоциация имеет возраст, близкий к 63 млн лет. Можно предположить, что истинный возраст породы приближается к 57 млн лет, и при этом опробованный туф содержит многочисленные ксеногенные кристаллы циркона, возможно, захваченные из пород «рамы» высокоэксплозивного магматического очага. Очевидно, что результаты определения возраста, имеющие подобные статистические характеристики, могут использоваться лишь в качестве предварительных, но никак не для окончательного суждения о возрасте того или иного стратона. Породы проб АВ-108/6 и АВ-108/7, показавшие значения в $56,0 \pm 0,5$ и 57 ± 1 млн лет соответственно, также содержат по 2–3 «молодых» (около 54 млн лет) кристалла циркона, при этом лишь первая из них отличается действительно хорошими статистическими показателями конкордантности. Анализ рисунков 2а и 2б из статьи [13] позволяет предположить, что вероятный возраст опробованных А. В. Гребенниковым и соавторами экструзивного риолита и «гиалоигнимбрита» составляет несколько более 54 млн лет, и, возможно, эта величина близка времени проявления начальной фазы извержений брусиловского комплекса. Утверждение авторов [8] о том, что проба «гиалоигнимбрита» отобрана из верхов разреза

¹ Быковская Е. В. Стратиграфия и петрология верхнемезозойских и кайнозойских вулканогенных образований Ольга-Тетюхинского района : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Л. : ВСЕГЕИ ; ЛГУ им. Г. В. Плеханова, 1960. 393 с.

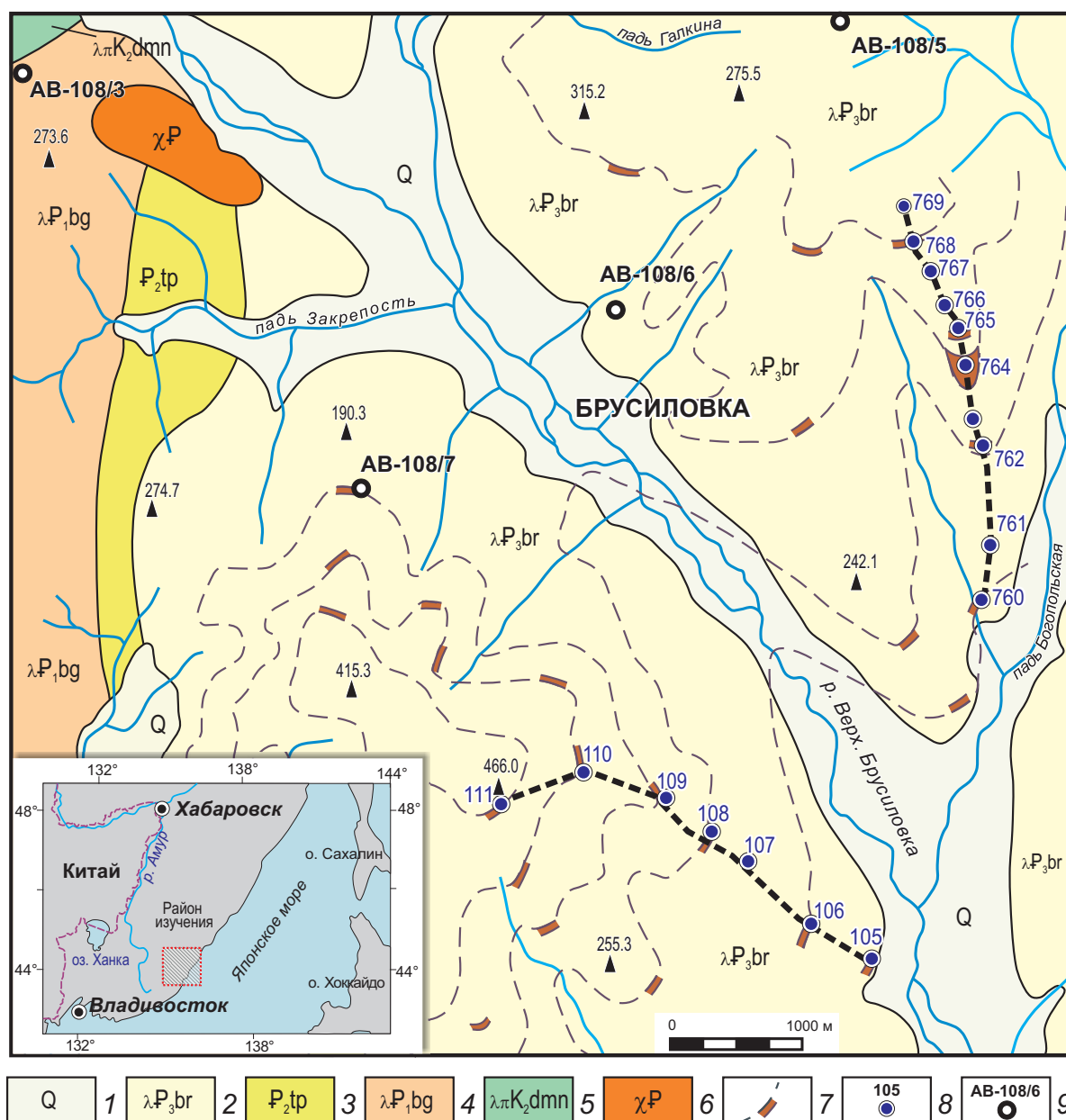


Рис. 1. Схематическая геологическая карта бассейна р. Верх. Брусиловка (среднее течение) масштаба 1:50 000

1 — нерасчлененные четвертичные отложения; 2, 3 — «постсубдукционные» вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы: 2 — брусиловская свита — витродациды и дациты, обсидианы, игнимбриды и туфы умеренно-кислого и кислого составов, 3 — топаузская свита — «пестрые» туфы смешанного состава, туффиты; 4, 5 — «надсубдукционные» вулканиды Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса: 4 — богопольский комплекс — риодациты и их туфы, 5 — монастырская свита — риолиты и туфы; 6 — шток керсантитов палеогена; 7 — коренные обнажения пород; 8 — точки наблюдения на стратотипических разрезах Е. В. Быковской; 9 — точки опробования А. В. Гребенникова и соавторов, нанесенные согласно их координатам

Источник: по материалам диссертации*, 8 — [12], 9 — [8]

Fig. 1. Schematic geological map of the Verkhnyaya Brusilovka River basin (middle reach), scale of 1:50,000

1 — undifferentiated Quaternary deposits; 2, 3 — “post-subduction” volcanic and volcanic-sedimentary rocks: 2 — Brusilovka Formation — vitrodacites and dacites, obsidians, ignimbrites, and moderately felsic and felsic tuffs, 3 — Topauz Formation — “variegated” tuffs of mixed composition, tuffites; 4, 5 — “supra-subduction” volcanics of the East Sikhote-Alin Volcanic Belt: 4 — Bogopol Complex — rhyodacites and their tuffs, 5 — Monastery Formation — rhyolites and tuffs; 6 — Paleogene kersantite stock; 7 — bedrock outcrops; 8 — observation points on stratotype sections by E. V. Bykovskaya; 9 — sampling points according to their coordinates by A. V. Grebennikov and his coauthors

Source: adapted from the dissertation**, 8 — [12], 9 — [8]

*Быковская Е. В. Стратиграфия и петрология верхнемезозойских и кайнозойских вулканогенных образований Ольга-Тетюхинского района: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Л.: ВСЕГЕИ; ЛГУ им. Г. В. Плеханова, 1960. 393 с.

**Bykovskaya E. V. Stratigraphy and petrology of Upper Mesozoic and Cenozoic volcanogenic formations of the Olga-Tetyukhe region: PhD dissertation (Geology and Mineralogy). Leningrad: VSEGEI, LSU named after G. V. Plekhanov; 1960. 393 p.

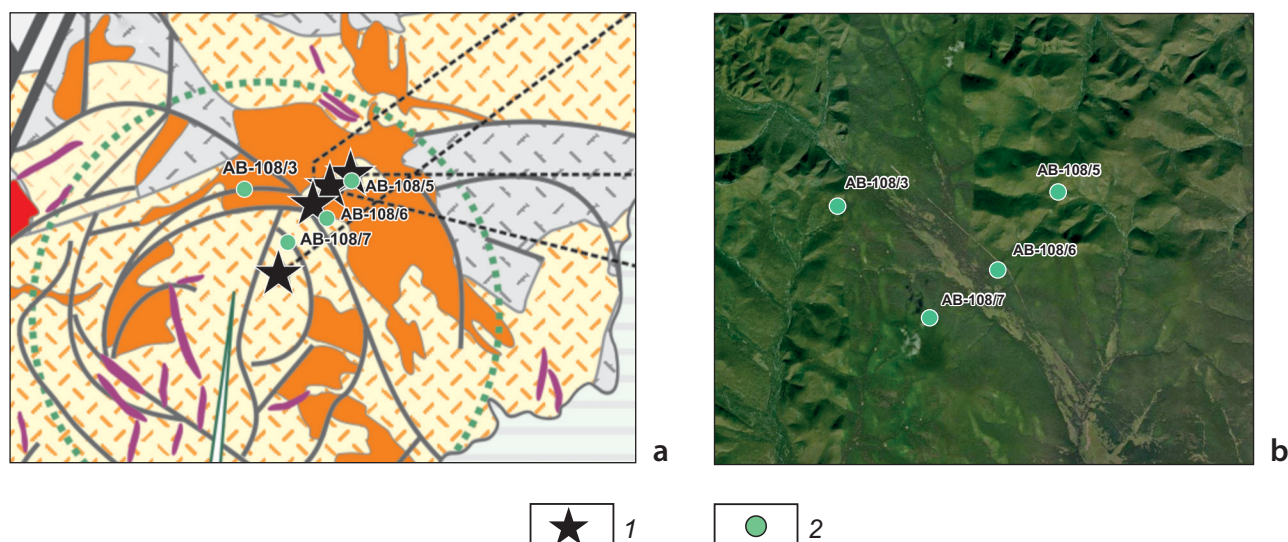


Рис. 2. Сопоставление положения точек опробования, показанных на рис. 1а в [8], с их положением согласно координатам в [13]

а — фрагмент рис. 1а из [13]; **б** — снимок с точками опробования, нанесенными по их географическим координатам: **1, 2** — места отбора проб и их номера: **1** — согласно положению на рис. 1а из [13], **2** — согласно их координатам

Источник: **а** — [13]; **б** — снимок из Google Maps

Fig. 2. Comparison of the sampling points positions shown in Fig. 1a in [8], with their coordinates in [13] located

a — fragment of Fig. 1a from [13]; **b** — photo with sampling points according to their geographical coordinates: **1, 2** — sampling locations and their numbers: **1** — according to the position in Fig. 1a from [13], **2** — according to their coordinates

Source: **a** — [13]; **b** — Google Maps photo

брусилловской (в понимании Е. В. Быковской [12]) свиты, вряд ли соответствует истине, поскольку, судя по рис. 1 из их статьи, точка отбора данной пробы отвечает приблизительно средней части разреза (см. рис. 1 в настоящей работе).

Резюмируя этот раздел, отметим, что авторами [8] опробованы далеко не самые представительные части разреза брусилловского комплекса, при том, что одна проба (AB-108/3) была взята не из него, а из низов разреза богопольского комплекса, согласно карте Е. В. Быковской 1960 г.¹ [12], близ контакта богопольских пород с подстилающими их вулканитами позднемелового монастырского комплекса ВСАП (рис. 1). Проба AB-108/5, судя по возрастным характеристикам и возможному положению в низах разреза брусилловского комплекса или даже стратиграфически ниже его, может принадлежать верхним частям богопольского комплекса. Экструзия риолитов, обнажающаяся в подножье склона левого борта долины р. Верх. Брусилловка, возможно, сформировалась в начальную фазу становления брусилловского комплекса и имеет возраст, немного превышающий 54 млн лет. Близкая к этой цифра может характеризовать и время становления тела брусилловского «гиалоигнимбрита».

Мы также не согласны с утверждением, что брусилловский комплекс образован «преимущественно экструзивными и субвулканическими телами» [8, с. 105]. Описание двух стратотипических разрезов из бассейна р. Верх. Топауза (ныне — Верх. Брусилловка), приведенное в [12], не согласуется с этим утверждением, указывая на типичную стратовулканическую последовательность, возможно, включающую мало-мощные силлообразные тела перлитов и обсидиа-

нов и единственный мощный (около 150 м) силл? (субвулкан? — А. С.) биотитовых риолитов. Здесь обнажаются (снизу вверх): витродацииты, витрокластические туфы, риолиты, перлиты, плагиориолиты, обсидианы, витрориолиты, вновь плагиориолиты и витрокластические туфы, риолиты, витрокластические туфы и риолиты [12]. Судя по геологической карте Брусилловского грабена, созданной Е. В. Быковской в 1960 г.² (рис. 1 в настоящей статье), залегание слагающих их тел (потоков, покровов и силлов?) — субгоризонтальное, хотя на геологическом разрезе из работы Е. В. Быковской [12] показано пологонаклонное к северу их падение.

Противоречит утверждению о «широком участии» субвулканических и экструзивных тел в составе брусилловского комплекса также и незначительная, как правило, мощность (от 6–14 до 30–54 м, лишь в нескольких случаях больше) горизонтов кислых вулканогенных пород и особенно ступенчатый, пологонаклонный характер строения склонов в местах распространения брусилловских отложений, что хорошо видно на геологической карте (рис. 1).

Авторы [8], подчеркивая сделанное ими ранее [4] выделение «среднепалеоцен-раннеэоценового (60,5–53 млн лет) этапа магматизма на юге Дальнего Востока России», не учитывают [8; 12] сведения из публикаций В. Г. Сахно и соавторов [11; 14; 15]

¹Быковская Е. В. Стратиграфия и петрология верхнемезозойских и кайнозойских вулканогенных образований Ольга-Тетюхинского района : дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Л. : ВСЕГЕИ ; ЛГУ им. Г. В. Плеханова, 1960. 393 с.

²Там же.

по уран-свинцовой геохронологии (SHRIMP-определения ВСЕГЕИ) раннеэоценового (53,5–48,5 млн лет) милоградовского вулканогенного комплекса, выделенного в процессе составления государственной геологической карты масштаба 1 : 200 000 [2] и являющегося, по мнению В. Ф. Полина и соавторов [16], временным и вещественным аналогом брусилловского комплекса.

В связи с этим, следует подчеркнуть, что в статье В. Г. Сахно и коллег [11] результат только по пробе № 1337 ($50,9 \pm 2,8$ млн лет) не позволяет, согласно статистическим характеристикам ($СКВО = 9,1$; $p = 0,003$), считаться достоверным. В то же время близкий ему по величине возраст ($49,2 \pm 1,4$ млн лет), определенный по пробе № 1336-2(6), вполне валиден ($СКВО = 0,0015$; $p = 0,99$) и по величине может быть отнесен к «промежуточным» между крайними значениями возраста комплекса: 53,5 и 48,5 млн лет. Прочие результаты датирования милоградовского комплекса со значениями возраста его пород в интервале 53,3–48,5 млн лет не вызывают сомнений в достоверности, о чем убедительно свидетельствуют их статистические параметры, приведенные в [11].

К этому следует добавить, что уран-свинцовый возраст (SHRIMP-II, ВСЕГЕИ) санидинового риолита (проба № 1900; возраст 52,25 млн лет) милоградовского (прежнее его название здесь — брусилловский) комплекса из истоков р. Милоградовка (прежнее — р. Ванчин) и калий-аргоновые возрасты проб адуляра из адуляр-кварцевых жил (49–43 млн лет) месторождения Союз [2], связанного со становлением милоградовского комплекса, также подтверждают сведения из работы В. Г. Сахно с соавторами [11].

Фактически необходимо или выделять «средне-палеоцен-раннеэоценовый этап магматизма» в более широких рамках (62,0–48,5 млн лет), или, учитывая, что А. В. Гребенников и его соавторы относят этот этап к разряду «постсубдукционных», исключить из состава его образований вулканоплутониты богоспольского комплекса («поздне-надсубдукционные», согласно, например, [16]), оставив в нем только «постсубдукционные» вулканы и субвулканы (милоградовский, брусилловский, якутинский субвулканический, кедровский и колчанский вулканогенные комплексы), проявленные на территориях распространения «надсубдукционных» вулканитов Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса («наложенные» на последние).

В используемой терминологии авторы [8] (см. пояснительный текст к рис. 1б), например, к разряду вулканических пород относят «лахары» вместо «отложения лахаровых потоков» или «лахаровые брекчии». Обращает на себя внимание и еще одна неточность: положение точек опробования АВ-108/3 ($44^{\circ}07'53''$ С; $135^{\circ}24'04''$ В) и АВ-108/7 ($44^{\circ}06'23''$ С; $135^{\circ}25'46''$ В) на рис. 1а из [13] не согласуется с их географическими координатами, приводимыми в тексте [13] на с. 107 (см. рис. 2 настоящей статьи).

Утверждение авторов, что «генезис Au-Ag рудопроявлений и месторождений Сихотэ-Алиня, скорее, необходимо связывать не с металлогенической специализацией и рудоносностью «особого» магматического комплекса, а со структурно-геодинамиче-

скими факторами, благоприятными для транспортировки рудного вещества, его концентрацией в рудолокализирующих структурах сдвиговой природы» [8, с. 107], противоречит многочисленным примерам связи рудных тел¹ на месторождениях Салют и Полянка с вулканогенными образованиями аналогов брусилловского комплекса: кедровского и колчанского [17–22]. Ранее убедительные факты, свидетельствующие о связи золото-серебряного оруденения с эоцен-олигоценным(?) вулканизмом на территории развития ВСАВП приводили в своих работах В. К. Попов, Ю. А. Мартынов и другие исследователи (например, [7; 23]).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проблема выделения брусилловского комплекса является актуальной и требует решения, прежде всего, для выявления перспективных участков на золото-серебряное оруденение.

2. В нынешних условиях фактического прекращения деятельности геологосъемочных предприятий Приморского края большая доля ответственности за качественное изучение вулканических комплексов Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса ложится на коллектив Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук как единственного геологического института Приморья.

3. Необходимо, чтобы заинтересованные в решении затронутой проблемы геологи из различных организаций объединили усилия и на основе представительного материала объективно разрешили многолетний спор о валидности или невалидности выделения брусилловского комплекса, учитывая связь с относимыми к нему и его аналогам вулканогенными образованиями многочисленных эпитермальных золото-серебряных рудопроявлений на территории Ольга-Тернейской зоны Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса (см., например, [18–20]).

4. Будущим исследователям брусилловского комплекса в дальнейшей работе следует учитывать методические рекомендации по изучению вулканогенных образований (например, [24–26]); это позволит более комплексно характеризовать подобные породы и квалифицированно реконструировать вулcano-тектонические структуры.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Соболев А. О. Основные проблемы расчленения и корреляции магматических комплексов территории Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса // Мезозойские и кайнозойские магматические и метаморфические образования Дальнего Востока : материалы V Дальневост. регион. петрогр. совещ., Хабаровск, 30 окт. — 2 нояб. 2001 г. Хабаровск : ФГУГП «Хабаровскгеология», 2001. С. 115–116.

¹ Детально рассмотренных автором с коллегами на основе сведений по геологии и 3D моделей, созданных в программном комплексе MICROMINE.

2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Серия Южно-Сихотэ-Алинская. Лист К-53-III, IV. Объяснительная записка / Л. А. Пеженина [и др.]. СПб., 2008. 190 с.

3. Петрологическое изучение магматических ассоциаций коллизионных обстановок / А. С. Остроумова [и др.]. М., 1995. 217 с.

4. Соболев А. О. Позднемеловые-раннепалеогеновые дацит-риолитовые комплексы юго-западной части Восточно-Сихотэ-Алинского вулканогена: петрогеохимические особенности : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Л., 1986. 24 с.

5. Соболев А. О., Быковская Е. В. Вещественные особенности вулканических стекол южной части Восточно-Сихотэ-Алинского вулканогена // Записки Всесоюзного минералогического общества. 1989. Т. 118, № 6. С. 12–27.

6. Баскина В. А. Магматизм рудоцентрирующих структур Приморья. М. : Наука, 1982. 259 с.

7. Попов В. К. Особенности связи золото-серебряного оруденения с вулканизмом палеогеновой базальт-липаритовой серии восточного Сихотэ-Алиня // Магматизм рудных районов Дальнего Востока : сб. науч. тр. Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1985. С. 36–45.

8. Возраст вулканитов и геодинамические особенности формирования Брусиловской вулcano-тектонической структуры Сихотэ-Алиня / А. В. Гребенников [и др.] // Тихоокеанская геология. 2022. Т. 241, № 6. С. 104–110. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2022-41-6-104-110>.

9. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 8. Восток СССР / под ред. Л. И. Красного, В. К. Путинцева. Л. : Недра, 1984. 560 с.

10. Основные закономерности развития и металлогения областей тектоно-магматической активизации юга Азиатской части СССР / В. А. Амантов [и др.]. Л. : Недра, Ленинг. отд-ние, 1979. 303 с.

11. Сахно В. Г., Ростовский Ф. И., Аленичева А. А. U-Pb-изотопное датирование магматических комплексов Милоградовского золото-серебряного месторождения (Южное Приморье) // Доклады Академии наук. 2010. Т. 433, № 2. С. 219–226.

12. Быковская Е. В., Подгорная Н. С. Стратиграфия и петрология верхнемеловых и третичных вулканогенных образований Ольга-Тетюхинского района // Информ. сб. ВСЕГЕИ. 1959. № 17. С. 29–40.

13. Среднепалеоцен-раннеэоценовый (60,5–53 млн лет) этап магматизма на юге Дальнего Востока России / А. В. Гребенников [и др.] // Тихоокеанская геология. 2020. Т. 39, № 5. С. 34–40. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2020-39-5-34-40>.

14. Аленичева А. А., Сахно В. Г. U-Pb-датирование экструзивно-интрузивных комплексов рудных районов южной части Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса (Россия) // Доклады Академии наук. 2008. Т. 419, № 1. С. 81–85.

15. Сахно В. Г., Акинин В. В. Первые данные U-Pb датирования вулканических пород Восточно-Сихотэ-Алинского пояса // Доклады Академии наук. 2008. Т. 418, № 2. С. 226–231.

16. Кислый вулканизм конечной фазы надсубдукционного и главной — постсубдукционного окраинно-континентально-рифтогенного геодинамических этапов в Восточном Сихотэ-Алине: критерии сходства и различия / В. Ф. Пипко [и др.] // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит. V Всерос. конф. с междунар. участием, Владивосток, 20–23 сент. 2021 г. : материалы. Владивосток : Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2021. С. 122–126. <https://doi.org/10.24866/7444-5100-4>.

17. Соболев А. О. Рифтогенез и Au-Ag месторождения Восточно-Сихотэ-Алинского и Охотско-Чукотского вулканических поясов // Модели вулканогенно-осадочных рудообразующих систем : материалы междунар. конф., Санкт-Петербург, 7–10 июня 1999 г. СПб. : ВСЕГЕИ, 1999. С. 128–129.

18. Соболев А. О. Металлогения кайнозойских золото-серебряных месторождений территории Восточно-Сихотэ-Алинского пояса // Золото северного обрамления Пацифика : II междунар. горно-геол. форум, посвящ. 110-летию со дня рожд. Ю. А. Билибина : тез. докл. горно-геол. конф., Магадан, 3–5 сент. 2011 г. Б. м. : [СВКНИИ ДВО РАН], 2011. С. 149–151.

19. Соболев А. О. Большое будущее золотого Приморья // Золотодобыча. Дата обновления: 10.03.2015. URL: <https://zolotodb.ru/article/11195> (дата обращения: 23.11.2024).

20. Соболев А. О. Милоградовское золото-серебряное эпитемальное рудопоявление как перспективный объект юга Приморского края // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит. VI Всерос. конф. с междунар. участием, Владивосток, 19–22 сент. 2023 г. : материалы конф. Владивосток : Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2023. С. 452–455. <https://doi.org/10.24866/7444-5547-7>.

21. Соболев А. О., Дубровин В. И. Кайнозойские золото-серебряные месторождения восточной части Сихотэ-Алинского региона и первоочередные задачи выявления новых объектов (на примере месторождения «Салют») // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит. V Всерос. конф. с междунар. участием, Владивосток, 20–23 сент. 2021 г. : материалы. Владивосток : Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2021. С. 179–181. <https://doi.org/10.24866/7444-5100-4>.

22. Соболев А. О., Шарпенко Л. Н., Костин А. Е. Золото-серебряное оруденение и трахибазальт-трахириолитовые ассоциации вулканических поясов Центральной и Восточной Азии // Тектоника и Металлогения Северной Циркум-Пацифики и Восточной Азии : материалы конф., посвящ. памяти Л. М. Парфенова, Хабаровск, 11–15 июня 2007 г. Хабаровск : ИТИГ ДВО РАН, 2007. С. 536–538.

23. Рудные формации вулcano-плутонических поясов Дальнего Востока : генетические типы и закономерности размещения / В. Г. Хомич [и др.]. М. : Наука, 1989. 227 с.

24. Методика геологической съемки древних вулканов / В. В. Донских [и др.]. Л. : Недра, Ленинг. отд-ние, 1980. 278 с.

25. Магматические формации. Принципы и методы оценки рудоносности геологических формаций / В. Л. Маситис [и др.]. Л. : Недра, 1983. 259 с.

26. Практическая петрология : методические рекомендации по изучению магматических образований применительно к задачам Госгеолкарт / А. Е. Костин [и др.]. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2017. 168 с.

REFERENCES

1. Sobolev A. O. The main problems of dismemberment and correlation of igneous complexes of the East Sikhote-Alin volcanic belt territory. *Mesozoic and Cenozoic igneous and metamorphic formations of the Far East: Proc. of the V Far Eastern petrographic meeting*, Khabarovsk, 30 Oct. — 2 Nov. 2001. Khabarovsk: Khabarovskgeologia; 2001. P. 115–116. (In Russ.).

2. State Geological Map of the Russian Federation, scale of 1 : 200,000. South Sikhote-Alin series. Sheet K-53-III, IV. Explanatory note / L. A. Pezhenina [et al.]. St. Petersburg; 2008. 190 p. (In Russ.).

3. Petrological study of magmatic associations in collision settings / A. S. Ostroumova [et al.]. Moscow; 1995. 217 p. (In Russ.).

4. Sobolev A. O. Late Cretaceous — Early Paleogene dacite-rhyolite complexes of the southwestern part of the East Sikhote-Alin volcanogen: petrogeochemical features. Abstract of PhD (Geology and Mineralogy) dissertation. Leningrad; 1986. 24 p. (In Russ.).

5. Sobolev A. O., Bykovskaya E. V. Material features of volcanic glasses of the southern part of the East Sikhote-Alin volcanogen. *Proceedings of the Russian mineralogical society*. 1989; 118 (6): 12–27. (In Russ.).
6. Baskina V. A. Magmatism of ore-concentrating structures of Primorye. Moscow: Nauka; 1982. 259 p. (In Russ.).
7. Popov V. K. Peculiarities of connecting gold-silver mineralization to volcanism of the Paleogene basalt-liparite series of the East Sikhote-Alin. *Magmatism of ore regions of the Far East: Coll. of research papers*. Vladivostok: FESC AS USSR; 1985. P. 36–45. (In Russ.).
8. Age of volcanic rocks and geodynamic settings of the formation of the Brusilovka volcanic depression in the Sikhote-Alin / A. V. Grebennikov [et al.]. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2022; 241 (6): 104–110. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2022-41-6-104-110>. (In Russ.).
9. Geological structure of the USSR and patterns of minerals distribution. Vol. 8. East of the USSR / Eds. L. I. Krasnyy, V. K. Putintsev. Leningrad: Nedra; 1984. 560 p. (In Russ.).
10. Basic patterns of development and metallogeny of tectonic-magmatic activation areas in the south of the Asian part of the USSR. Leningrad: Nedra; 1979. 303 p. (In Russ.).
11. Sakhno V. G., Rostovskiy F. I., Alenicheva A. A. U-Pb isotope dating of igneous complexes of the Milogradovskoye gold-silver deposit (Southern Primorye). *Doklady Akademii Nauk*. 2010; 433 (2): 219–226. (In Russ.).
12. Bykovskaya E. V., Podgornaya N. S. Stratigraphy and petrology of Upper Cretaceous and Tertiary volcanogenic formations of the Olga-Tetyukhinskiy region. *Information collection of VSEGEI*. 1959; (17): 29–40. (In Russ.).
13. The Middle Paleocene — the Early Eocene (60.5–53 Ma) stage of magmatism in the South of the Russian Far East / A. V. Grebennikov [et al.]. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2020; 39 (5): 34–40. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2020-39-5-34-40>. (In Russ.).
14. Alenicheva A. A., Sakhno V. G. U-Pb dating of extrusive-intrusive complexes of ore regions of the southern part of the East Sikhote-Alin volcanic belt (Russia). *Doklady Akademii Nauk*. 2008; 419 (1): 81–85. (In Russ.).
15. Sakhno V. G., Akinin V. V. First U-Pb dating results of volcanic rocks of the East Sikhote-Alin belt. *Doklady Akademii Nauk*. 2008; 418 (2): 226–231. (In Russ.).
16. Acid volcanism of the final phase of supra-subduction and main — post-subduction marginal-continental-rift geodynamic stages in Eastern Sikhote-Alin: criteria of similarity and difference / V. F. Pipko [et al.]. *Geological Processes in the Lithospheric Plates Subduction, Collision and Slide Environments. Fifth Russ. sci. conf. with foreign participants*, Vladivostok, Russia, 20–23 September 2021: Proc. Vladivostok: Publ. House of the Far Eastern Federal Univ.; 2021. P. 122–126. <https://doi.org/10.24866/7444-5100-4>. (In Russ.).
17. Sobolev A. O. Rifting and Au-Ag deposits of the East Sikhote-Alin and Okhotsk-Chukotka volcanic belts. *Models of volcanogenic-sedimentary ore-forming systems: Proc. of the Intern. Conf.*, St. Petersburg, 7–10 June 1999. St. Petersburg; 1999. P. 128–129. (In Russ.).
18. Sobolev A. O. Metallogeny of Cenozoic gold-silver deposits on the territory of the East Sikhote-Alin belt. *Gold of the northern frame of the Pacific: II Intern. Mining and Geological Forum dedicated to the 110th anniversary of Yu. A. Bilibin's birth: Abstracts of reports of the mining and geological conf.*, Magadan, 3–5 Sept. 2011. S. I.: [NEISRI FEB RAS]; 2011. P. 149–151. (In Russ.).
19. Sobolev A. O. Great future of golden Primorye. *Zolotodobycha*. Updated 10.03.2015. URL: <https://zolotodb.ru/article/11195> (accessed 23.11.2024). (In Russ.).
20. Sobolev A. O. Milogradovskoe gold-silver epithermal ore occurrence as a promising object in the south of Primorsky Krai. *Geological Processes in the Lithospheric Plates Subduction, Collision and Slide Environments. Fifth Russ. sci. conf. with foreign participants*, Vladivostok, Russia, 19–22 Sept. 2023: Proc. Vladivostok: Publ. House of the Far Eastern Federal Univ.; 2023. P. 452–455. (In Russ.).
21. Sobolev A. O., Dubrovin V. I. Cenozoic gold-silver deposits of the eastern part of the East Sikhote-Alin region and priority tasks of identifying new objects (based on the Salyut deposit). *Geological Processes in the Lithospheric Plates Subduction, Collision and Slide Environments. Fifth Russ. sci. conf. with foreign participants*, Vladivostok, Russia, 20–23 Sept. 2021: Proc. Vladivostok: Publ. House of the Far Eastern Federal Univ.; 2021. P. 179–182. (In Russ.).
22. Sobolev A. O., Sharpenok L. N., Kostin A. E. Gold-silver mineralization and trachybasalt-trachyrhyolite associations of volcanic belts of Central and Eastern Asia. *Tectonics and Metallogeny of the Circum-North Pacific and Eastern Asia: Proc. of the conf. dedicated to the memory of L. M. Parfenov*, Khabarovsk, 11–15 June 2007. Khabarovsk: ITiG FEB RAS; 2007. P. 536–538. (In Russ.).
23. Ore formations of volcano-plutonic belts of the Far East: Genetic types and patterns of distribution / V. G. Khomich [et al.]. Moscow: Nauka; 1989. 227 p. (In Russ.).
24. Donskikh V. V., Zelepugin V. N., Kronidov I. I. Methodology of geological survey of ancient volcanoes. Leningrad: Nedra; 1980. 278 p. (In Russ.).
25. Igneous formations. Principles and methods for assessing the ore content of geological formations / V. L. Masaytis [et al.]. Leningrad: Nedra; 1983. 259 p. (In Russ.).
26. Practical petrology: Methodological recommendations on study of magmatic formations applied to the tasks of state geological mapping / A. E. Kostin [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Press; 2017. 168 p. (In Russ.).

Александр Олегович Соболев

Кандидат геолого-минералогических наук,
доцент, главный геолог

ООО «Геоконсалт Групп», Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0009-0534-608X>
SPIN-код РИНЦ 3191-3476
saofeast@mail.ru

Aleksandr O. Sobolev

PhD (Geology and Mineralogy),
Associate Professor, Chief Geologist

Geoconsult Group, Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0009-0534-608X>
RSCI SPIN-code 3191-3476
saofeast@mail.ru

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest: the author declares no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 29.11.2024
Одобрена после рецензирования 27.01.2025
Принята к публикации 20.03.2025

Submitted 29.11.2024
Approved after reviewing 27.01.2025
Accepted for publication 20.03.2025