

УДК 549.651/549.02

ПОЛЕВОЙ ШПАТ ЩЕЛОЧНО-ГРАНИТНОГО КОМПЛЕКСА ХАЛДЗАН-БУРЭГТЭГ (ЗАПАДНАЯ МОНГОЛИЯ): ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Зенина Ксения Сергеевна¹,
kszenina@ggf.tsu.ru

Небера Татьяна Степановна¹,
TSNebera@mail.ru

Коноваленко Сергей Иванович¹,
konov@ggf.tsu.ru

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Состав, структура и другие особенности минералов являются важнейшими генетическими характеристиками, отражающими условия их образования, и позволяют провести реконструкцию жизни геологического объекта. Полевой шпат, в связи с его кристаллизацией в широком интервале температур и давлений, изоморфных замещений и распада твердых растворов, является важным объектом минералогических исследований.

Цель исследования: выявление особенностей структуры и химического состава полевого шпата многофазового щелочно-гранитного комплекса Халдзан-Бурэгтэг в Западной Монголии.

Объект исследования: щелочно-гранитовая формация Озерной зоны Западной Монголии, которая объединяет ряд крупных массивов Халдзан-Бурэгтэгской группы (Улан-Хурэн, Гурван-Унэт, Улан-Унэт, Цогту-Ула, Цохни-Ула, Халдзан-Бурэгтэг) ранне-палеозойского возраста, а также позднемагматические дифференциаты гранитоидов – пегматиты и постмагматические производные – гидротермалиты и метасоматиты.

Предмет исследования: полевой шпат, представленный калиевым полевым шпатом и плагиоклазом.

Методы исследования. Проведено комплексное исследование полевого шпата, включающее оптический и морфологический анализ минерала, рентгеноструктурный, рентгенолюминесцентный, рентгеновский энерго-дисперсионный микроанализ, а также количественный и полуколичественный спектральный анализ.

Результаты. Описана морфология, габитус исследуемого полевого шпата, изучены пертитовые структуры минерала. Определены рентгеноструктурные характеристики калиевого полевого шпата и плагиоклаза. Получены данные о химическом составе полевого шпата комплекса, и составлены кристаллохимические формулы минерала. Установлено, что все рассматриваемые породы комплекса Халдзан-Бурэгтэг (нордмаркиты, щелочные и редкометалльные граниты, пегматиты и метасоматиты) имеют двухполюсовый состав с преобладанием калиевой фазы. Среди калиевого полевого шпата доминирует максимальный микроклин, среди плагиоклазов – низкий альбит. На основе полученных типоморфных характеристик была проведена генетическая типизация калиевого полевого шпата (раннемагматический, позднемагматический, постмагматический), определены температуры кристаллизации пород, оценена эволюция среды минералообразования на объекте. Выявлено, что от более высокотемпературных раннемагматических гранитных фаз к более низкотемпературным позднемагматическим образованиям (пегматитам) и постмагматическим производным (метасоматитам) наблюдается закономерное изменение структурных и химических особенностей полевых шпатов.

Ключевые слова:

Полевой шпат, массив Халдзан-Бурэгтэг, типоморфизм, щелочные граниты, редкометалльные граниты, пегматиты.

Введение

Провинции щелочных гранитоидов относятся к довольно редким природным ассоциациям. Особенно это касается высокощелочных представителей гранитоидов с коэффициентом агапайности $((K_2O+Na_2O)/Al)$ больше 1,2. В настоящее время во многих странах возрос интерес к агапайтовым гранитам [1–10]. Они рассматриваются как перспективный источник широкого спектра редких металлов и редкоземельных элементов (Ta, Nb, Zr, Y, Be, Li, TR). Их рудная специализация представлена множеством экзотических минералов Nb, Zr, Y и редкоземельных элементов (РЗЭ) (как правило, это ниобисиликаты, цирконосиликаты и иттрокарбонаты). К таким объектам, содержащим промышленную Zr-Nb-РЗЭ-минерализацию, относится и щелочно-гранитный комплекс Халдзан-Бурэгтэг. Он расположен в пределах Монгольского Алтая, на

левобережье р. Ховд-Гол, в 40 км от ее устья (оз. Хараус-Нур) и включает, согласно В.И. Коваленко с соавторами [11, 12], 7 интрузивных фаз внедрения, в том числе 2 редкометалльные с Zr, Nb, Y и РЗЭ-оруденением. Выделяются следующие группы пород (от ранних фаз к поздним): 1 – нордмаркиты и синхронные с ними долериты; 2 – щелочные граниты и синхронные с ними долериты; 3 – экериты, мелкозернистые щелочные граниты и пегматиты; 4 – пантеллериты; 5 – редкометалльные щелочные граниты; 6 – дайковые калиевые щелочные базиты и, условно, лейкократовые сиениты; 7 – миароловые редкометалльные щелочные граниты. В состав комплекса входят следующие массивы: Улан-Хурэн, Гурван-Унэт, Улан-Унэт, Цогту-Ула, Цохни-Ула, Халдзан-Бурэгтэг [9, 12]. На современной дневной поверхности собственно массив Халдзан-Бурэгтэг представлен двумя

овальными в плане выходами – Южным и Северным. Они отчетливо различаются по внутреннему строению. Наиболее сложным по структуре является Южный выход. Для него характерно концентрически-зональное строение и присутствие всех семи фаз внедрения. Северный выход обнаруживает простое линейное строение и сложен преимущественно нордмаркитами I фазы внедрения. Редкометалльные щелочные граниты поздних фаз в нем не обнаружены [13].

Минеральный кадастр массива сегодня представлен 125 минеральными видами [14]. 65 минеральных видов приходится на пегматиты [15]. К минералам, характерным для всех семи фаз внедрения, а также позднемагматических дифференциатов (пегматитов) и постмагматических производных (гидротермалитов и метасоматитов), относятся кварц, полевой шпат, циркон, щелочной амфибол.

Материалы и методы исследования

Для исследования были взяты образцы из различных гранитных фаз комплекса, сопровождающих их пегматитов и метасоматитов. Каждый образец был разделен на две части. Одна часть была измельчена для выделения монофракций, а из другой части были изготовлены шлифы для оптической диагностики минералов. Оптическая диагностика и микрофотосъемка полевого шпата проводилась на оптическом поляризационном микроскопе Leica DM2500P (К.С. Зенина).

Для аналитических исследований был проведен отбор монофракций полевого шпата по цветовым и кристаллографическим характеристикам при помощи стереомикроскопа фирмы Leica ES2 (К.С. Зенина). Размер фракций варьировал от 0,1 мм в гранитах до 1,0 мм в пегматитах и метасоматитах. Наиболее затруднительный отбор монофракций был связан с неоднородностью полевого шпата гранитных фаз. Полностью разделить калиевый полевой шпат, плагиоклаз и пертитизированные разности на отдельные монофракции не удалось. В протолочке проб гранитных фаз были выделены по морфологическим и цветовым характеристикам отдельные зерна полевого шпата и продиагностированы при помощи рентгеновского энерго-дисперсионного микроанализа (РЭМА), интегрированного с электронным микроскопом VEGA II LMU (аналитики О.В. Бухарова, А.А. Пешков, центр коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем», далее ЦКП «АЦГПС»). Следующим этапом был отбор монофракций разделенных по РСМА фаз полевого шпата. Количество монофракций для РЭМА составило 52, навеска проб – 100 мг. Съемка произведена на рентгеновском дифрактометре X' PERT PRO (фирма Panalytical) (аналитик Т.С. Небера, ЦКП «АЦГПС»). Обработка дифрактограмм осуществлялась с помощью программного обеспечения High Score. Часть проб, подвергшихся сомнению по чистоте, прошли процесс гомогенизации.

Отжиг проводился в муфельной печи в алундовых тиглях. Температура обработки – 1000 °С, время – 48 часов (М.А. Самохвалов, ЦКП «АЦГПС»). Повторно снятые дифрактограммы полевого шпата показали полную гомогенизацию и дали информацию об их структурном состоянии на стадии завершения кристаллизации, но до начала распада твердого полевошпатового раствора. Расчет рентгенографических характеристик производился согласно стандартной рентгеновской методике [16]. Контроль рентгенографических данных осуществлялся по оптическим данным. Температуры образования калиевого полевого шпата определялись по моноклинной упорядоченности [17, 18] и по двуполевошпатовому термометру [19].

Спектр и содержание примесных элементов выявлен количественным и полуколичественным спектральным анализом (аналитик Е.Д. Агапова, ЦКП «АЦГПС»).

Описание полевых шпатов

Большинство горных пород, слагающих комплекс, имеют двуполевошпатовый состав и характеризуются резким преобладанием калиевого полевого шпата (КПШ) над плагиоклазом, доля которого составляет первые %. Объем породообразующего плагиоклаза возрастает от раннемагматических к позднемагматическим комплексам, а максимальное значение К-Na-полевые шпаты приобретают в постмагматических производных, где на долю плагиоклаза приходится до 60 % от общего объема породы. В гранитах плагиоклаз помимо пертитовых структур распада замещает краевые участки зерен КПШ. Центральные части зерен в большинстве своем остаются свежими. Минералы, слагающие редкометалльные фазы комплекса, значительно корродированы лейстовидным альбитом, но пертиты распада являются в них исключительной редкостью. Состав шлировых и жильных пегматитов комплекса [15] – кварц-микроклинный, доля плагиоклаза в них минимальна. В шлировых пегматитах практически весь альбит представлен пертитовыми ламелями. Процессы замещения КПШ плагиоклазом редки и связаны с сегрегированностью пертитов. В зональных пегматитах помимо плагиоклаза пертитовых вростков встречается постмагматический альбит замещающих комплексов. Наиболее распространен плагиоклаз в постмагматических образованиях, представленных разнообразными по составу и морфологии метасоматитами, где он замещает первичные породообразующие минералы исходного субстрата. Кислый плагиоклаз является главным породообразующим минералом ранней щелочной стадии формирования метасоматитов участка Цахирин (Северный выход). Он развивается в замещаемых породах в виде агрегата белых лейстовидных зерен размером 2–7 мм, обычно полисинтетически двойникованных по альбитовому закону и находящихся в тесном сростании с кварцем [20]. Процессы альбитизации широко представлены и на Южном вы-

ходе, где установлено самое крупное тело альбититов с поперечным размером до 1 км. Процессы альбитизации широко проявлены и в щелочных гранитах, в ходе чего формируются тела неправильной формы без четких геологических границ (Северный выход). В постмагматических комплексах КППШ представлен реликтовыми зернами первично-магматического происхождения, реже он образует ксеноморфно-зернистые агрегаты на стадии поздней метасоматической микроклинизации, наиболее широко проявленной на участке Халдзан-Бурэгтэг (Южном выход) и в аподолеритовых метасоматитах участка Цахирын (Северный выход). На участке Халдзан-Бурэгтэг в метасоматически изменённых щелочных гранитах лейсты альбита в виде пойкилитовых включений присутствуют не только в КППШ, но и в кварце, эгирине и ферроферри-фтор-ликите (амфибол).

Окраска, размеры и форма выделений и кристаллов полевого шпата заметно различаются от одной фазы комплекса к другой. Для пегматитов характерны кристаллы двух типов – карлсбадского, когда индивиды вытянуты по оси c с гранями m (110), b (010), c (001), y (201), x ($\bar{1}01$), a (100) и n (130), и реже бавенского с кристаллами, вытянутыми по оси a , с примерно равным развитием граней c (001), b (010), m (110), y (201), x ($\bar{1}01$) и e (021). В блоковых зонах пегматитовых тел встречаются единичные кристаллы КППШ адулярового облика в виде призматических индивидов с основной гранью m (110) и гранями x ($\bar{1}01$), c (001), y (201), b (010) и e (021). В гранитах преобладает КППШ бавенского типа. Размеры минерала варьируют от 0,1–0,4 мм в нордмаркитах и 0,5–15 мм в щелочных гранитах до 20–35 см по удлинению в пегматитах комплекса. В этом же направлении меняется и окраска КППШ – от красной до розовой молочно-белой. Для плагиоклаза характерны изометричные формы кристаллов с гранями c (001), b (010), m (010), M (010) и e (021).

Микроскопически КППШ представлен пертитизированными разностями (рис. 1). Согласно классификации С.А. Руденко [21], выделено три типа пертитов: пертиты распада, характерные для большинства гранитных пород и пегматитов, пертиты замещения и метасоматические пертиты 2-го рода, обнаруженные в метасоматитах и в пегматитовой жиле «Псевдоморфозная». Пертиты распада отличаются большим разнообразием. Они представлены прожилковыми, прожилково-струйчатыми, реже микропрожилковыми и пятнисто-струйчатыми разностями. Вероятно, в ряде случаев они формируются с участием процессов замещения (рис. 1, в, г), что отображается и в завышенных температурах образования, определенных по двуполевошпатовому термометру после их гомогенизации (табл. 1, пробы ХБ-102, ХБ-5-403, ХБ-5-211). Метасоматические пертиты 2-го рода имеют шнуровидную и пятнисто-струйчатую форму с расплывчатыми границами между зернами альбита. По размерности большая часть пертитов относится к крупным и средним микроперти-

там. В редкометалльных гранитах пертиты устанавливаются только по РСА и РЭМА и относятся к субкриптопертитам. Блоковый КППШ пегматитовых жил Северного выхода характеризуется единичными находками макропертитов с размерами вростков плагиоклаза до 0,3 мм. Пертитовые ламели слагают от 20 до 40 % площади зерна. Угол погасания пертитов в плоскости (010) равен 16° – 18° , что соответствует чистому альбиту. Оптические показатели относительно состава пертитовых ламелей согласуются и с данными РЭМА (табл. 2).

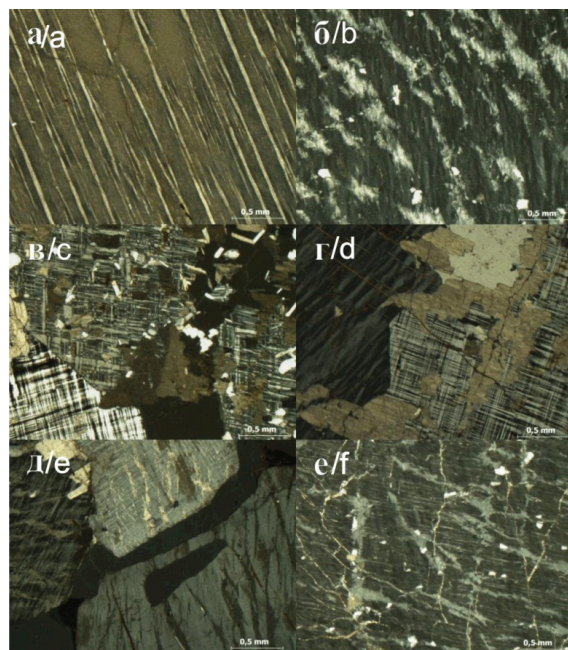


Рис. 1. Пертитовые структуры КППШ Халдзан-Бурэгтэгского комплекса (никили скрещены): а – прожилковые пертиты распада КППШ ядерной зоны пегматитовой жилы «Пологая» (ХБ-5-44) Северного выхода; б – метасоматические пертиты 2-го рода пятнисто-струйчатой формы с расплывчатыми границами зерен альбита в КППШ пегматитовой жилы «Псевдоморфозная» (ХБ-5-85) Северного выхода; в, г – микроклиноватая решетка, микропрожилковые структуры распада и структуры замещения КППШ пегматитов участка Цахирын (ХБ-5-403, ХБ-5-211); д – микропрожилковые и пятнисто-струйчатые пертиты КППШ эгиринового пегматита (ХБ-4-27) Северного выхода; е – прожилково-струйчатые пертиты распада КППШ пегматитовой жилы «Большая» (ХБ-5-16) Южного выхода

Fig. 1. Perthite structures of potassium feldspar (K-feldspar) of the complex Khaldzan-Buregteg. Crossed Nicole. Note: a are the veined perthite of K-feldspar decay of nuclear zone of the pegmatite vein «Pologaya» (KhB-5-44), North exit; b are the metasomatic perthite of the 2nd sort of spotted-wavy shape with indistinct albite grain boundaries in K-feldspar of pegmatitic vein «Pseudomorphoznaya» (KhB-5-85), North exit; c, d is the microcline lattice, micro-veined structures of decay and structures of replacement of K-feldspar pegmatites of the zone Tsakhirin (KhB-5-403, KhB-5-211); e are the micro-veined and spotted-wavy perthite of K-feldspar from aegirine pegmatite (KhB-4-27), North exit; f are the vein-wavy perthite of decay of K-feldspar from core zone of the pegmatite vein «Bolshaya» (KhB-5-16), South exit

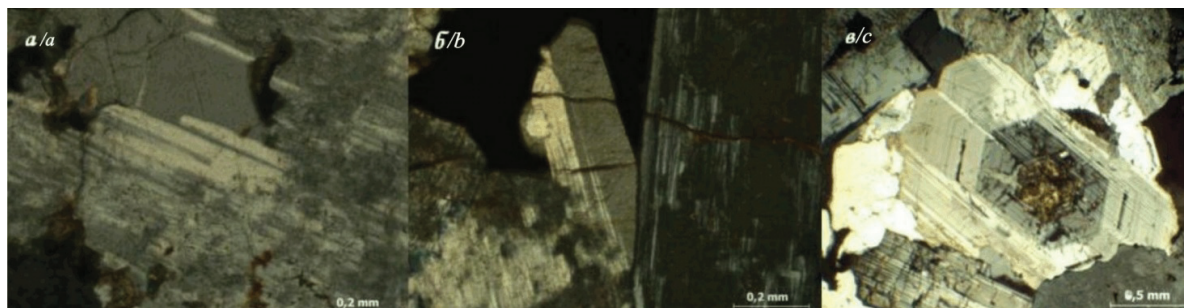


Рис. 2. Оптическое исследование плагиоклаза: а – раскисленный плагиоклаз; б – свежий плагиоклаз; в – зональное изменение плагиоклаза

Fig. 2. Optical study of plagioclase. Note: a is the deoxidized plagioclase; b is the unmodified plagioclase; c is the zone change of plagioclase

Внепертитовый плагиоклаз идиоморфен обладает полисинтетическим двойникованием, угол погасания (15° – 17°) в плоскости (010) соответствует альбиту. В постмагматических образованиях наблюдается значительно сосюритизированный и раскисленный плагиоклаз (рис. 2, а). Меньшая доля приходится на свежий плагиоклаз (рис. 2, б). В альбитизированных щелочных гранитах плагиоклаз часто зональный с сосюритизированной центральной зоной (рис. 2, в). В метасоматитах сосюритизации и раскислению подвержены краевые части зерен, центральная часть при этом хорошей сохранности.

Результаты исследования полевых шпатов

Рентгенографическая характеристика и состав каликатровых полевых шпатов щелочно-гранитного комплекса Халдзан-Бурэгтэг представлены в табл. 1. По распределению Al в кремнекислородных тетраэдрах t_1 и t_m рассматриваемые КППШ, относящиеся к разным фазам внедрения щелочных гранитоидов, заметных отличий не имеют. Большинство проанализированных проб КППШ фаз Северного и Южного выходов относятся к максимальным микроклинам ($0,89 < \Delta t_1 < 1,01$). Промежуточные микроклины характерны только для южного выхода, а именно для редкометалльных гранитов и пегматитов мелких жил гребня ($0,41 < \Delta t_1 < 0,78$). По методу «трех пиков» [22, 23], когда рефлекс 201 определяет состав, а рефлекс 060 и 204 – упорядоченность, а также по номограмме для расчёта разницы содержания алюминия в позициях t_1 и t_m в зависимости от $\Delta 2\theta$ по рефлексам 131 и 131 [23], исследованные КППШ отнесены к микроклинам.

Методами РСА и РЭМА был определен состав калиевой фазы в КППШ-пертитах. Наиболее обогащён изоморфной примесью Na калиевый полевой шпат из пород Южного выхода (Ab до 11,46 % по РЭМА). В целом содержания Ab % сильно варьируют от пробы к пробе, особенно в щелочных гранитах и нордмаркитах – от 1,75 до 9,14. Состав большинства проб анализируемого КППШ следующий: $Or_{97,12-97,95}Ab_{2,03-2,88}$.

Температуры, определенные по моноклинной упорядоченности и по двуполевошпатовому термометру, отличаются в среднем на 50 – $70^{\circ}C$. По двуполевошпатовому термометру для нордмаркитов температура образования находится в интервале 300 – $470^{\circ}C$, для щелочных гранитов – 250 – $700^{\circ}C$, для редкометалльных гранитоидов характерен узкий диапазон температур, составляющий 380 – $400^{\circ}C$, для поздне- и постмагматических образований температура широко варьирует – от 200 до $500^{\circ}C$, и в среднем составляет $400^{\circ}C$. По моноклинной упорядоченности температуры значительно ниже. Для нордмаркитов – 330 – $400^{\circ}C$, для щелочных гранитов – 180 – $400^{\circ}C$, для редкометалльных фаз – 300 – $330^{\circ}C$, для пегматитов – от 180 до $380^{\circ}C$, температура образования метасоматитов составляет 300 – $330^{\circ}C$.

Анализ соотношений Ab-составляющей и содержания K в КППШ (рис. 3) показал, что при переходе от более высокотемпературных раннемагматических гранитов и нордмаркитов к позднемагматическим пегматитам, которые формируются при относительно более низких температурах, доля Ab-составляющей заметно сокращается. Краевая и ядерная зоны пегматитовых тел обнаруживают узкий диапазон концентраций Na при относительно одинаковом содержании калиевой составляющей (13–14 мас. %). В то же время в блоковых КППШ наблюдается широкая вариация доли Ab (от 2,05 до 8,83 %) и ее обратная зависимость от содержания калия.

Формульный состав КППШ заметно отличается от теоретического дефицитом щелочной относительно содержания кремния и алюминия и отсутствием кальция, за исключением одной пробы КППШ нордмаркитов Северного выхода.

Кристаллохимические формулы калиевых полевых шпатов в породах комплекса следующие: нордмаркиты ЮВ ($K_{0,97}Na_{0,02}Al_{0,99}Fe_{0,01}Si_{3,02}O_8$); нордмаркиты СВ ($K_{1,00}Na_{0,02}Ca_{0,01}Al_{1,03}Si_{2,94}O_8$); щелочные граниты ЮВ ($K_{0,87}Na_{0,07}Al_{0,98}Si_{3,08}O_8$); щелочные граниты СВ ($K_{0,66}Na_{0,31}Al_{0,97}Fe_{0,02}Si_{3,02}O_8$); редкометалльные граниты ЮВ ($K_{0,74}Na_{0,10}Al_{0,84}Si_{3,22}O_8$); пегматиты ЮВ ($K_{0,98}Na_{0,01}Al_{0,97}Fe_{0,01}Si_{3,01}O_8$); пегматиты СВ ($K_{0,99}Na_{0,02}Al_{1,01}Fe_{0,03}Si_{3,01}O_8$); метасоматиты ($K_{0,97}Na_{0,02}Al_{0,99}Fe_{0,03}Si_{3,01}O_8$).

Таблица 1. Рентгенографическая характеристика и кристаллохимический состав калинатовых полевых шпатов щелочно-гранитного комплекса Халдзан-Бурэгтэг
Table 1. X-ray characteristic and crystal-chemical composition of K-Na feldspars of alkali-granite complex Khaldzan-Buregteg

Порода /Rock	Выход Bld%	№ пробы/Sample	2V Np	060	Z04	Z01	130	130	Al	Σti	Δti	Or %	Состав/Composition		Температура/Temperature, t, °C	
									i0	ti/m	t0=ti/m		Рент./X-ray	Эп. микроскоп/Electron microscopy	1	2
Нордмаркиты Nordmarkites	C (N)	ХБ-5-55 Гомогенизация Homogenization (Г)	81-82	41,81	50,54	21,07	23,55	23,97	0,94	0,05	0,01	89,33	Or _{83,37} Ab _{0,67}	Or _{83,48} Ab _{2,02} An _{0,48}	380	330
		ХБ-5-93	83	41,87	50,65	21,16	23,37	24,11	0,94	0,01	0,03	91,03	Or _{91,03} Ab _{0,97}	Or _{91,03} Ab _{0,97}	300	–
		ХБ-5-94	83	41,82	50,57	21,13	23,32	24,08	0,96	0,01	0,02	93,80	Or _{93,80} Ab _{0,20}	Or _{93,80} Ab _{0,20}	470	400
Щелочные граниты Alkaline granites	Ю (S)	ХБ-5-95	84	41,85	50,56	21,11	23,35	24,09	0,96	0,04	0,00	95,64	Or _{95,64} Ab _{0,36}	Or _{95,64} Ab _{0,36}	450	400
		ХБ-5-33	84	41,82	50,52	21,03	23,21	24,01	1,00	0,01	0,00	93,01	Or _{93,01} Ab _{0,99}	Or _{93,01} Ab _{0,99}	430	380
		Г	–	41,75	50,69	21,17	23,32	24,09	–	–	–	79,80	Or _{79,80} Ab _{0,20}	Or _{79,80} Ab _{0,20}	310	250
С (N)	C (N)	ХБ-5-70	83	41,91	50,65	21,16	23,37	24,09	0,94	0,03	0,02	91,03	Or _{91,03} Ab _{0,97}	Or _{91,03} Ab _{0,97}	490	410
		Г	–	42,02	50,74	21,51	23,57	24,18	–	–	–	48,61	Or _{48,61} Ab _{0,39}	Or _{48,61} Ab _{0,39}	470	400
		ХБ-5-72a	82-83	41,88	50,59	21,01	23,21	23,99	0,98	0,02	0,00	94,86	Or _{94,86} Ab _{0,14}	Or _{94,86} Ab _{0,14}	700	–
Ю (S)	Ю (S)	Г	–	41,83	50,56	21,12	23,25	24,05	–	–	–	84,66	Or _{84,66} Ab _{0,34}	Or _{84,66} Ab _{0,34}	250	180
		ХБ-5-72b	82-83	41,89	50,60	21,11	23,32	24,09	0,98	0,02	0,00	95,64	Or _{95,64} Ab _{0,36}	Or _{95,64} Ab _{0,36}	440	400
		Г	–	41,89	50,71	21,15	23,34	24,08	–	–	–	82,24	Or _{82,24} Ab _{0,76}	Or _{82,24} Ab _{0,76}	430	380
Редкометалльные граниты 7-й фазы Rare-metal alkaline granites 7 th phase	Ю (S)	ХБ-5-92	84	41,9	50,66	21,08	23,37	24,09	0,92	0,03	0,02	88,40	Or _{88,40} Ab _{0,60}	Or _{88,40} Ab _{0,60}	460	400
		Г	–	41,92	50,85	21,58	23,54	24,05	–	–	–	42,44	Or _{42,44} Ab _{0,56}	Or _{42,44} Ab _{0,56}	400	330
		ХБ-5-99	84	41,9	50,75	21,11	23,32	24,02	0,88	0,01	0,06	85,64	Or _{85,64} Ab _{0,36}	Or _{85,64} Ab _{0,36}	720	–
Редкометалльные граниты 5-й фазы Rare-metal alkaline granites 5 th phase	Ю (S)	ХБ-ПГ-1	81	41,95	50,76	21,10	23,61	24,02	0,71	0,20	0,04	86,56	Or _{86,56} Ab _{0,44}	Or _{86,56} Ab _{0,44}	430	380
		ХБ-ПГ-2	81	41,87	50,60	21,09	23,59	24,08	0,79	0,19	0,01	87,48	Or _{87,48} Ab _{0,52}	Or _{87,48} Ab _{0,52}	410	330
		ХБ-ПГ-3	82	42,00	50,86	21,06	23,55	24,08	0,76	0,11	0,07	90,25	Or _{90,25} Ab _{0,75}	Or _{90,25} Ab _{0,75}	400	330
Редкометалльные граниты 7-й фазы Rare-metal alkaline granites 7 th phase	Ю (S)	ХБ-ПГ-6	80	41,92	50,72	21,08	23,71	24,10	0,70	0,22	0,04	88,40	Or _{88,40} Ab _{0,60}	Or _{88,40} Ab _{0,60}	380	350
		ХБ-ПГ-8	84	41,88	50,85	21,08	23,64	24,03	0,64	0,15	0,10	88,40	Or _{88,40} Ab _{0,60}	Or _{88,40} Ab _{0,60}	400	330
		ХБ-5-42	84	41,78	50,50	21,02	23,21	23,98	0,97	0,02	0,00	93,94	Or _{93,94} Ab _{0,06}	Or _{93,94} Ab _{0,06}	400	330
Жила «Пологая» Vein «Pologaya»	Краявая зона Boundary zone	Г	–	41,81	50,65	21,24	23,34	24,04	–	–	–	73,65	Or _{73,65} Ab _{0,35}	Or _{73,65} Ab _{0,35}	300	250
		ХБ-5-43	84	41,80	50,52	21,02	23,22	23,99	0,97	0,02	0,00	93,94	Or _{93,94} Ab _{0,06}	Or _{93,94} Ab _{0,06}	570	–
		Г	–	41,80	50,66	21,25	23,35	24,04	–	–	–	72,62	Or _{72,62} Ab _{0,38}	Or _{72,62} Ab _{0,38}	380	330
Жила «Точка наблюдения 491» Vein «Point observations 491»	Ядерная зона Core zone	ХБ-5-44	83	41,83	50,56	21,06	23,25	24,04	0,98	0,00	0,01	90,25	Or _{90,25} Ab _{0,75}	Or _{90,25} Ab _{0,75}	500	300
		Г	–	41,80	50,61	21,19	23,30	24,07	–	–	–	78,26	Or _{78,26} Ab _{0,74}	Or _{78,26} Ab _{0,74}	330	–
		ХБ-5-36	82	41,83	50,58	21,05	23,27	23,99	0,93	0,04	0,02	91,17	Or _{91,17} Ab _{0,83}	Or _{91,17} Ab _{0,83}	380	330
Жила «Точка наблюдения 499» Vein «Point observations 499»	Краявая зона Boundary zone	Г	–	41,79	50,61	21,05	23,30	23,96	–	–	–	91,17	Or _{91,17} Ab _{0,83}	Or _{91,17} Ab _{0,83}	330	–
		ХБ-5-35	–	41,85	50,55	21,06	23,26	24,05	0,99	0,01	0,00	90,25	Or _{90,25} Ab _{0,75}	Or _{90,25} Ab _{0,75}	380	330
		ХБ-5-77	–	41,86	50,58	21,09	23,29	24,05	0,97	0,02	0,01	87,48	Or _{87,48} Ab _{0,52}	Or _{87,48} Ab _{0,52}	400	330
Пегматит Цахирина Pegmatites of the zone Tsakhirin	Пегматит Pegmatoid	ХБ-5-79	–	41,81	50,54	21,04	23,25	23,99	0,95	0,04	0,01	92,09	Or _{92,09} Ab _{0,91}	Or _{92,09} Ab _{0,91}	350	300
		Г	–	41,85	50,64	21,24	23,33	23,95	–	–	–	73,83	Or _{73,83} Ab _{0,17}	Or _{73,83} Ab _{0,17}	510	–
		ХБ-5-403	84	41,8	50,52	21,03	23,22	23,99	0,97	0,02	0,00	93,01	Or _{93,01} Ab _{0,99}	Or _{93,01} Ab _{0,99}	340	300
Пегматит Цахирина Pegmatites of the zone Tsakhirin	Пегматит Pegmatoid	Г	–	41,91	50,94	21,48	23,69	24,15	–	–	–	51,10	Or _{51,10} Ab _{0,90}	Or _{51,10} Ab _{0,90}	680	–
		ХБ-5-211	80	41,83	50,54	21,05	23,23	24,03	0,99	0,01	0,00	91,17	Or _{91,17} Ab _{0,83}	Or _{91,17} Ab _{0,83}	330	300
		Г	–	41,77	50,66	21,18	23,63	24,02	–	–	–	78,86	Or _{78,86} Ab _{0,14}	Or _{78,86} Ab _{0,14}	510	–

Окончание табл. 1
Table 1

Порода / Rock		Выход Exit	№ пробы / Sample	2V Np	060	Zr04	Zr01	130	130	Al		Σti	Or %	Состав / Composition		Температура / Temperature, t, °C			
										t0	tm			Рентг. / X-ray	Эп. микроскоп / Electron microscopy	1	2		
Легматиты / Pegmatites	Жила «Большая» Vein «Bolsheya»	Ядерная зона Core zone	X6-5-90	84	41,84	50,54	21,06	23,25	24,04	0,99	0,01	0,00	1,01	0,98	90,25	Or _{90,25} Ab _{9,75}	Or _{91,7} Ab _{2,87}	380	330
	Жила «Псевдоморфозная» Vein «Pseudomorphs»	Краевая зона Boundary zone	Г	-	41,80	50,64	21,16	23,30	24,01	-	-	-	-	81,08	Or _{81,08} Ab _{18,92}	Or _{98,2} Ab _{1,77}	350	300	
		Блоковая зона Block zone	X6-5-85	-	41,83	50,54	21,06	23,25	24,04	0,99	0,01	0,00	1,00	0,98	90,25	Or _{90,25} Ab _{9,75}	Or _{93,99} Ab _{6,10}	380	330
		Г	-	41,82	50,61	21,20	23,29	24,05	-	-	-	-	71,56	Or _{71,56} Ab _{22,44}	-	500	-		
		Краевая зона Boundary zone	X6-5-64	82-83	41,81	50,53	21,03	23,22	24,02	0,99	0,00	0,00	0,99	93,01	Or _{93,01} Ab _{6,99}	Or _{91,7} Ab _{2,87}	310	250	
		Г	-	41,73	50,84	21,19	23,28	23,55	-	-	-	-	78,13	Or _{78,13} Ab _{21,87}	-	500	-		
		Псевдоморфозы краевой зоны Pseudomorphs boundary zone	X6-5-57	-	41,82	50,54	21,05	23,23	24,02	0,99	0,01	0,00	0,99	91,17	Or _{91,17} Ab _{8,83}	Or _{93,09} Ab _{7,91}	330	250	
	Жила «Классическая» Vein «Classic»	Г	-	41,86	50,58	21,10	23,30	24,03	-	-	-	-	86,40	Or _{86,4} Ab _{16,60}	-	410	-		
		Псевдоморфозы краевой зоны Pseudomorphs boundary zone	X6-5-58	-	41,81	50,52	21,03	23,21	24,00	0,99	0,01	0,00	1,00	0,98	93,01	Or _{93,01} Ab _{6,99}	Or _{94,55} Ab _{5,44}	310	250
		Г	-	41,65	50,92	21,23	23,54	24,05	-	-	-	-	74,17	Or _{74,17} Ab _{25,83}	-	520	-		
	Блоковая зона Block zone	X6-5-60	83-84	41,78	50,49	20,99	23,18	23,98	0,99	0,01	0,00	1,00	0,98	96,70	Or _{96,7} Ab _{3,30}	Or _{96,7} Ab _{2,23}	200	180	
	Графическая зона Graphic zone	X6-5-56	84	41,79	50,5	21,02	23,12	23,94	1,01	0,00	0,00	1,00	1,01	93,94	Or _{93,94} Ab _{6,06}	Or _{91,9} Ab _{2,82}	300	250	
		Г	-	41,97	50,70	21,51	23,55	24,15	-	-	-	-	48,89	Or _{48,89} Ab _{5,11}	-	700	-		
	Легматит с эгирином Pegmatite with aegirine	X6-4-27	81-82	41,83	50,56	21,06	23,27	24,03	0,96	0,02	0,01	0,98	0,94	90,25	Or _{90,25} Ab _{9,75}	Or _{91,7} Ab _{2,99}	380	330	
		Г	-	41,87	50,82	21,32	23,35	24,08	-	-	-	-	66,72	Or _{66,7} Ab _{33,28}	-	580	-		
	Блоковая зона Block zone	-	-	41,82	50,53	21,07	23,24	24,01	0,98	0,02	0,00	1,00	0,95	89,33	Or _{89,33} Ab _{10,67}	Or _{91,7} Ab _{8,83}	400	350	
		Ядерная зона Core zone	-	-	41,82	50,54	21,05	23,23	24,02	0,99	0,01	0,00	0,99	0,98	91,17	Or _{91,7} Ab _{8,83}	Or _{94,46} Ab _{5,34}	330	300
	Жила «Большая» Vein «Bolsheya»	Core zone	-	-	41,64	50,89	21,25	23,01	23,63	-	-	-	-	72,40	Or _{72,4} Ab _{21,60}	-	575	-	
		Ядерная зона с псевдоморфозой Core zone with pseudomorphs	X6-5-16	81	41,80	50,51	21,03	23,23	24,01	0,98	0,02	0,00	1,00	0,96	93,01	Or _{93,01} Ab _{6,99}	Or _{94,4} Ab _{1,60}	310	250
		Г	-	41,83	50,56	21,04	23,26	24,04	-	-	-	-	-	91,83	Or _{91,83} Ab _{8,17}	-	325	-	
	Легматит мелких жил гребня Pegmatites of small veins of comb	X6-5-102	80-81	41,73	50,50	20,95	23,21	23,85	0,87	0,09	0,02	0,96	0,78	99,47	Or _{99,47} Ab _{0,53}	Or _{91,6} Ab _{2,39}	200	150	
		Г	-	41,92	50,71	21,43	23,48	24,12	-	-	-	-	56,05	Or _{56,05} Ab _{43,95}	-	650	-		
	Эгириновый легматит Aegirine pegmatite	Краевая зона Boundary zone	X6-4-16	84	41,83	50,54	21,05	23,27	24,04	1,00	0,00	0,00	1,00	0,91	91,17	Or _{91,7} Ab _{8,83}	Or _{91,7} Ab _{7,88}	330	300
		Г	-	41,83	50,56	21,04	23,26	24,04	-	-	-	-	91,83	Or _{91,83} Ab _{8,17}	-	325	-		
	Блоковая зона Block zone	X6-4-19	82	41,82	50,53	21,06	23,24	24,02	0,98	0,02	0,00	1,00	0,97	90,25	Or _{90,25} Ab _{9,75}	Or _{93,99} Ab _{6,10}	380	330	
		Г	-	41,87	50,60	21,24	23,31	24,09	-	-	-	-	73,30	Or _{73,3} Ab _{26,70}	-	570	-		
	Метасоматиты / Metasomatites	X6-5-50	-	41,85	50,57	21,08	23,29	24,02	0,95	0,04	0,00	0,99	0,91	88,40	Or _{88,4} Ab _{11,60}	Or _{90,25} Ab _{9,75}	400	330	
		X6-5-53_1	81-82	41,86	50,56	21,10	23,24	24,04	1,00	0,01	0,00	1,01	1,00	86,56	Or _{86,56} Ab _{13,44}	-	410	330	
		X6-5-53_2	-	41,86	50,6	21,08	23,31	24,03	0,93	0,04	0,01	0,97	0,89	88,40	Or _{88,4} Ab _{11,60}	Or _{91,7} Ab _{2,27}	400	300	

Примечание: 1 – по двухполюсоватому термометру; 2 – по моноклиной упорядоченности; Ю – Южный выход массива; С – Северный выход массива.

Note: 1 – for two-feldspar thermometer; 2 – monoclinic order; S is the South exit of the massif; N is the Northern exit of the massif.

Таблица 2. Химический состав репрезентативных проб калиевого полевого шпата комплекса Халдзан-Бурэгтэг
Table 2. Chemical composition of representative samples of potassium feldspar of the complex Khaldzan-Buregteg

Порода, фаза Rock, phase	Нордмаркиты Nordmarkites			Щелочные граниты Alkaline granites			РЩГ rare-metal alkaline granites		Пегматиты/Pegmatites							
							5-я фаза 5 phase	7-я фаза 7 phase								
Выход/Exit	Ю (S)		С (N)	С (N)		Ю (S)	Ю (S)		С (N)						Ю (S)	
№ пробы Sample	ХБ-5-93	ХБ-5-94	ХБ-5-55	ХБ-5-23	ХБ-5-92	ХБ-РГ-1	ХБ-РГ-6		ХБ-5-43	ХБ-5-44	ХБ-5-36	ХБ-5-102	ХБ-4-16			
Спектр Spectrum	Cn1	Cn1	Cn2	Cn1	Cn3	Cn2	Cn1	Cn1	Cn1	Cn2	Cn1	Cn2	Cn1	Cn2	Cn1	Cn1
Тип/Type	КПШ potassium feldspar	КПШ potassium feldspar	КПШ potassium feldspar	КПШ potassium feldspar	Пертиты Perthites	КПШ potassium feldspar	КПШ potassium feldspar	КПШ potassium feldspar	КПШ potassium feldspar	Пертиты Perthites	КПШ potassium feldspar	Пертиты Perthites	КПШ potassium feldspar	Пертиты Perthites	КПШ potassium feldspar	КПШ potassium feldspar
SiO ₂ (wt. %)	63,85	63,06	65,45	73,35	70,53	64,41	71,1	75,1	65,74	68,29	64,42	68,89	63,88	65,58	65,2	63,63
Al ₂ O ₃	17,62	16,53	19,44	20,55	19,63	17,44	18,75	18,75	17,92	18,45	17,05	18,61	17,7	17,92	16,3	17,76
FeO	0,27	1,81	0,00	0,55	0,32	0,00	0,00	0,00	0,56	0,84	0,77	0,7	0,00	0,37	0,55	0,00
CaO	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,2	0,69	0,24	3,88	11,24	0,79	0,88	1,16	0,23	10,08	0,47	11,31	0,25	10,38	0,24	0,32
K ₂ O	16,11	15,48	17,45	12,55	0,17	14,25	13,05	13,59	16,66	0,27	16,22	0,27	16,75	0,00	14,89	16,36
Сумма/Total	98,05	97,57	85,225	110,88	101,89	82,635	90,73	95,01	101,11	97,93	98,93	99,51	98,58	94,25	97,18	98,07
Количество катионов рассчитано на 8 атомов кислорода/Number of cations is calculated on 8 oxygen atoms																
Si	3,02	3,00	2,94	3,02	3,04	3,08	3,19	3,22	3,02	3,09	3,02	3,03	3,00	3,06	3,13	3,00
Al	0,98	0,93	1,03	0,99	1,00	0,98	0,99	0,94	0,97	0,98	0,94	0,96	0,98	0,98	0,92	0,99
Fe	0,01	0,07	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,03	0,00	0,01	0,02	0,00
Ca	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,02	0,06	0,02	0,31	0,94	0,07	0,08	0,10	0,02	0,88	0,04	0,96	0,02	0,94	0,02	0,03
K	0,97	0,94	1,00	0,66	0,01	0,87	0,75	0,74	0,98	0,02	0,97	0,02	1,00	0,00	0,91	0,98
Катионы Cations	5															
Ап-минал	0,00	0,00	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Аб-минал	1,85	6,33	2,03	31,91	99,01	7,75	9,28	11,46	2,05	98,26	4,21	98,45	2,21	100,00	2,39	2,88
Ог-минал	98,15	93,67	97,48	68,09	0,99	92,25	90,72	88,54	97,95	1,74	95,79	1,55	97,79	0,00	97,61	97,12
Состав Composition	Or _{98,15} Ab _{1,85}	Or _{93,67} Ab _{6,33}	Or _{97,48} Ab _{2,03} An _{0,49}	Or _{68,09} Ab _{31,91}	Ab _{99,01} Or _{0,99}	Or _{92,25} Ab _{7,75}	Or _{90,72} Ab _{9,28}	Or _{88,54} Ab _{11,46}	Or _{97,95} Ab _{2,05}	Ab _{98,26} Or _{1,74}	Or _{95,79} Ab _{4,21}	Ab _{98,45} Or _{1,55}	Or _{97,79} Ab _{2,21}	Ab _{100,00} Or _{0,00}	Or _{97,61} Ab _{2,39}	Or _{97,12} Ab _{2,88}

Примечание: Ю – южный выход массива; С – северный выход массива

Note: S is the South exit of the massif; N is the Northern exit of the massif.

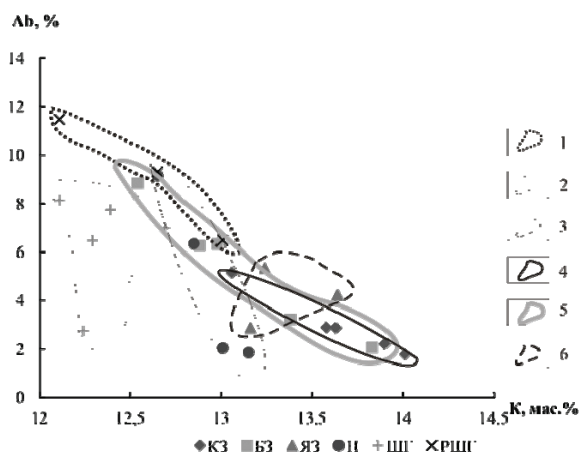


Рис. 3. Соотношение содержаний К- и Аб-составляющей в КПШ: 1 – область редкометалльных щелочных гранитов (РЩГ); 2 – область щелочных гранитов (ЩГ); 3 – область нордмаркитов (Н); 4–6 – зональные жилы пегматитов: 4 – краевая зона (КЗ); 5 – блоковая зона (БЗ); 6 – ядерная зона (ЯЗ)

Fig. 3. Ratio of K and Ab component contents in K-feldspar. Note: 1 is the area of rare-metal alkaline granites; 2 is the area of alkaline granites; 3 is the area of nordmarkite; 4–6 are the zonal veins of pegmatites: 4 is the boundary zone; 5 is the block zone; 6 is the core zone

Таблица 3. Рентгенографическая характеристика плагиоклаза щелочно-гранитного комплекса Халдзан-Бурэгтэг

Table 3. X-ray characteristic of plagioclase of alkali-granite complex Khaldzan-Buregteg

Порода/Rock			Выход Exit	№ пробы Sample	060	204	201	040, 002	113	13-00	131	131	Si/Al	t1o	t1m	ΣAl	ΔAl	n
Нордмаркиты Nordmarkites			C (N)	ХБ-5-55	42,40	51,30	22,05	27,93	50,75	24,30	29,80	31,43	2,92	0,54	0,79	0,81	0,83	1,92
			Ю (S)	ХБ-5-93	42,54	51,35	22,07	27,90	50,80	24,31	29,97	31,44	2,92	0,67	0,75	0,87	0,85	1,92
Щелочные граниты Alkaline granites			C (N)	ХБ-5-404	42,49	51,28	22,02	27,80	50,71	24,29	29,80	31,39	2,77	0,59	0,72	0,89	0,80	6,22
			Ю (S)	ХБ-5-92	42,46	51,26	22,04	27,91	50,71	24,35	29,95	31,41	2,92	0,68	0,75	0,88	0,82	1,92
Редкометалльные щелочные граниты (РГЩ) 5-й фазы Rare-metal alkaline granites of the 5 th phase			Ю (S)	ХБ-РГ-5	42,51	51,16	22,08	27,98	50,61	24,22	30,02	31,26	2,92	0,86	0,69	0,99	0,86	1,92
Редкометалльные щелочные граниты (РГЩ) 7-й фазы Rare-metal alkaline granites of the 7 th phase			Ю (S)	ХБ-РГ-8	42,51	51,18	22,02	27,96	50,63	24,30	30,12	31,29	2,92	0,91	0,67	0,97	0,80	1,92
Пегматиты/Pegmatites	Жила «Пологая» Vein «Pologaya»	Краевая boundary zone	C (N)	ХБ-5-42	42,50	51,16	22,04	27,95	50,59	24,26	30,11	31,38	2,77	0,85	0,64	0,98	0,82	6,22
		Блоковая Block zone		ХБ-5-45	42,51	51,27	22,07	27,98	50,71	24,32	30,24	31,35	2,85	0,97	0,62	0,91	0,85	4,02
	Пегматит мелких жил гребня Pegmatites of small veins of a comb		Ю (S)	ХБ-5-102	42,48	51,23	22,04	27,95	50,68	24,26	30,18	31,38	2,92	0,89	0,68	0,92	0,82	1,92
	Пегматит участка Цахирин Pegmatites of the zone Tsakhirin		C (N)	ХБ-5-31	42,46	51,18	22,04	27,98	50,60	24,25	30,11	31,31	2,69	0,92	0,59	0,94	0,82	8,50
				ХБ-5-402	42,49	51,32	22,18	28,04	50,72	24,29	30,19	31,41	2,53	0,93	0,53	0,86	0,94	13,39
	Метасоматиты участка Цахирин Metasomatites of the zone Tsakhirin			C (N)	ХБ-5-53-1	42,41	51,25	22,08	27,76	50,67	24,26	30,08	31,43	2,69	0,80	0,63	0,86	0,86
ХБ-5-53-5					42,41	51,21	22,06	27,69	50,64	24,30	30,12	31,38	2,77	0,86	0,63	0,89	0,84	6,22

Примечание: Ю – Южный выход массива, С – Северный выход массива.

Note: S is the South exit of the massif; N is the Northern exit of the massif.

По результатам PCA были рассчитаны рентгенографические характеристики плагиоклаза, приведенные в табл. 3. Si/Al-отношение в изученных плагиоклазах варьирует от 2,45 до 2,92. По параметру ΣAl, укладываемому в интервал от 0,81 до 0,97, и показателю ΔAl, изменяющемуся в пределах 0,80–0,94, рассматриваемые плагиоклазы отнесены к низкому альбиту. По номограмме упорядоченности плагиоклазов по методу Дж. Смита [23] пробы попадают в область упорядоченных разностей. От одной фазы к другой в плагиоклазах наблюдаются незначительные вариации всех рентгенографических параметров, что отражает индивидуальные особенности их формирования. Несколько менее кислым и одновременно более структурно упорядоченным оказывается альбит из пород Северного выхода.

Согласно результатам РСМА (табл. 4) изученные плагиоклазы содержат следующие примесные компоненты: MgO, CaO, FeO* и K₂O. Наиболее распространенной примесью является FeO*. Содержания суммарного железа варьируют от 0,06 до 0,82 мас. %, при этом наибольшие концентрации характерны для плагиоклаза Южного выхода. Наблюдается обратная зависимость содержаний CaO и MgO от содержания FeO*. Содержания этих ком-

понентов увеличивается при уменьшении содержаний железа: MgO от 0,05 мас. % в нордмаркитах до 0,22 мас. % в пегматитах, содержания CaO – 0,20–0,21 мас. %. Для плагиоклазов Южного выхода компоненты CaO и MgO не характерны. Содержание K₂O относительно других примесей низкое и укладывается в интервал от 0,06 до 0,27 мас. %.

Кристаллохимические формулы плагиоклаза разных пород комплекса, рассчитанные по данным химического состава (табл. 4), имеют следующий вид: нордмаркиты ЮВ Na_{1,02}(Al_{0,93}Fe_{0,03})_{0,96}Si_{3,02}O₈; нордмаркиты СВ (Na_{1,01}K_{0,01})_{1,02}Al_{0,99}Si_{2,97}O₈; щелочные граниты ЮВ Na_{0,97}(Al_{0,96}Fe_{0,03})_{0,99}Si_{3,04}O₈; щелочные граниты СВ Na_{0,99}Al_{1,01}Si_{2,99}O₈; редкометалльные щелочные граниты ЮВ Na_{0,97}(Al_{0,99}Fe_{0,01})_{1,00}Si_{3,04}O₈; пегматиты ЮВ Na_{0,92}(Al_{0,92}Fe_{0,02})_{0,94}Si_{3,15}O₈; пегматиты СВ (Na_{0,99}Ca_{0,01}Mg_{0,01})_{1,01}Al_{0,93}Si_{2,98}O₈; метасоматиты СВ (Na_{0,99}Ca_{0,01})_{1,00}Al_{1,01}Si_{2,99}O₈.

Для КППШ и плагиоклазов комплекса были получены спектры рентгенолюминесценции (РЛ, λ, нм) в оптическом диапазоне длин волн (250–900 нм) под действием рентгеновского возбуждения. Обнаружены следующие центры: дырочные O[–] комплексы SiO₄[–] и AlO₄[–], а также Ti⁴⁺, Ce³⁺, Mn²⁺, Fe³⁺. Центры РЛ Ce³⁺, Mn²⁺ и РЛ SiO₄^{2–} и AlO₄[–] в исследу-

Таблица 4. Химический состав репрезентативных проб плагиоклаза комплекса Халдзан-Бурэгтэг

Table 4. Chemical composition of representative samples of plagioclase of the complex Khaldzan-Buregteg

Порода, фаза Rock, phase	Нордмаркиты Nordmarkites		Щелочные граниты Alkaline granites			РЩГ rare-metal alkaline granites		Перматиты Pegmatites				Метасоматиты Metasomatites	
						5-я фаза 5 phase	7-я фаза 7 phase						
Выход/Exit	С (N)	Ю (S)	С (N)		Ю (S)	Ю (S)		С (N)		Ю (S)		С (N)	
№ пробы/Sample	X6-5-93	X6-5-55	X6-5-404	X6-4-20	X6-5-99	X6-РГ-5	X6-РГ-8	X6-4-31	X6-5-402	X6-4-16	X6-5-102	X6-5-53-1	X6-5-53-2
Спектр/Spectrum	Cn2	Cn1	Cn1	Cn3	Cn2	Cn1	Cn1	Cn1	Cn1	Cn1	Cn2	Cn1	Cn1
SiO ₂ (wt %)	68,11	69,21	69,09	68,53	67,81	68,91	70,01	70,09	68,33	71,09	68,73	66,41	68,29
Al ₂ O ₃	19,36	18,02	19,25	19,56	18,23	19,02	18,00	18,25	19,66	17,62	17,66	19,09	18,45
FeO	0,00	0,72	0,41	0,12	0,82	0,22	0,03	0,09	0,00	0,41	0,06	0,00	0,64
CaO	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,21	0,00	0,00	0,24	0,20
MgO	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	11,98	12,09	10,92	11,74	11,19	11,39	11,81	10,92	11,72	10,72	12,72	11,42	10,08
K ₂ O	0,09	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,06	0,00	0,27
Сумма/Total	99,71	100,04	99,67	100,02	98,05	99,54	99,85	99,77	100,07	99,84	99,17	97,16	97,66
Количество катионов рассчитано на 8 атомов кислорода/Number of cations is calculated on 8 oxygen atoms													
Si	2,97	3,02	3,05	2,99	3,04	3,04	3,07	3,10	2,98	3,15	3,01	2,99	3,09
Al	0,99	0,93	1,00	1,01	0,96	0,99	0,93	0,95	1,01	0,92	0,91	1,01	0,98
Fe	0,00	0,03	0,02	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02
Ca	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	1,01	1,02	0,93	0,99	0,97	0,97	1,00	0,93	0,99	0,92	1,08	0,99	0,88
K	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Катионы/Cations	5												
Ап-минал	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,98	0,00	0,00	1,15	1,07
Аб-минал	98,56	100,00	100,00	99,61	100,00	100,00	100,00	99,65	98,58	100,00	99,69	98,85	97,21
Ог-минал	0,49	0,00	0,00	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,31	0,00	1,72
Состав Composition	Or _{0,49} An _{0,56} Ab _{98,56}	Or _{0,00} Ab _{100,00}	Or _{0,00} Ab _{100,00}	Or _{0,39} An _{0,00} Ab _{99,61}	Or _{0,00} Ab _{100,00}	Or _{0,00} Ab _{100,00}	Or _{0,00} Ab _{100,00}	Or _{0,00} An _{0,35} Ab _{99,65}	Or _{0,44} An _{0,58} Ab _{98,58}	Or _{0,00} Ab _{100,00}	Or _{0,31} An _{0,00} Ab _{99,69}	Or _{0,00} An _{1,15} Ab _{98,85}	Or _{1,72} An _{0,07} Ab _{97,21}

Примечание: Ю – Южный выход массива, С – Северный выход массива.

Note: S is the South exit of the massif, N is the Northern exit of the massif.

емых КППШ указывают на наличие пертитов, ранее подтвержденных по данным РСА и РЭМА. В то же время в КППШ пегматитовых жил РЛ SiO₄²⁻ и AlO₄⁴⁻ отсутствует, однако результаты РСА и РЭМА, а также оптические данные свидетельствуют о пертитизации КППШ пегматитов. По-видимому, отсутствие данных центров РЛ связано с эффектом «тушения» интенсивным свечением рентгенолюминесценции Fe³⁺, которое в этих пегматитах максимально (I, усл. ед. 3000–4000).

Породы комплекса являются малоглубинными образованиями, о чем свидетельствует большая интенсивность РЛ Fe³⁺ и низкие соотношения Mn²⁺/Fe³⁺ в КППШ, указывающие на высокий окислительный потенциал среды минералообразования, столь характерный для малоглубинных формаций. Кроме того, появление полосы Fe³⁺ в спектрах РЛ ППП связано с устойчивостью и активностью ионов Fe³⁺ в щелочных средах, что является индикатором щелочности минералообразующей среды [24–26]. Интенсивная и доминирующая сре-

ди центров свечения полоса Fe³⁺ в спектрах РЛ полевых шпатов щелочных гранитоидов, их позднемагматических дифференциатов и постмагматических производных свидетельствует о повышенной щелочности первичного расплава, характерной для всех фаз комплекса. Интенсивность РЛ Fe³⁺ последовательно возрастает от первой фазы гранитоидов к редкометалльным 5-й и 7-й фазам, а в пегматитах достигает максимума. Для плагиоклаза и КППШ нордмаркитов характерно относительное увеличение отношения Mn²⁺/Fe³⁺ (0,18–0,3), что, возможно, связано с несколько пониженной щелочностью материнских для них расплавов и с сравнительно медленным остыванием этих пород относительно более поздних фаз щелочных и редкометалльных гранитов. По интенсивности РЛ Fe³⁺ в полевых шпатах отчетливо разделяются Южный и Северный выходы комплекса. Более интенсивное свечение Fe³⁺ свойственно КППШ Южного выхода, что свидетельствует о более высокой щелочности среды минералообразования этого выхода.

В спектрах РЛ в исследуемых плагиоклазах и КППШ редкометалльных фаз зафиксировано излучение Tl^+ (285 нм), что, как известно, является индикатором редкометалльности этих пород [26].

Наибольшее значение среди элементов-примесей для полевых шпатов обычно имеют Li, Rb и двухвалентные щелочно-земельные элементы – Ba и Sr. При этом Ba и Rb в основном концентрируются в КППШ, а Li и Sr – в плагиоклазах. Данная закономерность прослеживается и для полевых шпатов исследуемого комплекса. Согласно данным спектрального анализа плагиоклазы комплекса обогащены относительно КППШ Mn, Zr, Be, Zn, редкими землями, а КППШ – Pb, La, Tl, Mo. Различия в концентрации элементов прослеживаются и в сравнении отдельных выходов массива. Так, примесь Li обнаруживается исключительно в КППШ пород Южного выхода, а Ce в КППШ и плагиоклазах Северного выхода. Sr обнаружен только в полевых шпатах Северного выхода. С падением температуры кристаллизации и при повышении давления летучих содержание Sr в КППШ растет от 100 г/т в более высокотемпературных раннемагматических гранитных фазах до 400–1020 г/т в более низкотемпературных постмагматических – пегматитах. Максимальная концентрация элемента обнаружена в блоковом КППШ пегматитовой жилы. Количество Са как в КППШ, так и в плагиоклазах растет в следующем направлении: граниты–пегматиты–метасоматиты. Следует отметить, что плагиоклазы и КППШ метасоматитов, очевидно, в силу характера своего развития – метасоматоза, гораздо богаче очень многими элементами-примесями и прежде всего TR, Y и Nb, определяющими рудную специализацию метасоматитов. Обращает на себя внимание сравнительно высокое содержание во всех полевых шпатах примесного железа, что обусловлено повышенным фоном щелочности минералообразования на объекте. Концентрация элемента достигает максимальных значений в плагиоклазе метасоматитов (до 8100 г/т).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zr-Nb-REE mineralization in peralkaline granites from the Amis Complex, Brandberg (Namibia): evidence for magmatic pre-enrichment from melt inclusions / A.K. Schmitt, R.B. Trumbull, P. Dulski, R. Emmermann // *Economic geology*. – 2002. – V. 97. – P. 399–413.
2. Salvi S., Williams-Jones A.E. Alteration, HFSE mineralization and hydrocarbon formation in peralkaline igneous systems: Insights from the Strange Lake Pluton, Canada // *Lithos*. – 2006. – V. 91. – P. 19–34.
3. Distribution and evolution of zirconium mineralization in peralkaline granites and associated pegmatites of the Khan Bogd Complex, southern Mongolia / J. Kynicky, A.R. Chakhmouradian, C. Xu, L. Krmicek, M. Galiova // *Canadian Mineralogist*. – 2011. – V. 49. – P. 947–965.
4. Gysi A.P., Williams-Jones A.E. Hydrothermal mobilization of pegmatite-hosted REE and Zr at Strange Lake, Canada: a reaction path model // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2013. – V. 122. – P. 324–352.

Заключение

Комплекс проведенных исследований полевых шпатов щелочно-гранитного комплекса Халдзан-Бурэгтэг позволил выявить ряд типоморфных характеристик этих минералов, отражающий особенности их формирования и рудную специализацию объекта.

Установлено, что все породы комплекса имеют двуполевошпатовый состав с преобладанием калиевой фазы. Среди КППШ доминирует максимальный микроклин, а среди плагиоклазов – низкий альбит.

Общим для всех исследованных полевых шпатов является чрезвычайно интенсивное свечение РЛ Fe^{3+} и повышенное содержание трехвалентной формы этого элемента в составе минералов, что указывает на повышенный щелочной фон процессов минералообразования на объекте.

Типохимизм полевых шпатов Северного и Южного выходов Халдзан-Бурэгтэгского щелочно-гранитного комплекса заметно различается в силу отличий щелочности условий их минералообразования и интенсивности проявления автометасоматических процессов. Полевые шпаты пород Северного выхода демонстрируют более широкий спектр примесных элементов, прежде всего TR, Y и Nb, подчеркивающих металлогеническую специализацию объекта.

Температура кристаллизации полевого шпата, согласно характеру распада твердых растворов, лежала в интервале 250–700 °C для гранитных фаз и 200–380 °C для пегматитов и метасоматитов комплекса.

Таким образом, закономерные изменения типоморфных особенностей полевых шпатов в породах от более высокотемпературных раннемагматических гранитных фаз к более низкотемпературным позднемагматическим образованиям и постмагматическим производным комплекса отражают характер дифференциации и изменение условий их образования.

5. REE and HFSE mineralization in peralkaline granites of the Ambimihavavy alkaline complex, Ampasindava peninsula, Madagascar / G. Estrade, S. Salvi, D. Beziata, S. Rakotovaoc, R. Rakotondrazafyd // *Journal of African Earth Sciences*. – 2014. – V. 94. – P. 141–155.
6. Dostal J., Kontak D.J., Karl S.M. The Early Jurassic Bokan Mountain peralkaline granitic complex (southeastern Alaska): Geochemistry, petrogenesis and rare-metal mineralization // *Lithos*. – 2014. – V. 202–203. – P. 395–412.
7. Williams-Jones A.E., Vasyukova O. Fluoride-silicate melt immiscibility and its role in REE ore formation: Evidence from the Strange Lake rare metal deposit, Québec-Labrador, Canada // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2014. – V. 139. – P. 110–130.
8. Permian alkaline granites in the Erenhot-Hegenshan belt, northern Inner Mongolia, China: Model of generation, time of emplacement and regional tectonic significance / Ying Tong, Bor-ming Jahn, Tao Wang, Da-wei Hong, E.I. Smith, Min Sun, Jian-feng Gao, Qi-di Yang, Wei Huang // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2015. – V. 97. – P. B. – P. 320–336.

9. The genesis of Zr-Nb-REE mineralisation at Khalzan Buregte (Western Mongolia) reconsidered / U. Kempe, R. Möckel, T. Graupner, J. Kynicky, E. Dombond // *Ore Geology Reviews*. – 2015. – V. 64. – P. 602–625.
10. Андреева И.А. Генезис и механизмы образования редкометалльных щелочных гранитов массива Халдзан-Бурегтей, Монголия: данные изучения расплавных включений // *Петрология*. – 2016. – Т. 24. – № 5. – С. 499–514.
11. Халдзан-Бурегтейский массив щелочных и редкометалльных магматических пород: строение, геохронология, и геодинамическое положение в каледонидах западной Монголии / В.И. Коваленко, В.В. Ярмолук, Е.Б. Сальникова, П.М. Карташов, В.П. Ковач, И.К. Козаков, А.М. Козловский, А.Б. Котов, В.А. Пономарчук, Е.Н. Листратова, С.З. Яковлева // *Петрология*. – 2004. – Т. 12. – № 5. – С. 467–494.
12. Коваленко В.И., Козловский А.М., Ярмолук В.В. Отношение элементов-примесей как отражение смешимости источников и дифференциации магм щелочных гранитоидов и базитов Халдзан-Бурегтейского массива и одноименного редкометалльного месторождения, Западная Монголия // *Петрология*. – 2009. – Т. 17. – № 2. – С. 175–196.
13. Карташов П.М., Волошин А.В., Пахомовский Я.А. О зональном кристаллическом гадолините из щелочно-гранитных пегматитов Халдзан-Бурэгтэга (Монгольский Алтай) // *Записки Всероссийского минералогического общества*. – 1993. – № 3. – С. 65–79.
14. Зенина К.С. Коноваленко С.И. Сравнительная топоминералогия щелочных гранитоидов Монголии // *Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогеническое прогнозирование: материалы Второго Российско-Казахстанского международного научного совещания*. – Новосибирск, 2014. – С. 61–65.
15. Зенина К.С. Коноваленко С.И. Минералогические особенности щелочно-гранитных пегматитов Халдзан-Бурэгтэгского массива (Западная Монголия) // *Записки Российского минералогического общества*. – 2016. – № 3. – С. 63–80.
16. Минералы: Справочник. – М.: Наука, 2003. – Т. 5. – Вып. 1. – 583 с.
17. Hovis G.L. Unit – cell dimensions and molar volumes for a sanidine analbite ion-exchange series // *Amer. Miner.* – 1977. – V. 62. – № 7. – P. 672–679.
18. Кумеев С.С. Полевые шпаты – петрогенетические индикаторы. – М.: Недра, 1982. – 205 с.
19. Слюдоносные пегматиты Северной Карелии / под ред. В.В. Гордиенко, В.А. Леоновой. – Л.: Недра, 1976. – 367 с.
20. Зенина К.С., Коноваленко С.И. Минеральный состав и редкометалльная минерализация метасоматитов щелочно-гранитных пегматоидов участка Цахирын (Западная Монголия) // *Минералогия, геохимия и полезные ископаемые Азии*. – Томск, 2013. – Вып. 2. – С. 42–46.
21. Руденко С.А. К вопросу о морфологии пертитовых сростаний полевых шпатов // *Записки Всероссийского минералогического общества*. – 1949. – № 4. – С. 266–269.
22. Stewart D.B., Wright T.L. Al/Si order and symmetry of natural potassium feldspars and the relationship of strained cell parameters to bulk composition // *Bull. Soc. frans. miner er cristallogr.* – 1975. – V. 97. – № 2. – P. 356–377.
23. Пущаровский Д.Ю. Рентгенография минералов. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. – 288 с.
24. Борозновская Н.Н. Особенности рентгенолюминесценции полевых шпатов как показатели их генезиса // *Записки Всероссийского минералогического общества*. – 1989. – № 1. – С. 110–119.
25. Telfer D.J., Walker G. Optical detection of Fe³⁺ in lunar plagioclase // *Nature*. – 1975. – V. 258. – P. 694–695.
26. Кузнецов Г.В., Таращан А.Н. Люминесценция минералов гранитных пегматитов / АН УССР, Институт геохимии и физики минералов. – Киев: Наукова думка, 1988. – 180 с.

Поступила 25.08.2016 г.

Информация об авторах

Зенина К.С., ассистент кафедры минералогии и геохимии геолого-географического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета.

Небера Т.С., кандидат геолого-минералогических наук, ведущий инженер центра коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» Национального исследовательского Томского государственного университета.

Коноваленко С.И., кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры минералогии и геохимии геолого-географического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета.

UDC 549.651/549.02

FELDSPAR OF ALKALI-GRANITE COMPLEX KHALDZAN-BUREGTEG (WESTERN MONGOLIA): FEATURES OF STRUCTURE AND CHEMICAL COMPOSITION

Ksenia S. Zenina¹,
kszenina@ggf.tsu.ru

Tatiana S. Nebera¹,
TSNebera@mail.ru

Sergey I. Konovalenko¹,
konov@ggf.tsu.ru

¹ National Research Tomsk State University,
36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

Composition, structure and other features of minerals are the most important genetic characteristics reflecting the conditions of their formation and allowing reconstructing the life of a geological object. Feldspar due to its crystallization in a wide range of temperatures and pressures, isomorphous substitutions and breakdown of solid solutions, is the important object of mineralogical studies.

The aim of the study is to identify characteristics of a structure and chemical composition of feldspar from multiphase alkali-granite complex Khaldzan-Buregteg in Western Mongolia.

Object of the research: alkaline granitic formation of Lake zone of Western Mongolia, which brings together a number of large massifs of the Khaldzan-Buregteg group (Ulaan-Khuren, Gurvan-Uneet, Ulaan-Unet, Tsogtu-Ula, Tsohni Ula, Khaldzan-Buregteg) of Early Paleozoic age, as well as the late-magmatic differentiates granitoid – pegmatites and postmagmatic derivatives – hydrothermalites and metasomatic rocks.

Research methods. The authors have carried out the comprehensive study of feldspar, including optical and morphological analysis of the mineral, using X-ray diffraction, X-ray fluorescent, X-ray microanalysis as well as quantitative and semi-quantitative spectral analysis.

Results. The paper describes the morphology and habitus of the investigated feldspar; perthitic structures of the mineral were studied; the X-ray diffraction characteristics of K-feldspar and plagioclase were determined. The authors obtained the data on chemical composition of feldspar and calculated the crystallochemical formulas of the mineral. It was ascertained that all the considered species rocks of the complex Khaldzan-Buregteg (nordmarkites, granites, pegmatites and metasomatites) have two-feldspar composition with predominance of potassium phase. The maximum microcline dominates among potassium feldspar, low albite dominates among plagioclase. Based on the typomorphic characteristics the authors carried out the genetic typing of potassium feldspar, determined rocks crystallization temperature, evaluated the evolution of the mineral formation environment on the object. It was determined that the regular change of structural and chemical features of feldspars is observed from high-temperature granite phases to lower-temperature late-magmatic and post-magmatic derived formations.

Key words:

Feldspar, massif Khaldzan-Buregteg, typomorphism, alkaline granites, rare-metal granites, pegmatites.

REFERENCES

- Schmitt A.K., Trumbull R.B., Dulski P., Emmermann R. Zr-Nb-REE mineralization in peralkaline granites from the Amis Complex, Brandberg (Namibia): evidence for magmatic pre-enrichment from melt inclusions. *Economic geology*, 2002, vol. 97, pp. 399–413.
- Salvi S., Williams-Jones A.E. Alteration, HFSE mineralization and hydrocarbon formation in peralkaline igneous systems: Insights from the Strange Lake Pluton, Canada. *Lithos*, 2006, vol. 91, pp. 19–34.
- Kynicky J., Chakhmouradian A.R., Xu C., Krmicek L., Galiova M. Distribution and evolution of zirconium mineralization in peralkaline granites and associated pegmatites of the Khan Bogd Complex, southern Mongolia. *Canadian Mineralogist*, 2011, vol. 49, pp. 947–965.
- Gysi A.P., Williams-Jones A.E. Hydrothermal mobilization of pegmatite-hosted REE and Zr at Strange Lake, Canada: A reaction path model. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2013, vol. 122, pp. 324–352.
- Estrade G., Salvi S., Beziata D., Rakotovaoc S., Rakotondrazafyd R. REE and HFSE mineralization in peralkaline granites of the Ambohimirahavavy alkaline complex, Ampasindava peninsula, Madagascar. *Journal of African Earth Sciences*, 2014, vol. 94, pp. 141–155.
- Dostal J., Kontak D.J., Karl S.M. The Early Jurassic Bokan Mountain peralkaline granitic complex (southeastern Alaska): Geochemistry, petrogenesis and rare-metal mineralization. *Lithos*, 2014, vol. 202–203, pp. 395–412.
- Williams-Jones A.E., Vasyukova O. Fluoride-silicate melt immiscibility and its role in REE ore formation: Evidence from the Strange Lake rare metal deposit, Québec-Labrador, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2014, vol. 139, pp. 110–130.
- Ying Tong, Bor-ming Jahn, Tao Wang, Da-wei Hong, Smith E.I., Min Sun, Jian-feng Gao, Qi-di Yang, Wei Huang. Permian alkaline granites in the Erenhot-Hegenshan belt, northern Inner Mongolia, China: Model of generation, time of emplacement and regional tectonic significance. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, vol. 97, pp. 320–336.
- Kempe U., Möckel R., Graupner T., Kynicky J., Dombond E. The genesis of Zr-Nb-REE mineralisation at Khalzan Buregte (Western Mongolia) reconsidered. *Ore Geology Reviews*, 2015, vol. 64, pp. 602–625.
- Andreeva I.A. Genesis and mechanisms of formation of rare-metal alkaline granites of the Khalzan Buregteg massif, Mongolia: data on study of melt inclusions. *Petrology*, 2016, vol. 24, no. 5, pp. 499–514. In Rus.
- Kovalenko V.I., Yarmolyuk V.V., Salnikova E.B., Kartashov P.M., Kovach V.P., Kozakov I.K., Kozlovsky A.M., Kotov A.B., Ponomarchuk V.A., Listratova E.N., Yakovleva S.Z.

- The Khalzan Buregteg massif of alkaline and rare-metal igneous rocks: structure, geochronology and geodynamic situation in Caledonia of Western Mongolia. *Petrology*, 2004, vol. 12, no. 5, pp. 467–494. In Rus.
12. Kovalenko V.I., Kozlovsky A.M., Yarmolyuk V.V. Ratio of impurity elements as a reflection of constant sources and differentiation of alkaline magmas of the granitoids and basites of the Khalzan Buregteg massif and the same name rare-metal deposit, Western Mongolia. *Petrology*, 2009, vol. 17, no. 2, pp. 175–196. In Rus.
 13. Kartashov P.M., Voloshin A.V., Pahomovsky Ya.A. On zonal crystalline gadolinite of alkali granite pegmatites of the Khalzan Buregteg (Mongolian Altai). *Proceedings of the Russian Mineralogical Society*, 1993, no. 3, pp. 65–79. In Rus.
 14. Zenina K.S., Konovalenko S.I. Sravnitel'naya topomineralogiya shchelochnykh granitoydov Mongolii [Comparative topomineralogy of alkaline granitoids of Mongolia]. *Korrelyatsiya altaid i uralid: magmatizm, metamorfizm, stratigrafiya, geokhronologiya, geodinamika i metallogenicheskoe prognozirovanie: Materialy Vtorogo Rossiysko-Kazhstanskogo mezhdunarodnogo nauchnogo soveshchaniya* [Correlation of Altai and Uralid: magmatism, metamorphism, stratigraphy, geochronology, geodynamics and metallogenetic forecasting. Proc. of the Second Russian-Kazakhstan international scientific meeting]. Novosibirsk, 2014. pp. 61–65.
 15. Zenina K.S., Konovalenko S.I. Mineralogical features of alkaline granite pegmatites in the Khalzan-Buregteg massif (Western Mongolia). *Proceedings of the Russian Mineralogical Society*, 2016, no. 3, pp. 63–80. In Rus.
 16. *Mineraly. Spravochnik* [Mineralogy. Reference book]. Moscow, Nauka Publ., 2003. Vol. 5, no. 1, 583 p.
 17. Hovis G.L. Unit – cell dimensions and molar volumes for a sanidine analbite ion-exchange series. *American mineralogist*, 1977, vol. 62, no. 7, pp. 672–679.
 18. Kumeev S.S. *Polevye shpaty – petrogeneticheskie indicatory* [Feldspars – petrogenetic indicators]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 205 p.
 19. *Slyudonosnye pegmatity Severnoy Karelii* [Mica-bearing pegmatites of North Karelia]. Eds. V.V. Gordienko, V.A. Leonova. Leningrad, Nedra Publ., 1976. 367 p.
 20. Zenina K.S. Mineralny sostav i redkometallnaya mineralizatsiya metasomatitov shchelochno-granitnykh pegmatoydov uchastka Tsakhirin (Zapadnaya Mongoliya) [Mineral composition and mineralization of rare-metal metasomatic rocks of alkali granite pegmatites of the area Tsakhirin (Western Mongolia)]. *Mineralogiya, geokhimiya i poleznye iskopaemye Azii* [Mineralogy, geochemistry and mineral resource of Asia]. Tomsk, 2013. Iss. 2, pp. 42–46.
 21. Rudenko S.A. K On the issue of morphology of perthites intergrowth of feldspars. *Proceedings of the Russian Mineralogical Society*, 1949, no. 4, pp. 266–269. In Rus.
 22. Stewart D.B., Wright T.L. Al/Si order and symmetry of natural potassium feldspars and the relationship of strained cell parameters to bulk composition. *Bull. Soc. frans. miner er cristallogr*, 1975, vol. 9, no. 2, pp. 356–377.
 23. Pushcharovsky D.Yu. *Rentgenografiya mineralov* [Radiography of minerals]. Moscow, Geoinformmark Publ., 2000. 288 p.
 24. Boroznovskaya N.N. Osobennosti rentgenoluminesentsii polevykh shpatov kak pokazateli ikh genezisa [Features of X-ray luminescence of feldspars as indicators of their genesis]. *Proceedings of the Russian Mineralogical Society*, 1989, no. 1, pp. 110–119.
 25. Telfer D.J., Walker G. Optical detection of Fe³⁺ in lunar plagioclase. *Nature*, 1975, vol. 258, pp. 694–695.
 26. Kuznetsov G.V., Tarashchan A.N. *Lyuminesentsiya mineralov granitnykh pegmatitov* [Luminescence of minerals from granite pegmatites]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1988. 180 p.

Received: 25 August 2016.

Information about the authors

Ksenia S. Zenina, assistant, National Research Tomsk State University.

Tatiana S. Nebera, Cand. Sc., chief engineer, National Research Tomsk State University.

Sergey I. Konovalenko, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk State University.