

УДК 552.11

ВОЗРАСТ, СОСТАВ И ПЕТРОГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕЙКОГРАНИТНЫХ ИНТРУЗИЙ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

© 2024 г. С. В. Хромых*, П. Д. Котлер, член-корреспондент РАН Н. Н. Крук

Получено 29.11.2023 г.

После доработки 10.12.2023 г.

Принято к публикации 14.12.2023 г.

В пределах Восточного Казахстана проявлены несколько крупных интрузий, сложенных на 60–90% лейкогранитами. Приведены сведения о возрасте этих интрузий, рассмотрены особенности вещественного состава пород, сделаны выводы о петрогенетических механизмах выплавления лейкогранитных магм. Установлено два этапа лейкогранитного интрузивного магматизма — в ранней перми и в раннем триасе, во внутриплитной геодинамической обстановке. Лейкогранитные магмы были образованы в результате частичного плавления коровых субстратов под воздействием базитовых магм. Геохимические различия лейкогранитов были обусловлены разным составом коровых субстратов и разными степенями их плавления.

Ключевые слова: лейкограниты, внутриплитный магматизм, Восточный Казахстан

DOI: 10.31857/S2686739724040086

Под лейкогранитами в общем смысле подразумевается разновидность гранитов, сложенная преимущественно кварцем и полевыми шпатами и содержащая не более 5% темноцветных минералов, такие породы достаточно широко распространены в земной коре в пределах орогенных складчатых поясов. В большинстве случаев лейкограниты встречаются в составе гранодиорит-гранитных или граносиенит-гранитных интрузивных ассоциаций как поздние фазы плутонов, что интерпретируется как признак кристаллизационной или флюидно-магматической дифференциации гранитоидных магм. Вместе с тем в пределах орогенных складчатых поясов достаточно широко распространены и самостоятельные крупные интрузии, сложенные более чем на 70% лейкогранитами, например, в Гималаях ([1] и др.). Лейкограниты, слагающие самостоятельные интрузии, характеризуются обычно широким геохимическим разнообразием. Механизмы генезиса крупных объемов лейкогранитных магм до сих пор являются предметом дискуссий. В этой связи актуальной является задача рассмотрения геохимических особенностей

лейкогранитов, слагающих крупные интрузии, и поиск возможных петрогенетических механизмов их формирования. Такая попытка предпринята нами для лейкогранитных интрузий Восточного Казахстана.

Территория Восточного Казахстана входит в состав Обь-Зайсанской (Иртыш-Зайсанской) складчатой системы, сформированной в позднем палеозое в результате аккреционно-коллизионного взаимодействия Сибирского и Казахстанского континентов при закрытии Обь-Зайсанского палеоокеанического бассейна [2]. По набору структурно-вещественных осадочных, вулканогенных и магматических формаций на этой территории традиционно выделяются следующие структурно-формационные зоны (с северо-востока на юго-запад): Калба-Нарымская, Чарская, Жарма-Саурская [2, 3].

Лейкогранитные интрузии распространены во всех структурно-формационных зонах (рис. 1). Это обычно крупные (от 60–80 до 500–600 км²) массивы изометричной или овальной в плане формы, хорошо выраженные в рельефе в виде гор с преобладанием скальных уступов и возвышенностей. Лейкогранитные интрузии прорывают палеозойские осадочные и вулканогенные формации, а также в большинстве случаев — предшествующие интрузивные комплексы каменноугольного и пермского возраста, на этом

*Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Новосибирск, Россия*

**E-mail: serkhrom@igm.nsc.ru*

основании их возраст принимался как поздне-пермский—триасовый [4]. В Калба-Нарымской зоне расположены Дунгалинский, Монастырский, Сибинский, Войлочевский массивы (№ 1–4 на рис. 1). Они сложены на 25–30% средне-крупнозернистыми биотитовыми гранитами и на 70–75% средне-крупно-зернистыми биотит-мусковитовыми лейкогранитами, встречаются мелко-среднезернистые мусковитовые граниты, содержащие гранат и турмалин. Возраст лейкогранитов установлен U–Pb-датированием цирконов и составляет 276–284 млн лет, что соответствует кунгурскому времени ранней перми. В Чарской зоне расположены два крупных лейкогранитных массива. Массив Семейтау (№ 5 на рис. 1) на современном эрозионном срезе представлен гипабиссальными монцонит-порфирами (около 15% площади), граносиенит-порфирами (около 25% площади) и лейкогранит-порфирами (около 60% площади), которые содержат не более 3–5 об. % биотита. Массив Дельбегетей (№ 6 на рис. 1) на 95% площади представлен мелко- и среднезернистыми лейкогранитами, которые содержат не более 5 об. % биотита, крайне редко встречается мусковит. U–Pb-датирование цирконов позволило установить возраст массива Семейтау в 247–249 млн лет, а массива Дельбегетей – в 240–249 млн лет, что соответствует раннему—среднему триасу. В Жарма-Саурской зоне можно выделить два типа лейкогранитных интрузий. Массивы первого типа – Аркат, Каракольтас, Кандыгатай, Биесимас (№ 7–10 на рис. 1) слагают изометричные крупные тела, сложенные на 15–20% среднезернистыми граносиенитами и на 80–85% – средне-крупнозернистыми лейкогранитами, в которых преобладающим темно-цветом является биотит (до 5 об.%), в подчиненном количестве присутствует амфибол, мусковит отсутствует. U–Pb-датирование цирконов из пород массивов Аркат, Каракольтас, Кандыгатай позволило установить их возраст в 277–280 млн лет, что соответствует кунгурскому времени ранней перми. Массивы второго типа – Коргантас, Керегетас, Верхнее Эспе (№ 11–13 на рис. 1) слагают небольшие (до 10 км²) дайко- или штокообразные интрузии, сложенные целиком мелко-среднезернистыми щелочными лейкогранитами, содержащими до 5 об. % щелочного амфибола (ферроэкерманит, арфведсонит), слюды же отсутствуют. С массивами щелочных лейкогранитов пространственно сопряжены рои долеритовых и лампрофировых даек. Возраст щелочных лейкогранитов установлен U–Pb-датированием цирконов в 291–292 млн лет, что соответствует сакмарскому времени ранней перми.

Вещественный состав определен для пород всех массивов, обозначенных на рис. 1, за исключением Дунгалинского. База аналитических данных содержит 177 анализов на петрогенные компоненты, определенные методом РФА (ИГМ СО РАН, Новосибирск), и 105 анализов на редкие и редкоземельные элементы, определенные методом ИСП-МС (ИГМ СО РАН, Новосибирск). Во всех лейкогранитных разностях, кроме щелочных, калиевый полевой шпат преобладает над плагиоклазом, отношение K_2O/Na_2O составляет от 0.95 до 2.26; в щелочных лейкогранитах соотношение полевых шпатов примерно одинаковое, отношение K_2O/Na_2O составляет от 0.65 до 1.02. По соотношению кремнезема и окиси калия все исследованные породы принадлежат высококалиевой известково-щелочной и шошонитовой сериям, по [5] (рис. 2 а), или к щелочно-известковой и известково-щелочной сериям, по [6] (рис. 2 б). Все породы демонстрируют повышенную железистость и соответствуют железистым (ferroan) породам по [6] (рис. 2 в). По вариациям глинозема относительно щелочей (индекс насыщения глиноземом, aluminum-saturation index, ASI, по [7]) лейкограниты всех крупных массивов являются пералюминиевыми, причем наиболее глиноземистыми являются лейкограниты Калба-Нарымской зоны и лейкограниты массива Семейтау (рис. 2 г); щелочные лейкограниты Жарма-Саурской зоны являются метаалюминиевыми (рис. 2 г). На диаграмме нормативных составов Qtz-Ab-Or (рис. 2 д) составы всех лейкогранитов смещены в сторону котектики “кварц–ортоклаз” относительно линии эволюции составов гранитной эвтектики в присутствии воды при разных давлениях [8].

Несмотря на достаточно заметные вариации концентраций отдельных элементов, все лейкограниты имеют сходную форму спектров распределения РЗЭ – слабый отрицательный наклон в области легких лантаноидов, хорошо выраженный Eu-минимум и почти горизонтальное распределение от Gd до Lu на уровне от 10 до 80 хондритовых концентраций. В мультиэлементных спектрах для всех пород наблюдаются максимумы в концентрациях Rb, Th, U, K и хорошо выраженные минимумы в концентрациях Ba, Nb, Ta, Sr, Eu, Ti.

На дискриминантных диаграммах Пирса и др. [9], основанных на соотношениях индикаторных элементов – Rb, Nb, Y, Ta, Yb (рис. 3 а–г), точки составов лейкогранитов Калба-Нарымской зоны располагаются на границе полей синколлизонных гранитов (syn-COLG), гранитов

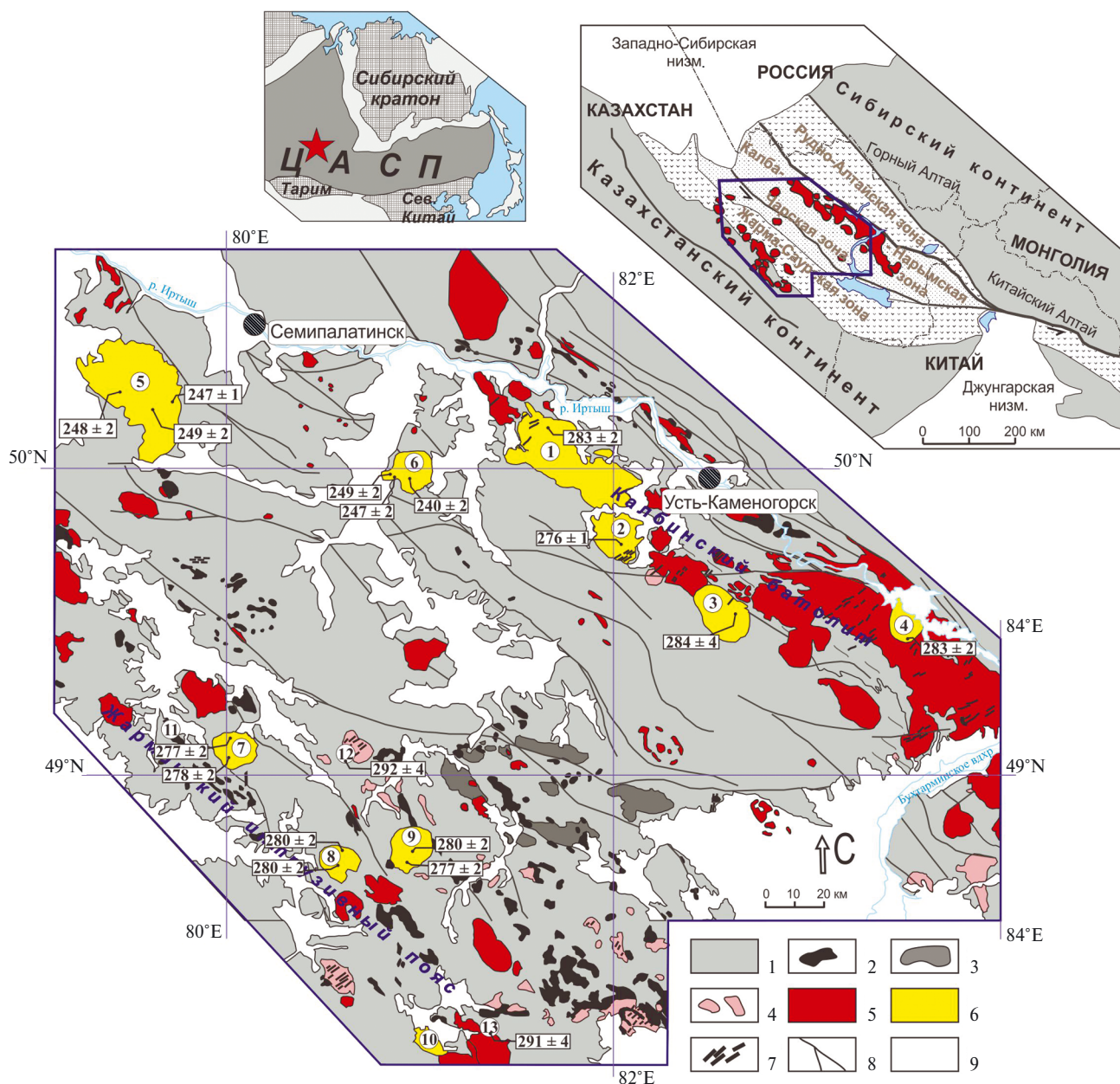


Рис. 1. Схема размещения лейкогранитных интрузий Восточного Казахстана. Составлена на основе схемы магматических комплексов Восточного Казахстана [11]. 1 – осадочные и вулканогенные формации (S–C), нерасчлененные; 2 – базит-ультрабазитовые интрузии (C₁, P₁); 3 – континентальные базальты и андезиты (C₂–P₁); 4 – интрузии гранитоидов (C_{1–2}); 5 – интрузии гранитоидов (P₁); 6 – интрузии лейкогранитов (P₁, T₁); 7 – рои базитовых даек (C₂–P₁); 8 – разломы; 9 – четвертичные отложения. Цифры в кружках – интрузии лейкогранитов, в Калба-Нарымской зоне: 1 – Дунгалинский массив, 2 – Монастырский массив, 3 – Сибинский массив, 4 – Войлочевский массив; в Чарской зоне: 5 – массив Семейтау, 6 – массив Дельбегетей; в Жарма-Саурской зоне: 7 – массив Аркат, 8 – массив Каракольтас, 9 – массив Кандыгатай, 10 – массив Биесимас, 11 – массив Коргантас (вне масштаба), 12 – массив Керегетас (вне масштаба), 13 – массив Верхнее Эспе (вне масштаба). Цифры в прямоугольниках – значения возраста лейкогранитов, установленные U–Pb-датированием по цирконам. На врезке – положение структурно-формационных зона Обь-Зайсанской складчатой системы.

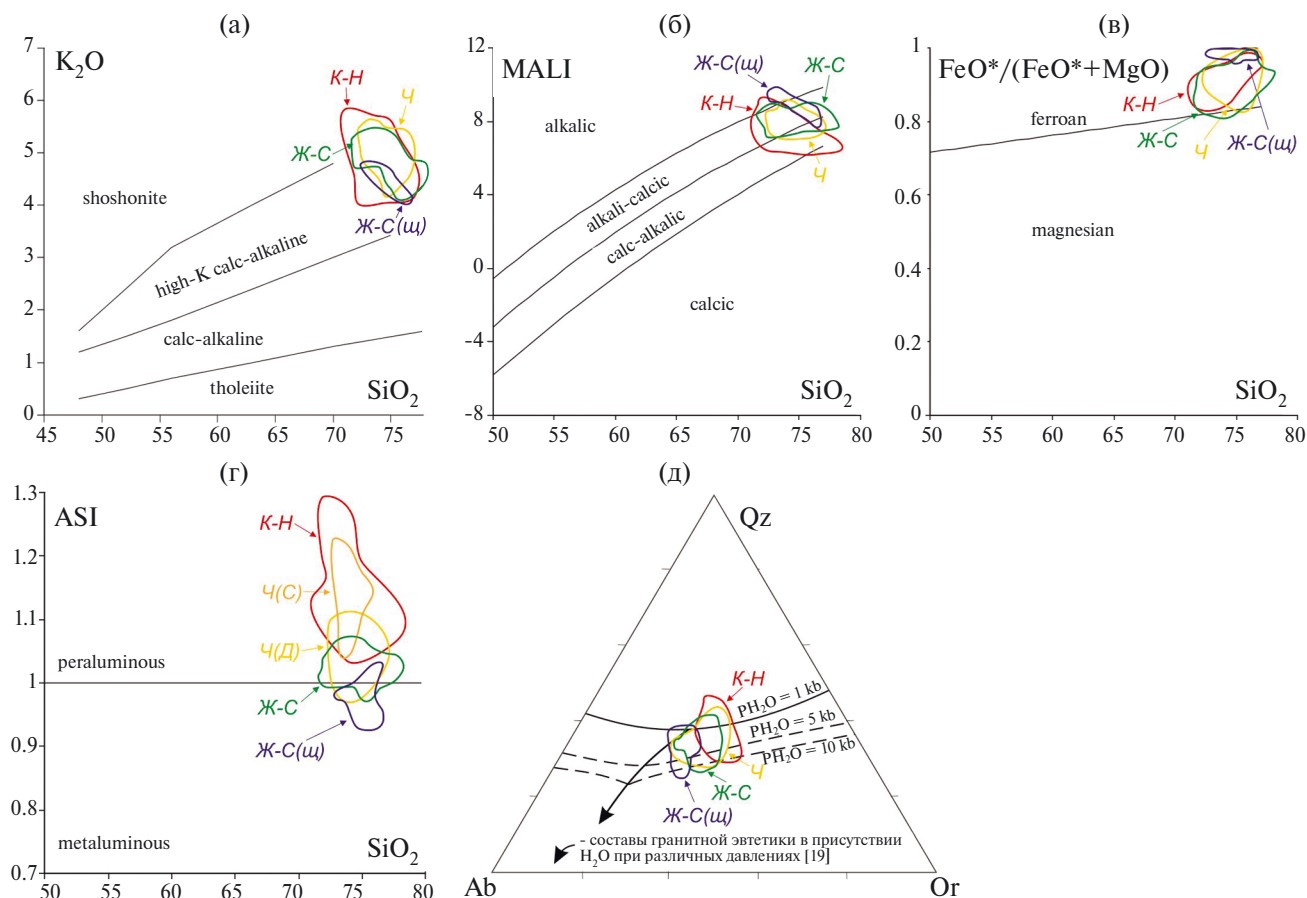


Рис. 2. Состав лейкогранитов массивов Восточного Казахстана на классификационных диаграммах: (а) — K_2O-SiO_2 [5]; (б) — $MALI-SiO_2$, (в) — $FeO_{tot}/(FeO_{tot} + MgO)-SiO_2$ [6]; (г) — $ASI-SiO_2$ [7]; (д) — $Qtz-Ab-Or$ [8]. К-Н — лейкограниты Калба-Нарымской зоны; Ч — лейкограниты Чарской зоны; Ч(Д) — массив Дельбегетей; Ч(С) — массив Семейтау; Ж-С — лейкограниты Жарма-Саурской зоны; Ж-С(щ) — щелочные лейкограниты Жарма-Саурской зоны.

вулканических дуг (VAG) и внутриплитных гранитов (WPG), в то время как точки составов большинства лейкогранитов Чарской и Жарма-Саурской зон располагаются в области внутриплитных гранитов (WPG). На дискриминантных диаграммах Уолена и др. [10], основанных на соотношениях петрогенных и высокозарядных элементов (рис. 3 д–е), точки составов лейкогранитов Калба-Нарымской зоны, Дельбегетейского массива Чарской зоны и массивов первого типа Жарма-Саурской зоны располагаются на границе полей фракционированных гранитов (FG) и гранитов А-типа (А), в то время как точки составов лейкогранитов массива Семейтау и щелочных лейкогранитов (второго типа) Жарма-Саурской зоны располагаются в поле гранитов А-типа.

Для лейкогранитов из 11 массивов, исключая Дунгалинский и Биесимас, были выполнены исследования Nd-изотопной системы. Все

проанализированные лейкограниты демонстрируют положительные значения $\epsilon Nd(T)$: лейкограниты Калба-Нарымской зоны от +3.6 до +5.2, лейкограниты Чарской зоны от +3.3 до +4.5, лейкограниты первого типа Жарма-Саурской зоны от +4.3 до +4.6, щелочные лейкограниты второго типа Жарма-Саурской зоны от +3.6 до +5.9 (рис. 4). Для всех лейкогранитов типичны сравнительно молодые модельные возраста ($T_{DM}(2st)$) от 379 до 769 млн лет.

Перейдем к обсуждению полученных данных. U–Pb-датирование цирконов из пород изученных массивов позволяет установить два этапа проявления лейкогранитного магматизма Восточного Казахстана. Наиболее масштабным является раннепермский (290–276 млн лет), когда были сформированы крупные массивы лейкогранитов в Калба-Нарымской зоне, крупные массивы лейкогранитов и мелкие массивы щелочных гранитов в Жарма-Саурской

зоне. Стоит отметить, что формирование мелких массивов щелочных лейкогранитов произошло несколько раньше (~ 10 млн лет), чем были сформированы крупные массивы лейкогранитов. Ранняя пермь является временем наиболее масштабной магматической активности в Восточном Казахстане, — в интервале 300–275 млн лет назад были проявлены разнообразные базитовые и гранитоидные интрузивные, вулканические и дайковые ассоциации [11]; эта магматическая активность связывается с формированием Таримской крупной изверженной провинции, обусловленном воздействием на литосферу Таримского мантийного плюма [12, 13]. Признаком влияния мантии на формирование раннепермских лейкогранитов является присутствие синхронного базитового магматизма — как в Калба-Нарымской, так и в Жарма-Саурской зонах на уровне 290–280 млн лет были проявлены рои долеритовых и лампрофировых даек [14, 15], а в Жарма-Саурской и части Чарской зоны — гипабиссальные малые интрузии габбро-пикритового состава максутского комплекса [11].

Второй эпизод лейкогранитного магматизма в Восточном Казахстане отвечает раннему мезозою, в интервале 249–240 млн лет назад в пределах Чарской зоны были сформированы два крупных массива — Семейтау и Дельбегетей. Начало триаса на обширной территории Северной Азии ознаменовалось как время проявления масштабной Сибирской крупной изверженной провинции, связанной с активностью одноименного мантийного плюма ([16] и др.). Южная граница Сибирской КИП распространялась до юга Западной Сибири и Горного Алтая, и, судя по полученным возрастам массивов Семейтау и Дельбегетей, — достигла севера территории Восточного Казахстана. Признаком влияния базитовых магм на формирование лейкогранитных массивов служит строение массива Семейтау — в нем около 15% площади современного эрозионного среза занимают монцонит-порфиры и монцониты, содержащие пироксен, амфибол, основной плагиоклаз и являющиеся производными субщелочных базальтовых магм [17].

Таким образом, геологические и геохронологические данные свидетельствуют, что лейкогранитные интрузии Восточного Казахстана были сформированы в пост-орогенной или внутриплитной обстановке, в результате активности позднепалеозойских-раннемезозойских мантийных плюмов. В то же время практически однородный состав главных фаз массивов (исключая массив Семейтау) и отсутствие в них

значительного количества средних пород отрицают предположение о возникновении лейкогранитов в результате дифференциации других по составу родоначальных магм. Существенные объемы лейкогранитов в составе интрузий позволяют предполагать, что родоначальные магмы были близки по составу к лейкогранитам или к гранитам, то есть были образованы при частичном плавлении коровых субстратов. При этом базитовые магмы очевидно являлись главным энергетическим источником для анатексиса. Исходя из этого, лейкограниты интрузий Восточного Казахстана могут рассматриваться как анорогенные гранитоиды или граниты А-типа, что также подтверждается вышеприведенными геохимическими данными.

Обзор экспериментальных данных по плавлению коровых субстратов [18] показывает, что при анатексисе лейкогранитные магмы с натровой специализацией щелочей могут быть образованы при “водонасыщенном” плавлении широкого спектра субстратов, в то время как они же с калиевой специализацией — только при плавлении специфических по составу метасадочных пород, например, высококремнистых калиевых метапелитов, обогащенных слюдами. Однако субстраты такого состава обычно редки в земной коре и не могут объяснить широкого распространения лейкогранитов с калиевой специализацией. Одним из возможных специфических петрогенетических механизмов может быть взаимодействие эвтектического расплава с флюидной фазой. Составы почти всех исследованных лейкогранитов смещены относительно позиции “водной” гранитной эвтектики в сторону обогащения нормативными кварцем и ортоклазом (рис. 2 д). Как показали эксперименты [19], присутствие в составе флюида CO_2 приводит к изобарному сдвигу состава первых расплавов в сторону обогащенных нормативным ортоклазом. Также результаты изучения экспериментального плавления в системе “гаплогранит– H_2O – NaCl – KCl ” [20] показали, что с увеличением концентрации солей составы минимальных расплавов обогащаются как нормативным кварцем, так и ортоклазом. Это позволяет предположить, что лейкогранитные магмы массивов Восточного Казахстана могли быть образованы в результате частичного плавления коровых субстратов под давлением около 5–10 кбар в присутствии флюидов (CO_2 , NaCl , KCl), источником которых могли являться сами плавящиеся субстраты.

Различие петрохимических характеристик гранитоидов в разных зонах очевидно

обусловлено различием составов плавящихся субстратов. Так, в Калба-Нарымской зоне преимущественное распространение имеют осадочные формации, представленные алевролитами, черными сланцами и в меньшей степени песчаниками, близкими по составу к метапелитам. Это объясняет относительно повышенную глиноземистость лейкогранитов интрузий Калба-Нарымской зоны (см. рис. 2 г) и близость их составов к син-коллизийным гранитам (по [9]), для которых подразумевается вовлечение в плавление терригенных осадочных субстратов. В Чарской и Жарма-Саурской зонах распространены вулканические породы пестрого состава с преобладанием дацитов и андезитов и продукты их размыва — преимущественно граувакковые песчаники, соответственно, лейкограниты этих зон имеют относительно пониженную глиноземистость. Обладающие повышенной глиноземистостью лейкограниты массива Семейтау (см. рис. 2 г), вероятно, образовались при плавлении преимущественно метаосадочных, а не метавулканических субстратов.

Терригенные осадочные и вулканические субстраты Восточного Казахстана были сформированы в аккреционно-коллизийных обстановках на границах Обь-Зайсанского палеоокеанического бассейна в среднем—позднем палеозое [3, 4], что объясняет относительно молодые Nd-модельные возрасты и положительные значения $\epsilon Nd(T)$, которые демонстрируют изученные лейкограниты (см. рис. 4).

Отдельным типом являются щелочные лейкограниты малых интрузий Жарма-Саурской зоны. Они характеризуются обогащением щелочами относительно глинозема, повышенными относительно других лейкогранитов концентрациями высокочarged элементов (Zr, Hf, Nb, Ta, Y) и лантаноидов. Обогащение щелочами и несовместимыми элементами, а также относительно малые объемы щелочных лейкогранитов позволяют предполагать, что они могли быть образованы при малых степенях плавления метавулканогенных субстратов под воздействием базитовых магм, роль которых подтверждается

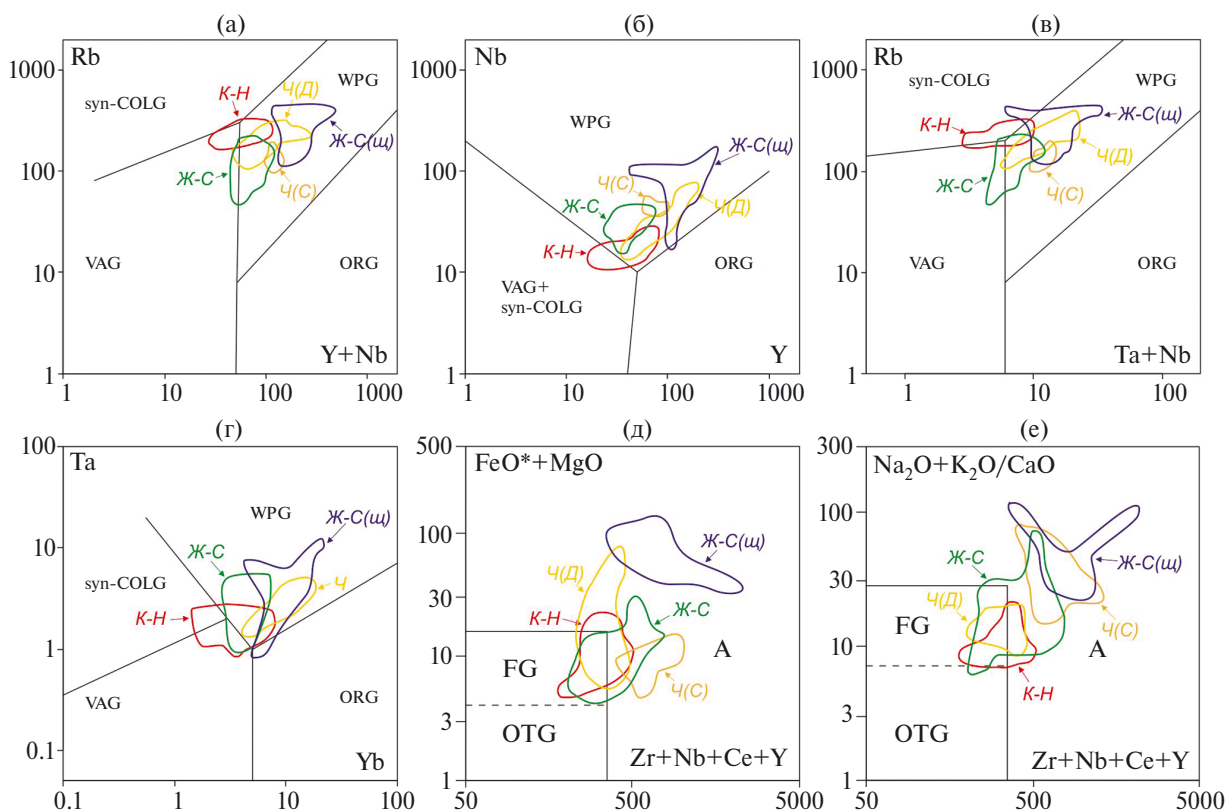


Рис. 3. Состав лейкогранитов массивов Восточного Казахстана на дискриминантных диаграммах: (а) — Rb—(Y+Nb), (б) — Nb—Y, (в) — Rb—(Ta+Yb), (г) — Ta—Yb [9]; (д) — (FeO_{tot}/MgO) —(Zr+Nb+Ce+Y), (е) — (Na_2O+K_2O/CaO) —(Zr+Nb+Ce+Y) [10]. К-Н — лейкограниты Калба-Нарымской зоны; Ч — лейкограниты Чарской зоны; Ч(Д) — массив Дельбегетей; Ч(С) — массив Семейтау; Ж-С — лейкограниты Жарма-Саурской зоны; Ж-С(щ) — щелочные лейкограниты Жарма-Саурской зоны.

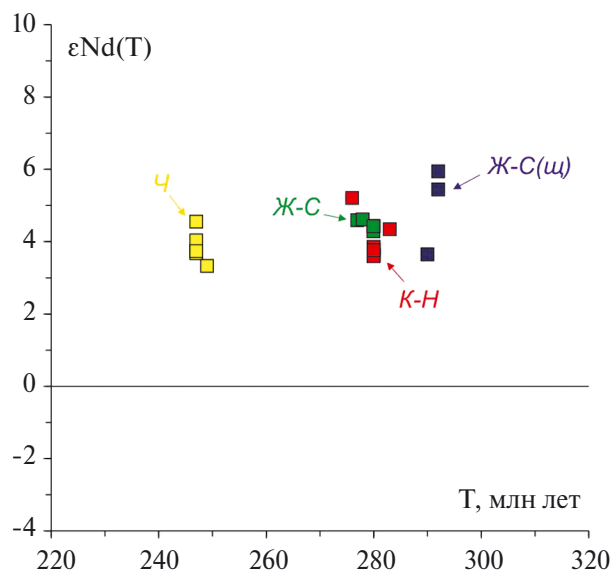


Рис. 4. Изотопные характеристики лейкогранитов Восточного Казахстана на диаграмме “ $\epsilon\text{Nd}(T)$ – возраст”. К-Н – лейкограниты Калба-Нарымской зоны; Ч – лейкограниты Чарской зоны; Ж-С – лейкограниты Жарма-Саурской зоны; Ж-С(ш) – щелочные лейкограниты Жарма-Саурской зоны.

присутствием субсинхронных раннепермских базитовых даек вблизи массивов щелочных лейкогранитов. Учитывая, что щелочные лейкограниты второго типа были сформированы в Жарма-Саурской зоне раньше (~290 млн лет назад), а лейкограниты первого типа – позже (~280 млн лет назад), можно говорить о прогрессирующем прогреве и анатексисе коровых субстратов под воздействием базитовых магм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На территории Восточного Казахстана в ранней перми и в раннем триасе были проявлены интрузии лейкогранитов, сформированные во внутриплитной геодинамической обстановке. Все они образованы в результате частичного плавления коровых субстратов под воздействием базитовых магм. Геохимические различия лейкогранитов были обусловлены разным составом коровых субстратов и разными степенями их плавления.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены по Государственному заданию ИГМ СО РАН, а также за счет средств Российского научного фонда, проект № 21-17-00175.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Guo Zh., Wilson M. The Himalayan leucogranites: Constraints on the nature of their crustal source region and geodynamic setting // *Gondwana Research*. 2012. V. 22. No. 2. P. 360–376.
2. Владимиров А.Г., Крук Н.Н., Руднев С.Н., Хромых С.В. Геодинамика и гранитоидный магматизм коллизионных орогенов // *Геология и геофизика*. 2003. Т. 44. № 12. С. 1321–1338.
3. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натанов Л.Ш. Тектоника литосферных плит территории СССР. М.: Недра, 1990. Т. 1. 327 С. Т. 2. 334 с.
4. Щерба Г.Н., Дьячков Б.А., Стучевский Н.И., Нахтигаль Г.П., Антоненко А.Н., Любецкий В.Н. Большой Алтай (геология и металлогения) / Кн. 1. Геологическое строение. Алматы: Гылым, 1998. 304 с.
5. Peccerillo A., Taylor S.R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1976. V. 58. P. 63–81.
6. Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Arculus R.J., Ellis D.J., Frost C.D. A geochemical classification for granitic rocks // *Journal of Petrology*. 2001. V. 42. P. 2033–2048.
7. Frost D.R., Frost C.D. A geochemical classification for feldspathic igneous rocks // *Journal of Petrology*. 2008. V. 49. P. 1955–1969.
8. Johannes W., Holtz F. Petrogenesis and Experimental Petrology of Granitic Rocks. Minerals and Rocks Series. Berlin: Springer-Verlag, 1996. V. 22. 335 p.
9. Pearce J.A., Harris N.W., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // *Journal of Petrology*. 1984. V. 25. P. 956–983.
10. Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1987. V. 95. P. 407–419.
11. Хромых С.В. Базитовый и сопряженный гранитоидный магматизм как отражение стадий развития Алтайской аккреционно-коллизионной системы (Восточный Казахстан) // *Геология и геофизика*. 2022. Т. 63. № 3. С. 330–355.
12. Борисенко А.С., Сотников В.И., Изох А.Э., Поляков Г.В., Оболенский А.А. Пермотриасовое оруденение Азии и его связь с проявлением плюмового магматизма // *Геология и геофизика*. 2006. Т. 47. № 1. С. 166–182.
13. Khromykh S.V., Kotler P.D., Izokh A.E., Kruk N.N. A review of Early Permian (300–270 Ma) magmatism in Eastern Kazakhstan and implications for plate

- tectonics and plume interplay // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2019a. V. 10. No. 1. P. 79–99.
14. Хромых С.В., Волосов А.С., Котлер П.Д., Семенова Д.В., Алексеев Д.В., Куликова А.В. Пояса базитовых даек Жарминской зоны Восточного Казахстана: геологическая позиция, состав, возраст и геодинамическое значение // *Вестник Восточно-Казахстанского Государственного Технического Университета им. Д. Серикбаева*. 2021. № 4. С. 15–32.
 15. Khromykh S.V., Vishnevskiy A.V., Kotler P.D., Antsiferova T.N., Semenova D.V., Kulikova A.V. The Kalba batholith dyke swarms (Eastern Kazakhstan): Mafic magmas effect on granite formation // *Lithos*. 2022. V. 426–427. Art. No. 106801.
 16. Reichow M.K., Pringle M.S., Al'Mukhamedov A.I., Allen M.B., Andreichev V.L., Buslov M.M., Davies C.E., Fedoseev G.S., Fitton J.G., Inger S., Medvedev A. Ya., Mitchell C., Puchkov V.N., Safonova I. Yu., Scott R.A., Saunders A.D. The timing and extent of the eruption of the Siberian Traps large igneous province: Implications for the end-Permian environmental crisis // *Earth and Planetary Science Letters*. 2009. V. 277. P. 9–20.
 17. Khromykh S.V., Kotler P.D., Kulikova A.V., Semenova D.V., Minnebaev K.R., Gareev B.I., Batalin G.A., Antsiferova T.N., Il'icheva E.A., Volosov A.S. Early Triassic monzonite–granite series in Eastern Kazakhstan as a reflection of Siberian Large Igneous Province activity // *Minerals*. 2022. V. 12. No. 9. Art. No. 1101.
 18. Gao P., Zheng Y.F., Zhao Z.F. Experimental melts from crustal rocks: A lithochemical constraint on granite petrogenesis // *Lithos*. 2016. V. 266–267. P. 133–157.
 19. Ebadi A., Johannes W. Beginning of melting and composition of first melts in the system Qz-Ab-Or-H₂O-CO₂ // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1991. V. 106. P. 286–295.
 20. Aranovich L.Y., Newton R.C., Manning C.E. Brine-assisted anatexis: Experimental melting in the system haplogranite–H₂O–NaCl–KCl at deep-crustal conditions // *Earth and Planetary Science Letters*. 2013. V. 374. P. 111–120.

LEUCOGRANITE INTRUSIONS IN EASTERN KAZAKHSTAN: AGE, COMPOSITION AND MECHANISMS OF FORMATION

S. V. Khromykh[#], P. D. Kotler, Corresponding Member of the RAS N. N. Kruk

Received November 29, 2023

After revision December 10, 2023

Accepted December 14, 2023

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

[#]*E-mail: serkhrom@igm.nsc.ru*

There are several large intrusions composed of 70–75% leucogranites within Eastern Kazakhstan. Information on the age of the intrusions is provided, the features of the composition of the rocks are considered, and conclusions about the petrogenetic mechanisms of forming of leucogranite magmas are drawn. Two stages of leucogranite intrusive magmatism have been established – in the Early Permian and in the Early Triassic. Their formation occurred in an intraplate geodynamic setting. Leucogranite magmas were formed as a result of partial melting of crustal substrates under the thermal influence of mafic magmas. Geochemical differences in leucogranites were due to different compositions of crustal substrates and different degrees of their melting.

Keywords: leucogranites, intraplate magmatism, Eastern Kazakhstan