

ГЕОЛОГИЯ
ГЕОЛОГИЯ
GEOLOGYDOI 10.51885/1561-4212_2021_4_15
MPHTI 38.37.19**С.В. Хромых^{1,2}, А.С. Волосов^{1,2}, П.Д. Котлер^{1,2,3}, Д.В. Семенова^{1,3},
Д.В. Алексеев¹, А.В. Куликова^{1,3}**¹Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской Академии наук, г. Новосибирск, Россия²Новосибирский государственный национальный исследовательский университет, г. Новосибирск, Россия³Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

E-mail: serkhrom@mail.ru*

E-mail: volosovalex@gmail.com

E-mail: pkotler@yandex.ru

E-mail: sediva@igm.nsc.ru

E-mail: A.Daniil.V@Yandex.ru

E-mail: ak_cool@mail.ru

**ПОЯСА БАЗИТОВЫХ ДАЕК ЖАРМИНСКОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА:
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ, СОСТАВ, ВОЗРАСТ И ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ****ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЖАРМА АЙМАҒЫНДАҒЫ БАЗИТ БЕЛДЕУЛЕРІ:
ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ОРНАЛАСУЫ, ҚҰРАМЫ, ЖАСЫ ЖӘНЕ ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ МАҢЫЗЫ****MAFIC DIKE BELTS IN ZHARMA ZONE OF EASTERN KAZAKHSTAN:
POSITION, AGE AND GEODYNAMIC IMPLICATION**

Аннотация. Представлены результаты изучения геологической позиции, состава и возраста поясов базитовых даек в пределах Жарминской зоны Восточного Казахстана. Традиционно эти пояса рассматривались как проявления мантийной активности во внутриконтинентальной (постороженной) обстановке, а их возраст принимался за ранне-среднетриасовый. Проведенный анализ взаимоотношений дайковых поясов с интрузивными гранитоидными комплексами показывает, что дайковые пояса занимают различную позицию и были сформированы в несколько этапов. Породы дайковых поясов представлены долеритами, лампрофирами, диоритами, гранодиоритами и гранитами. Разнообразие вещественного состава основных и средних пород является результатом эволюции субщелочных базальтовых магм при фракционировании клинопироксена. Дайковые породы кислого состава сформированы в результате плавления коровых субстратов при тепловом воздействии базальтовых магм. Родоначальные базальтовые магмы были сформированы при плавлении вещества верхней мантии (шпинелевых и гранатовых перидотитов) при степенях плавления от 3 до 12 %. Геохронологические исследования позволили установить два этапа формирования дайковых поясов – среднекарбонный (315±4 млн. лет) и раннепермский (292-287 млн. лет). Наличие даек триасового возраста в Жарминской зоне пока не подтверждено. Этапы дайкового магматизма хорошо согласуются с данными по главным стадиям эндогенной активности в Алтайской аккреционно-коллизивной системе, недавно установленным на основании исследований вулканизма, интрузивного базитового и гранитоидного магматизма.

Ключевые слова: магматизм, пояса базитовых даек, геохимия, геохронология, Алтайская

аккреционно-коллизонная система.

Аңдатпа. Шығыс Қазақстанның Жарма аймағы шегіндегі базиттік дайка белдеулерінің геологиялық ұстанымын, құрамы мен жасын зерттеу нәтижелері ұсынылған. Дәстүр бойынша, бұл белдеулер континентшілік (посторогенной) ортада мантия белсенділігінің көрінісі ретінде қарастырылды және олардың жасы ерте - орта триас ретінде қабылданды. Дайка белдеулерінің интрузивті гранитоидты кешендермен өзара байланысын талдау дайка белдеулерінің әртүрлі позицияны алатындығын және бірнеше сатыда қалыптасқанын көрсетеді. Дайк белдеулерінің жыныстары долериттер, лампрофирлер, диориттер, гранодиориттер және граниттермен ұсынылған. Негізгі және орта жыныстардың материалдық құрамының әртүрлілігі клинопироксенді фракциялау кезінде сілтілі базальт магмаларының эволюциясының нәтижесі болып табылады. Қышқыл құрамды дайкалық жыныстар базальт магмаларына жылу әсерінен сыыр субстраттарының еруі нәтижесінде пайда болады. Бастапқы базальт магмалары 3-тен 12% -ға дейін балку дәрежесінде жоғарғы мантия затының (шпинат және Анар перидотиттері) балқуы кезінде пайда болды. Геохронологиялық зерттеулер Дайк белдеулерін қалыптастырудың екі кезеңін белгілеуге мүмкіндік берді – орташа карбонды (315±4 млн.жыл) және ерте германдық (292-287 млн. жыл). Жарма аймағында триас жасының болуы әлі расталған жоқ. Дайка магматизмінің кезеңдері жақында вулканизмді, интрузивті базитті және гранитоидты магматизмді зерттеу негізінде құрылған Алтай аккредация-соқтығысу жүйесіндегі эндогендік белсенділіктің негізгі сатылары туралы мәліметтермен жақсы үйлеседі.

Түйін сөздер: магматизм, базиттік дайка белдеулері, геохимия, геохронология, Алтай аккредациялық-коллизиялық жүйесі

Abstract. The results of studying the geological position, composition and age of the belts of basic dikes within the Zharma zone of East Kazakhstan are presented. Traditionally these belts were considered as manifestations of mantle activity in the intracontinental (postorogenic) setting, and their age was taken as the Early-Middle Triassic. The analysis of the relationship between dike belts and intrusive granitoid complexes shows that dike belts occupy different positions and were formed in several stages. The rocks of the dike belts are represented by dolerites, lamprophyres, diorites, granodiorites, and granites. The diversity of the composition of basic and intermediate rocks is the result of the evolution of subalkaline basaltic magmas during the fractionation of clinopyroxene. Felsic dyke rocks are formed as a result of melting of crustal substrates under the thermal effect of basaltic magmas. The parental basaltic magmas were formed by partial melting of the material of the upper mantle (spinel and garnet peridotites) at degrees of melting from 3 to 12%. Geochronological studies allowed to determine two stages of the formation of dike belts - Middle Carboniferous (315 ± 4 Ma) and Early Permian (292-287 Ma). The presence of Triassic dikes in the Zharma zone has not yet been confirmed. The stages of dike magmatism are in good agreement with the data on the main stages of endogenous activity in the Altai accretion-collision system, recently established on the basis of studies of volcanism, intrusive basic and granitoid magmatism.

Keywords: magmatism, belts of basic dikes, geochemistry, geochronology, Altai accretion-collision system.

Введение. Дайковые рои или пояса представляют собой крупные скопления даек, обычно расположенных на относительно небольшой территории. Дайки являются главным, а в некоторых случаях единственным отражением процессов, которые происходили в глубинах земной коры и в верхней мантии. Одним из важных критериев является состав даек. В большинстве случаев это слабодифференцированные тела, отражающие фактический состав глубинных магматических очагов, откуда происходит внедрение даек. Как показывают исследования, проведенные в последние десятилетия, рои или пояса базитовых даек являются индикаторами крупных тектоно-магматических событий, происходящих в верхней мантии или на границе мантии или коры. В большинстве случаев они рассматриваются как результат растрескивания и растяжения литосферы кратонов, индикатор инициального этапа развития крупных изверженных провинций под влиянием мантийных плюмов [1-5 и др.].

Вместе с тем, пояса базитовых даек описаны и в пределах внутриконтинентальных складчатых поясов, их формирование отражает эндогенную активность верхней мантии

[6–9]. Пояса базитовых даек также развиты на территории Восточного Казахстана, входящей в состав Алтайской аккреционно-коллизийной системы в западной части Центрально-Азиатского складчатого пояса. Традиционно базитовые дайки на этой территории рассматривались как наиболее поздние магматические образования, связанные с внутриплитной активностью. Возраст практически всех поясов базитовых даек Восточного Казахстана принимался как ранне- или среднетриасовый [10–14]. Проведенные в последние годы исследования некоторых из этих дайковых поясов позволили определить иной возраст, что, в свою очередь, позволило связать проявления дайковых поясов с главными этапами магматизма в регионе. Первые результаты исследования геологической позиции, состава и возраста даек Жарминской зоны Восточного Казахстана изложены в настоящей статье.

Геологическая позиция дайковых поясов в Жарминской зоне. Территория Восточного Казахстана является частью Алтайской аккреционно-коллизийной системы, возникшей в позднем палеозое при взаимодействии Сибирского и Казахстанского палеоконтинентов и закрытии Обь-Зайсанского палеоокеанического бассейна [15–17]. Геологические исследования, проводившиеся на территории во второй половине XX века [10–14, 18 и другие], позволили установить главные особенности структуры, состава и возраста осадочных и вулканогенных формаций. На основе сопоставления всех характеристик на территории Восточного Казахстана были выделены 3 структурно-формационные зоны: Жарма-Саурская, Чарская или Западно-Калбинская и Калба-Нарымская. Сделанное недавно обобщение геологических и новых геохронологических данных [20] позволяет установить следующую последовательность геодинамических событий:

1) ранний-средний девон: субдукция океанической литосферы под Сибирскую и Казахстанскую континентальные окраины;

2) поздний девон - ранний карбон: сближение континентальных блоков и сокращение океанического бассейна;

3) конец раннего карбона (серпуховское время): прекращение морского осадконакопления и скупивание бассейна;

4) средний карбон: орогенез с тектоническим умножением осадочного разреза и последующим появлением континентальных моласс;

5) поздний карбон - ранняя пермь: раздвиговые движения и коллапс орогена.

История формирования Жарминской зоны началась в среднем-позднем девоне, когда в результате субдукции литосферы Обь-Зайсанского бассейна под Чингиз-Тарбагатайскую окраину Казахстанского континента формировались вулканогенные и терригенные осадочные толщи. В ходе аккреционно-коллизийных процессов они были деформированы, претерпели складчатость и были разделены многочисленными разломами на отдельные блоки. В конце раннего карбона, на ранней стадии орогении, в Жарминской зоне проявился интрузивный габбро-диорит-гранодиорит-плагиигранитный магматизм (саурская серия C_1s) [12, 20]. Наиболее масштабный магматизм проявился в ранней перми, когда в результате частичного плавления метаморфизованных субстратов сформировались крупные массивы гранодиоритов, гранитов, лейкогранитов; в подчиненном количестве был проявлен базитовый магматизм.

Пояса базитовых даек северо-восточного и субширотного простирания хорошо известны в Восточном Казахстане в пределах Калбинской зоны, где они объединены в миролюбовский дайковый комплекс [21], возраст которого традиционно принимался за мезозойский [13]. Наши недавние петрографические и геохронологические исследования [22] показали, что миролюбовские дайки имеют раннепермский возраст (279 млн. лет) и

связаны с базитовыми очагами, продуцировавшими частичное плавление субстратов и формирование интрузий Калбинского гранитного батолита [23, 24]. В этой связи целесообразно рассмотрение геологической позиции, возраста и состава базитовых даек в Жарминской зоне, также насыщенной гранитоидными интрузиями. В Жарминской зоне разными авторами описано 6 поясов даек среднего или основного состава (рис. 1), которые, аналогично дайкам миролюбовского комплекса, ранее считались мезозойскими [10, 11].

Бугазский дайковый пояс находится на юго-востоке рассматриваемой территории, содержит несколько десятков даек субмеридионального и северо-восточного простирания, мощностью до 3-5 м и протяженностью до 100 м. Базитовые породы даек представлены долеритами и лампрофирами. Дайки секут средне-позднепалеозойские осадочно-вулканогенные породы и раннекарбоновые диориты и гранитоиды саурской серии (C_{1s}), взаимоотношения с раннепермскими гранитоидами не установлены.

Жаксы-Койтасский дайковый пояс расположен в пределах одноименного массива гранитов и плагиогранитов. Возраст гранитов не определялся и по геологическим критериям отнесен к позднему карбону – ранней перми. В дайковом поясе насчитывается около 50 тел, мощностью до 2 м и протяженностью десятки-сотни метров. Базитовые породы даек представлены долеритами и лампрофирами.

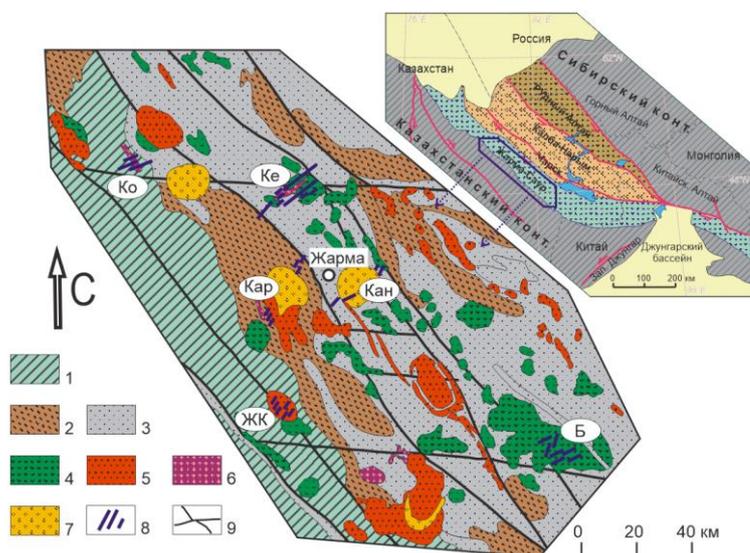


Рисунок 1. Схема расположения дайковых поясов в Жарминской зоне Восточного Казахстана: 1 – ранне-среднепалеозойские осадочные формации Чингиз-Тарбагатайской зоны; 2 – среднепалеозойские преимущественно вулканогенные формации; 3 – карбоновые осадочные и вулканогенные формации; 4 – саурская габбро-диорит-гранитоидная серия (C_{1s}); 5 – салдырминский и жарминский гранодиорит-гранитные комплексы (C_3-P_1); 6 – керегетас-эспинский комплекс щелочных гранитов (P_1); 7 – каракольтасский и кандыгатайский гранит-лейкогранитные комплексы (P_1); 8 – дайковые пояса: Б – Бугазский, ЖК – Жаксы-Койтасский, Ке – Керегетасский, Ко – Коргантасский, Кар – Каракольтасский, Кан – Кандыгатайский); 9 – разломы

Керегетасский дайковый пояс, исследование которого начато нами недавно [25], расположен на севере рассматриваемой территории и содержит наибольшее количество даек (около 250), наиболее крупные из которых имеют мощность до 10 м и протяженность до 1-1,5 км. Дайки секут осадочно-вулканогенные породы раннего карбона (C_{1v})

и ранне-среднекарбонные гранодиориты и диориты, отнесенные к саурской серии. Параллельно дайкам расположена относительно крупная Керегетасская интрузия щелочных (рибекитовых) гранит-лейкогранитов. Её форма также напоминает дайку, тело имеет мощность от 50 до 200 м и протягивается на 7-8 км. Несмотря на в целом параллельное расположение, некоторые базитовые дайки срезаются гранитами Керегетасской интрузии. В свою очередь, граниты интрузии секутся несколькими крупными дайками среднего или дацитового состава. Для Керегетасского пояса характерно большое разнообразие пород: оливиновые и безоливиновые долериты, диориты, лампрофиры, гранодиорит-порфиры, дацит-порфиры, гранит-порфиры.

В северо-западной части территории расположен Коргантасский пояс даек, секущих щелочные гранит-лейкограниты одноименного массива. Здесь, в отличие от Керегетасского пояса, дайки северо-восточного простирания безусловно секут щелочные гранитоиды массива, вытянутого в северо-западном направлении. В пределах массива насчитывается несколько десятков даек мощностью до 1 м и протяженностью от десятков до сотен метров.

Согласно ранее опубликованным данным [10, 12], вблизи крупных гранит-лейкогранитных массивов (Каракольтасского и Кандыгатайского) также отмечены рои и пояса даек, находящихся в разной геологической позиции: первые срезаются гранитными интрузиями, вторые – секут интрузивные граниты.

Материалы и методы исследования. В последние годы нами были изучены породы 4 дайковых поясов – Бугазского, Жаксы-Койтасского, Керегетасского, Коргантасского. Всего была сформирована коллекция из более чем 50 образцов. Пробоподготовка включала распиловку, дробление, истирание, выделение монофракций породообразующих и аксессуарных минералов, в том числе цирконов, изготовление препаратов для дальнейших прецизионных исследований: покрытых шлифов для петрографических и полированных шлифов для минералогических исследований, шашек из эпоксидной смолы с имплантированными зёрнами минералов (амфиболы, биотиты, аксессуарные минералы, цирконы). Петрографическое описание шлифов проводилось в ИГМ СО РАН с использованием петрографических микроскопов Carl Zeiss Axio Scope и Carl Zeiss Axio Lab. Определение вещественного состава пород на петрогенные компоненты и редкие элементы выполнено в Центре коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований (ЦКП МИИ) ИГМ СО РАН. Петрогенные компоненты определены методом рентгенофлуоресцентного анализа на спектрометре ARL-9900 XL (Thermo Element), редкоземельные и редкие элементы – методом ICP-MS на масс-спектрометре Finnigan Element (Thermo Fisher Scientific). Геохронологические исследования, направленные на установление абсолютного возраста пород, проводились с помощью Ag-Ag и U-Pb изотопных методов. Ag-Ag исследования проведены в ЦКП МИИ ИГМ СО РАН методом ступенчатого прогрева монофракции зёрен магматических амфиболов с измерениями на масс-спектрометре Noblegas VG-5400. U-Pb исследования проведены по единичным зёрнам магматических цирконов методом масс-спектрометрии в варианте лазерной абляции (LA-ICP-SF-MS) в ЦКП МИИ ИГМ СО РАН на масс-спектрометре высокого разрешения Finnigan Element XR по методике [26].

Результаты исследования вещественного состава пород дайковых поясов. Вещественный состав изучен для пород Бугазского, Жаксы-Койтасского и Керегетасского поясов. В рассмотрение включено 18 представительных анализов пород, приведенных в табл. 1. Изученные породы варьируют по составу от основных до кислых, основные породы (долериты) соответствуют монцогаббро и монцогаббродиоритам, средние (лампрофиры) –

диоритам и монцодиоритам, кислые (гранодиорит-порфиры и гранит-порфиры) – граносиенитам, умеренно-щелочным гранитам и гранитам (рис. 2, а). По соотношению кремнезема и калия изученные породы относятся к известково-щелочной и высоко-калиевой известково-щелочной сериям изверженных пород (рис. 2, б).

Таблица 1. Представительные анализы пород изученных дайковых поясов

№ обр	Бугазский дайковый пояс				
	1	2	3	4	5
	Х-1262	К-17-19/2	К-17-22	К-17-20/2	Х-1267
порода	долерит	долерит	лампрофир	диорит	диорит
SiO₂	51.59	54.45	58.41	56.12	63.78
TiO₂	1.69	1.66	0.72	1.07	0.56
Al₂O₃	16.69	16.21	17.31	16.09	16.57
Fe₂O₃	10.11	9.56	6.12	8.47	4.44
MnO	0.12	0.15	0.09	0.11	0.08
MgO	3.71	3.92	3.71	4.19	2.61
CaO	5.46	6.41	5.66	6.53	4.05
Na₂O	4.30	4.02	4.65	3.76	4.54
K₂O	2.02	2.00	1.56	1.65	1.92
P₂O₅	0.35	0.55	0.24	0.17	0.18
П.п.п.	3.19	0.59	0.86	1.15	0.99
Сумма	99.54	99.66	99.46	99.43	99.86
Rb	32	26	26	43	33
Sr	747	585	670	577	867
Y	19	39	13	12	11
Zr	166	333	144	75	122
Nb	12.7	15.0	4.8	6.4	4.9
Cs	0.7	0.7	0.4	1.2	0.5
Ba	514	651	510	480	807
La	23	38	20	13	18
Ce	47	78	40	26	37
Pr	6.0	10.1	5.2	3.2	4.3
Nd	24	41	21	13	17
Sm	4.8	8.4	4.6	3.0	3.1
Eu	1.4	2.2	1.2	0.9	0.8
Gd	5.1	8.0	3.6	3.0	2.7
Tb	0.7	1.3	0.5	0.4	0.4
Dy	3.8	7.1	2.5	2.5	1.9
Ho	0.6	1.4	0.5	0.4	0.4
Er	1.8	3.8	1.2	1.2	1.1
Tm	0.3	0.5	0.2	0.2	0.2
Yb	1.5	3.2	1.0	1.0	1.1
Lu	0.2	0.5	0.1	0.1	0.2
Hf	3.8	7.1	3.5	2.0	3.3
Ta	0.8	0.9	0.4	0.4	0.4
Th	3.9	3.5	3.3	2.6	3.6
U	1.3	1.0	1.8	1.0	1.2

Продолжение таблицы 1

Жаксы-Койтасский дайковый пояс

№ обр	6	7	8	9	10	11
	К-15-23/2	К-15-29/3	К-15-24	К-15-30	К-15-33/2	К-15-26
порода	долерит	долерит	долерит	лампрофир	лампрофир	диорит
SiO ₂	46.97	47.55	48.28	48.06	53.46	54.37
TiO ₂	1.34	1.71	1.55	1.98	1.24	1.95
Al ₂ O ₃	15.58	15.64	15.49	13.35	15.76	16.52
Fe ₂ O ₃	12.05	11.87	12.22	11.00	8.66	9.62
MnO	0.16	0.16	0.16	0.15	0.12	0.12
MgO	7.13	7.06	6.21	8.72	5.39	2.93
CaO	9.37	8.98	8.82	7.66	6.58	4.76
Na ₂ O	2.45	2.98	3.02	3.46	3.90	4.35
K ₂ O	1.04	1.12	0.97	1.95	1.91	2.57
P ₂ O ₅	0.22	0.36	0.27	0.71	0.46	0.64
П.п.п.	2.84	2.39	2.25	2.01	2.07	1.78
Сумма	99.53	100.06	99.55	99.32	99.76	99.77
Rb	34	19	17	33	28	51
Sr	432	655	503	1283	864	888
Y	18	21	20	19	16	22
Zr	89	134	113	163	174	259
Nb	7.0	13.9	8.9	37.8	17.5	31.6
Cs	2.0	0.2	0.6	0.8	0.3	0.5
Ba	186	379	300	980	813	902
La	10	20	14	50	38	45
Ce	22	42	30	97	71	86
Pr	3.0	5.5	4.0	11.5	8.3	10.2
Nd	13	23	17	44	31	40
Sm	3.3	5.1	4.1	7.3	5.3	7.1
Eu	1.2	1.6	1.3	2.1	1.4	2.1
Gd	3.6	5.0	4.2	6.7	4.8	6.3
Tb	0.6	0.7	0.6	0.8	0.6	0.8
Dy	3.5	4.4	3.9	3.9	3.0	4.4
Ho	0.7	0.8	0.8	0.7	0.6	0.8
Er	1.9	2.3	2.0	1.8	1.4	2.1
Tm	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3
Yb	1.7	1.8	1.8	1.3	1.2	1.8
Lu	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3
Hf	2.2	3.1	2.8	3.9	3.9	5.7
Ta	0.4	0.9	0.5	2.1	1.0	1.9
Th	0.9	1.7	1.7	4.3	4.9	7.4
U	0.3	0.6	0.6	1.8	1.0	2.2

Окончание таблицы 1

Керегетасский дайковый пояс

№ обр	w	13	14	15	16	17	18
	X-1381	X-1385-1	X-1386	X-1378	X-1379-1	X-1390	X-1380
порода	долерит	долерит	долерит	лампроф ир	лампроф ир	лампроф ир	гранит
SiO₂	44.92	45.66	51.05	53.76	57.82	57.97	66.01
TiO₂	2.85	2.85	2.18	0.9	0.68	0.91	0.5
Al₂O₃	15.48	15.83	15.9	16.52	16.15	16.07	16.5
Fe₂O₃	13.6	13.72	11.15	7.01	6.09	6.64	3.15
MnO	0.2	0.2	0.17	0.11	0.1	0.1	0.05
MgO	5.93	5.73	5.65	6.43	4.95	3.82	1.38
CaO	8.74	7.82	7.44	5.96	6.16	5.07	3.2
Na₂O	3.62	3.76	3.88	4.02	3.91	4.35	4.95
K₂O	0.86	1.11	1.04	1.9	2.03	2.68	2.66
P₂O₅	1.04	1.02	0.77	0.26	0.27	0.41	0.13
П.п.п.	2.14	2.03	0.46	2.75	1.53	0.94	0.75
Сумма	99.72	99.94	99.86	99.82	99.92	99.16	99.47
Rb	12	21	19.5	-	37	49	49
Sr	636	668	622	-	881	895	768
Y	49	48	39	-	13	16.9	6.8
Zr	325	347	273	-	147	234	147
Nb	22	23	17.4	-	7	11.1	5.1
Cs	1.32	0.73	1.46	-	0.49	1.01	0.96
Ba	459	547	511	-	891	807	846
La	40	41	32	-	31	44	19.4
Ce	90	93	72	-	62	89	37
Pr	12	12.6	9.6	-	7.8	10.4	4.2
Nd	51	50	40	-	30	39	15
Sm	10.7	11.5	8.3	-	5.5	6.8	2.8
Eu	3.3	3.1	2.7	-	1.53	1.84	0.83
Gd	10.4	9.8	7.8	-	4.2	5.3	1.99
Tb	1.5	1.43	1.23	-	0.54	0.62	0.24
Dy	8.6	8.8	6.8	-	2.5	3.3	1.4
Ho	1.76	1.75	1.36	-	0.45	0.65	0.26
Er	4.6	4.8	3.9	-	1.16	1.6	0.67
Tm	0.66	0.67	0.55	-	0.15	0.21	0.09
Yb	4.2	4.4	3.3	-	0.96	1.32	0.5
Lu	0.62	0.66	0.49	-	0.13	0.19	0.072
Hf	6	6.3	5.3	-	3.4	4.8	3.4
Ta	1.01	1.09	0.81	-	0.37	0.59	0.34
Th	0.72	0.9	2.5	-	5.7	8	6.9
U	0.31	0.44	1.01	-	1.8	2	2.2

Вариации содержания MgO (рис. 3) наиболее значительны для пород Керегетасского дайкового пояса (от 1 до 6 мас.%), породы Жаксы-Койтасского дайкового пояса в общем являются наиболее магнезиальными (от 4 до 9 мас.% MgO).

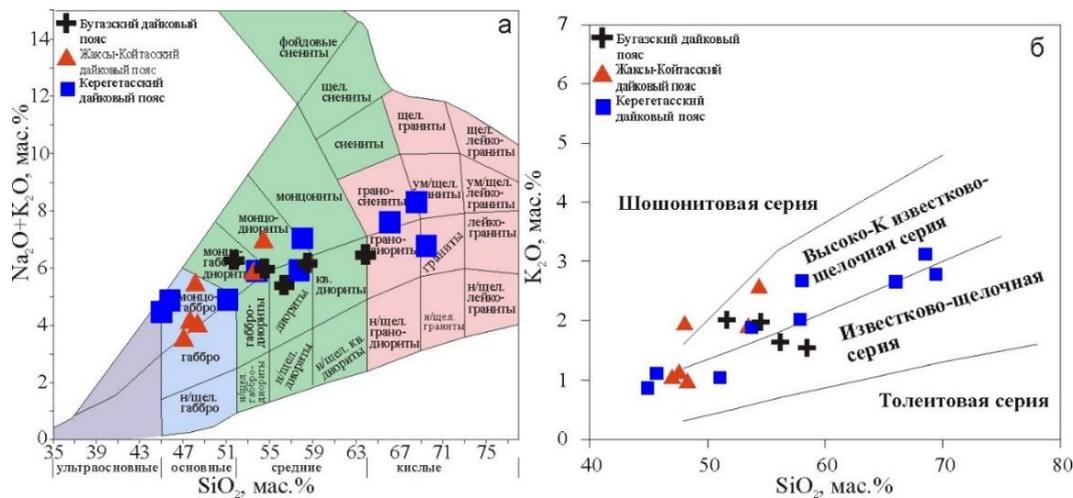


Рисунок 2. Состав пород дайковых поясов Жарминской зоны на классификационных диаграммах: а – "SiO₂ - сумма щелочей" [27], б – "SiO₂ - K₂O" [28].

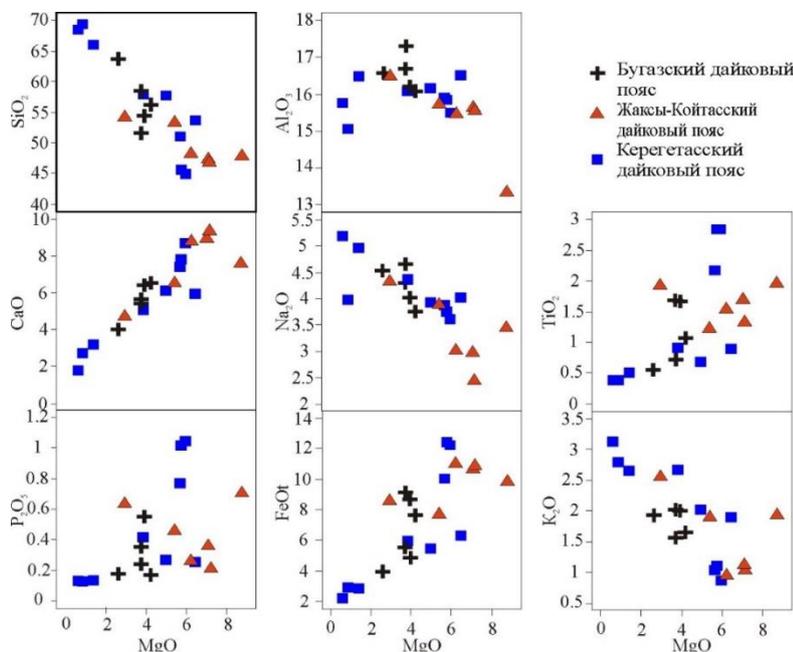


Рисунок 3. Состав пород дайковых поясов Жарминской зоны на вариационных диаграммах относительно MgO: -SiO₂, -Al₂O₃, -CaO, -Na₂O, -TiO₂, -P₂O₅, -FeO_{total}, -K₂O

Для основных и средних дайковых пород всех изученных поясов наблюдаются одинаковые тенденции поведения петрогенных компонентов с изменением MgO: ярко выражена положительная корреляция MgO с CaO, TiO₂, FeO_{total}; отрицательная корреляция с SiO₂, Na₂O, K₂O. Это свидетельствует, что в общем разнообразие составов пород дайковых поясов обусловлено процессами дифференциации первичных магм базальтового состава.

Выраженная положительная корреляция MgO и CaO и отсутствие корреляции MgO и Al₂O₃ свидетельствуют в пользу преимущественного фракционирования клинопироксена

при дифференциации первичных магм. Наиболее близки к составу первичных магм составы долеритов Жаксы-Койтасского и Керегетасского дайковых поясов. Исходя из их состава, можно предполагать, что первичные магмы были обогащены титаном и фосфором, а также обладали повышенным для основных пород содержанием калия (1 - 2 мас. % K_2O).

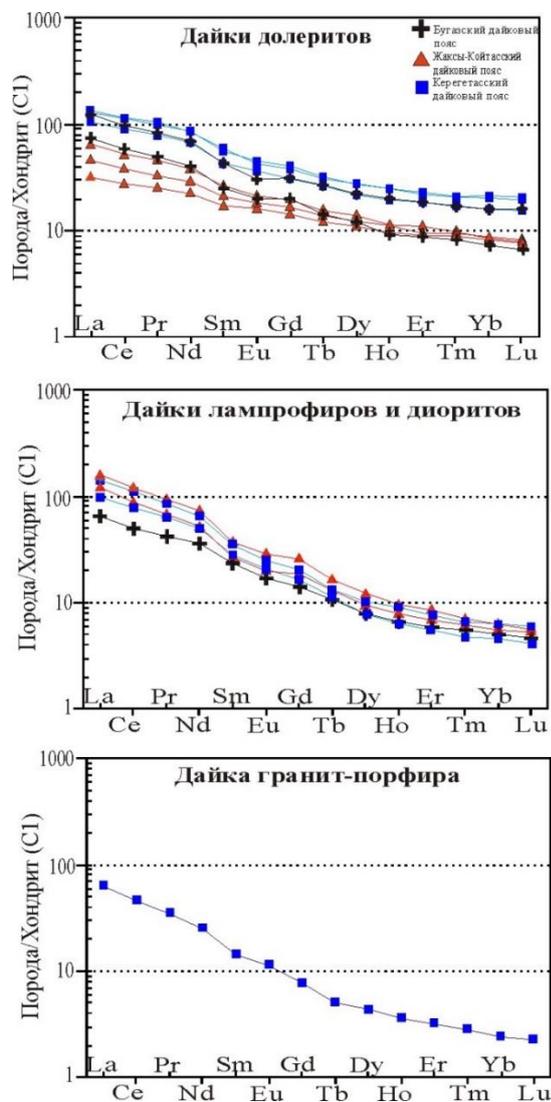


Рисунок 4. Спектры распределения редкоземельных элементов, нормированные по хондриту [29], для пород дайковых поясов Жарминской зоны

Стоит отметить, что кислые породы (содержание менее 2 мас. % MgO) Керегетасского пояса демонстрируют самостоятельные тренды поведения относительно MgO некоторых петрогенных элементов: Al_2O_3 , Na_2O , TiO_2 , FeO_{total} , P_2O_5 (см. рис. 3). Это свидетельствует в пользу их происхождения не за счет дифференциации базитовых магм, а в результате плавления коровых субстратов.

Поведение редкоземельных элементов (рис. 4) для пород всех изученных дайковых поясов в целом схожее. Для основных пород характерно относительно слабое обогащение легкими лантаноидами, для лампрофиров и диоритов – более выраженное. Необходимо

отметить, что среди основных пород долериты Керегетасского пояса характеризуются наибольшими содержаниями редкоземельных элементов. Европиевые аномалии во всех спектрах отсутствуют, что является дополнительным подтверждением вывода о слабом фракционировании плагиоклаза при дифференциации магмы.

Общие черты в поведении петрогенных и редких элементов позволяют предполагать, что мантийные источники для пород изученных дайковых поясов имели сходный состав. По геологическими данным, Алтайская аккреционно-коллизонная система представляет собой коллаж средне-позднепалеозойских вулканических дуг, фрагментов Обь-Зайсанского палеокеанического бассейна и фрагментов активных окраин Сибирского и Казахстанского континентов. В нижних частях литосферы этого коллажа могли сохраниться мантийные источники палеоокеанической или палеосубдукционной природы. Подстилает орогенное сооружение относительно слабо деплетированная литосферная мантия, до коллизии существовавшая под континентальными блоками. Таким образом, источниками для базитовых магм могли быть как относительно деплетированные (гарцбургиты), так и относительно обогащенные (лерцолиты) перидотиты.

Для оценки условий выплавления магм и обоснования возможных мантийных геохимических резервуаров было использовано сопоставление составов пород с результатами геохимического моделирования плавления различных мантийных субстратов по соотношению индикаторных элементов в двух системах: Nb-Yb [30] и Sm-Yb [31]. Результаты для двух систем в целом совпадают (рис. 5).

На рис. 5 кривые в системе "Nb – Nb/Yb" [30] показывают вычисленные соотношения при плавлении пород гранатового перидотита с содержанием граната 1%, 5%, 10 % (GtP1, GtP5, GtP10), шпинелевого лерцолита (SpLz) примитивной мантии (PM), умеренно деплетированного гарцбургита (Hz) деплетированной мантии (DM) и островодужного гарцбургита (ArcHz) поддуговой сильно деплетированной мантии (ArcM). Кривые в системе "Sm – Sm/Yb" [31] показывают вычисленные соотношения при плавлении пород деплетированной мантии (DM): гранатового лерцолита (GrtLz), шпинелевого лерцолита (SpLz) и их смеси в соотношении 1:1 (Grt-SpLz). Цифрами обозначена степень плавления.

Соотношения индикаторных элементов показывают относительно более обогащенный состав мантийного источника для пород Бугазского и Жаксы-Койтасского поясов. Вероятным механизмом образования этих магм могло быть частичное плавление гранатовых перидотитов с содержанием граната от 1 до 5 % при степени плавления в 5-10 %. Породы Керегетасского пояса по содержаниям индикаторных элементов демонстрируют происхождение из иного, относительно обедненного мантийного источника, который мог соответствовать шпинелевым лерцолитам (по соотношению Nb и Yb) или гранат-шпинелевым лерцолитам (по соотношению Sm и Yb); степень плавления мантийного источника при формировании базальтовых магм Керегетасского пояса могла составлять 3-5 %.

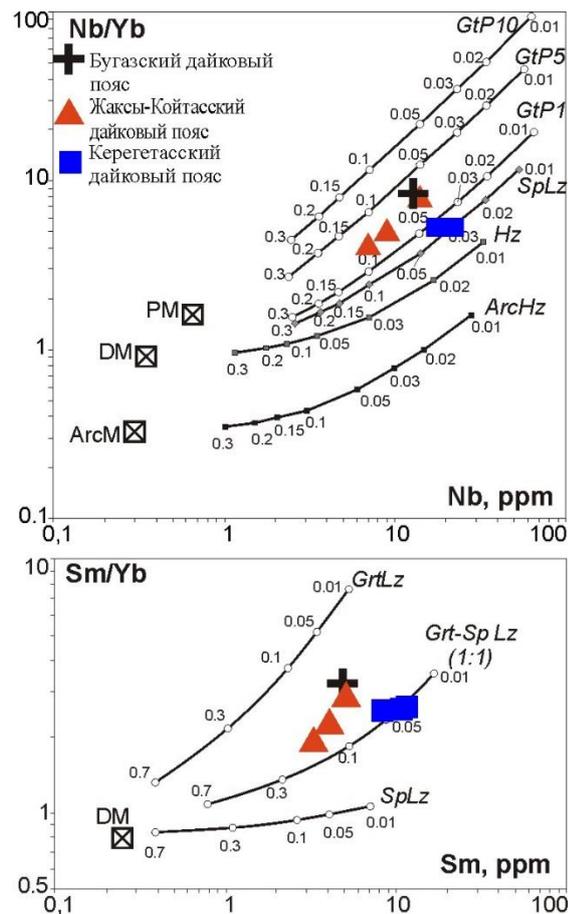


Рисунок 5. Составы базитовых пород (долериты) дайковых поясов Жарминской зоны в сопоставлении с результатами численного моделирования частичного плавления разных мантийных источников

Результаты геохронологических исследований. Для уточнения возраста пород дайковых поясов нами начаты геохронологические исследования. Пока мы располагаем данными о возрасте даек Бугазского и Керегетасского поясов.

В Бугазском поясе для датирования была выбрана крупная дайка лампрофиров, секущая раннекарбонные интрузивные граниты Бугазского массива [20]. Лампрофиры (спесартиты) – порфирированные породы с идиоморфными вкрапленниками зеленого амфибола, расположенными в матрице из мелких лейст плагиоклаза и мелких зерен амфибола второй генерации. Из пробы весом около 8 кг была выделена монофракция зерен цирконов, для исследований были выбраны идиоморфные зерна, не содержащие трещин или крупных включений. Внутреннее строение выбранных зерен циркона было изучено с помощью катодолюминесцентных изображений, полученных на сканирующем электронном микроскопе JSM 6510 LV (ЦКП МИИ ИГМ СО РАН). Большинство цирконов представлены слабоудлиненными зернами, габитусные формы – призма и бипирамиды. Внутреннее строение цирконов характеризуется концентрической зональностью. Морфология и внутреннее строение изученных цирконов не вызывает сомнений в их магматическом происхождении.

В монофракции обнаружено две группы цирконов различающейся морфологии. Цирконы одной из групп морфологически похожи на цирконы из вмещающих гранитов, и, как показали дальнейшие изотопные исследования, имеют с ними тот же возраст (326 млн. лет). Цирконы из другой группы, имеющие магматическую природу, характеризуются меньшими размерами и имеют другой изотопный возраст. Именно эта группа принята нами за магматические цирконы, кристаллизовавшиеся непосредственно в дайке. Интерпретация измеренных U-Pb изотопных отношений позволила установить значение возраста в 315 ± 4 млн. лет (рис. 6, а), что соответствует среднему карбону.

В Керегетасском поясе были продатированы дайка лампрофиров и наиболее позднее тело щелочных лейкогранитов (Керегетасская интрузия), секущее дайку. Для геохронологических исследований Ar-Ar методом была выделена монофракция (навеска в 80-100 мг.) магматического K-содержащего амфибола, по составу соответствующего паргаситу.

Были отобраны наиболее крупные зерна размерностью 300-500 мкм, не подверженные постмагматическим изменениям, контроль осуществлялся визуально под бинокулярным микроскопом. Результаты измерений приведены на рис. 6, б. В $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ спектре образца наблюдается устойчивое плато, отвечающее 55 % выделенного ^{39}Ar . Возраст плато составил $287,4 \pm 4$ млн. лет.

Из щелочных лейкогранитов Керегетасской интрузии была выделена монофракция зерен цирконов, для исследований были выбраны идиоморфные зерна, не содержащие трещин или крупных включений. Большинство цирконов представлены слабоудлиненными зернами, габитусные формы – призма и бипирамиды. Внутреннее строение цирконов характеризуется концентрической зональностью. Морфология и внутреннее строение изученных цирконов не вызывает сомнений в их магматическом происхождении. В монофракции обнаружено две группы цирконов различающейся морфологии. Цирконы одной из групп морфологически похожи на цирконы из вмещающих раннекарбонных гранитов, и, как показали дальнейшие изотопные исследования, имеют с ними тот же возраст (320-317 млн. лет). Цирконы из другой группы, имеющие магматическую природу, характеризуются меньшими размерами и имеют другой изотопный возраст. Именно эта группа принята нами за магматические цирконы, кристаллизовавшиеся непосредственно в щелочных лейкогранитах. Интерпретация измеренных U-Pb изотопных отношений позволила установить значение возраста в 292 ± 4 млн. лет (рис. 6, в).

Возраст базитовых даек и секущей их интрузии щелочных лейкогранитов в Керегетасском поясе совпадает в пределах ошибки, из чего можно сделать вывод, что формирование разнообразных по составу даек Керегетасского пояса происходило субсинхронно, в результате одного тектоно-магматического события, в интервале 292-287 млн. лет, что соответствует ранней перми.

Геохронологические исследования пород других дайковых поясов еще не завершены. Для Коргантасского пояса, на основании сходной геологической ситуации с Керегетасским поясом, можно также предполагать раннепермский возраст формирования базитовых даек и щелочных лейкогранитов.

Для пород Каракольтасского и Кандыгатайского массивов недавно по цирконам установлены раннепермские значения возраста: 280 ± 2 млн. лет и 277 ± 2 млн. лет соответственно [32]. Следовательно, описанные пояса базитовых даек, срезающиеся этими массивами, имеют возраст не моложе ранней перми. Возраст моложе раннепермского могут иметь только немногочисленные дайки, секущие граниты этих интрузий.

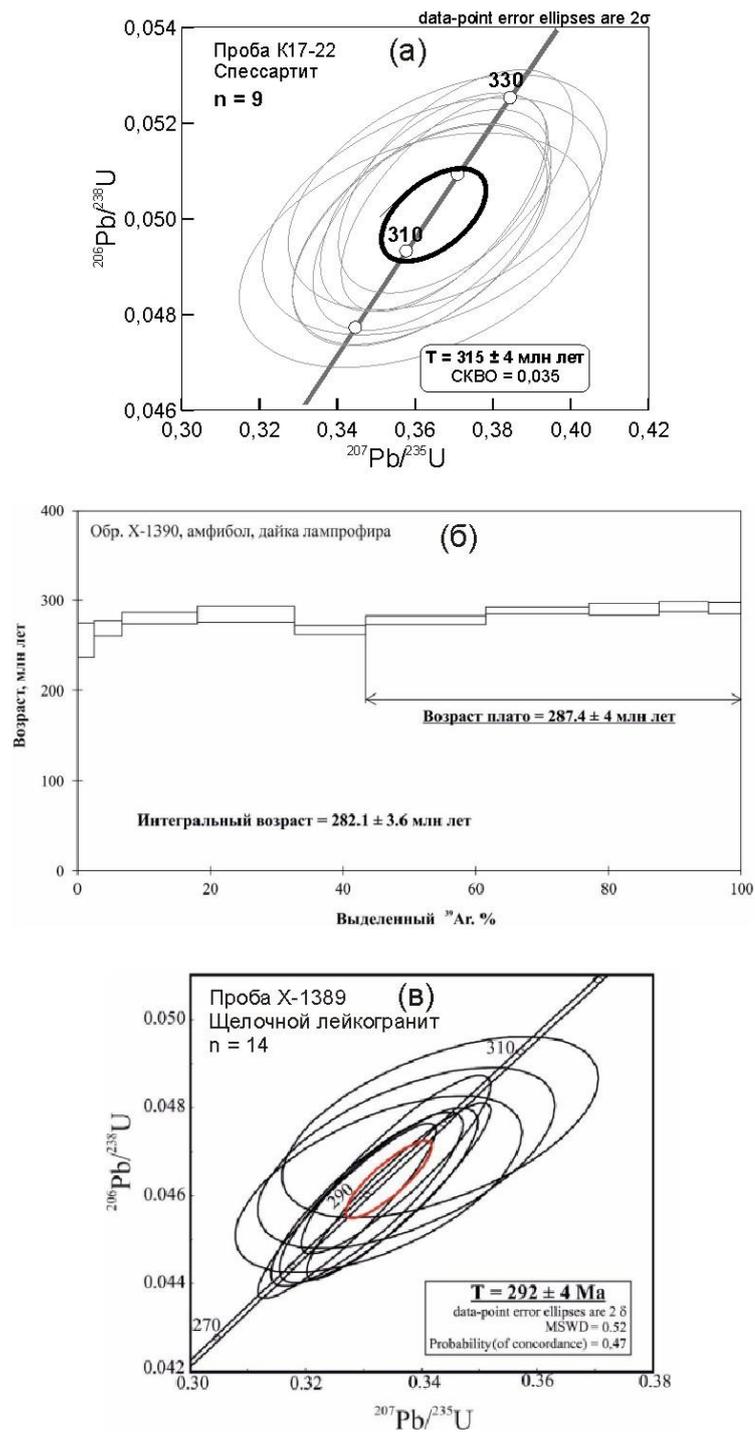


Рисунок 6. Результаты геохронологических исследований пород дайковых поясов Жарминской зоны: а – диаграмма U-Pb изотопных отношений с конкордией для цирконов из лампрофира дайки Бугазского пояса; б – $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возрастная спектр для амфибола из лампрофира дайки Керегетасского пояса; в – диаграмма U-Pb изотопных отношений с конкордией для цирконов из щелочного лейкогранита Керегетасской интрузии Керегетасского пояса

Заклучение. Обобщая приведенные выше данные, можно констатировать что до сих пор не получены сведения о мезозойском возрасте дайкового магматизма в Жарминской зоне, как и в Восточном Казахстане в целом. Пока можно выделить два этапа дайкового магматизма: 1) среднекарбонный – Бугазский и, возможно, Жаксы-Койтасский дайковые пояса, 2) раннепермский – Керегетасский, Коргантасский, возможно, Каракольтасский и Кандыгатайский дайковые пояса. Эти этапы магматизма хорошо согласуются с данными по главным стадиям эндогенной активности в Алтайской аккреционно-коллизонной системе, недавно установленным на основании исследований вулканизма, интрузивного базитового и гранитоидного магматизма [19].

Раннекаменноугольный (C_{1s}) магматизм раннеорогенного этапа является результатом отрыва субдуцирующей литосферы (слэба) под окраиной Казахстанского континента. Среднекаменноугольный (C_{2m}) магматизм позднеорогенного этапа является результатом активизации сдвигово-раздвиговых движений вдоль крупных разломов и отражает коллапс орогенного сооружения. Раннепермский (300-270 млн. лет) масштабный магматизм является результатом глобального термического возмущения в верхней мантии под воздействием Таримского мантийного плюма.

Благодарности. Авторы благодарят д.г.-м.н. Е.М. Сапаргалиева за содействие в исследованиях на территории Восточного Казахстана; к.г.-м.н. Е.И. Михеева и О.П. Герасимова за помощь в экспедиционных работах.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН при поддержке РФФИ (проект № 20-05-00346).

Список литературы

1. Ernst, R.E., Buchan, K.L., Giant Radiating Dyke Swarms: their use in identifying preMesozoic large igneous provinces and mantle plumes // Geophysical Monograph-American Geophysical Union. – 1997. – V. 100. – P. 297-334.
2. Ernst, R., Bleeker, W. Large igneous provinces (LIPs), giant dyke swarms, and mantle plumes: significance for breakup events within Canada and adjacent regions from 2.5 Ga to the Present // Canadian Journal of Earth Sciences. – 2010. – V. 47. – P. 695-739.
3. Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Иванов А.В., Эрнст Р., Мазукабзов А.М., Писаревский С.А., Ухова Н.А. Фанерозойский базитовый магматизм южного фланга Сибирского кратона и его геодинамическая интерпретация // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51. – №. 9. – С. 1222-1239.
4. Киселев А.И., Ярмолюк В.В., Томшин М.Д. Девонские рои долеритовых даек на северо-востоке Сибирского кратона и их связь с Вилъюйским плюмом // Доклады Академии наук. 2010. – Т. 434. – №. 4. – С. 502-508.
5. McMaster M., Almeida J., Heilbron M., Guedes E., Mane M.A., Linus J.H. Characterisation and tectonic implications of the Early Cretaceous, Skeleton Coast Dyke Swarm, NW Namibia // Journal of African Earth Sciences. 2019. – V. 150. – P. 319-336
6. Cai K., Sun M., Jahn B.-m., Xiao W., Long X., Chen H., Xia X., Chen M., Wang X. Petrogenesis of the Permian Intermediate-Mafic Dikes in the Chinese Altai, Northwest China: Implication for a Postaccretion Extensional Scenario // Journal of Geology. 2016. v. 124. p. 481–500
7. Hürlimann N., Müntener O., Ulmer P., Nandedkar R., Chiaradia M., Ovtcharova M. Primary Magmas in Continental Arcs and their Differentiated Products: Petrology of a Post-plutonic Dyke Suite in the Tertiary Adamello Batholith (Alps) // Journal of Petrology. 2016. V. 57. Iss. 3. P. 495–534.
8. Gao J.H., Zeng L.S., Guo C.L., Li Q.L., Wang Y.Y. Late Cretaceous tectonics and magmatism in Gangdese batholith, southern Tibet: a record from the mafic-dioritic dike swarms within the Baidui complex, Lhasa // Acta Petrologica Sinica. 2017. – V. 33. – P. 2412-2436.
9. Sun Q., Zhao X., Xue Ch., Seltmann R., Symons D.T.A. Late Carboniferous - Early Permian mafic dikes and granitoids in the heart of the Western Tianshan Orogen, NW China: Implications for a tectonic transition from a syn- to post-collisional setting // Lithos. 2021. v. 400-401, Art. No. 106417.

10. Щерба Г.Н., Дьячков Б.А., Нахтигаль Г.П. Жарма-Саурский геотектоноген. – Алма-Ата: Наука. 1976. – 198 с.
11. 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.
12. Ермолов П.В., Изох Э.П., Пономарёва А.П., Тянь В.Д. Габбро-гранитные серии западной части Зайсанской складчатой системы. – Новосибирск: Наука, 1977. – 246 с.
13. Лопатников В.В., Изох Э.П., Ермолов П.В., Пономарёва А.П., Степанов А.С. Магматизм и рудоносность Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана. – М.: Наука, 1982. – 248 с.
14. Дьячков Б.А., Майорова Н.П., Щерба Г.Н., Абдрахманов К.А. Гранитоидные и рудные формации Калба-Нарымского пояса (Рудный Алтай). – Алматы: Гылым, 1994. – 208 с.
15. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.Ш. Тектоника литосферных плит территории СССР. – М.: Недра. 1990. Т1. – 327 с. Т2. – 334 с.
16. 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.
17. Владимиров А.Г., Крук Н.Н., Хромых С.В., Полянский О.П., Червов В.В., Владимиров В.Г., Травин А.В., Бабин Г.А., Куйбида М.Л., Хомяков В.Д. Пермский магматизм и деформации литосферы Алтая как следствие термических процессов в земной коре и мантии // Геология и геофизика. 2008. т. 49. № 7. – С. 621-636.
18. Ермолов П.В., Владимиров А.Г., Изох А.Э., Полянский Н.В., Кузубный В.С., Ревякин П.С., Борцов В.Д. Орогенный магматизм офиолитовых поясов (на примере Восточного Казахстана). – Новосибирск: Наука, 1983. – 191 с.
19. Хромых С.В. Базитовый и сопряженный гранитоидный магматизм как отражение стадий развития Алтайской аккреционно-коллизионной системы, Восточный Казахстан // Геология и геофизика. 2021. т. 62. DOI: 10.15372/GiG2020197.
20. Хромых С.В., Котлер П.Д., Семенова Д.В. Геохимия, возраст и геодинамические обстановки формирования Саурской габбро-гранитоидной интрузивной серии (Восточный Казахстан) // Геосферные исследования. 2019. – № 2. – С. 6-26.
21. Богданова К.Г. Петрология дайковых меланократовых пород Восточной Калбы. // Материалы ВСЕГЕИ. вып. 33. 1960.
22. Хромых С.В., Котлер П.Д., Семенова Д.В., Вишневский А.В., Куликова А.В. Пост-батолитовые дайковые пояса Калбинского хребта, Восточный Казахстан: состав, возраст и геодинамическое значение // Петрология и геодинамика геологических процессов. Материалы XIII Всероссийского петрографического совещания (г. Иркутск, 6–13 сентября 2021 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2021. Т. 3. – С. 188-191.
23. Хромых С.В., Цыганков А.А., Котлер П.Д., Навозов О.В., Крук Н.Н., Владимиров А.Г., Травин А.В., Юдин Д.С., Бурмакина Г.Н., Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Анциферова Т.Н., Караваева Г.С. Позднепалеозойский гранитоидный магматизм Восточного Казахстана и Западного Забайкалья: тестирование плюмовой модели // Геология и геофизика. 2016. – Т. 57. № 5. – С. 983-1004.
24. Kotler P.D., Khromykh S.V., Kruk N.N., Sun M., Li P., Khubanov V.B., Semenova D.V., Vladimirov A.G., Granitoids of the Kalba batholith, Eastern Kazakhstan: U–Pb zircon age, petrogenesis and tectonic implications // Lithos. 2021. v. 388-389. Art. No. 106056.
25. Волосов А.С., Хромых С.В. Геологическая позиция, вещественный состав и возраст дайковых пород Керегетасского пояса, Восточный Казахстан // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXIX Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 11–16 мая 2021 г.). Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2021. – С. 65-67.
26. Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Цыганков А.А. U–Pb изотопное датирование цирконов из Pz3-Mz магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставление с SHRIMP данными // Геология и геофизика. 2016. – Т. 57. – № 1. – С. 241-258.
27. Шарпенко Л.Н., Костин А.Е., Кухаренко Е.А. TAS-диаграмма сумма щелочей – кремнезем для химической классификации и диагностики плутонических пород // Региональная геология и металлогения, 2013. – № 56. – С. 40-50.
28. Pecerillo 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. – № 1. – P. 63-81.
29. Boynton W.V. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. (Ed.), Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier, Amsterdam. 1984. – P. 63-114.

30. Yang G., Li Y., Safonova I., Yi S., Tong L., Seltmann R. Early Carboniferous volcanic rocks of West Junggar in the western Central Asian Orogenic Belt: implications for a supra-subduction system // *International Geology Review*. 2014. v. 56. p. 823-844.
31. Aldanmaz E., Pearce J.A., Thirlwall M.F., Mitchell J.G. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2000. v. 102. Iss. 1-2. p. 67-95.
32. Котлер П.Д., Хромых С.В., Герасимов О.П. Новые данные по пермскому магматизму Жарма-Саурской зоны (Восточный Казахстан) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Материалы совещания. Вып. 18. Иркутск: Институт земной коры СО РАН. 2020. – С. 171-172.

References

1. Ernst R.E., Buchan K.L., Giant Radiating Dyke Swarms: their use in identifying preMesozoic large igneous provinces and mantle plumes. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*. 1997. – V. 100. – P. 297-334.
2. Ernst R., Bleeker W. Large igneous provinces (LIPs), giant dyke swarms, and mantle plumes: significance for breakup events within Canada and adjacent regions from 2.5 Ga to the Present. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2010. V. 47. P. 695-739.
3. Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Ivanov A.V., Ernst R., Mazukabzov A.M., Pisarevsky S.A., Ukhova N.A. Phanerozoic mafic magmatism in the southern Siberian craton: geodynamic implications. *Russian Geology and Geophysics*. 2010. v. 51. p. 952-964.
4. Kiselev A.I., Yarmolyuk V.V., Tomshin M.D. Devonian swarms of dolerite dykes in the northeastern Siberian craton and their relation to the Vilyui plume. *Doklady Earth Sciences*. 2010. – V. 434. – P. 1291-1297.
5. McMaster M., Almeida J., Heilbron M., Guedes E., Mane M.A., Linus J.H. Characterisation and tectonic implications of the Early Cretaceous, Skeleton Coast Dyke Swarm, NW Namibia. *Journal of African Earth Sciences*. 2019. – V. 150. – P. 319-336
6. Cai K., Sun M., Jahn B-m., Xiao W., Long X., Chen H., Xia X., Chen M., Wang X. Petrogenesis of the Permian Intermediate-Mafic Dikes in the Chinese Altai, Northwest China: Implication for a Postaccretion Extensional Scenario. *Journal of Geology*. 2016. v. 124. – P. 481-500
7. Hürlimann N., Müntener O., Ulmer P., Nandedkar R., Chiaradia M., Ovtcharova M. Primary Magmas in Continental Arcs and their Differentiated Products: Petrology of a Post-plutonic Dyke Suite in the Tertiary Adamello Batholith (Alps). *Journal of Petrology*. 2016. V. 57. Iss. 3. – P. 495-534.
8. Gao J.H., Zeng L.S., Guo C.L., Li Q.L., Wang Y.Y. Late Cretaceous tectonics and magmatism in Gangdese batholith, southern Tibet: a record from the mafic-dioritic dike swarms within the Baidui complex, Lhasa. *Acta Petrologica Sinica*. 2017. v. 33. P. 2412–2436.
9. Sun Q., Zhao X., Xue Ch., Seltmann R., Symons D.T.A. Late Carboniferous - Early Permian mafic dikes and granitoids in the heart of the Western Tianshan Orogen, NW China: Implications for a tectonic transition from a syn- to post-collisional setting. *Lithos*. 2021. v. 400-401. Art. No. 106417.
10. Scherba G.N., Dyachkov B.A., Nakhtigal G.P. Zharna-Saur geotectonogen. Alma-Ata. Nauka. 1976. 198 p. (in Russian).
11. Scherba G.N., Dyachkov B.A., Stuchevsky N.I., Nakhtigal G.P., Antonenko A.N., Lyubetsky V.N. The Great Altai (Geology and Metallogeny). Volume 1. Geological Structure. Almaty. Gylym. – 1998. – 304 p. (in Russian).
12. Ermolov P.V., Izokh E.P., Ponomareva A.P., Tyan V.D. Gabbro-granite series of western part of Zaisan folded system. Novosibirsk. Nauka. 1977, 246 p. (in Russian).
13. Lopatnikov V.V., Izokh E.P., Ermolov P.V., Ponomareva A.P., Stepanov A.S. Magmatism and Ore Potential of Kalba-Narym zone, Eastern Kazakhstan. Moscow. Nauka. 1982, 248 p. (in Russian).
14. Dyachkov B.A., Mayorova N.P., Scherba G.N., Abdрахманов K.A. Granitoid and ore formations of Kalba-Narym belt (Rudny Altai). Almaty. Gylym. 1994. 208 p. (in Russian).
15. Zonenshain L.P., Kuzmin M.I., Natapov L.M. Geology of the USSR: A Plate Tectonic Synthesis. Geodynamic Series. vol. 21. American Geophysical Union, Washington D.C. 1991. – 242 p.
16. Vladimirov A.G., Kruk N.N., Rudnev S.N., Khromykh S.V. Geodynamics and granitoid magmatism of collision orogens. *Russ. Geol. Geophys.* 2003. – V. 44. – P. 1321-1338.
17. Vladimirov A.G., Kruk N.N., Khromykh S.V., Polyansky O.P., Chervov V.V., Vladimirov V.G., Travin A.V., Babin G.A., Kuibida M.L., Khomyakov V.D. Permian magmatism and lithospheric deformation

- in the Altai caused by crustal and mantle thermal processes. *Russ Geol Geophys*, 2008. – V. 49. – P. 468-479.
18. Ermolov P.V., Vladimirov A.G., Izokh A.E., Polyansky N.V., Kuzebny V.S., Revyakin P.S., Bortsov V.D. Orogenic magmatism in ophiolitic belts (example from Eastern Kazakhstan). *Novosibirsk. Nauka*. 1983, 191 p. (in Russian).
 19. Khromykh S.V. Basic and associated granitoid magmatism and geodynamic evolution of the Altai accretion-collision system. *Russian Geology and Geophysics*. 2021. V. 62. DOI: 10.15372/GiG2020197.
 20. Khromykh S.V., Kotler P.D., Semenova D.V. Geochemistry, age and geodynamic settings for Saur gabbro-granite intrusive series, Eastern Kazakhstan. *Geosfernye Issledovaniya-Geosphere Research*. 2019. Iss. 2. P. 6-26.
 21. Bogdanova K.G. Petrology of melanocratic dike rocks in Eastern Kalba. *VESEGEI Transactions*. Iss. 33. 1960 (in Russian).
 22. Khromykh S.V., Kotler P.D., Semenova D.V., Vishnevskii A.V., Kulikova A.V. Post-batholithic dike belts of Kalba ridge: composition, age and geodynamic implications. Petrology and geodynamic of geological processes. *Transactions of XIII All-Russian Petrographical Meeting*. Irkutsk, Russia. 2021. V. 3. P. 188-191 (in Russian).
 23. Khromykh S.V., Tsygankov A.A., Kotler P.D., Navozov O.V., Kruk N.N., Vladimirov A.G., Travin A.V., Yudin D.S., Burmakina G.N., Khubanov V.B., Buyantuev M.D., Antsiferova T.N., Karavaeva G.S. Late Paleozoic granitoid magmatism of Eastern Kazakhstan and Western Transbaikalia: plume model test. *Russ. Geol.Geophys.* 2016. V. 57. P. 773–789.
 24. Kotler P.D., Khromykh S.V., Kruk N.N., Sun M., Li P., Khubanov V.B., Semenova D.V., Vladimirov A.G., Granitoids of the Kalba batholith, Eastern Kazakhstan: U–Pb zircon age, petrogenesis and tectonic implications // *Lithos*. 2021. v. 388-389. Art. No. 106056.
 25. Volosov A.S., Khromykh S.V. Geological position, composition and age of dike rocks in Keregetas belt, Eastern Kazakhstan. *Lithosphere structure and Geodynamics. Transactions of XXIX All-Russian Conference of young scientists*. Irkutsk, Russia. 2021. P. 65-67 (in Russian).
 26. Khubanov V.B., Buyantuev M.D., Tsygankov A.A. U–Pb dating of zircons from PZ3–MZ igneous complexes of Transbaikalia by sector-field mass spectrometry with laser sampling: technique and comparison with SHRIMP. *Russ. Geol. Geophys.* 2016. V. 57. P. 190–205.
 27. Sharpenok L.N., Kostin A.E., Kukharensko E.A. TAS-diagram for chemical classification and diagnostics of plutonic rocks. *Regional geology and metallogeny*. 2013. V. 56. P. 40-50 (in Russian)
 28. 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. – № 1. – P. 63-81.
 29. Boynton W.V. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. (Ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam. 1984. p. 63–114.
 30. Yang G., Li Y., Safonova I., Yi S., Tong L., Seltmann R. Early Carboniferous volcanic rocks of West Junggar in the western Central Asian Orogenic Belt: implications for a supra-subduction system // *International Geology Review*. 2014. v. 56. p. 823–844.
 31. Aldanmaz E., Pearce J.A., Thirlwall M.F., Mitchell J.G. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2000. v. 102. Iss. 1-2. p. 67-95.
 32. Kotler P.D., Khromykh S.V., Gerasimov O.P. New data on Permian magmatism of Zharma-Saur zone (Eastern Kazakhstan). Geodynamic evolution of lithosphere of Central Asian Mobile Belt (from ocean to continent). *Transactions of 18th All-Russian Workshop*. Irkutsk, Russia. 2020. P.171-172 (in Russian).
-
-