РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 550.42:551.14+550.93(51)
https://doi.org/10.26516/2541-9641.2025.4.7
EDN: UDFFUP

Новейший геодинамический этап Азии в контексте эволюции Земли

И.С. Чувашова[1], С.В. Рассказов[1,2]

[1]*Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия*
[2]*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

Аннотация. Подобно неотектоническому этапу, новейший геодинамический этап не имеет в эволюции Земли строго определенного рубежа. Спрединговые корообразующие процессы современных океанов, продолжающиеся до настоящего времени, были запущены около 280 млн лет назад, но реализовался спрединг в современных океанах Земли в разное время. В геологической эволюции Азии к настоящему времени возникла особая направленность процессов в связи со значительным смещением с севера на юг Сибирского палеоконтинента в интервале 200–150 млн лет назад и отделением от Гондваны Индийского палеоконтинента около 130–100 млн лет назад со смещением с юга на север и столкновением с Азией в интервале 66–32 млн лет назад. Направленная к настоящему времени эволюция Азии начинается в первой половине позднего мела, около 90 млн лет назад. В качестве показателя этой точки отсчета служит смена частых среднемеловых шошонитовых и трахибазальтовых вулканических извержений Центральной Монголии редкими щелочнобазальтовыми извержениями продолжительных (20-летних) интервалов. Частота импульсов вулканических извержений здесь с течением времени последовательно возрастает и укладывается в квазипериоды 10, 7.5 и 2.5 млн лет. В четвертичное время вулканизм переходит в квазипериодичность 0.3–0.7 млн лет. В контексте эволюции Земли начало новейшего геодинамического этапа в Азии сопровождается: 1) окончанием суперхроны Джалал около 83 млн лет назад, 2) нарушением великих циклов эксцентриситета 2.4 млн лет в орбитальном вращении Земли 87–85 млн лет назад, 3) извержением наиболее высокотемпературных (ультрамагнезиальных) коматиитовых магм о-ва Горгона около 90 млн лет назад, 4) ограничением распространения щелочных комплексов с карбонатитами в Северной Азии срединой мела при увеличении роли карбонатитов в Индии в ходе пост-среднемеловой эволюции Земли и 5) сменой главных трендов морских записей $^{87}Sr/^{86}Sr$ около 90 млн лет назад. Эволюция Земли к настоящему времени привела к образованию наиболее глубокой аномалии геоида Индийского океана в пространственном сочетании с низкой Евразиатской аномалией. Первая объясняется позднефанерозойским нарушением поднимающимися плюмами границы нижней и верхней мантии, тогда как вторая связывается с позднефанерозойским образованием в Центральной Азии Саяно-Монгольского низкоскоростного домена на глубинах верхней мантии 50–200 км.

Ключевые слова: *новейшая геодинамика, современная геодинамика, вулканизм, поздний мел, кайнозой, аномалии геоида, Пангея, Монголия*

Статья получена: 04.12.2025; исправлена: 08.12.2025; принята: 12.12.2025.
ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Чувашова И.С., Рассказов С.В. Новейший геодинамический этап Азии в контексте эволюции Земли // Геология и окружающая среда. 2025. Т. 5, № 4. С. 7–49. DOI 10.26516/2541-9641.2025.4.7. EDN: UDFFUP
Article received: 04.12.2025; corrected: 08.12.2025; accepted: 12.12.2025.
FOR CITATION: Chuvashova I.S., Rasskazov S.V. The latest geodynamic stage of Asia in the context of Earth's evolution // Geology and Environment. 2025. Vol. 5, No. 4. P. 7–49. DOI 10.26516/2541-9641.2025.4.7. EDN: UDFFUP

The Latest Geodynamic Stage of Asia in the Context of Earth's Evolution

I.S. Chuvashova[1], S.V. Rasskazov[1,2]

[1]*Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia*
[2]*Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

Abstract. Like a Neotectonic stage, a Latest geodynamic stage has no single boundary in Earth's evolution. Crust-forming spreading processes, which continue to the present, were initiated approximately 280 million years ago. Spreading occurred in the Earth's modern oceans at various times. A specific direction of processes has emerged in the geological evolution of Asia, due to the significant north-south shift of the Siberian paleocontinent between 200 and 150 million years ago and the separation of the Indian paleocontinent from Gondwana between 130 and 100 million years ago, followed by a south-north shift and collision with Asia between 66 and 32 million years ago. The directional evolution of Asia began in the Late Cretaceous, approximately 90 million years ago. This starting point is marked by a change from frequent mid-Cretaceous shoshonitic and trachybasaltic volcanic eruptions in Central Mongolia to rare alkaline basaltic ones over long (20-year) intervals serves. The frequency of volcanic pulses here consistently increases over time and falls within quasi-periods of 10, 7.5, and 2.5 million years. In the Quaternary, volcanism develops to a quasi-periodicity of 0.3–0.7 million years. In the context of Earth's evolution, the onset of the most recent geodynamic stage in Asia is accompanied by: 1) the end of the Jalal superchron ca. 83 Ma, 2) the disruption of the 2.4 Ma great eccentricity cycles in the Earth's orbital rotation 87–85 Ma, 3) the eruption of the highest-temperature (ultra-Mg) komatiite magmas of Gorgona Island ca. 90 Ma, 4) the restriction of the distribution of alkaline complexes with carbonatites in Northern Asia by the mid-Cretaceous with an increasing role of carbonatites in India during the post-Middle Cretaceous evolution of the Earth, and 5) a change in the main trends of marine $^{87}Sr/^{86}Sr$ records ca. 90 Ma. The evolution of the Earth to date has led to the formation of the deepest Indian Ocean geoid anomaly in spatial combination with the low Eurasian one. The former is explained by the late Phanerozoic disruption of the lower and upper mantle boundary by ascending plumes, while the latter is clearly associated in Central Asia with the late Phanerozoic formation of the Sayan-Mongolian low-velocity domain at the upper mantle depths of 50–200 km.

Keywords: *latest geodynamic stage, present-day geodynamics, volcanism, Late Cretaceous, Cenozoic, geoid anomalies, Pangea, Mongolia.*

Введение

Геоморфологический подход к анализу тектонических движений земной поверхности способствовал выделению в геотектонике особой дисциплины «неотектоника». Предметом исследований этой дисциплины явились новейшие тектонические события, в результате которых созданы основные черты современного рельефа (Николаев, 1949). Возраст новейших тектонических движений принимается геоморфологами как олигоценовый или неоген-четвертичный. Но фактически в разных районах мира рельеф формировался с юры, начала кайнозоя, олигоцена, миоцена или квартера. Неоднозначность временного аспекта в понятии «неотектоника» отражена в картах новейшей тектоники Сибири и Дальнего Востока со скользящим возрастом активизации тектонических движений (Шерман и др., 1984; Логачев и др., 1981). Асинхронность позднекайнозойских тектонических движений на о-вах Сахалин и Хоккайдо выражена в скользящей во времени седиментации (Мельников, 1987, 1988).

В каких временных рамках может использоваться понятие «новейший этап» в исследованиях геодинамики Азии: с обозначением разных временных интервалов территорий, подобно определению «новейший этап» в геотектонике, или на основе единственного временного рубежа?

По аналогии с понятием «новейший этап» в геотектонике, авторами настоящей работы было предложено использовать понятие «новейший этап» (the latest stage) в геодинамике Азии последних 90 млн лет. При этом подчёркивалось глобальное значение этой точки

отсчета (Рассказов, Чувашова, 2013а,б, 2014а; Чувашова, Рассказов, 2014). Позже появились работы в которых существенное изменение эволюции Земли рассматривалось в рамках: 1) временного интервала распада Вегенеровской Пангеи после ее сборки 240 млн лет назад (Le Pichon et al., 2019, 2021) и 2) в рамках временного интервала, запущенного в Азии около 107 млн лет назад (Sheldrick et al., 2018, 2020; Papadopoulou et al., 2024).

Существуют еще два обстоятельства, которые нужно принять во внимание, учитывая существующие подходы в практике геологических исследований: 1) принципы организации хроностратиграфической шкалы и 2) переход от киммерийского цикла тектогенеза к альпийскому.

Хроностратиграфическая шкала была создана на палеонтологической основе. Новейшее развитие органического мира имело место в кайнозойскую эру, охватывающую последние 65.5 млн лет. Крупная катастрофа, отразившаяся в массовом вымирании биоты на Земле, произошла в результате импактного события с образованием кратера Чиксулуб. Слой импактных пород, однако, находится в средней части толщи траппов крупной магматической провинции Декан (Courtillot et al., 1988). Извержения траппов этой провинции также могли оказать влияние на массовое вымирание органического мира Земли. Чтобы принять мезозойско-кайнозойский биотический кризис в качестве рубежа новейшего геодинамического этапа, нужно иметь доказательства того, что в мезозое геологические процессы и действующие силы на Земле действительно кардинально отличались от геологических процессов и действующих сил кайнозоя.

С позиций классической континентальной геологии, последний этап эволюции Земли представлен альпийским циклом тектогенеза. Пульсационные события этого цикла, сменяющие события киммерийского цикла, составляли временной интервал последних 115 млн лет (Милановский, 1995). Переход от одного тектонического цикла к другому не совпадает ни с предложенными определениями точек отсчета новейшего геодинамического этапа, ни со сменой мезозоя кайнозоем, ни со сборкой и распадом Вегенеровской Пангеи.

Какое же из имеющихся определений последних событий на Земле, связанных с ее современным состоянием, может использоваться для изучения континентальной геодинамической специфики Азии?

Различия в определениях современной, новейшей и древней геодинамики

Геодинамика изучает силы и процессы Земли. В качестве важнейшего принципа выделения новейшего этапа в геодинамике должно быть выделение совокупности процессов, обусловленных единым действием сил, которые объединены в единую однонаправленную эволюционную последовательность.

Современная геодинамика отличается от новейшей предметом исследований. Современная ограничивается (по аналогии с современной тектоникой) изучением процессов (вулканических, сейсмических, гидрогеологических и др.) и сил (эндогенных), их вызывающих в последние 3 (по инструментальным наблюдениям) или 10–15 тыс. лет (по наблюдениям за вулканической активностью) (Simkin et al., 1989; Рассказов, Чувашова, 2013б, 2018). Новейшая геодинамика в общем оперирует более продолжительным интервалом взаимосвязанных процессов и усилий, приложенных к литосфере и подлитосферной мантии, которые привели к современному состоянию Земли. В определении понятия новейшей геодинамики ключевое значение имеет направленность процессов, завершающихся их современным состоянием. Изучение новейших геодинамических процессов должно вести к пониманию их современной результирующей эволюции. Соответственно, древняя геодинамика (палеогеодинамика) рассматривает процессы и силы, не имеющие непосредственных связей с современным состоянием глубинных процессов и предшествующие новейшим процессам и силам.

В определении точки отсчета новейшего геодинамического этапа 90 млн лет назад (Рассказов, Чувашова, 2013а) обозначаются палеогеодинамические условия в Азии, существовавшие в середине мела и раньше, которые кардинально различаются с

условиями, установившимися в позднем мелу и кайнозое, после 90 млн лет назад. В несколько удревненном значении времени глобального перехода от альпийского цикла к кимерийскому (Милановский, 1995) и варианте точки отсчета однотипного внутриплитного вулканизма Центральной Монголии (Sheldrick et al., 2018, 2020; Papadopoulou et al., 2024) предполагается, что кардинальная геодинамическая смена в целом на континентах и в частности в Азии произошла, соответственно, 115 или 107 млн лет назад. В определении глобальной точки отсчета сборки и распада Вегенеровской Пангеи (Le Pichon et al., 2019, 2021) обозначается кардинальная смена геодинамических условий на всей Земле около 240 млн лет назад.

Смена магматизма Азии в течение всего фанерозоя и в позднем фанерозое

Общая смена магматизма

В фанерозое Азии распространены мантийные и коровые магматические породы. Террейны континентальной литосферы разделены шовными зонами сомкнувшихся берегов Урало-Монгольского, Туркестанского, Солонкерского палеоокеанов и Монголо-Охотского залива Тихого океана. Стагнирующие палеослэбовые фрагменты выявлены сейсмической томографией на разных мантийных уровнях в виде высокоскоростных неоднородностей.

В составе позднемезозойских магматических комплексов областей Западного Забайкалья, Хэнтэй-Даурской и Центрально-Монгольской, распространены редкометалльные Li–F гранитоиды и их эффузивные аналоги (онгониты) (Коваленко и др., 1999). В позднем мелу и кайнозое такие породы отсутствуют. В составе пород позднего палеозоя и мезозоя Западного Забайкалья находятся аглаитовые эффузивные и интрузивные породы среднего и кислого состава с щелочными пироксенами и амфиболами (Таусон и др., 1984). В позднем мелу и кайнозое такие породы также отсутствуют.

На протяжении большей части фанерозоя роль коровых источников в геологических структурах Центральной Азии была существенной и резко снижалась в позднем мелу. Начиная с этого времени, мантийные выплавки стали преобладать, а коровые проявлялись эпизодически (Rasskazov, Taniguchi, 2006; Рассказов и др., 2007б, 2012б; Рассказов, Чувашова, 2012а). По единообразному мантийному характеру источников, магматизм последних 90 млн лет на территории Центральной Азии рассматривается в качестве процесса новейшего геодинамического этапа и различается с предшествующим ранне-среднефанерозойским магматизмом с коромантийным характером источников.

Эволюция вулканизма в позднем мелу и кайнозое на территории Монголии

В середине мела вулканизм широко проявился во фронте области конвергенции плит Тихого океана и Азии и во фронте области конвергенции Индии и Азии. Под действием сил Индо-Азиатской конвергенции в Центральной Азии образовалась Центрально-Азиатская орогенная система, а под действием сил Японско-Байкальского геодинамического коридора – Байкальская рифтовая система. Вулканизм последних 90 млн лет Центральной Азии развивался неравномерно в пространстве и времени. Вулканические извержения мигрировали на десятки, а иногда на первые сотни километров.

Ключевое значение для обоснования точки отсчета новейшего геодинамического этапа Азии имеет эволюция вулканизма в Центральной Монголии. На этой территории сначала, 91–31 млн лет назад, была активной Гобийская система вулканических полей, а затем, в интервале последних 32 млн лет, – Хангайская (рис. 1). Особенности пространственно-временной эволюции вулканизма Центральной Монголии отражены в вариациях концентрации калия и K/Na отношения (Рассказов и др., 2012б).

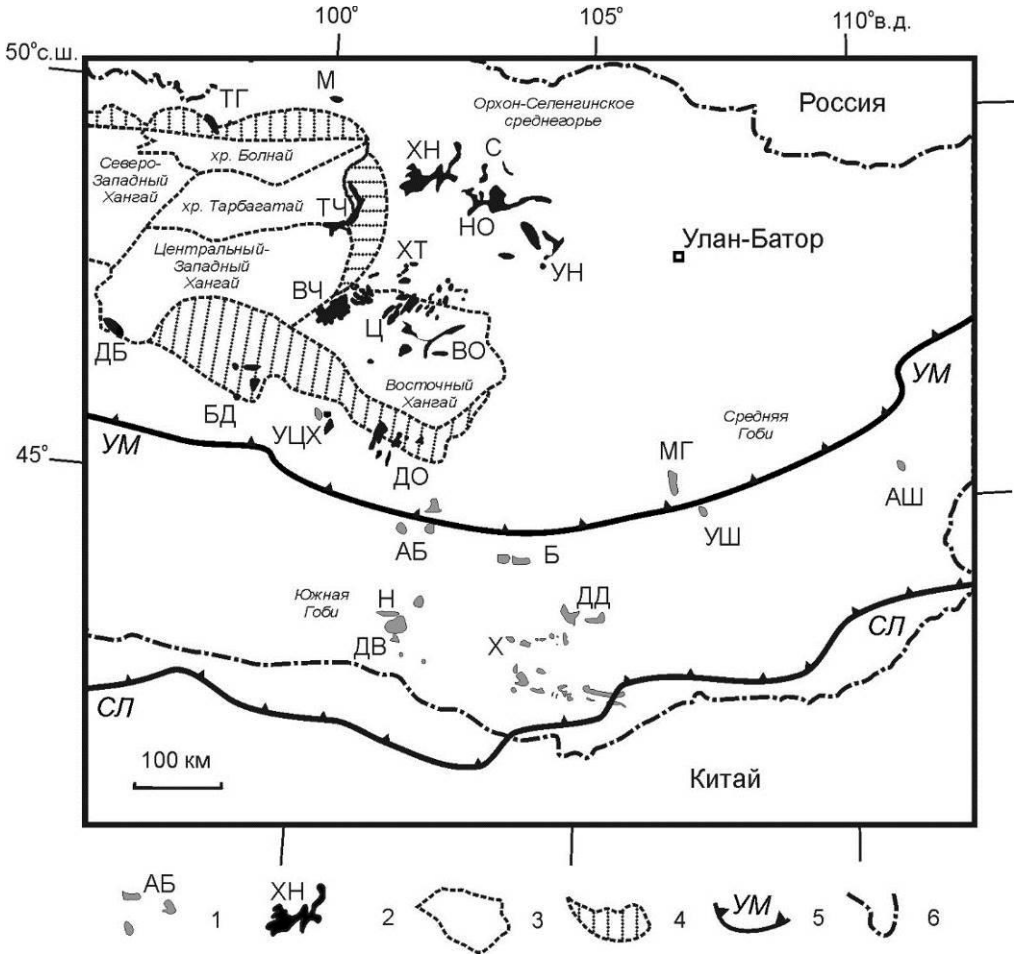

Рис. 1. Основное возрастное подразделение вулканических полей позднего мела и кайнозоя в Центральной Монголии на Гобийскую и Хангайскую системы. 1–2 – вулканические поля двух возрастных интервалов: 1 – 91–31 млн лет Гобийской системы (УЦХ – Улан-Цаб-Худукское, Б – Булганское, ДД – Даланзадгадское, МГ – Мандалгобийское, УШ – Ундэршилское, АШ – Алтан-Ширэ, АБ – Арц-Богдское, Н – Ноёнское, Х – Хурмэнское, ДВ – Дурвэлджин); 2 – <32 млн лет Хангайской системы (ДО – Долино-Озерское, БД – Байдарикское, ДБ – Дзабханское, М – Мурэнское, Ц – Цэцэрлэгское, ХТ – Хойт-Тамирское, ВО – Верхнеорхонское, ВЧ – Верхнечулутынское, ТЧ – Тарят-Чулутынское, УН – Угей-Нурское, НО – Нижнеорхонское, ХН – Хануйское, С – Селенгинское, ТГ – Тэсийн-Гольское); 3 – Хангайский ороген; 4 – пограничная зона орогена (Корина, 1982); 5 – шов закрывшегося палеоокеана (УМ – Урало-Монгольского, СЛ – Солонкерского, шов монголо-охотской части Тихого палеоокеана огибает с юга и севера Хангайский ороген, на рис. не показан); 6 – государственная граница Монголии.

Fig. 1. Main age subdivision of the Late Cretaceous and Cenozoic volcanic fields in Central Mongolia into the Gobi and Hangay systems. *1–2* – volcanic fields of two age intervals: *1* – 91–31 Ma of the Gobi system (УЦХ – Ulan-Tsab-Khuduk, Б – Bulgan, ДД – Dalanzadgad, МГ – Mandalgobi, УШ – Undershil, АШ – Altan-Shire, АБ – Arts-Bogd, Н – Noyon, Х – Khurmen, ДВ – Durveldzhin); *2* – <32 Ma of the Hangay system (ДО – Valley of Lakes, БД – Baydarik, ДБ – Dzabkhan, М – Muren, Ц – Tsetserleg, ХТ – Khoyt-Tamir, ВО – Verkhniy Orkhon, ВЧ – Verkhniy Chulutyn, ТЧ – Taryat-Chulutyn, УН – Ugey-Nur, НО – Nizhniy Orkhon, КН – Khanui, С – Selenga, ТГ – Tesiin-Gol); *3* – Hangay orogen; *4* – border of the orogen after (Korina, 1982); *5* – suture of the closed paleoocean (УМ – Ural-Mongolian, СЛ – Solonker, the suture of the Mongolian-Okhotsk part of the Pacific paleoocean goes around the Hangay orogen from the south and north, not shown in the figure); 6 – state border of Mongolia.

В Юго-Восточной Монголии разновозрастные генерации мезозойских и кайнозойских вулканических пород отчетливо разделяются между собой вдоль субширотного профиля Мандалгоби – Дариганга. Юрско-меловые поля находятся вдоль всей

протяженности профиля, мел-палеогеновые (Мандалгобийское и Ундэршилское) поля Средней Гоби – на его западном окончании, а позднекайнозойское Даригангское поле – на его восточном окончании. Вулканизм Средней Гоби играл особую роль. Его первичное вступление 88–82 млн лет назад соответствовало началу новейшего геодинамического этапа, а заключительный (палеоцен-среднеэоценовый) эпизод 60–42 млн лет назад совпадал со структурной перестройкой, проявившейся в глобальном контексте и в региональном контексте Азии. Мел-палеогеновый вулканизм начала новейшего геодинамического этапа представлен породами базальтового и щелочно-базальтового состава. Юрско-меловой вулканизм отличается от мел-палеогенового вулканизма наличием в продуктах извержений пород дифференцированного (трахитового) состава, а последующий позднекайнозойский вулканизм территории – наличием щелочнобазальтоидных продуктов извержений (с глубинными включениями), в целом не характерных для мела и палеогена (Чувашова и др., 2024).

Роль структурной среднеэоценовой перестройки глубинных процессов проявляется в пространственно-временном распределении вулканизма позднего мела и кайнозоя Южной и Средней Гоби. Мел-палеоцен-среднеэоценовые вулканические поля Даланзадгад-Улан-Цаб-Худукской, Средне-Гобийской зон и поля Алтан-Ширэ расширяются на западе, в Южной Гоби, и выклиниваются на востоке, в Средней Гоби, не достигая, однако, позднекайнозойского Даригангского вулканического поля. Вдоль профиля Мандалгоби – Дариганга наблюдается контрастное соотношение между Южно-Средне-Гобийским мел-палеоцен-среднеэоценовым вулканическим клином и позднекайнозойским Даригангским вулканическим полем, тогда как среднеэоценовая-олигоценовая зона вулканических полей Южной Гоби переходит к пост-олигоценовым вулканическим полям Хангайской орогенной провинции постепенно (рис. 2).

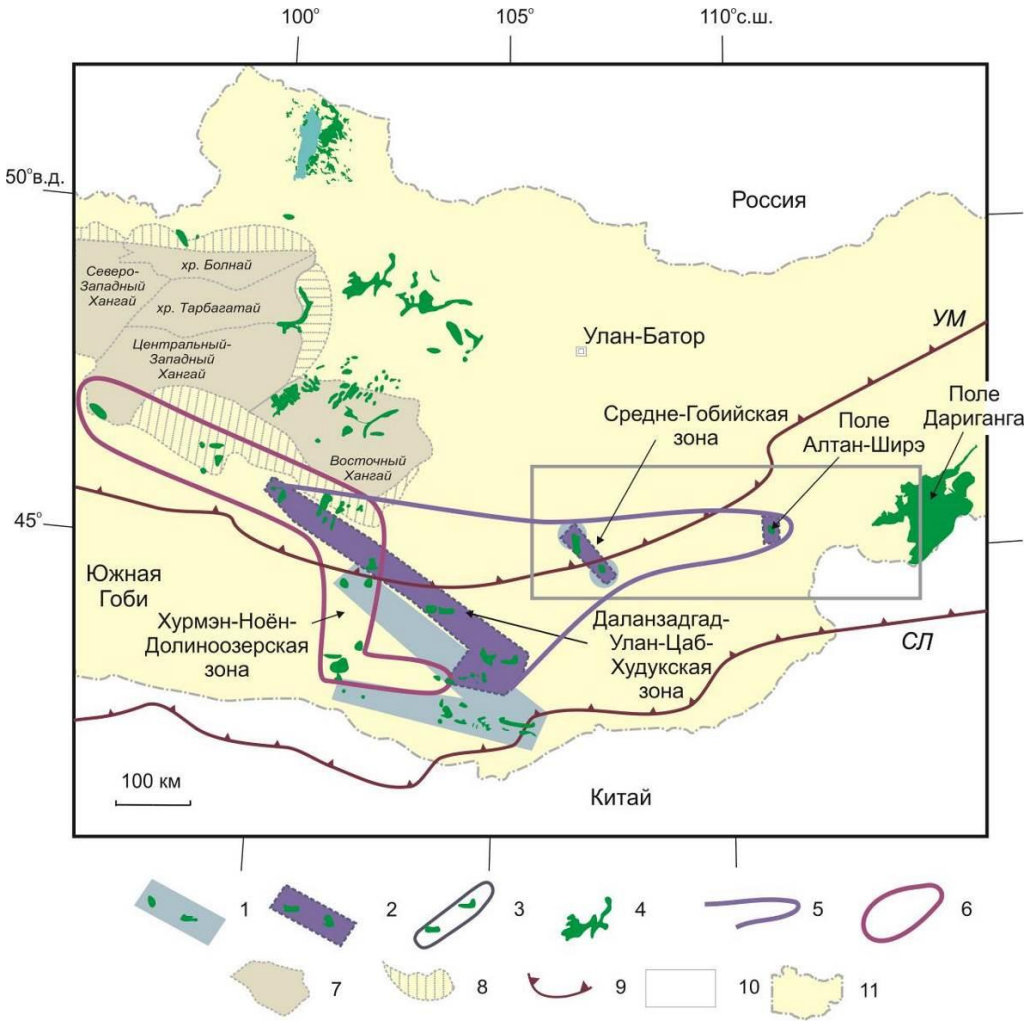

Рис. 2. Линейные зоны вулканизма Центральной и Юго-Восточной Монголии (Чувашова и др., 2024). *1–3* – линейная зона: *1* – позднемеловая, *2* – палеоцен-среднеэоценовая, *3* – среднеэоценовая-олигоценовая; *4* – пост-олигоценовые вулканические поля; *5–6* – структурная перестройка расплавных аномалий от выклинивающихся к востоку мел-палеоцен-среднеэоценовых вулканических полей Даланзадгад-Улан-Цаб-Худукской, Средне-Гобийской зон и поля Алтан-Ширэ (*5*) к распространению вулканических полей от среднеэоценовой-олигоценовой зоны к пост-олигоценовым вулканическим полям Хангайской провинции (*6*); *7* – позднекайнозойский Хангайский ороген; *8* – его пограничные структуры (Корина, 1982); *9* – шов закрывшегося палеоокеана (УМ – Урало-Монгольского, СЛ – Солонкерского); *10* – профиль Мандалгоби – Дариганга; 11 – границы Монголии.

Fig. 2. Linear zones of volcanism in Central and Southeastern Mongolia (Chuvashova et al., 2024). *1–3* – linear zone: *1* – Late Cretaceous, *2* – Paleocene-Middle Eocene, *3* – Middle Eocene-Oligocene; *4* – post-Oligocene volcanic fields; *5–6* – structural reorganization of melting anomalies from the Cretaceous-Paleocene-Middle Eocene volcanic fields of the Dalanzadgad-Ulaan-Tsab-Khuduk, Middle Gobi zones and the Altan-Shire field wedging out to the east (*5*) to the spread of volcanic fields from the Middle Eocene-Oligocene zone to the post-Oligocene volcanic fields of the Hangay province (*6*); *7* – Late Cenozoic Hangay orogen; 8 – its boundary zones (Korina, 1982); *9* – suture of the closed paleoocean (УМ – Ural-Mongolian, СЛ – Solonker); *10* – Mandalgobi – Dariganga profile; *11* – borders of Mongolia.

Исходя из закономерностей пространственно-временного распределения лав калиевой и калинатровой серий обосновано влияние межплитных процессов на кайнозойскую активизацию Внутренней Азии. Показано, что вулканизм Центральной Монголии развивался согласованно с вулканизмом Тибета во временных интервалах дрейфа Кохистанской энсиматической дуги и ее столкновения с континентальной окраиной Азии (91–71 млн лет назад), Индо-Азиатской коллизии (66–32 млн лет назад) и постколлизионной конвергенции (41–21, 20–10, 10–2 и <2 млн лет назад) (Чувашова и др., 2010; Рассказов и др., 2012б).

Рубеж около 90 млн лет назад обозначен сменой высококалиевых лав умереннокалиевыми в районе хр. Арц-Богд Южной Гоби. Высокое содержание калия (K = 3.35 мас. %) и высокое калинатровое отношение (K2O/Na2O = 1.2) определено в латите, излившемся около 94 млн лет назад. Для латитов и ассоциирующихся с ними шошонитов и трахибазальтов характерно низкое содержание MgO (1.4–3.1 мас. %), высокое отношение Ba/Sr (1.2–1.4), повышенное начальное изотопное отношение стронция (до 0.70533) и низкое – неодима (до 0.512250) (Enkhtuvshin, 1995). Такие характеристики отражают происхождение расплавов из коровых источников. В позднемеловых лавах Южной Гоби, извергнутых во временном интервале 91–71 млн лет назад, определена умеренная концентрация калия (K = 1.4–1.7 мас. %) при повышенном содержании MgO (до 8.5 мас. %), сравнительно низкое отношение Ba/Sr (0.52–0.73), широкие диапазоны начальных отношений изотопов Sr и Nd – от обогащённых (относительно примитивный мантии) до обеднённых (Ярмолюк и др., 2007). Эти характеристики сопоставляются с характеристиками кайнозойских лав, производных преимущественно мантийных источников (Рассказов и др., 2012б).

По вариациям концентрации калия в позднемеловых и кайнозойских лавах различаются шесть временных интервалов вулканизма: 1) позднемеловой (91–71 млн лет назад), 2) палеоцен-среднеэоценовый (66–43 млн лет назад), 3) среднеэоценовый-раннеолигоценовый (41–31 млн лет назад), 4) олигоцен-раннемиоценовый (32–21 млн лет назад), 5) миоценовый (20–11 млн лет назад) и 6) позднемиоценовый-четвертичный (<10 млн лет назад). Первые три интервала рассматриваются как события Гобийской вулканической системы, последние три – Хангайской. В Центральной Монголии около 90 млн лет назад высококалиевые латиты из коровых источников сменялись умереннокалиевыми

базальтами – из мантийных. Предполагалось, что базальтовый вулканизм временного интервала 91–31 млн лет назад был производным активизации палеослэбовых фрагментов Гобийской системы закрывшихся Солонкерского и/или Урало-Монгольского палеоокеанов, а затем, начиная с 32 млн лет назад, был связан с развитием Хангайского орогена. Чередование умеренно- и высоко-калиевых лавовых извержений первого временного интервала новейшего геодинамического этапа укладывалось в длиннопериодные отрезки 20 млн лет (рис. 3). Вулканическая деятельность была сопряжена с внутриплитной аккомодацией процессов Индо-Азиатской конвергенции (Rasskazov et al., 2010; Рассказов, Чувашова, 2013a,b; Чувашова и др., 2024).

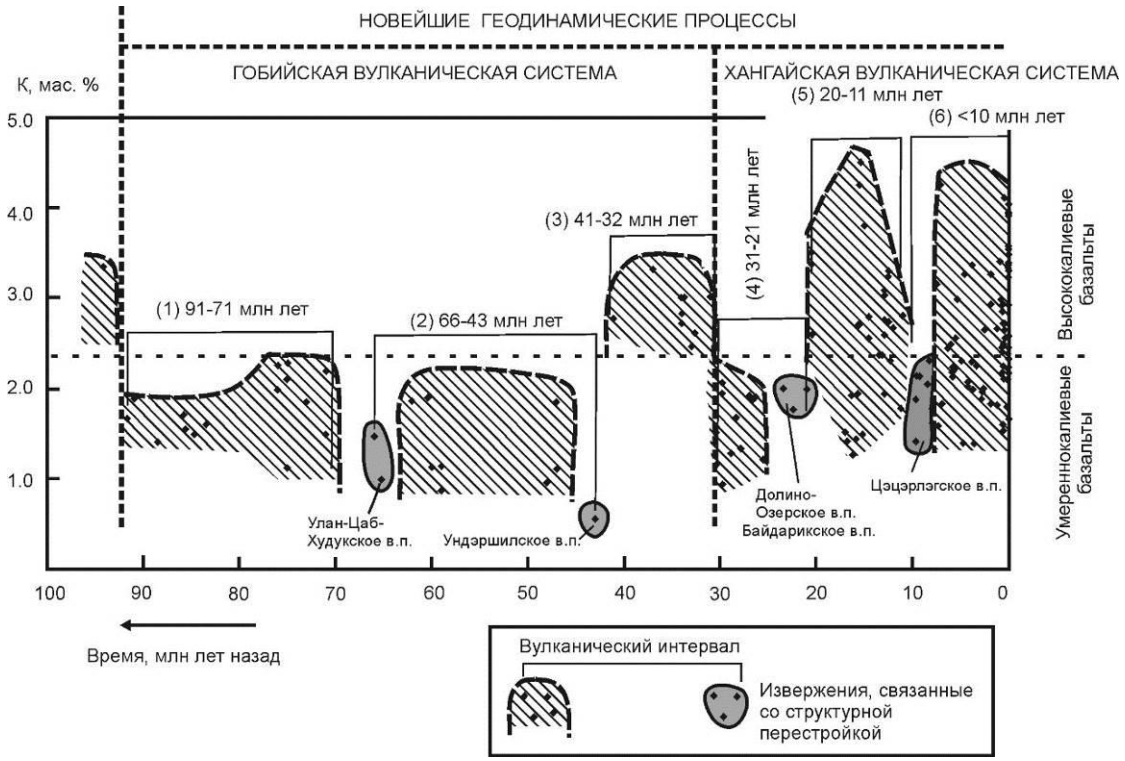

Рис. 3. Временные вариации калия в вулканических породах позднего мела и кайнозоя Центральной Монголии. Таблица датировок приведена в работе (Рассказов и др., 2012б). Нижнее ограничение новейших геодинамических процессов обозначено датировкой 94.4 ± 2.2 млн лет латита с содержанием K = 3.35 мас. % из района хр. Арц-Богд.

Fig. 3. Temporal variations of potassium in Late Cretaceous and Cenozoic volcanic rocks of Central Mongolia. Data are are presented by (Rasskazov, Chuvashova et al., 2012b). The lower limit of the latest geodynamic processes is indicated by the age of 94.4 ± 2.2 Ma of latite with a K content of 3.35 wt.% from the Arts-Bogd Ridge area.

В пространстве и времени постколлизионный конвергентный магматизм сменяется сопряженным противофазным развитием конвергентного и рифтогенного магматизма. Во временном интервале 41–21 млн лет назад конвергентный высоко- и умереннокалиевый магматизм длился интервалами по 10 млн лет. В последние 25 млн лет умереннокалиевые извержения вулканических полей продолжались в среднем 7.0–7.5 млн лет, а высококалиевые носили эпизодический характер. Наиболее продолжительный интервал высококалиевого конвергентного магматизма 15.6–11.0 млн лет назад сопровождал начало рифтогенного магматизма, предшествуя структурной перестройке, произошедшей в интервале 11–7 млн лет назад (рис. 4).

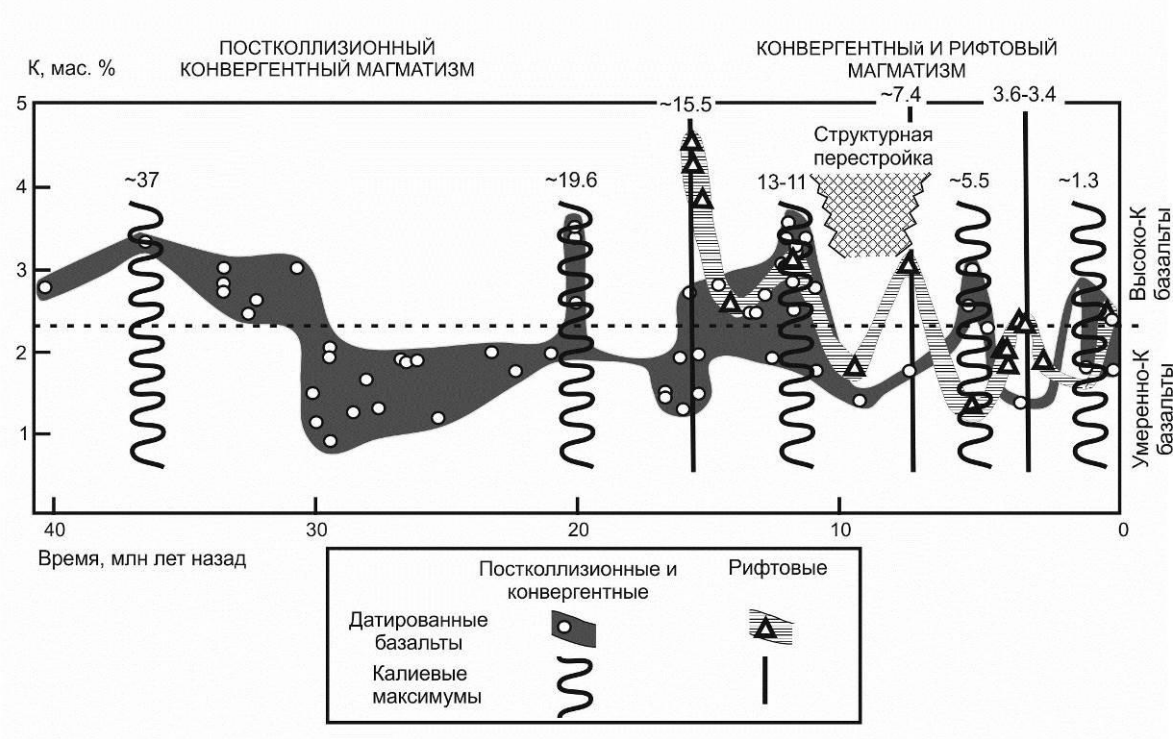

Рис. 4. Переход от постколлизионного конвергентного магматизма к сопряженному противофазному конвергентному и рифтогенному магматизму.

Fig. 4. Transition from post-collisional convergent magmatism to conjugate antiphase convergent and rift-related one.

Конвергентные базальты южной части вулканической области Центральной Монголии и рифтогенные базальты ее северо-восточной части характеризуются противоположными временными вариациями концентраций калия. В эволюции конвергентного магматизма выделяются максимумы калия ~37, ~19.6, 13–11, ~5.5 и ~1.3 млн лет назад в чередовании с его минимумами ~30, ~16, ~10 и 3.6–3.4 млн лет назад. С минимумами калия конвергентного магматизма близки по времени максимумы калия рифтогенного магматизма ~15.5, ~3.6–3.4 млн лет назад и минимум калия ~10 млн лет назад. Временное соответствие минимумов калия в конвергентных и рифтогенных базальтах характеризует структурную перестройку магматической системы. Максимум калия в рифтогенных базальтах ~7.4 млн лет назад не имеет соответствующего выражения в конвергентных базальтах. Противофазные квазипериодические вариации концентрации калия в лавах Орхон-Селенгинского среднегорья и Восточного Хангая подчеркивают динамическую противоположность, проявившуюся ~5.5, 3.6–3.4 и ~1.3 млн лет назад, между конвергентным магматизмом Ноён-Восточно-Хангайской магистральной зоны и магматизмом Центрально-Монгольской рифтовой зоны.

За фазой извержений высококалиевых лав хр. Арц-Богд около 19.6 млн лет назад через 4 млн лет следовали извержения лав около 15.6 млн лет назад с концентрацией калия 2.7 мас. % на Долино-Озерском поле. Извержения на нем продолжались до 12.2 млн лет назад с относительным повышением калия до 3.3 мас. %, сопровождаясь извержениями лав Байдарикского поля интервала 13–11 млн лет назад с более высокой концентрацией калия (3.4–3.6 мас. %). На Байдарикском поле эта вулканическая фаза предварялась и сменялась фазами извержений умереннокалиевых лав, соответственно, около 15.6 и 7.0 млн лет назад, а на Угей-Нурском поле, наоборот, фаза извержений умереннокалиевых лав около 9.6 млн лет назад предварялась и сменялась фазами извержений высококалиевых лав, соответственно, 15.5–14.2 и около 7.4

млн лет назад. Подобным образом концентрации калия варьировали в противофазе в лавах хр. Восточный Хангай и Орхон-Селенгинского среднегорья. Извержениями умереннокалиевых базальтов на Улан-Цаб-Худукском, Цэцэрлэгском и Верхне-Чулутынском вулканических полях обозначились более длительные магматические квази-периоды порядка 7 млн лет (рис. 5).

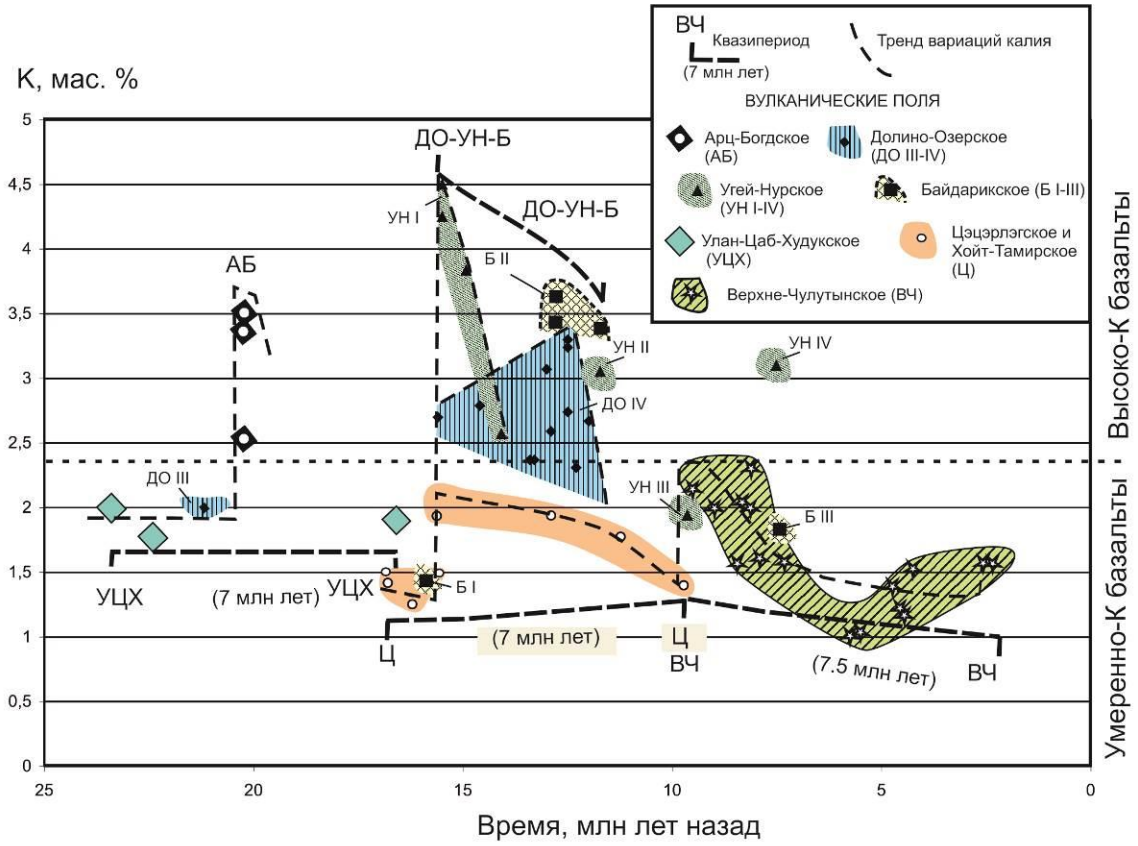

Рис. 5. Соотношения извержений высоко- и умереннокалиевых лав Центральной Монголии во временном интервале 23.4–2.1 млн лет назад. По датировкам пород разных вулканических полей обозначены квазипериоды высоко- и умереннокалиевого магматизма, соответственно, 4.5 и 7.0 млн лет.

Fig. 5. Relationships between high- and moderate-K lava eruptions in Central Mongolia in the time interval 23.4–2.1 Ma. From dating of rocks in different volcanic fields, quasi-periods of high- and moderate-K magmatism are designated at 4.5 and 7.0 Ma, respectively.

Умереннокалиевый вулканизм Цэцэрлэгского и Хойт-Тамирского полей продолжался с 17.0 до 9.7 млн лет назад при относительном повышении концентрации калия, согласованном во времени с началом высококалиевого вулканизма Долино-Озерского и Угей-Нурского полей 15.6–15.5 млн лет назад. Это вызвано эффектом наложения процессов высококалиевого магматизма на ход эволюции умереннокалиевых расплавов, что свидетельствует о частичной согласованности эволюции мантийных процессов с быстрым эпизодическим воспроизводством высококалиевых магм и замедленным, продолжительным – умереннокалиевых.

В интервале 10–2 млн лет назад временные вариации калия в базальтах Верхне-Чулутынского и Тарят–Чулутынского полей были согласованы между собой с квази-периодичностью 2.5 млн лет. На Тарят-Чулутынском поле эта квазипериодичность выражена в фазах извержений высококалиевых лав около 7.1 и 4.6–3.8 млн лет назад. На Верхне-Чулутынском поле высококалиевые лавы не известны. Лавы умереннокалиевого состава, излившиеся в интервале 9.6–8.0 млн лет назад,

составляли вулканический интервал, предшествовавший извержениям Тарят–Чулутынского поля, а лавы интервалов 5.5–4.0 и 2.6–2.1 млн лет назад обозначали финальные фазы извержений с минимальной концентрацией калия двух других вулканических интервалов. В последние 2 млн лет извержения на Верхне-Чулутынском поле не возобновлялись, а фазы высококалиевых извержений Тарят–Чулутынского поля выстраивались в четыре интервала с квази-периодичностью 0.3–0.7 млн лет. Два последних включали, кроме высококалиевых, лавы умереннокалиевого состава (рис. 6).

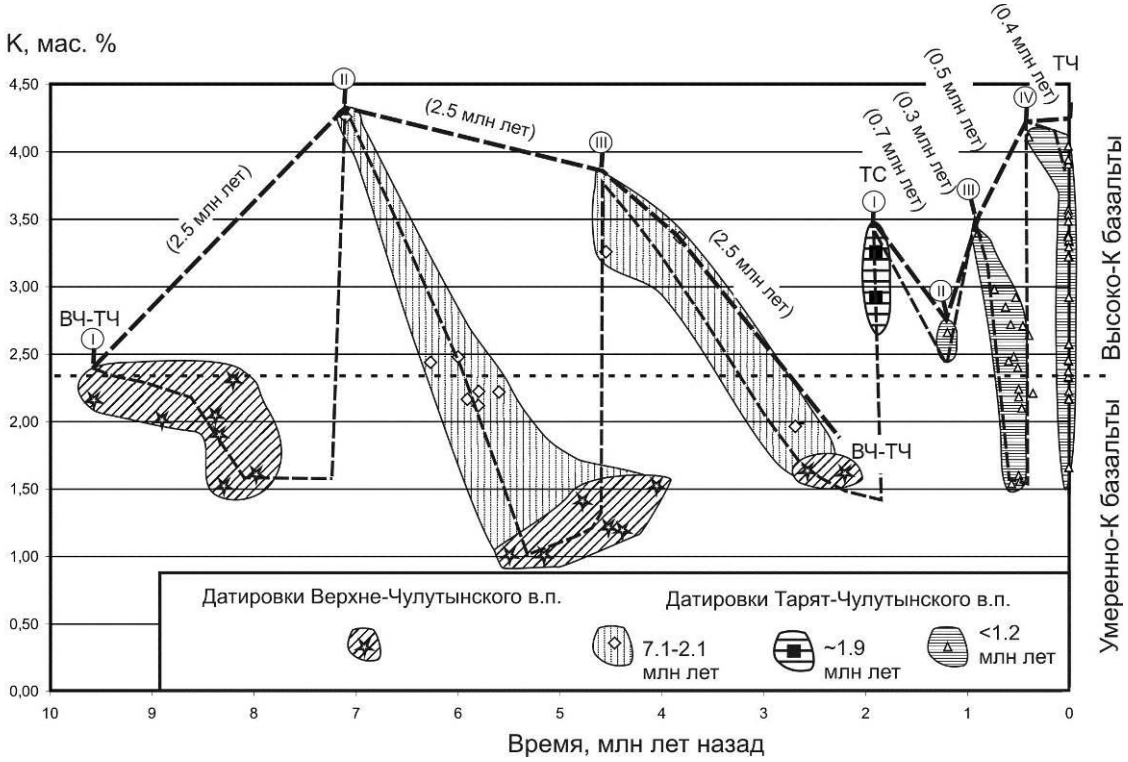

Рис. 6. Переход от извержений Верхне-Чулутынского и Тарят–Чулутынского вулканических полей в интервале 9.6–2.1 млн лет назад с согласованными квазипериодическими вариациями калия в лавах (интервалы I–III с квазипериодичностью 2.5 млн лет) к извержениям на Тарят–Чулутынском поле (интервалы I–IV с квазипериодичностью 0.3–0.7 млн лет).

Fig. 6. Transition from eruptions in the Verkhiy Chulutyn and Taryat-Chulutyn volcanic fields in the interval 9.6–2.1 Ma with coordinated quasi-periodic variations of potassium in lavas (intervals I–III with a quasi-periodicity of 2.5 Ma) to the eruptions in the Taryat-Chulutyn field (intervals I–IV with a quasi-periodicity of 0.3–0.7 Ma).

Смена геологических процессов от среднего мела (апт, альб) к позднему мелу и кайнозою около 90 млн лет назад в других регионах Азии

На территории Саян и Центральной Монголии вулканические поля последних 90 млн лет пространственно соответствуют Саяно-Монгольскому низкоскоростному домену глубинного уровня 50–200 км (Рассказов и др., 2003). Позднемеловые, ранне-среднекайнозойские и позднекайнозойские вулканические извержения распространялись от Южной Гоби до Хакассии в виде полосы протяженностью около 2 тыс. км при средней ширине порядка 500 км. Начальный вулканизм этого низкоскоростного домена проявился в позднем мелу на окончаниях Хакасско-Гобийской вулканической полосы. Интервалу вулканизма в Хакассии 79–72 млн лет назад соответствовал интервал вулканизма в самой южной части Гоби 76–71 млн лет назад. Вулканизм смещался из Хакассии к югу, в Саяно-Хамардабанскую область, и из Южной Гоби к северу – в Хангайскую (Хангай и Орхон-Селенгинское среднегорье). Магматические события в Западной Туве были ограничены интервалом 28–23 млн лет

назад. При отсутствии событий раннего-среднего кайнозоя, вулканизм этого временного интервала оказался пространственно разобщенным с начальными вулканическими проявлениями Хакассии. Последующие позднекайнозойские извержения распространились в целом юго-восточнее.

На юго-востоке Китая гранитоидный надсубдукционный магматизм занимал обширную территорию в середине мела и прекратился около 88 млн лет назад. Предполагалось, что в это время или несколько раньше (около 100 млн лет назад) в западной части Тихого океана образовалась субдукционная пробка (Niu et al., 2015).

В Восточной Азии структурная перестройка середины мела отчетливо выражена в распределении бассейнов седиментации (Кириллова, 1997, 2000). Резкая смена характера магматизма выявлена на п-ове Шандунь, в восточной части Сино-Корейского кратона. В интервале 90–75 млн лет назад здесь имел место амагматичный временной интервал, отделявший позднефанерозойские извержения базальтов от контрастного интрузивного гранитного и базитового магматизма, в целом свойственного предшествовавшему развитию территории. По изотопным характеристикам неодима и стронция, магматизм, предшествовавший перерыву, был производным обогащенной мантии и коры. После перерыва стали поступать базальтовые расплавы из источников обедненной мантии (Xu et al., 2004).

В Северо-Восточной Азии, на северной и западной континентальных окраинах Охотского моря, были активны Охотско-Чукотский и Восточно-Сихотэ-Алинский вулканические пояса андийского типа: первый – во временном интервале 110–75 млн лет назад, второй – в интервале 95–65 млн лет назад (Котляр, Русакова, 2004; Rasskazov, Taniguchi, 2006; Акинин, 2012). Существенное различие этих территорий заключается в разной роли последующих процессов, получивших выражение в извержениях лав внутриплитного типа. К северу от Охотского моря вулканизм Охотско-Чукотского пояса сменялся 86–72 млн лет назад переходным вулканизмом островодужного–внутриплитного типа и продолжался до 54 млн лет назад извержениями внутриплитных базальт–трахибазальтовых и трахибазальт–трахириолитовых комплексов (Белый, Белая, 1998; Котляр, Русакова, 2004). К западу от Охотского моря вулканизм Восточно-Сихотэ-Алинского пояса сменялся в раннем-среднем кайнозое переходным вулканизмом островодужного–внутриплитного типа, а затем извержениями внутриплитных базальт–трахибазальтовых комплексов, продолжавшимися в позднем кайнозое до 3 млн лет назад. Такая длительная «внутриплитная» активность на континентальной окраине сочеталась с субдукционными процессами со стороны Тихого океана (Рассказов и др., 2005б, 2014б).

Показатели глобальных геодинамических процессов

Подходы к выделению рядов взаимосвязанных геологических процессов в рамках фанерозоя

Трапповая провинция Декан рубежа мезозоя и кайнозоя представляет собой одну из крупных магматических провинций, сочетающихся, как предполагается, с импульсами глаукофанового метаморфизма через каждые 30 млн лет, начиная с 550 млн лет назад (Добрецов и др., 2001). С этого времени формировались комплексы высоких давлений (Maruyama, Liou, 1998). Таким образом, сочетание крупных магматических провинций и высокобарных комплексов должно характеризовать повторяющееся геодинамическое состояние Земли во временных рамках всего фанерозоя. Чтобы соотнести эти события с современным состоянием Земли, нужно ввести в их совокупность современные геодинамические обстановки, в которых крупная магматическая провинция будет сочетаться с комплексом высоких давлений. Такое сочетание встало бы в единый ряд однотипных процессов, действительно завершающихся современным геодинамическим состоянием Земли, и вывело бы на предметное обсуждение времени запуска процессов этого типа и их воспроизводимости к настоящему времени.

На Земле имеются только три расплавных аномалии, в которых вулканизм начинается с образования крупной магматической провинции (Реюнион – Декан, Луизвиль – Онтонг Джава, и Тристан – Парана). Вулканизм этих магматических провинций последовательно развивается в виде мигрирующих цепочек вулканов до настоящего времени (Foulger, 2010). В крупной магматической провинции Декан вулканизм был запущен около 90 млн лет назад, в провинции Онтонг Джава – около 122 млн лет назад, в провинции Парана – около 133 млн лет назад. Во всех других случаях процессы формирования крупных магматических провинций в фанерозое носят прерывистый характер и не могут рассматриваться с точки зрения анализа эволюции того или иного региона к настоящему времени.

В фанерозое обозначаются три суперхроны (ордовикская, пермская и меловая) с шагом около 200 млн лет. С этими суперхронами коррелируются тектонические события распада суперконтинентов, уровня моря и предполагаемые суперплюмовые события. При переходе от раннего-среднего фанерозоя к позднему завершается стабильный режим существования единой палеомагнитной меловой суперхроны прямой полярности Джалал. Распад Вегенеровской Пангеи начинается до суперхроны Джалал. Условия для направленного развития процессов к настоящему времени складываются в конце этой суперхроны.

В реконструкциях спрединга океанического дна Д.С. Енгебретсон и др. (Engebretson et al., 1984) были вынуждены признать, что отсутствие полосовых линейных аномалий во время мелового магнитного периода затишья между хронами M11 и 34 (135–85 млн лет назад) не позволяет выполнить удовлетворительных плитотектонических построений. Соответственно, предполагается, что этому временному интервалу соответствует главная перестройка в движении литосферных плит (Rea, Dixon, 1983). С этой перестройкой логично связать начало новейшего геодинамического этапа в масштабе всей Земли (рис. 7).

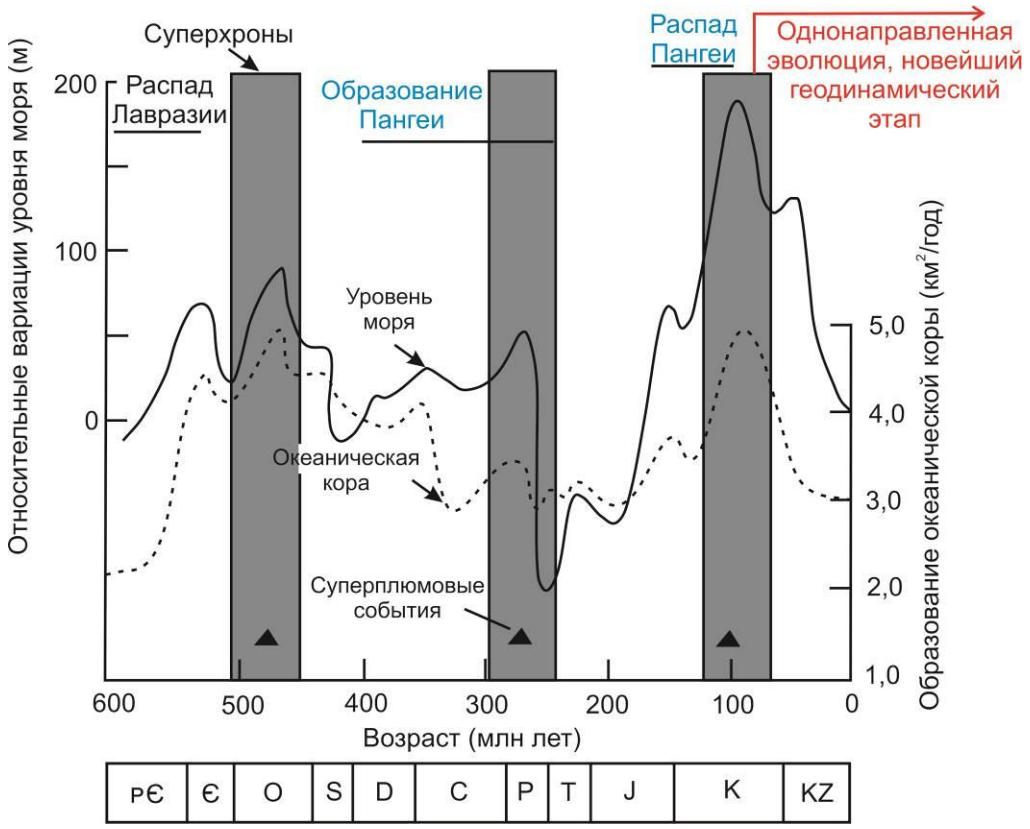

Рис. 7. Соотношение новейшего геодинамического этапа с крупной квазипериодичностью геологических процессов в фанерозое. Используется основа рисунка из работы (Condie, 2001). Образованию и распаду Пангеи соответствуют разные суперхроны. Направленность процессов

эволюции Земли между этими суперхронами меняется. С конца последней суперхроны Джалал реконструируется последовательное уменьшение скорости образования океанической коры и снижение уровня моря, которое можно связать с процессами и силами новейшего геодинамического этапа.

Fig. 7. Relationship between the latest geodynamic stage and the major quasi-periodicity of geological processes in the Phanerozoic. The figure is based on (Condie, 2001). The formation and breakup of Pangea correspond to different superchrons. The direction of Earth's evolutionary processes changes between these superchrons. Since the end of the last (Jalal) superchron, a consistent decrease in the rate of oceanic crust formation and a fall in sea level have been recoded, which can be linked to the processes and forces of the latest geodynamic stage.

Седиментационные и вулканические отклики на циклы орбитального вращения Земли: обнаружение нарушения великих циклов эксцентриситета 87–85 млн лет назад

Цикличность орбитального вращения Земли отражается в осадконакоплении и вулканизме. Эти процессы имеют разную природу. Циклическая седиментация в длительно существовавших бассейнах фиксировала ритмику осадконакопления на поверхности Земли, подверженной меняющимся солнечным инсоляциям. Импульсный вулканизм отражал ритмику высвобождения тепловой энергии планеты в связи с возникновением в ней сил плавучести в подлитосферной мантии и тектонических усилий в литосфере. Взаимное соответствие квазипериодов этих процессов означает общепланетарный характер вызывающих их причин.

Квазипериодичность осадконакопления связывается с палеоклиматической гипотезой сербского астрофизика Милутина Миланковича, в которой предполагается влияние на палеоклимат астрономически обусловленных циклических инсоляционных вариаций Солнца (Imbrie et al., 1992; Laurens et al., 1996; Hilgen et al., 1997). Циклы 0.4 и 0.1 млн лет связываются с изменением эксцентриситета орбитального вращения Земли, а циклы 41 и 23 тыс. лет – с изменением наклона оси вращения Земли и возникновением прецессии. При сглаживании седиментационных гармоник выделяются и более продолжительные циклы: 2.4 млн лет (великий цикл эксцентриситета) и 1.2 млн лет (великий цикл наклона оси вращения Земли) (Hinnov, 2013). Теоретические ряды данных об орбитальной цикличности выстроены для интервалов от последних 500 тыс. лет до 10 млн лет (Hilgen, 1991; и др.) и для более длительного интервала последних 250 млн лет (Laskar et al., 2004). Экстраполяция орбитальной цикличности в геологическое прошлое лимитируется, однако, резонансными явлениями, происходившими с орбитой Земли во временном интервале последних 100–50 млн лет в связи с ее хаотическим вращением (Laskar et al., 2004, 2011; Hinnov, 2013).

В недавно опубликованной работе (Ma et al., 2017) определен нижний предел орбитальных реконструкций по меловым осадочным толщам малоглубинного морского бассейна Северной Америки во временном интервале 87–85 млн лет назад. Великий цикл эксцентриситета Земли 2.4 млн лет проявился в интервале 87–85 млн лет назад за 1.2 млн лет. Такое нарушение в ритмике орбитального вращения было единственным за последние 250 млн лет. Оно совпало с определением точки отсчета новейшего геодинамического этапа эволюции Земли (Рассказов, Чувашова, 2013а,б). Ма и др. высказали предположение, что орбитальное вращение Земли в это время резко изменилось из-за резонансного взаимодействия ее орбиты с орбитой Марса.

Чувствительность ритмики осадконакопления к вариациям орбитальных параметров Земли ограничивается великим циклом эксцентриситета 2.4 млн лет и включает менее продолжительные циклы эксцентриситета, наклона оси вращения, прецессии и нутации. В эти периоды вписывается квазипериодичность вулканизма позднего кайнозоя. В позднем мелу и раннем-среднем кайнозое обнаруживаются более длительные квазипериодические вариации 7, 10 и 20 млн лет, не регистрируемые в осадочных летописях. Эти

более продолжительные вариации отчетливо проявлены в обстановке сжатия литосферы Центральной Азии. В этой же обстановке в квартере резко выражен переход к квазипериодам 0.3–0.7 млн лет.

Рассредоточение магм ультрамагнезиального состава в течение мела и кайнозоя на востоке Азии и извержение коматиитовых магм около 90 млн лет назад на о. Горгона

Поступление магм ультрамагнезиального состава (MgO = 18–32 мас. %) в истории Земли маркирует адиабатическое поднятие мантийного материала с глубин нижней мантии. Коматиитовая магма с ультравысокой температурой поступает из обедненного источника. Меймечитовая или пикритовая магма может образоваться при более низкой температуре в присутствии компонентов обогащенного источника.

В эволюции Земли примечателен эпизод ультрамагнезиального магматизма около 90 млн лет назад. В это время произошли извержения коматиитов о-ва Горгона. Подобные магмы из источников обедненного типа были характерны для ранней Земли. Их проявление на о. Горгона представляет собой уникальное событие для временного интервала последнего миллиарда лет (Arndt et al., 2008).

Другие магмы ультрамагнезиального состава – меймечиты и пикриты – имели достаточно широкое распространение в позднем фанерозое. Наряду с первыми траппами провинции Мейшань, минимуму 262 млн лет назад соответствуют среднепермские пикриты из юрского аккреционного комплекса Мино в Юго-Западной Японии. Минимум 160–158 млн лет назад сопоставляется с извержениями меймечитов Востока Азии (пояса офиолитов о-вов Хоккайдо и Сахалин, хр. Сихотэ-Алинь, провинции Хейлунцзян). Маркирующая роль меймечитов выражена также в палеогеновом поясе Минеока, в Японии (Ishivatari, Ishiyama, 2004). Эти меймечиты относятся к интервалу 40–37 млн лет назад.

Нижнемеловые меймечиты Самаркинского террейна (Сихотэ-Алинь) сопоставляются по возрасту со становлением на юге Алданского щита массива Кондер, для дунитов и клинопироксенитов которого получены палеомагнитные данные, соответствующие положению виртуального магнитного поля 110 млн лет назад (Каретников, 2006). Для дунитов и клинопироксенитов ультраосновного Чадского массива, который входит в кондерский комплекс сходных по строению массивов Алданского щита (Кондер, Чад, Инагли, Сыбах), также получен раннемеловой палеомагнитный полюс (Каретников, 2015). Раннемеловой возраст подтвердился определением возраста для платиновой минерализации методом ^{190}Pt–^{4}He для массива Кондер (125±6 и 121±6 млн. лет) и для массива Чад (110±5 млн лет). Для Инаглинского массива получен более древний возраст (141±7 млн лет), а для массива Галъмоэнан – более молодой (64±3 и 62±3 млн лет) (Шуколюков и др., 2012; Якубович, 2013). Возраст массивов кондерского комплекса растянут на весь меловой период – от его нижнего рубежа до верхнего.

Увеличение роли карбонатитов в Индии в ходе эволюции Земли и ограничение распространения щелочных комплексов с карбонатитами в Северной Азии срединой мела

В позднем мезозое Внутренней Азии установлены комплексы щелочных пород с карбонатитами в четырёх обособленных друг от друга ареалах: Западно-Забайкальском, Южно-Хангайском, Центрально-Алданском и Центрально-Тувинском (Коваленко и др., 2006). Наиболее молодые извержения карбонатитов датируются альбом.

В позднем мелу и кайнозое карбонатитовый магматизм не проявился в Северной Азии, тогда как на п-ове Индостан роль карбонатитов постоянно возрастала. На Индийском субконтиненте карбонатиты встречаются не только в Индии, но и в Пакистане, Афганистане и Шри-Ланке. Общий возрастной диапазон массивов щелочных пород с карбонатитами составляет от >2400 млн лет до <0.6 млн лет (Randive, Meshram, 2020) (рис. 8).

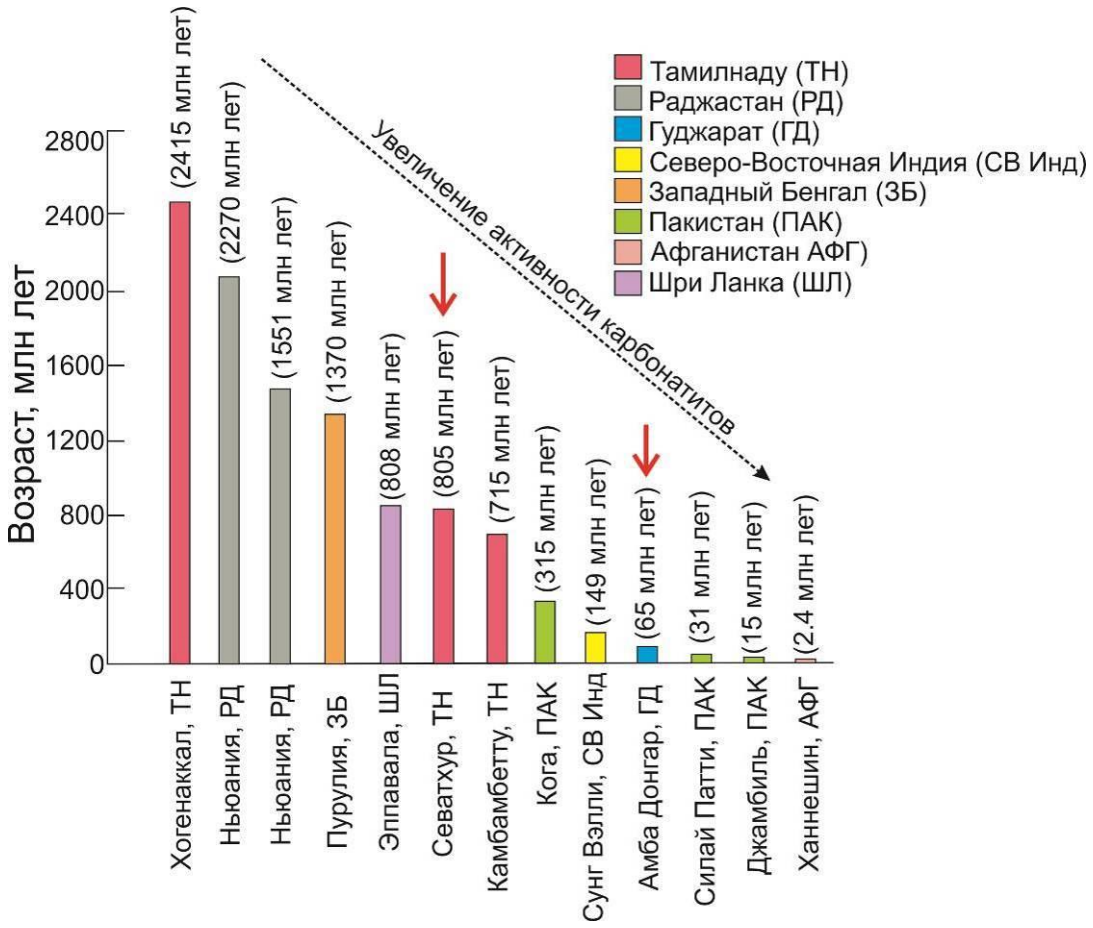

Рис. 8. Диаграмма временного распространения карбонатитового магматизма на Индийском субконтиненте (Randive, Meshram, 2020). Объекты исследований (Rasskazov et al., 2025) помечены красными стрелками.

Fig. 8. Diagram of temporal distribution of carbonatite magmatism in the Indian subcontinent after (Randive, Meshram, 2020). The study subjects (Rasskazov et al., 2025) are marked with red arrows.

Карбонатиты распространяются в течение всего позднего фанерозоя в Северо-Восточной Африке. Здесь известны многочисленные выходы карбонатитов и открыт действующий вулкан Олдоиньо Ленгаи, извергающий карбонатитовую магму (Доусон, 1983). В Северной Азии карбонатиты распространяются в фанерозое до раннего мела, включительно, и отсутствуют на новейшем геодинамическом этапе. Возрастной диапазон карбонатитов Индостана (рис. 8) в верхнем пределе подобен возрастному диапазону карбонатитов Африки и отличается от возрастного диапазона карбонатитов Северной Азии (рис. 9). Такая возрастная специфика карбонатитов служит дополнительным аргументом для обозначения начала новейших геодинамических процессов в Азии около 90 млн лет назад (Рассказов, Чувашова, 2013а,б).

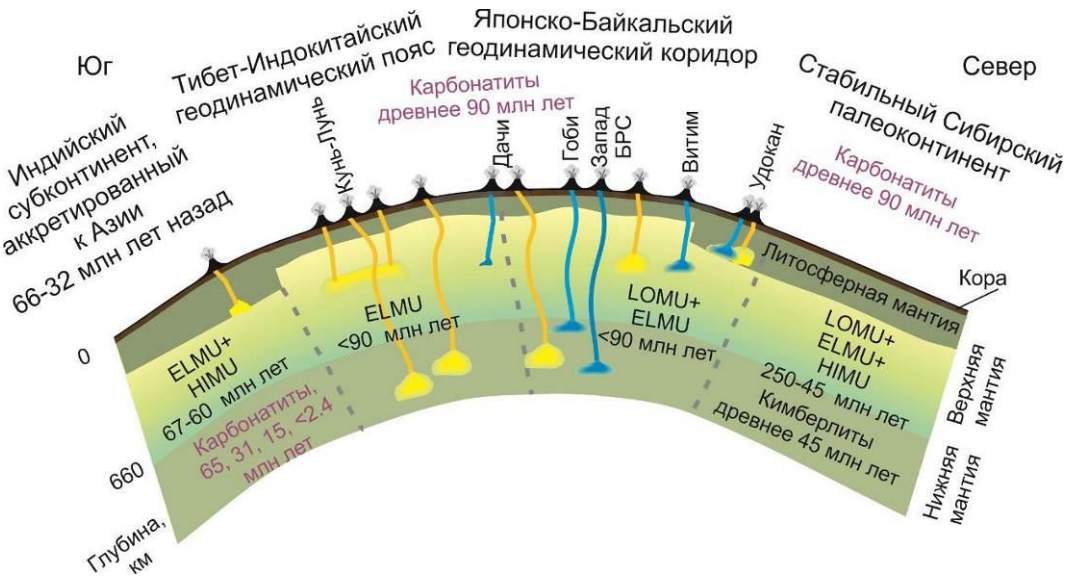

Рис. 9. Схема кайнозойского проявления карбонатитов на Индийском субконтиненте в соотношении с проявлением карбонатитов в Северной Азии. Схема из работы (Rasskazov et al., 2025) с изменениями. Синим цветом обозначены источники LOMU, желтым – источники ELMU.

Fig. 9. Scheme of Cenozoic displaying of carbonatites at the Indian subcontinent in relation to those in North Asia. The scheme is from (Rasskazov et al., 2025). LOMU sources are shown in blue, ELMU sources in yellow.

Из Pb-изотопных данных следует, что карбонатитовые расплавы Самалпатти (Индия) возрастом 800 млн лет были производными протолита мантийного источника ранней Земли возрастом около 4.26 млрд лет. После отделения Индийского субконтинента от Гондваны и его соединения с Азией силикатные расплавы крупной магматической провинции Декан генерировались из протолитов возрастом около 2 млрд лет средней геодинамической эпохи эволюции Земли. Карбонатиты Амба Донгар возрастом 66 млн лет (Индия) также были производными протолитов мантии ранней Земли, частично измененных событием возрастом около 2 млрд лет. Меловые карбонатиты массивов Мало-Мурунский и Вэйшань Северной Азии генерировались только из протолитов средней геодинамической эпохи эволюции Земли (соответственно, 3.45 и 2.2 млрд лет) (Рассказов и др., 2024; Rasskazov et al., 2025). Трасса горячего пятна, пересекающая Индийский океан, отошла от Индии около 90 млн лет назад (Sheth, 2005).

Глобальный поворот в эволюции Земли около 90 млн лет назад в морских записях $^{87}Sr/^{86}Sr$

Независимую информацию о глобальной эволюции Земли несет изотопный состав Sr Мирового океана. Поступление Sr в морскую воду в тот или иной временной отрезок зависит от соотношения материала из коровых (обогащённых радиогенным ^{87}Sr) и мантийных (обеднённых этим изотопом) источников.

Квазипериодичность минимумов $^{87}Sr/^{86}Sr$

В анализе морских записей $^{87}Sr/^{86}Sr$ основное внимание уделялось минимумам (McArthur et al., 2001, 2012). Порядок ритмичности $^{87}Sr/^{86}Sr$ Мирового океана в первые десятки млн лет выдерживался в течении всего фанерозоя. Наименее продолжительный интервал (17 млн лет) разделял минимумы 55 и 38 млн лет назад, наиболее продолжительный (68 млн лет) – минимумы 258 и 190 млн лет назад (рис. 10).

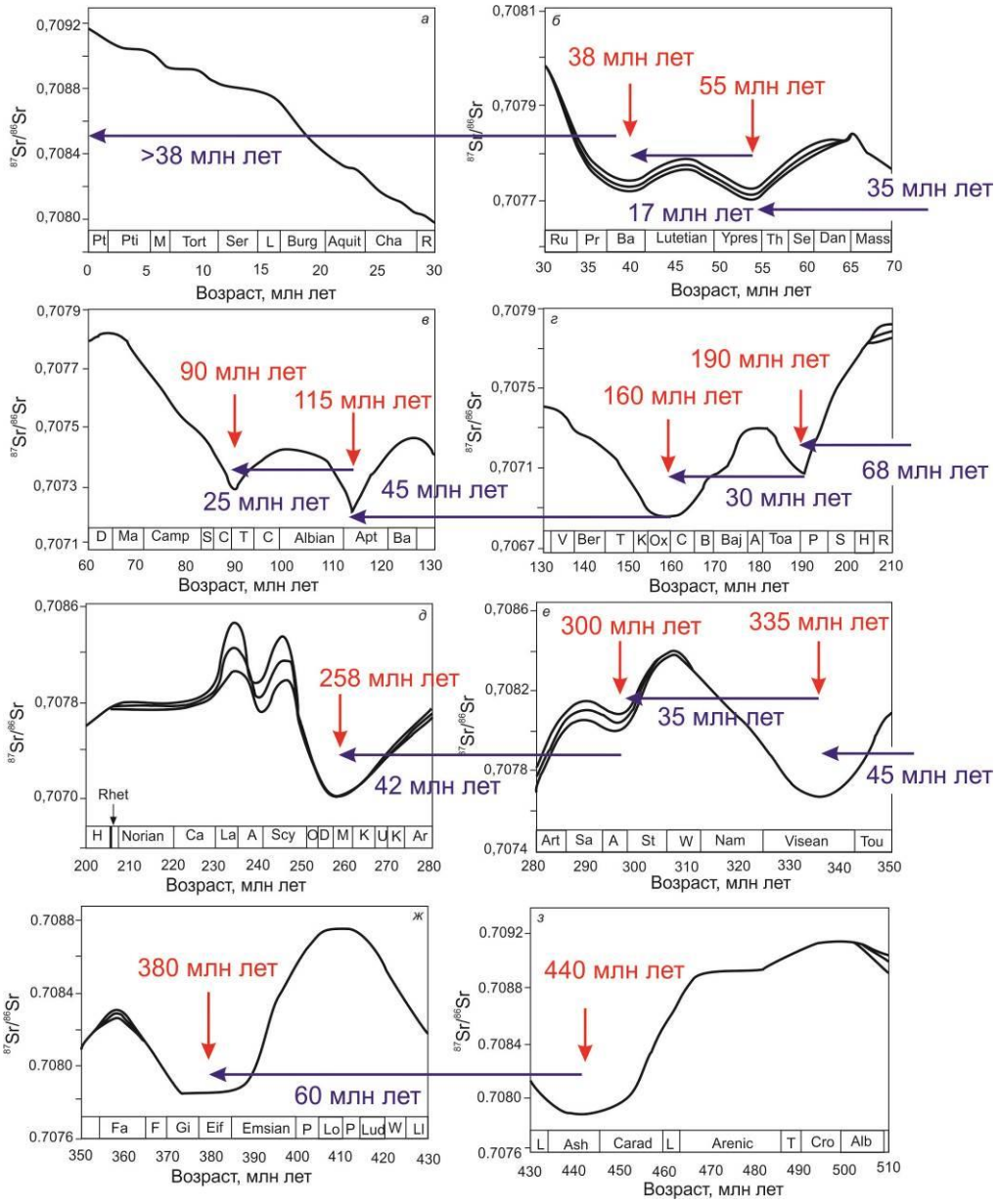

Рис. 10. Квазипериодические вариации $^{87}Sr/^{86}Sr$ Мирового океана в фанерозое. Использованы кривые из работы (McArthur et al., 2001). Минимумы значений стронциевого изотопного отношения обозначены цифрами красного цвета со стрелками.

Fig. 10. Quasiperiodic variations in $^{87}Sr/^{86}Sr$ in the World Ocean during the Phanerozoic. Curves from (McArthur et al., 2001) are used. Minima in the strontium isotope ratio are indicated by red numbers with arrows.

В работе (McArthur et al., 2001) отмечалась связь изгибов кривой $^{87}Sr/^{86}Sr$ с извержениями континентальных флуд-базальтов крупных магматических провинций 17, 65, 92, 110?, 125, 184?, 200?, 250 и 258 млн лет назад. Часть изгибов кривой не сопоставлялась с какими-либо извержениями флуд-базальтов, а некоторые извержения флуд-базальтов не имели соответствующих изгибов на кривой.

По результатам статистических исследований временных вариаций $\Delta^{87}Sr/^{86}Sr$ в морских карбонатах важнейшее значение придавалось минимумам 54.5, 161.5, 264.5, 342.5 и 452.5 млн лет с квазипериодичностью 100 млн лет. Такие периодические минимумы в морских записях изотопных отношений $^{87}Sr/^{86}Sr$, свидетельствующие о ритмике преобладания мантийных источников, можно

интерпретировать в пользу единообразия всей фанерозойской геодинамики. Было также замечено удовлетворительное совпадение минимумов 100-миллионной квазипериодичности с глубокими трогами линий морских записей рубежей гваделупской и лопингинской эпох пермского периода (минимум 264.5 млн лет назад), а также средней и поздней эпох юрского периода (минимум 161.5 млн лет назад). С трогами линии морских записей минимумов совпадают визейский ярус каменноугольного периода (342.5 млн лет назад) и поздний ордовик (452.5 млн лет назад) (Диденко, 2011).

Смена главных трендов вариаций $^{87}Sr/^{86}Sr$ в морской воде от раннего-среднего фанерозоя к позднему фанерозою

По данным из работ (McArthur et al., 2001, 2012), максимальные отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в морской воде составляли ~ 410 млн лет назад величину 0.7088, а в интервале 500–490 млн лет назад достигали значения 0.70915, т. е. находились на уровне, близком к современному $^{87}Sr/^{86}Sr$. В свете интерпретации изотопного состава Sr с выделением главного тренда основную стабилизирующую роль в эволюции Земли играло осаждение в составе карбонатов Мирового океана континентального стронция, а относительные отклонения от него с понижением $^{87}Sr/^{86}Sr$ отражали наложенный процесс контаминации морской воды мантийным стронцием. Отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ главного тренда снизилось с 500 до 100 млн лет назад от 0.70915 до 0.70740. Затем это отношение главного тренда с 85 млн лет назад до настоящего времени возросло от 0.7074 до 0.7092.

В позднем фанерозое отчетливо выделяется главный тренд вариаций $^{87}Sr/^{86}Sr$ с изгибом на рубеже ~ 90 млн лет, который принимается в качестве поворотного пункта в переходе от геодинамического этапа раннего и среднего фанерозоя к этапу позднего фанерозоя ($^{87}Sr/^{86}Sr$ во временных интервалах 305–285, 245–205, а также ~ 125 и ~ 100 млн лет назад, на позднефанерозойском – максимальные значения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в интервалах 85–65 и <15 млн лет назад). На обоих этапах фанерозоя наклоны обозначенных временных отрезков линий морских записей $^{87}Sr/^{86}Sr$ согласованы с наклоном линии главного тренда (рис. 11).

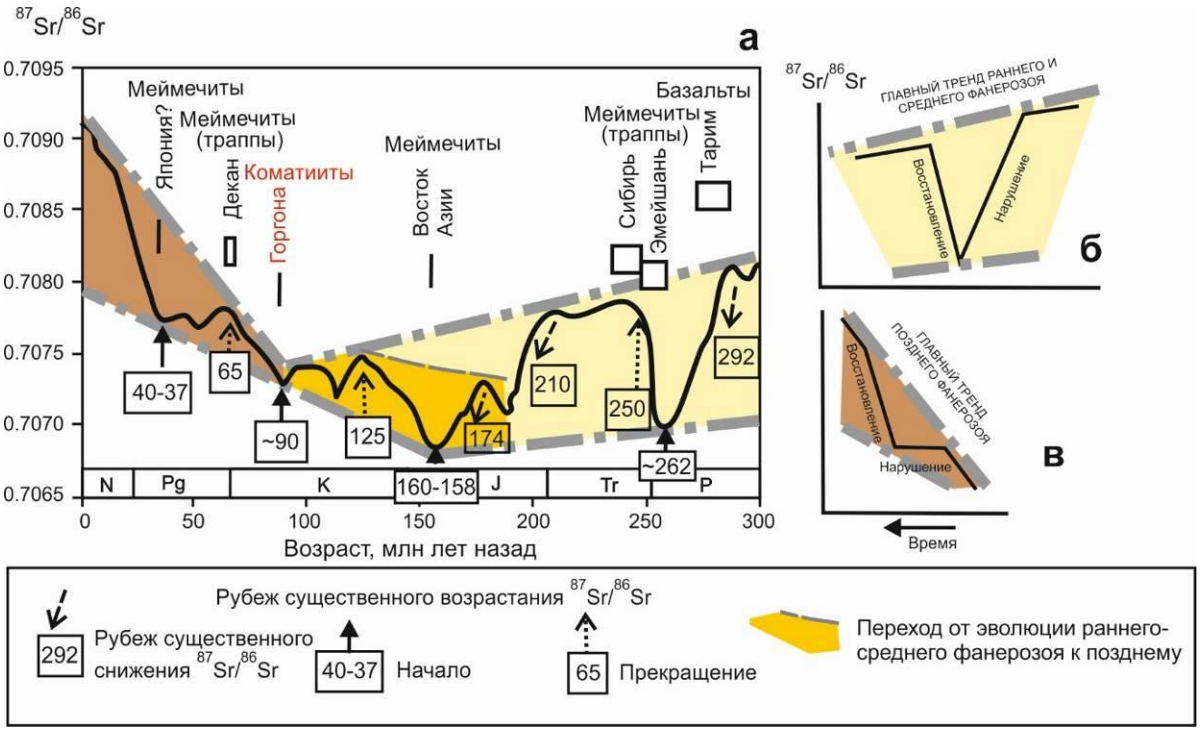

Рис. 11. Главные тренды вариаций $^{87}Sr/^{86}Sr$ в морской воде раннего-среднего и позднего фанерозоя (*а*) и конфигурация импульсов мантийной подпитки на главных трендах морских записей $^{87}Sr/^{86}Sr$ в раннем-среднем (*б*) и позднем фанерозое (*в*) (Rasskazov, Chuvashova, 2017). На панели *а* изгиб верхней огибающей (конвергентной) линии тренда около 90 млн лет назад соответствует

начальной точкой отсчета новейшего глобального геодинамического этапа. Изгиб нижней огибающей (дивергентной) линии тренда около 160 млн лет назад означает предшествующую глобальную структурную перестройку, обозначенную относительным снижением $^{87}Sr/^{86}Sr$ при переходе от эволюции раннего-среднего фанерозоя к позднему. Врезки *б* и *в* иллюстрируют нисходящий и восходящий характер главного тренда. Использована линия морских записей из работы (McArthur et al., 2001).

Fig. 11. Main trends of $^{87}Sr/^{86}Sr$ variations in seawater in the Early-Middle and Late Phanerozoic (*a*) and the configuration of mantle recharge pulses on the main trends of marine $^{87}Sr/^{86}Sr$ records in the Early-Middle (*b*) and Late Phanerozoic (*c*) (Rasskazov, Chuvashova, 2017). In panel *a*, the bend in the upper envelope (convergent) trend line at about 90 Ma corresponds to the starting point of the latest global geodynamic stage. The bend in the lower envelope (divergent) trend line at about 160 Ma signifies the preceding global structural reorganization, indicated by a relative decrease in $^{87}Sr/^{86}Sr$ during the transition from the Early-Middle to the Late Phanerozoic evolution. Insets *b* and *c* illustrate the descending and ascending nature of the main trend. The marine record line is used after (McArthur et al., 2001).

На кривой меловых и кайнозойских вариаций изотопных отношений стронция, наряду с минимумом 54.5 млн лет, различаются другие минимумы. На шкале записей выделяются интервалы малоамплитудных вариаций $^{87}Sr/^{86}Sr$ во временных интервалах 140–90 и 70–37 млн лет назад и переход от последнего интервала к устойчивому повышению концентрации радиогенного ^{87}Sr при общем последовательном возрастании изотопного отношения Sr с интервала 160–158 млн лет назад.

Рассредоточенные эпизоды нарушения главных трендов как отражение разрастания коры современных океанов и магматизма океанов и континентов

В рамках гипотезы тектоники литосферных плит определено место для 90 % всего вулканизма Земли, обусловленного процессами на границах плит – в срединных океанических хребтах и субдукционных зонах (Foulger, 2010). Именно этот вулканизм определял баланс растворенного вещества океанов. Повышение роли радиогенного ^{87}Sr в последние 90 млн лет могло быть обусловлено поступлением в мировой океан материала континентов (континентальных окраин).

В эпизоды увеличения роли мантийного материала раннего и среднего фанерозоя (в минимумах $^{87}Sr/^{86}Sr$) различается нарушение и восстановление главного тренда (рис. 11*б,в*). На пермо-триасовом отрезке кривой $^{87}Sr/^{86}Sr$ временного интервала 292–250 млн лет назад минимум ~ 262 млн лет соответствует началу траппового магматизма провинции Эмейшань (Guo et al., 2004). Между тем, возраст главной магматической фазы провинции Сибирских траппов (251–250 млн лет) соответствует не минимуму, а максимуму $^{87}Sr/^{86}Sr$ на изгибе линии от восходящего отрезка 262–250 млн лет назад к отрезку слабых вариаций $^{87}Sr/^{86}Sr$ 250–210 млн лет назад. Базальтовые лавы крупной Таримской магматической провинции, извергавшиеся во временном диапазоне 292–272 млн лет назад (Li et al., 2012a), наоборот, соответствуют изгибу линии от отрезка слабых вариаций $^{87}Sr/^{86}Sr$ в интервале 310–290 млн лет назад к нисходящему отрезку во временном интервале 290–262 млн лет назад (Li et al., 2011, 2012; Zhang et al., 2012).

На примере пермо-триасового минимума морских записей $^{87}Sr/^{86}Sr$ можно видеть, что эволюция главного тренда была нарушена во время активности крупной Таримской магматической провинции. Первые траппы Эмейшаня возрастом 262 млн лет фиксировали экстремальное нарушение и переход к восстановлению главного тренда. Траппы Сибири соответствовали по времени его полному восстановлению. Казалось бы, поступление больших объёмов мантийных магм должно было приводить только к нарушению стабильного поступления материала, обогащённого радиогенным ^{87}Sr. В реальности, эпизоды активности крупных магматических провинций маркируют все переломные моменты пермо-триасового импульса нарушения и восстановления главного тренда. По-видимому, активность крупных

магматических провинций отражала общие перестройки, происходившие в ходе эволюции Земли.

Наиболее глубокое положение минимума отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в морских водах 160–158 млн лет назад имеет логическое объяснение. Снижение $^{87}Sr/^{86}Sr$ относительно главного тренда началось во временном интервале 210–200 млн лет назад. В интервале 200–160 млн лет назад произошло неполное восстановление главного тренда с наложением нового импульса подпитки мантийным стронцием около 175 млн лет назад. Результатом наложения явилось самое низкое значение $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0.70685) в интервале 160–158 млн лет назад за всю фанерозойскую историю Мирового океана. После второго (наложенного) импульса главный тренд оказался восстановленным к 125 млн лет назад. Аномалия, выраженная в минимальных отношениях изотопов Sr, явилась, таким образом, следствием перекрытия эффектов двух импульсов возрастания роли мантийного стронция в Мировом океане в общем ходе геологической эволюции раннего-среднего фанерозоя.

После временного отрезка главного тренда 125–95 млн лет назад, приблизительно соответствовавшего суперхроне Джалал, должен был наступить переход к импульсу нарушения, но снижение $^{87}Sr/^{86}Sr$ в морской воде было малоамплитудным с минимумом ~ 90 млн лет назад. В интервале 90–85 млн лет назад отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ возросло до прежнего уровня, а дальнейшее более пологое повышение $^{87}Sr/^{86}Sr$ временного отрезка 85–65 млн лет назад приобрело статус главного тренда на позднефанерозойском этапе эволюции.

Заметим, что изотопное отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ возрастало в морской воде на 0.0002 единицы за 10 млн лет во временном интервале 85–65 млн лет назад и почти с таким же приращением увеличивалось в последние 15 млн лет. Принимая эти части кривой в качестве характеристики главного тренда в последние 90 млн лет, обозначим импульс отклонения от этого тренда – его нарушение на временном отрезке 65–37 млн лет назад и восстановление на временном отрезке 37–15 млн лет назад. Если нарушение главного тренда импульсом мантийной подпитки в раннем и среднем фанерозое выражалось в снижении $^{87}Sr/^{86}Sr$, а восстановление – в возрастании этого отношения, нарушение и восстановление главного тренда в позднем фанерозое было иным. При нарушении тренда в интервале 65–37 млн лет назад отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ менялось во времени слабо, а при его восстановлении в интервале 37–15 млн лет назад быстро возрастало.

По аналогии с пермо-триасовым импульсом нарушения и восстановления главного тренда, можно найти магматические маркеры переломных моментов импульсов нарушения главного тренда позднефанерозойских морских записей $^{87}Sr/^{86}Sr$. К примеру, на окончание отрезка 85–65 млн лет назад приходится активность крупной магматической провинции Декан. В качестве магматического эпизода, сопровождавшего восстановление средне-позднефанерозойского главного тренда, можно принять максимальную активность крупной магматической провинции Снэйк-Ривер (~17 млн лет назад). Но активность такой крупной магматической провинции как Эфиопской ~30 млн лет назад в морских записях $^{87}Sr/^{86}Sr$ не отразилась.

Отмеченные позднефанерозойские рубежи морских записей $^{87}Sr/^{86}Sr$ (90, 65, 40–37 и 17–15 млн лет назад) были отчётливо обозначены в магматической активности и тектонических перестройках разных регионов Азии. Так, магматизм окраинно-континентального Восточно-Сихотэ-Алинского пояса начинался около 90 млн лет назад и завершался около 65 млн лет назад. В Юго-Западной Японии этим же временным диапазоном ограничивалась эксгумационная активность пояса Санбагава, сопровождавшаяся магматизмом пояса Риоке (Rasskazov, Taniguchi, 2006).

Незначительные изменения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в интервале 66–37 млн лет назад приблизительно соответствовали интервалу Индо-Азиатской коллизии и среднеэоценовой структурной перестройке. Подобные тектонические и магматических процессы могли повлечь за собой слабые вариации $^{87}Sr/^{86}Sr$ временного интервала 140–90 млн лет назад. По-видимому, коллизионный характер соединения (конвергенции) континентальных массивов в целом

обусловил главный тренд $^{87}Sr/^{86}Sr$ морских записей раннего и среднего фанерозоя от 500 до 90 млн лет назад. Нарушение главного тренда свидетельствовало о структурных перестройках, сопровождавшихся возрастанием роли мантийных компонентов, возможно, в условиях усиления роли процессов деструкции (дивергенции). На позднефанерозойском этапе, главный тренд, нарушенный Индо-Азиатской коллизией и другими процессами, восстанавливался в интервале 37–15 млн лет назад, подобно тому, как восстанавливался главный ранне-среднефанерозойский тренд.

В раннем и среднем фанерозое главный тренд нарушался подпиткой мантийным материалом с нисходящими значениями $^{87}Sr/^{86}Sr$ морских записей. В позднем фанерозое роль этой подпитки нивелировалась, фаза подпитки с нисходящими значениями $^{87}Sr/^{86}Sr$ отсутствовала, а осуществлялось только увеличение этих отношений.

В раннем-среднем фанерозое мантийный материал мог поступать в океанскую воду благодаря увеличению скорости спрединга океанского дна, размыву океанических плато или вулканических островов. Сейчас невозможно составить полное представление о вкладе в изотопный баланс Sr эндогенных и экзогенных процессов. Важно подчеркнуть наличие этого вклада и эпизодический переход в состояние, соответствовавшее главному тренду. Около 90 млн лет назад динамика мантийных и коровых процессов изменилась. Теперь поступление мантийного материала, обеднённого радиогенным ^{87}Sr, уже не имело самостоятельного значения, а получило существенное распространение растворение в океанской воде корового материала, выраженное в последовательном возрастании $^{87}Sr/^{86}Sr$. Это нарастание было прервано процессами, сопровождавшими Индо-Азиатскую коллизию. В дальнейшем в океанской воде растворялся вновь преимущественно коровый материал с высоким $^{87}Sr/^{86}Sr$.

Около 15 млн лет назад произошло отделение Южной Америки от Антарктиды и образовался пролив Дрейка, обеспечивший циркуляцию вод вокруг Антарктиды (Котляков, 1994). Связывая интервал последних 15 млн лет с главным трендом позднефанерозойской эволюции, можно предположить, что характер вариаций изотопов Sr в Мировом океане зависел от циркуляции океанических течений. Обстановка, подобная обстановке главного тренда, сложившаяся в результате образования пролива Дрейка, могла существовать в интервале 85–65 млн лет назад и оказалась нарушенной Индо-Азиатской коллизией и сопутствующими событиями начала кайнозоя.

В позднем фанерозое эпизоды нарушения главных трендов морских записей изотопных отношений стронция в целом рассредоточены. В контексте событий позднего фанерозоя эпизоды нарушения главных трендов были лишь частично сопряжены с магматическими событиями, составлявшими эволюционный фон для разворота главных трендов морских записей $^{87}Sr/^{86}Sr$.

Обсуждение

Для ответа на основной вопрос о начале новейшего геодинамического этапа в Азии, прежде всего, принимаются во внимание соответствующие этому началу события, а также характер магматических процессов до и после начальной точки отсчета в контексте общей эволюции Земли в океанах и на континентах.

Аргументация точки отсчета новейшей геодинамики в Азии около 90 млн лет назад, сопутствующие глобальные изменения на Земле

Первоначальная гипотеза о начале новейшего геодинамического этапа в Азии около 90 млн лет назад исходит из данных о пространственно-временном распространении вулканизма Центральной Монголии (Рассказов, Чувашова, 2013а; Чувашова, Рассказов, 2014). Около 90 млн лет назад шошонит-латитовый и трахибазальтовый вулканизм Южной Гоби из источников с коровыми геохимическими характеристиками сменяется щелочнобазальтовым вулканизмом с характеристиками мантии. В ходе эволюции вулканизма Центральной Монголии последних 90 млн лет различаются его квазипериоды 20, 10, 7.5, 2.5 и 0.3–0.7 млн лет. На разных территориях конвергентный характер вулканизма

сменяется противофазным чередованием конвергентного и рифтогенного вулканизма. Гипотеза о единой направленности вулканического процесса Центральной Азии получает дополнительную аргументацию новыми данными по вулканизму Средней Гоби (Чувашова и др., 2024).

Запуск новейшей геодинамики Азии около 90 млн лет назад близок по времени или совпадает с: 1) окончанием суперхроны Джалал, 2) нарушением великих циклов эксцентриситета в орбитальном вращении Земли, 3) извержением наиболее высокотемпературных (ультрамагнезиальных) коматиитовых магм о-ва Горгона, 4) различием в распространении щелочных комплексов с карбонатитами в Северной Азии и Индии и 5) сменой главных трендов морских записей $^{87}Sr/^{86}Sr$.

Особое звучание приобретает недавно обнаруженное прохождение великого цикла эксцентриситета Земли 2.4 млн лет за 1.2 млн лет в интервале 87–85 млн лет назад (Ma et al., 2017). Нарушение орбитального вращения Земли не могло не сопровождаться изменением ее внутреннего состояния. Более того, орбитальное движение Земли могло быть нарушено из-за ее особой внутренней динамики. Искаженному движению по орбите в интервале 87–85 млн лет назад предшествует длительный режим спокойного магнитного поля ядра Земли, начавшийся 119 млн лет назад. Вслед за искаженным движением, около 83 млн лет назад, ядро выходит из режима спокойствия.

В качестве основного фактора вариаций частоты палеомагнитных инверсий рассматривается величина теплового потока на границе ядро – мантия (Диденко, 2011). С увеличением теплового потока до некоторой критической величины геомагнитное поле из дипольного безынверсионного состояния способно перейти в инверсионное. И наоборот, при уменьшении теплового потока геомагнитное поле переходит из инверсионного в безынверсионное. Интервал прямой полярности Джалал – время длительного существования низкого теплового потока на границе ядро – мантия. Переход от суперхроны к инверсионному режиму около 83 млн лет назад, продолжающемуся до настоящего времени, обозначил повышение теплового потока на границе ядро–мантия. Следовательно, переход к новейшей геодинамике отразил суть глобальных процессов, получивших развитие после интервала длительного относительного покоя на границе ядро – мантия.

Особенность вулканизма среднего мела, предшествующего переходу к новейшему геодинамическому этапу

В середине мела магматизм широко проявился на всей Земле. Огромные масштабы вулканизма, сопоставимого с проявлениями траппов крупных магматических провинций, породили гипотезу о связи глобальной среднемеловой вспышки магматизма с активностью суперплюма (Larson, 1991). Аномально-горячее состояние нижней мантии этого времени моделировалось нарушением термального граничного слоя 660 км лавинным погружением слэбов, вызывавшим обратный поток с его проявлением на земной поверхности около 125 млн лет назад и повторным проявлением – около 60 млн лет назад (Machetel, Humpler, 2003).

Среднемеловой вулканизм Центральной Монголии представлял собой часть обширной территории Азии, занятой мезозойским вулканизмом (Рассказов, Чувашова, 2012б; Воронцов и др., 2016; Ярмолюк и др., 2019, 2020; Чувашова и др., 2024). Среднемеловые шошонитовые и трахибазальтовые вулканические извержения Азии были частыми, но после нарушения великого цикла эксцентриситета орбитального вращения Земли сменились в Центральной Монголии на щелочнобазальтовые извержения продолжительных (20-летних) интервалов. Частота импульсов вулканических извержений во Внутренней Азии с течением времени последовательно возрастала. В четвертичный период вулканические импульсы укладывались в квази-периоды 0.3–0.7 млн лет циклов М. Миланковича. Для выявления квазипериодичности в рядах частых вулканических событий среднего мела необходимы специальные прецизионные геохронологические исследования вулканизма. Интенсивный вулканизм этого времени мог подчиняться квазипериодичности, установившейся в четвертичное время.

Для констатации резкого различия в геодинамике среднего и позднего мела

достаточно подчеркнуть существенное снижение интенсивности вулканического процесса. Ослабленный вулканизм с замедленной квазипериодичностью выстраивается затем в единую ускоряющуюся последовательность позднего мела и кайнозоя. Уместно сравнить геодинамические изменения в начале новейшего геодинамического этапа с изменением вращения юлы, подвергшейся внешнему воздействию. Вращение такой юлы становится неустойчивым и осложняется длиннопериодными колебательными движениями. Подобным образом около 90 млн лет назад в Центральной Монголии начался вулканизм продолжительных временных интервалов, последовательно сменившихся менее продолжительными с наиболее частыми финальными извержениями в четвертичное время.

Место сборки и распада Вегенеровской Пангеи в переходе от древней геодинамики к новейшей

Распад Пангеи преобразил Землю коренным образом. Спрединг коры с оформлением дна Мирового океана, в сущности, означал однонаправленный процесс растяжения. Кора разных океанов, однако, образовалась в разное время. В самом раннем океане из существующих ныне (Атлантическом) спрединг дна начался около 280 млн лет назад. Отдельные фрагменты такого возраста сохранились в краевых частях Северной Атлантики, граничащей с пассивными континентальными окраинами, а также в закрывшемся средиземноморском фрагменте Неотетиса (рис. 12).

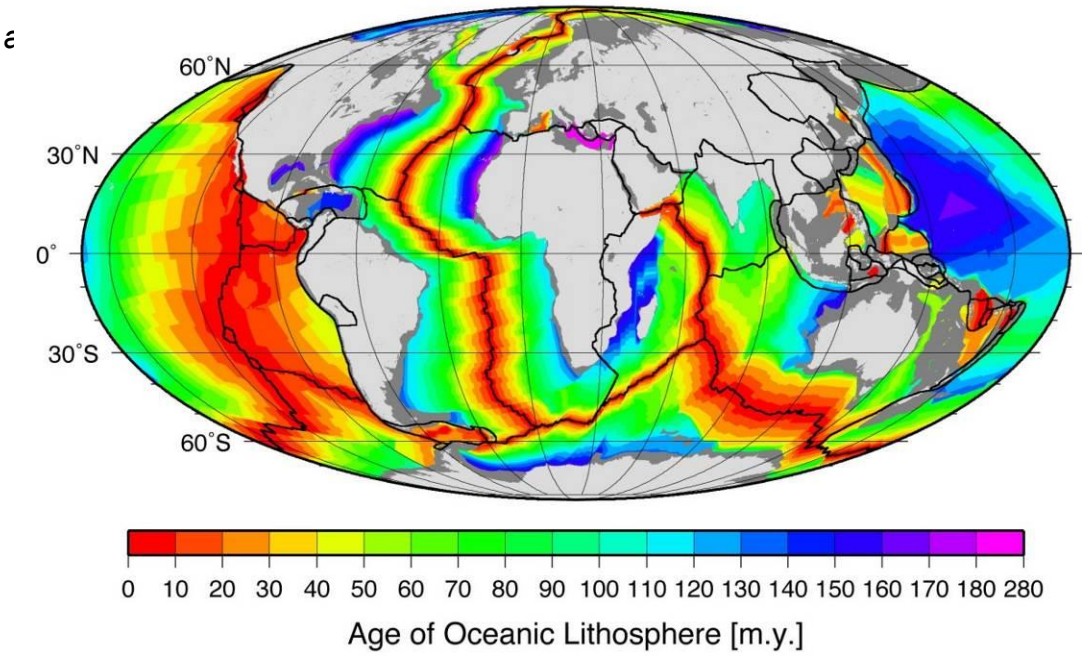

Рис. 12. Вариант реконструкций возраста океанической коры (Müller et al., 2008). Возраст основан на выявленных магнитных аномалиях современных океанов и реконструкциях плит.

Fig. 12. A variant of the oceanic crust age reconstruction (Müller et al., 2008). The age is based on the identified magnetic anomalies of modern oceans and plate reconstructions.

Предполагается, что бассейн Тихого океана мог существовать с докембрия приблизительно в современных границах. Древняя океаническая кора Палеопацифика субдуцирована в мантию, обдуцирована на континенты или находится в аккретированных террейнах. Разрастание Тихоокеанской литосферной плиты реконструируется со 160 млн лет назад от тройного сочленения плит Кула, Фаралон и Феникс (Hilde et al., 1977).

Арктический океан образовался позже при разрушении Арктического палеоконтинента (Зоненшайн, Натапов, 1987). В интервале 133–125 млн лет назад заложился Канадский

океанический бассейн, 125–80 млн лет назад образовалась система бассейнов и хребтов (впадина Подводников, Ломоносовский хр. и др.) и 56 млн лет назад заложился Евразийский бассейн, который продолжает раскрываться в настоящее время. Структурные перестройки около 125 и 80 млн лет назад сопровождались проявлением объемного мантийного магматизма (Nikishin et al., 2017, 2021).

Эволюция континентальной литосферы была частично согласована, а частично различалась с эволюцией океанической литосферы. Например, в Ливантийской провинции и на сопредельных территориях Северо-Восточной Африки, начиная, приблизительно, с рубежа ранней и средней юры (со 175 млн лет назад), поддерживалась квазипериодичность магматизма 13 млн лет (Segev, 2000). По этому признаку обозначенная территория характеризуется выдержанной во времени геодинамикой. Соответственно, этот квазиравномерный магматизм отличается от магматизма Центральной Монголии с ускоряющимися квазипериодами от 20 млн лет до 0.3–0.7 млн лет. Резкое изменение магматизма около 90 млн лет назад с переходом к новейшему геодинамическому этапу произошло в Азии, но не отразилось в ходе ливантийского магматизма, имеющего сквозной характер, подобно спредингу в океанах. Такое различие подчеркивает региональную континентальную геодинамическую специфику Азии.

Случаи сквозной эволюции вулканизма в среднем-позднем мелу и кайнозое

Мощный среднемеловой всплеск магматизма Земли обозначает ее особое геодинамическое состояние. Между тем, случай сквозной эволюции ливантийского магматизма, получившего единообразное развитие на протяжение 175 млн лет, в том числе в среднем-позднем мелу и кайнозое, не единственный. В других регионах Мира также известны случаи сквозной средне-позднемеловой-кайнозойской магматической эволюции.

В качестве примера может служить Императорско-Гавайская цепь подводных вулканов Тихого океана. Возраст подводных гор в Императорском хребте постепенно увеличивается с юга на север. На океаническом дне под самыми северными подводными горами магнитная линейность отсутствует, поскольку оно формировалось в меловой спокойный период. Самые древние гайоты Детройт (81 млн лет) и Мэйдзи (85 млн лет) образовались на тонкой литосфере, возраст которой в то время составлял менее 20 млн лет (Caplan-Auerbach et al., 2000; Regelous et al., 2003). Поднятие Обручева и вулканические породы Императорско-Гавайского горячего пятна простираются на север вплоть до Камчатского мыса, на котором в альбе-сеномане (112–93 млн лет назад) извергались базальты с внутриплитными геохимическими характеристиками (Савельев, 2003; 2004). Происхождение альб-туронских океанических образований Камчатского мыса в океаническом спрединговом центре реконструировалось по специфическим процессам вторичных изменений пород (Соколов, 1997). По мере продвижения подводных гор к югу состав микроэлементов и изотопный состав вулканических пород меняется в зависимости от возраста подстилающей океанической тихоокеанской литосферы. Древнейшие императорские лавы, извергавшиеся сквозь молодую литосферу вблизи бывшего спредингового центра, имеют относительно обедненный микроэлементный и изотопный состав. Более молодые императорско-гавайские лавы, извергавшиеся сквозь более древнюю литосферу, имеют более обогащенный состав (Regelous et al., 2003).

Другой пример сквозной эволюции вулканизма в среднем-позднем мелу и кайнозое касается внутренней части Евразии. На Южном (Китайском) Тянь-Шане вулканизм с внутриплитными геохимическими характеристиками начался в апте и завершился в эоцене. На протяжении временного интервала 122–46 млн лет назад извергалась серия расплавов пикробазальт–базанит–фонотефрит–фонолит, производная плавления малоглубинного безгранатового источника мантии. В отличие от Южного Тянь-Шаня, в Северном и Срединном Тянь-Шане был представлен ряд расплавов фоидит–базанит–трахибазальт–базальт–андезибазальт в ограниченном временном интервале 61–53 млн лет назад. Базаниты и фоидиты выплавлялись в глубокой части мантии гранатовой фации, а трахибазальты, базальты и андезибазальты – в нижней коре.

Предполагалось, что различие мел-палеогеновых вулканических серий Южного и Северного-Срединного Тянь-Шаня отражало разный характер активизации мантийных и коровых неоднородностей, образовавшихся в процессе позднепалеозойского закрытия Туркестанского палеоокеана (Рассказов и др., 2015).

Подобные разновозрастные соотношения вулканизма с разным характером мантийных и коровых источников определяются по латерали шовной зоны Урало-Монгольского палеоокеана в районе хр. Арц-Богд. Непосредственно в этой шовной зоне, на вулканическом поле Арц-Богд, до 94 млн лет назад извергались шошониты, сменившиеся извержениями щелочных базальтов, продолжавшимися до 19 млн лет назад (Enkhtuvshin, 1995). Южнее этого вулканического поля, на вулканическом поле Тсост, базальты, извергавшиеся 107–99 млн лет назад, имели щелочнобазальтовый состав с содержанием MgO до 9 мас. % и составами, соответствующими мантийному направлению на диаграмме Th/Yb – Ta/Yb) (Sheldrick et al., 2018, 2020).

Рассмотренные примеры показывают, что в общей геодинамической эволюции Земли с переходом от обстановки, предшествующей переходу к новейшему геодинамическому этапу, в средине мела могут проявляться сквозные вулканические процессы, отражающиеся в локальной генерации магм с мантийными характеристиками.

Магматические и тектонические события как основа для реконструкций процессов первой половины новейшего геодинамического этапа

На фоне спредингово-океанического распада Пангеи в Азии осуществлялось наращивание континентальной коры присоединением к ней геологических блоков на востоке и юге. Заметное событие этой сборки – Индо-Азиатское столкновение. Индийский субконтинент входил в состав Гондваны вместе с субконтинентами Африки, Австралии и Антарктиды, отделился от них около 130–100 млн лет назад, продвинулся и присоединился к Азии около 66–32 млн лет назад (Beck et al., 1995; McLoughlin, 2001; Khan et al., 2004; Sarkar et al., 2023). По отношению к спредингово-океаническому распаду Пангеи, наращивание континентальной коры Евразии выступило как противоположный процесс.

После начала взаимодействия Индии и Азии 66–50 млн лет назад в Евразии последовала длительная тектоническая и магматическая нестабильность. Аравийско-Евразийская конвергенция стабилизировалась на уровне 2–3 см в год с 56 млн лет назад и снизилась до <1 см в год около 25 млн лет назад одновременно с открытием моря Рида (McQuarrie et al., 2003). Самое сильное глобальное потепление в кайнозое произошло около 61–56 млн лет назад (Hudson, Magoon, 2002; Jolley et al., 2002). Предполагалось, что это явление было вызвано разрушением газогидратов океанических отложений с выделением метана и возмущением океанических вод, вызванным магматизмом Исландского прото-плюма в северо-восточной части Атлантического океана. Для вулканических событий этого плюма различными изотопными методами были получены датировки 60 млн лет и моложе (Dickin, 1988). В интервале 61–56 млн лет деформировались осадочные отложения аккреционного клина Аляскинского залива, что также вызвало увеличение производства метана и глобальное потепление (Hudson, Magoon, 2002). В раннем кайнозое между 53.5 и 37.5 млн лет произошла крупная перестройка глобальных движений литосферных плит (Rona, Richardson, 1978; Gordon, Jurdy, 1986). Таким образом, магматические события 60–50 млн лет в Евразии были инициированы не только Индо-Азиатской коллизией, но отражали также глобально возросшую тектоническую нестабильность.

В Южной Евразии определяется временной интервал сжатия с 57.4 ± 2.4 млн лет до 47.8 ± 2.4 млн лет назад (Boztug et al., 2004). Подобные события наблюдались на юго-востоке Сахалина. Нарастающее сжатие здесь было представлено высокобарным

метаморфизмом в интервале 64–54 млн лет назад, а ослабления сжатия – внедрением гранитоидов S-типа в интервале 49–42 млн лет назад. Соответственно, вулканические импульсы 58–56 и 48–44 млн лет назад связаны с началом и завершением коллизионного интервала 57–48 млн лет. Важно подчеркнуть существенное различие в пространственном распределении палеоцен-раннеэоценовых и среднеэоценовых магматических событий.

В интервале 60–50 млн лет магматизм сосредоточился вдоль восточных окраин Монгольского, Северо-Китайского и Южно-Китайского блоков, а также в Тунка-Еравнинской зоне и Долине озер. Позже, в среднем эоцене, магматизм снова проявился вдоль восточных окраин Монгольского, Северо-Китайского и Южно-Китайского блоков со смещением в Центральной Азии к северо-западной границе Монгольского блока. Базальты «внутриплитного» типа извергались в Северо-Охотском регионе до 54 млн лет.

Ключевую роль в развитии палеоценового рифтогенеза и магматизма в Восточной и Центральной Азии сыграла аккреция Охотоморской плиты к окраине Азии. По мере затухания этих процессов на востоке, роль коллизии на юге, между Индией и Азией, возросла, что привело к формированию нового типа деформаций и магматизма в Центральной Азии. Палеомагнитные исследования в Сихотэ-Алине выявили вращение против часовой стрелки в позднем мелу – раннем палеогене. Это явление первоначально объяснялось левосторонним движением вдоль сдвиговых разломов субмеридианального простирания. Однако этой интерпретации противоречили результаты палеомагнитных исследований, выполненных на восточной окраине Северо-Китайского блока. Согласно новой гипотезе (Otofuji et al., 2003), богопольская свита Сихотэ-Алиня образовалась в палеоцене на юго-восточной окраине жёсткого Монгольского блока, который впоследствии не испытывал значительного вращения относительно Евразии. Стратиграфически нижележащие вулканические породы сиджановской свиты и кисинской группы, наиболее ранние игнимбриты позднемеловой монастырской и приморской серий Восточно-Сихотэ-Алинского вулкано-плутонического пояса внедрились, когда этот блок повернул против часовой стрелки на 41° ± 16°. Это вращение было направлено в противоположную сторону относительно вращения восточной части Северо-Китайского блока, реконструированного для конца раннего мела, позднего мела и пост-мелового временного интервала. Это несоответствие свидетельствовало о вращении блока континентальной окраины, подобном более позднему вращению такого же блока со среднемиоценовым открытием Японского моря, вызванным «чистой горизонтальной силой», направленной в сторону океана (Otofuji et al., 2003).

Между магматическими и седиментационными событиями Байкальской рифтовой системы и задугового Япономорского бассейна устанавливается тесная связь, начиная с 16 млн лет, посредством Японско-Байкальского геодинамического коридора (Chuvashova et al., 2017), С учетом сходства раскрытия задуговых бассейнов на восточной окраине Азии позднемелового-пост-мелового временного интервала и синхронного проявления вулканизма в Западном Забайкалье и Приморье не только в позднем кайнозое, но и 60–43 млн лет назад, действие Японско-Байкальского геодинамического коридора распространяется на весь новейший геодинамический этап последних 90 млн лет.

Выражение глубинной геодинамики в аномалиях геоида Индийского океана и Центральной Азии

В рамках гипотезы об исключительной роли в эволюции Земли распада Пангеи (Le Pichon et al., 2019) не находят объяснения низкие аномалии Индийского океана и Евразии. Понимание причин таких геодинамических осложнений невозможно без привлечения, кроме спрединговой эволюции океанов, геологической эволюции Азии.

С одной стороны, Индийский палеоконтинент, отделившись от Гондваны, пересек Тетис и в интервале 66–32 млн лет назад столкнулся с южной окраиной Азии. Во Внутренней Азии широко проявлены последствия Индо-Азиатской конвергенции. С другой стороны, Сибирский палеоконтинент испытал значительные смещения с севера на юг в интервале 200–150 млн лет назад с последующим несущественным движением по широте (Кравчинский, 1995; Besse, Courtillot, 2002; Kravchinsky et al., 2002; Коваленко, 2010; Khanchuk et al., 2015). В середине этого интервала, на северо-западном берегу оз. Байкал накапливалась мощная толща конгломератов, которая относится, по палеонтологическим данным, к верхней части ааленского яруса средней юры (174–170 млн лет) (Скобло и др., 2001). В составе конгломератов находятся трахидацит-риолитовые гальки плюмазитового состава. Среднеюрский вулкан активизировался в шовной зоне Сибирского палеоконтинента. По южному краю палеоконтинента в условиях сжатия в это время получили развитие надвиги (Замараев и др., 1983). Вулкан находился на эродируемом горном хребте, погребенном в позднем кайнозое под осадочными отложениями Южно-Байкальской впадины (Олиферовский и др., 2022). Южно-Байкальский хребет, образовавшийся в средней юре, продолжал играть роль водораздела между краем Сибирского палеоконтинента и Забайкальем в мелу и раннем-среднем кайнозое. Впадины формировались в это время в Селенгино-Витимском прогибе Западного Забайкалья. Южно-Байкальская впадина в ее современных границах заложилась в позднем кайнозое (Чувашова и др., 2019; Рассказов и др., 2021).

По-видимому, в низких аномалиях геоида отражается конечный результат встречного движения Сибирского и Индийского палеоконтинентов. Около 170 млн лет назад движение Сибирского палеоконтинента с севера на юг сопровождалось сжатием коры у его южного края, а движение Индийского палеоконтинента с юга на север привело к образованию высокого синколлизионного Тибетско-Гималайского горного сооружения. В обоих случаях процессы сжатия земной коры континентов с образованием орогенов вряд ли могут выстраиваться в единый ряд с процессами растяжения, обеспечивающими спрединговую эволюцию океанов.

Модели геоида используются для реконструкций глубинной динамики Земли в сопоставлении с глобальными моделями сейсмической томографии. В работах, посвященных исследованиям современной формы Земли, подчеркивается наибольшая глубина аномалии Индийского океана и отчетливо наблюдается единство низких аномалий геоида Индийского океана и Евразии. Учитывается также фактор полярного сплющивания Земли (Nakiboglu, 1982; Cambat et al., 2010; Cui et al., 2019; Pal, Ghosh, 2023). При этом обособленность низких аномалий геоида Индийского океана и Евразии сохраняется в разных моделях. Евразийская низкая аномалия геоида составляет единое целое с низкой аномалией геоида в Арктике (рис. 13).

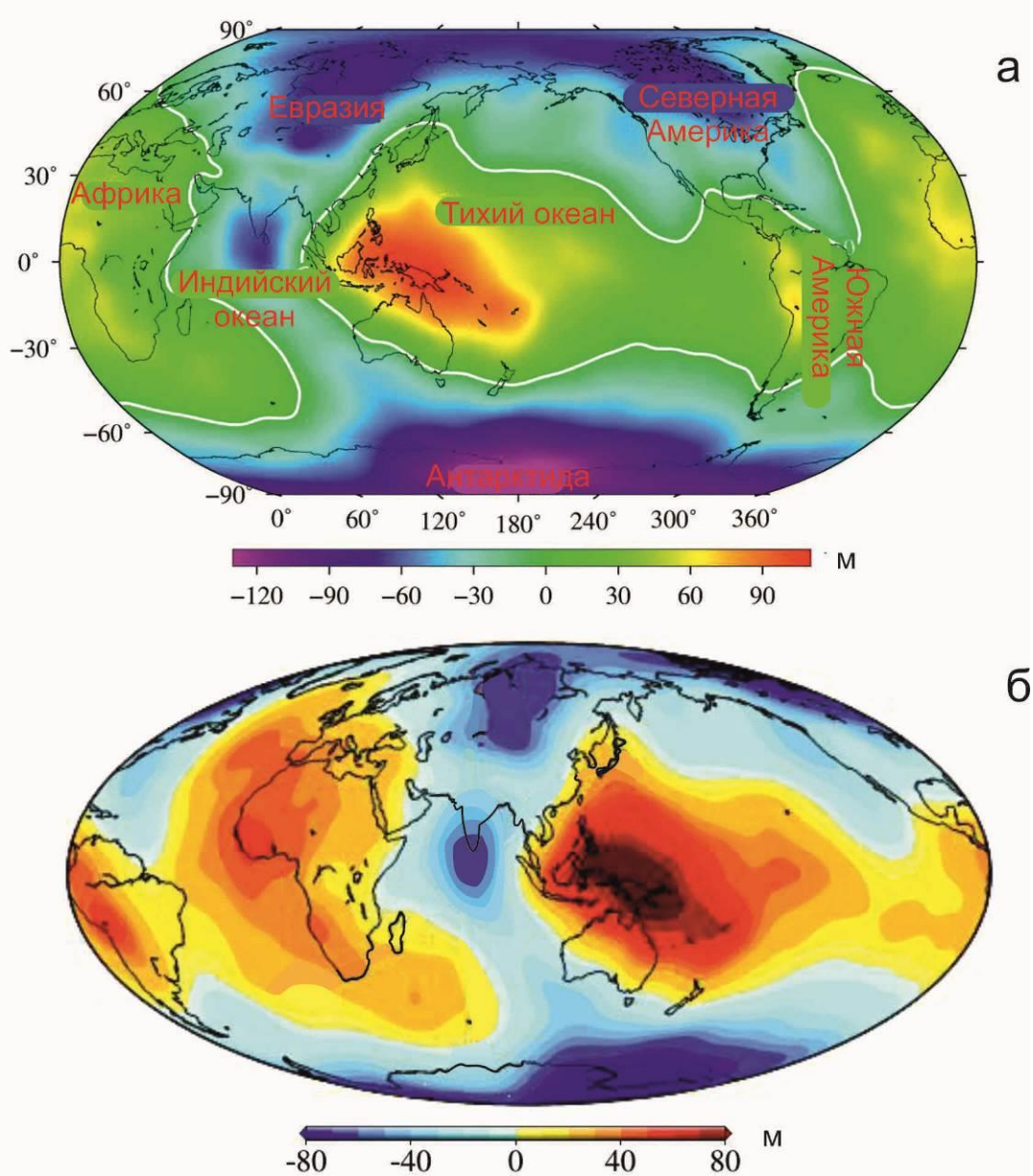

Рис. 13. Два варианта пространственного соотношения низкой аномалии геоида в Центральной Азии и Арктике с наиболее выразительной низкой аномалией геоида в Индийском океане: *а* – Cambat et al., 2010; Cui et al., 2019; *б* – Nakiboglu, 1982; Pal, Ghosh, 2023.

Fig. 13. Two versions of spatial relationship of the low geoid anomaly in Central Asia and Arctic with the most pronounced low geoid anomaly in the Indian Ocean: *a* – after Cambat et al., 2010; Cui et al., 2019; *б* – after Nakiboglu, 1982; Pal, Ghosh, 2023.

Происхождение самой глубокой аномалии геоида в Индийском океане дискуссионно. Существует несколько конкурирующих гипотез, среди которых с использованием сейсмотомографических моделей сделан вывод о гравитационном влиянии на глубокую аномалию геоида в Индийском океане расплавных аномалий средней и верхней мантии (Reiss et al., 2017; Cui et al., 2019; Rao et al., 2020; Pal, Ghosh, 2023, 2024). В двух последних цитированных работах формирование депрессии геоида реконструируется с учетом движения литосферных плит за счет глобальной мантийной конвекции, начиная со 140 млн лет назад до настоящего времени. Предполагается, что поток, вызванный нисходящими слэбами Тетиса, возмущает Африканскую низкоскоростную область и приводит к

образованию плюмов, материал которых достигает верхней мантии. Низкая аномалия Индийского океана, таким образом, обусловлена этими плюмами, наряду со структурой мантии, сложившейся вблизи минимума геоида.

В реконструкции из работы (Pal, Ghosh, 2023) позднефанерозойская Евразия остается фактически неподвижной при существенных смещениях сопредельных литосферных плит Земли. Такая модель согласуется с построениями, в которых Азия пространственно соответствует глобальной Азиатской Изотопной Термальной Аномалии (ASITA), обозначающей мантийный остов ранней Земли (Rasskazov et al., 2020; Рассказов и др., 2024), а также с различием времени проявления и источников карбонатитовых магм в Индии и Северной Азии (Рассказов и др., 2024; Rasskazov et al., 2025).

Самое низкое положение аномалии геоида в Центральной Азии (рис. 13) пространственно соответствует Саяно-Монгольскому низкоскоростному домену на глубинах мантии 50–200 км. Новейший магматизм этого домена характеризует глубинные процессы в Саяно-Монгольском секторе Индо-Азиатской конвергенции (Рассказов и др., 2012; Chuvashova et al., 2017). Субмеридиональное сочетание низких аномалий геоида Индийского океана с низкими аномалиями в центре и на севере Азии с выходов в Арктику может служить показателем главенства глубинной динамики субмеридиональной трансазиатской континентальной структуры. В связи с этим подключение бокового воздействия на Центральную Азию Японско-Байкальского геодинамического коридора может рассматриваться как наложенный фактор, осложняющий глубинные процессы в Байкальской рифтовой системе на новейшем геодинамическом этапе. Такое соотношение сил должно приниматься во внимание в деформационной модели рифтовой системы при разработке подходов к прогнозу сильных землетрясений.

Заключение

Подобно понятию «новейшая тектоника», понятие «новейшая геодинамика» не имеет строго определенного рубежа в эволюции Земли. Распад Вегенеровской Пангеи придал импульс запуску спрединговых корообразующих процессов уже около 280 млн лет назад. Дальнейший спрединг реализовался в разное время в современных океанах Земли. В геологической эволюции Азии, однако, сочетались процессы, которые обеспечили направленность процессов, отличающуюся от спредингового корообразования. Причиной особой эволюции Азии явилось то, что с одной стороны, значительные смещения с севера на юг испытывал Сибирский палеоконтинент в интервале 200–150 млн лет назад, с другой стороны, значительные смещения с юга на север испытывал Индийский палеоконтинент, отделившийся от Гондваны и в интервале 66–32 млн лет назад столкнувшийся с южной окраиной Азии.

В составе магматических комплексов позднего палеозоя и мезозоя Центральной и Восточной Азии распространены гранитоидные массивы, редкометалльные Li–F гранитоиды и их эффузивные аналоги (онгониты), агпаитовые эффузивные и интрузивные породы среднего и кислого состава с щелочными пироксенами и амфиболами. В позднем мелу и кайнозое такие породы отсутствуют. Характер магматизма меняется со среднего мела к позднему. Среднемеловые шошонитовые и трахибазальтовые вулканические извержения Азии происходят часто. В Центральной Монголии они сменяются более редкими щелочнобазальтовыми извержениями продолжительных (20-летних) интервалов. Частота импульсов вулканических извержений с течением времени последовательно возрастает и укладывается в квазипериоды 10, 7.5 и 2.5 млн лет. В четвертичное время вулканизм переходит в квазипериодичность 0.3–0.7 млн лет.

На фоне направленного спредингового процесса распада Вегенеровской Пангеи в эволюции Земли отчетливо выделяются события, имеющие маркирующее значение для обоснования начала новейшего геодинамического этапа в Азии около 90 млн лет назад: 1) окончание суперхроны Джалал около 83 млн лет назад, 2) нарушение великих циклов эксцентриситета 2.4 млн лет в орбитальном вращении Земли 87–85 млн лет назад, 3)

извержение наиболее высокотемпературных (ультрамагнезиальных) коматиитовых магм о-ва Горгона около 90 млн лет назад при общем рассредоточенном характере других ультрамагнезиальных (меймечитовых, пикритовых, дунитовых) магм в мезозое и кайнозое, 4) ограничение распространения щелочных комплексов с карбонатитами в Северной Азии срединой мела при увеличении роли карбонатитов в Индии в ходе дальнейшей эволюции Земли и 5) смена главных трендов морских записей $^{87}Sr/^{86}Sr$ около 90 млн лет назад.

Новейшая геодинамическая эволюция Земли выражена в образовании наиболее глубокой аномалии геоида Индийского океана в пространственном сочетании с подобной Евразиатской аномалией. Самое низкое положение аномалии геоида в Индийском океане связывается с нарушением плюмами границы нижней и верхней мантии. Самое низкое положение аномалии геоида в Центральной Азии пространственно соответствует Саяно-Монгольскому низкоскоростному домену на глубинах верхней мантии 50–200 км. Новейший магматизм этого домена характеризует глубинные процессы в Саяно-Монгольском секторе Индо-Азиатской конвергенции. Сочетание низких аномалий геоида Индийского океана с низкими аномалиями в центре и на севере Азии с выходом в Арктику может служить показателем главенства глубинной динамики субмеридиональной трансазиатской континентальной структуры. В связи с этим подключение бокового воздействия на Центральную Азию Японско-Байкальского геодинамического коридора может рассматриваться в качестве дополнительного наложенного фактора, осложняющего глубинные процессы в Байкальской рифтовой системе на новейшем геодинамическом этапе. Такая оценка соотношения сил может приниматься во внимание в деформационной модели рифтовой системы при разработке подходов к прогнозу сильных землетрясений.

Литература

Акинин В.В. Позднемезозойский и кайнозойский магматизм и преобразование нижней коры в северном обрамлении Пацифики. Автореферат диссертации… доктора геол.-мин. наук. М., ИГЕМ РАН, 2012. 43 с.

Белый В.Ф., Белая Б.В. Поздняя стадия развития Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (верхнее течение р. Энмываам). Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 108 с.

Воронцов А.А., Ярмолюк В.В., Комарицына Т.Ю. Позднемезозойский-раннекайнозойский рифтогенный магматизм Удинского сектора (Западное Забайкалье) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57б № 5. С. 920–946.

Диденко А.Н. О возможной причине квазипериодических колебаний частоты геомагнитных инверсий и величины 87Sr/86Sr в морских карбонатных породах в фанерозое // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 12. С. 1945–1956.

Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2001. 409 с.

Доусон Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них. М.: Мир, 1983. 306 с.

Замараев С.М., Сизых В.И., Мешалкин С.И., Новокшонов Ю.А. Особенности строения Ангарского надвига // Геология и геофизика. 1983. № 5. С. 126–129. (Zamaraev S.M., Sizykh V.I., Meshalkin S.I., Novokshonov Yu.A. Structural Features of the Angarsk Thrust // Geology and Geophysics. 1983, No. 5. P. 126–129.)

Зоненшайн Л.П., Натапов Л.М. Тектоническая история Арктики // Актуальные проблемы геотектоники. М.: Наука, 1987. С. 31–57.

Каретников А.С. Возраст и генезис платиноидной минерализации массива Кондер: палеомагнитные и радиоизотопные данные // Литосфера, 2006, № 3. С. 96–107.

Каретников А.С. Оценка возраста ультрамафитов массива Чад (Хабаровский край) по палеомагнитным данным // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34, №: 6. С. 74–90.

Кириллова Г.Л. Корреляция меловых событий на Востоке Азии с глобальными событиями // Тихоокеанская геология. 1997. № 6. С. 3–20.

Кириллова Г.Л. Мел востока России: седиментация, геодинамика, биоразнообразие, климат. Владивосток: Дальнаука, 2000. 94 с.

Коваленко В.И., Костицын Ю.А., Ярмолюк В.В. и др. Источники магм и изотопная (Sr, Nd) эволюция редкометальных Li–F гранитоидов // Петрология. 1999. Т. 7, № 4. С. 401–429.

Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Андреева И.А. и др. Типы магм и их источники в истории Земли. Часть 2. Редкометалльный магматизм: ассоциации пород, состав и источники магм,

геодинамические обстановки формирования. М.: ИГЕМ РАН, 2006. 280 с.

Коваленко Д. В. Палеомагнетизм позднепалеозойских, мезозойских и кайнозойских геологических комплексов Монголии // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 4. С. 496–515.

Корина Н.А. Хангайское нагорье // Геоморфология Монгольской народной республики. Труды Совместной Советско-Монгольской научно-исследовательской экспедиции. Вып. 28. М.: Наука. 1982. С. 87–108.

Котляков В.М. Мир снега и льда. М.: Наука, 1994. 286 с.

Котляр И.Н., Русакова Т.В. Меловой магматизм и рудоносность Охотско-Чукотского региона: геолого-геохронологические корреляции. Магадан, 2004. 152 с.

Кравчинский В.А. Палеомагнетизм горных пород Монголо-Охотского складчатого пояса. Диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук. Иркутск, 1995. 181 с.

Логачев Н.А., Шерман С.И., Леви К.Г. О принципах и методике составления карты новейшей тектоники Сибири // Методические рекомендации к Атласу тектонических карт и опорных профилей Сибири. Новосибирск. 1981. С. 12–20.

Мельников О.А. Структура и геодинамика Хоккайдо-Сахалинской складчатой области. М.: Наука, 1987. 95 с.

Мельников О.А. Геологические формации Хоккайдо-Сахалинской области. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. 213 с.

Милановский Е.Е. Пульсации Земли // Геотектоника. 1995. N 5. С. 3–24.

Николаев Н.И. Новейшая тектоника СССР (Труды комиссии по изучению четвертичного периода) М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1949. 342 с.

Олиферовский Р.В., Седунова Е.А., Шаметова И.Б., Башкирцев А.В., Данилин Д.А., Монгуш А.Р., Коваленко С.Н., Ясныгина Т.А., Чувашова И.С., Саранина Е.В., Рассказов С.В. Источник трахидацит-риолитовых галек среднеюрских конгломератов на северо-западном берегу Байкала: сопоставление галек с породами магматических комплексов верхнего палеозоя и мезозоя Забайкалья // Геология и окружающая среда. 2022. Т. 2, № 4. С. 53–79. DOI 10.26516/2541-9641.2022.4.53

Рассказов С.В., Чувашова И.С. Образование глобальной Азиатской Изотопной Термальной Аномалии (ASITA) в зарождающейся системе Земля–Луна: Мегаимпакт или фрагментация газопылевого облака? // Геология и окружающая среда. 2024. Т. 4, № 1. С. 7–41. https://doi.org/10.26516/2541-9641.2024.1.7

Рассказов С.В., Чувашова И.С. Глобальное и региональное выражение новейшего геодинамического этапа // Бюллетень МОИП. Отд. геологический. 2013а. Т. 88, вып. 4. С. 21–35.

Рассказов С.В., Чувашова И.С. Новейшая мантийная геодинамика Центральной Азии. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013б. 308 с.

Рассказов С.В., Чувашова И.С. Кайнозойские динамические экстремумы в эпизодах извержений коровых выплавок в орогенных и рифтовых структурах Азии // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 10. Т. 2. Иркутск: Институт земной коры СО РАН. 2012а. С. 51–54.

Рассказов С.В., Чувашова И.С. Временная смена источников позднекайнозойского вулканизма на границе Забайкальского и Саяно-Монгольского расплавных доменов // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Материалы совещания. Вып. 12. Иркутск: Институт земной коры СО РАН. 2014а. С. 239–240.

Рассказов С.В., Чувашова И.С. Вулканизм и транстенсия на северо-востоке Байкальской рифтовой системы. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2018. 383 с.

Рассказов С.В., Коломиец В.Л., Будаев Р.Ц., Чувашова И.С., Аль-хамуд А., Хассан А., Алокла Р. Новейшая активизация шовной зоны Сибирского кратона под Южным Байкалом: от мел-палеогенового орогена к неоген-четвертичному рифту // Геология и окружающая среда. 2021. Т. 1, № 1. С. 7–15. https://doi.org/10.26516/2541-9641.2021.1.7

Рассказов С.В., Логачев Н.А., Кожевников В.М., Яновская Т.Б. Ярусная динамика верхней мантии Восточной Азии: соотношения мигрирующего вулканизма и низкоскоростных аномалий // Докл. АН. 2003. Т. 390, № 1. С. 90–95.

Рассказов С.В., Чувашова И.С., Мордвинова В.В. и др. Роль кратонного раздела Леман в кайнозойской динамике верхней мантии Центральной Азии: интерпретация моделей скоростей сейсмических волн в свете пространственно-временной эволюции вулканизма // Фундаментальные проблемы геотектоники. Тезисы докладов XL Тектонического совещания. М.: МГУ. 2007б. С. 126–129.

Рассказов С.В., Чувашова И.С., Ясныгина Т.А. и др. Калиевая и калинатровая вулканические серии в кайнозое Азии. Новосибирск: Академическое изд-во «ГЕО», 2012б. 310 с.

Рассказов С.В., Чувашова И.С., Миколайчук А.В., Собель Э.Р., Ясныгина Т.А., Фефелов Н.Н., Саранина Е.В. Латеральная смена источников мел- палеогенового магматизма в Тянь-Шане // Петрология. 2015. Т. 23, № 3. С. 308–336.

Рассказов С.В., Ясныгина Т.А., Чувашова И.С. Мантийные источники кайнозойских вулканических пород Восточной Азии: производные слэбов, подлитосферной конвекции и литосферы // Тихоокеанская геология. 2014б. Т. 33, № 5. С. 47–65.

Рассказов С.В., Мельников О.А., Рыбин А.В., Гурьянов В.А., Ясныгина Т.А., Брандт И.С., Брандт С.Б., Саранина Е.В., Масловская М.Н., Фефелов Н.Н., Жаров А.Э. Пространственная смена глубинных источников кайнозойских вулканических пород западного побережья Южного Сахалина // Тихоокеанская геология. 2005б. Т. 24, № 2. С. 10–32.

Рассказов С.В., Ясныгина Т.А., Хари К.Р., Чувашова И.С., Саранина Е.В. Магматические источники эволюционирующей континентальной тектоносферы Индии: генерация щелочных магматических комплексов с карбонатитами в массивах Самалпатти (Южная Индия) и Амба Донгар (Западная Индия) // Геодинамика и тектонофизика. 2024. Т. 15, № 5, 0783.

Савельев Д.П. Внутриплитные щелочные базальты в меловом аккреционном комплексе Камчатского полуострова (Восточная Камчатка) / Д. П. Савельев // Вулканология и сейсмология. 2003. № 1. С. 14–20.

Савельев Д.П. Меловые внутриплитные вулканиты Восточной Камчатки: геологическое положение и влияние на островодужный вулканизм // Геология и Разведка. 2004. № 2. С. 16–19.

Скобло В.М., Лямина Н.А., Лузина И.В., Руднев А.Ф. Континентальный верхний мезозой Прибайкалья и Забайкалья. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 332 с.

Соколов С.Д. Континентальная аккреция, террейны и нелинейные эффекты в геодинамике северо-востока России, тектонические и геологические феномены // Тр. Геол. ин-та РАН 505. М. : Наука, 1997. С. 42–69.

Таусон Л.В., Антипин В.С., Захаров М.Н., Зубков В.С. Геохимия мезозойских латитов Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1984. 215 с.

Шуколюков Ю.А., Якубович О.В., Мочалов А.Г., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Яковлева С.З., Корнеев С.И., Гороховский Б.М. Новый изотопный геохронометр для прямого датирования самородных минералов платины (190Pt–4He метод) // Петрология. 2012. Т. 20, № 6. С. 545–559.

Чувашова И.С., Рассказов С.В. Источники магматизма в мантии эволюционирующей Земли. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2014. 291 с.

Чувашова И.С., Андреева Ю.С., Рассказов С.В. Мел-палеогеновые базальты и щелочные базальтоиды Юго-Восточной Монголии: 1. Распределение в пространственно-временном геолого-геохронологическом контексте позднего мезозоя и кайнозоя // Геология и окружающая среда. 2024. Т. 4, № 3. С. 33–64. https://doi.org/10.26516/2541-9641.2024.3.33

Чувашова И.С., Рассказов С.В., Брандт С.Б. Цикличные вариации калия в позднекайнозойских лавах Центральной Монголии // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2010. Т. 3, № 1. С. 159–176.

Чувашова И.С., Рассказов С.В., Сунь Йи-минь. Новейшая геодинамика Центральной Азии: первичные и вторичные мантийные расплавные аномалии в контексте орогенеза, рифтогенеза и движения–взаимодействия литосферных плит // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8, вып. 1. С. 45–80. doi.org/10.5800/GT-2017-8-1-0232

Чувашова И.С., Хассан А., Аль Хамуд А., Коваленко С.Н., Руднева Н.А., Рассказов С.В. Переход от Селенгино-Витимского прогиба к Витимскому плоскогорью: кайнозойское осадконакопление и вулканизм // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2019. Т. 27. С. 138–153. https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.138

Шерман С.И., Леви К.Г., Ружич В.В., Саньков В.А., Днепровский Ю.И., Рассказов С.В. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Неотектоника. Новосибирск: Наука, 1984. 207 с.

Якубович О.В. Новый метод изотопной геохронологии для датирования минералов платины. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет, 2013. 20 с.

Ярмолюк В.В., Козловский А.М., Саватенков В.М., Кудряшова Е.А., Кузнецов М.В. Позднемезозойская Восточно-Монгольская вулканическая область: строение, магматические ассоциации, источники магматизма // Петрология. 2020. Т. 28, № 6. С. 563–590.

Ярмолюк В.В., Кудряшова Е.А., Козловский А.М. и др. Позднемеловой – раннекайнозойский след Южно-Хангайской горячей точки мантии // Вулканология и сейсмология. 2007. № 1. С. 3–31.

Ярмолюк В.В., Кудряшова Е.А., Козловский А.М. Поздние стадии развития позднемезозойской Восточно-Монгольской вулканической области: возраст и состав вулканических пород // Докл. АН. 2019. Т. 487. С. 283–288. DOI: https://doi.org/10.31857/S0869-56524873283-288

Arndt N., Lesher C.M., Barnes S.J. Komatiite. Cambridge University Press, 2008. 458 p.

Beck R.A., Burbank D.W., Sercombe W.J. et al. Stratigraphic evidence for an early collision between northwest India and Asia // Nature. 1995. V. 373. P. 55–58.

Besse J., Courtillot V. Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr // J. Geophys. Res. 2002. V. 197, B 11. P. 6–31.

Boztug D., Jonckheere R., Wagner G.A., Yegingil Z. Slow Senonian and fast Paleocene — Early Eocene uplift of the granitoids in the Central Eastern Pontides, Turkey: apatite fission-treck results // Tectonophysics. 2004. Vol. 382. P. 213–228.

Caplan-Auebrach J., Duennebier F., Ito G. Origin of intraplate volcanoes from guyot heits and oceanic palaeodepth // Geophys. Res. 2000. Vol. 106. P. 2679–2697.

Chambat F., Ricard Y., Valette B. Flattening of the Earth: Further from hydrostaticity than previously estimated // Geophysical Journal International. 2010. Vol. 183. P. 727–732.

Condie K.C. Mantle plumes and their record in Earth history. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 246 p.

Courtillot V., Féraud G., Maluski H. Deccan flood basalts and the Cretaceous/Tertiary boundary // Nature. 1988. Vol. 833. P. 843–846.

Cui R., Fang J., Yoshida M. Chen M. Modeling Long-Wavelength Geoid Anomalies from Instantaneous Mantle Flow: Results from Two Recent Tomography Models //
Pure Appl. Geophys. 2019. Vol. 176. P. 4335–4348.

Dickin A.P. The North Atlantic Tertiary province / J.M. Macdougall (ed.) Continental Flood Basalts, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London. 1988. P. 111–149.

Engebretson D.C., Cox A., Gordon R.G. Relative motion between oceanic plates of the Pacific basin // J. Geophys. Res. 1984. V. 89, N B12. P. 10291–10310.

Enkhtuvshin H.A Petrological study on the Late Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks of the Mongolian Plateau // Master thesis. Shimane University, 1995. 119 p.

Foulger G.R. Plates vs. plumes: a geological controversy. Wiley–Blackwell, 2010. 328 p.

Gordon R.G., Jurdy D.M. Cenozoic global plate motions // J. Geophys. Res. 1986. Vol. 91. P. 12389–12406.

Guo F., Fan W., Wang Y., Li C. When did the Emeishan mantle plume activity start? Geological and geochemical evidence from ultramafic–mafic dikes in Southwestern China // International Geology Review. 2004. V. 46. P. 226–234.

Hilgen F.J. Astronomical calibration of Gauss to Matuyama sapropeles in the Mediterranean and implication for the geomagnetic polarity time scale // Earth and Planet. Sci. Lett. 1991. Vol. 104, N 2. P. 226–244.

Hilgen F.J., Krijgsman W., Langereis J., Lourens L.J. Breakthrough made in dating of geological record // EOS: Trans. Amer. Geophys. Union. 1997. Vol. 78, N28. P. 285–287.

Hilde T.W., Uyeda S., Kroenke L. Evolution of the Western Pacific and its margin // Tectonophysics. 1977. V. 38. P. 145–165.

Hinnov L.A. Cyclostratigraphy and its revolutionizing applications in the Earth and planetary sciences // Geol. Soc. Am. Bull. 2013. Vol. 125. P. 1703–1734.

Hudson T.L., Magoon L.B. Tectonic controls on greenhouse gas flux to the Paleogene atmosphere from the Gulf of Alaska accretionary prism // Geology. 2002. Vol. 30. P. 547–550.

Jolley D.W., Clarke B., Kelley S. Paleogene time scale miscalibration: evidence from the dating of North Atlantic igneous province // Geology. 2002. Vol. 30. P. 7–10.

Imbrie J., Boyle E.A., Clemens S.C., Duffy A., Howard W.R., Kukla s G., Kutzbach s J., Martinson D. G., Mcintyre s A., Mix A.C., Molfino B., Morley s J.J., Peterson s L.C., Pisias N.G., Prell W.L., Raytoo M.E., Shackleton N.J., Toggweiler J.R. On the structure and origin of major glaciation cycles. 1. Linear responses to Milankovitch forcing // Paleoceanology. 1992. Vol. 7, N 6. P. 701–738.

Ishiwatari A., Ichiyama Y. Alaskan-type plutons and ultramafic lavas in Far East Russia, Northeast China, and Japan // International Geology Review. 2004. V. 46. P. 316–331 DOI: 10.2747/0020-6814.46.4.316

Khan S.D., Stern R.J., Manton M.I. et al. Age, geochemical and Sr–Nd–Pb isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis of Teru volcanics, Northern Kohistan terrane, Pakistan // Tectonophysics. 2004. V. 393. P. 263–280.

Khanchuk A.I., Didenko A.N., Popeko L.I., Sorokin A.A., Shevchenko B.F. Structure and evolution of the Mongol-Okhotsk Orogenic Belt // The Central Asia Orogenic Belt: geology, evolution, tectonics and models (A. Kroner, ed.), Borntraeger Science Publishers, Stuttgart, 2015. P. 211–234.

Kravchinsky V.A., Cogné J.P., Harbert W.P., Kuzmin M.I. Evolution of the Mongol–Okhotsk Ocean as constrained by new palaeomagnetic data from the Mongol–Okhotsk suture zone, Siberia // Geophys. J. Int. 2002. Vol. 148, No. 1. P. 34–57. http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-246x.2002.01557.x.

Krishnamurthy P. Carbonatites of India // Journal Geological Society of India. 2019. Vol. 94. P. 117–138. https://dx.doi.org/10.1007/s12594-019-1281-y

Larson R.L. Latest pulse of Earth: Evidence for a mid-Cretaceous superplume // Geology. 1991. V. 19. P. 547–550.

Laskar J., Robutel P., Joutel F., Gastineau M., Correia1 A.C.M., Levrard B. A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth // Astron. Astrophys. 2004. Vol. 428. P. 261–285.

Laskar J., Fienga A., Gastineau M., Manche H. La2010: a new orbital solution for the long-term motion of the Earth // Astron. Astrophys. 2011. V. 532. P. A89. doi: 10.1051/0004-6361/201116836

Laurens L.J., Antonarakou A., Hilgen F.J., Van Hoof A.A.M., Vergnaud-Grazzini C., Zachariasse W.J. Evaluation of the Plio-Pleistocene astronomical time scale // Paleoceanography. 1996. Vol.11, N4. P. 391–413.

Le Pichon X., Jellinek M., Lenardic A., Şengör A.M.C., İmren C. Pangea migration // Tectonics. 2021. Vol. 40, e2020TC006585. https://doi.org/10.1029/2020TC006585

Le Pichon X., Şengör, A.M.C., İmren C. Pangea and the lower mantle // Tectonics. 2019. Vol. 38, 10.1029/2018TC005445

Li Z., Li Y., Chen H. et al. Hf isotopic characteristics of the Tarim Permian large igneous province rocks of NW China: Implication for the magmatic source and evolution // Journal of Asian Earth Sciences. 2012a. V. 49. P. 191–202. doi:10.1016/j.jseaes.2011.11.021

Li Z., Chen H., Song B. et al. Temporal evolution of the Permian large igneous province in Tarim Basin in northwestern China // Journal of Asian Earth Sciences. 2011. V. 42. P. 917–927. doi:10.1016/j.jseaes.2011.05.009

Li Y-Q., Li Z-L., Sun Y-L. et al. Platinum-group elements and geochemical characteristics of the Permian continental flood basalts in the Tarim Basin, northwest China: Implications for the evolution of the Tarim Large Igneous Province // Chemical Geology. 2012. V. 328. P. 278–289

Lithgow-Bertelloni C., Richards M.A. The dynamics of Cenozoic and Mesozoic plate motions. // Reviews of Geophysics. 1998. Vol. 36, No. 1. P. 27–78.

Ma C., Meyers S.R., Sageman B.B. Theory of chaotic orbital variations confirmed by Cretaceous geological evidence // Nature. 2017. Vol. 542. P. 448–470. doi:10.1038/nature21402

Machetel P., Humler E. High mantle temperature during Cretaceous avalanche // Earth Planet Sci. Letters. 2003. V. 208. P. 125–133.

Maruyama S., Liou J.G. Initiation of ultrahigh-pressure metamorphism and its significance on the Proterozoic-Paleozoic boundary // The Island Arc. 1998. V. 7. P. 6–35.

McArthur J.M., Howarth R.J., Bailey T.R. Strontium isotope stratigraphy: LOWESS version 3: best fit to the marine Sr-isotope curve for 0–509 Ma and accompanying look-up table for deriving numerical age. // J. Geol. 2001. Vol. 109. P. 155–170.

McArthur J.M., Howarth R.J., Shields G.A. Chapter 7. Strontium Isotope Stratigraphy. The Geologic Time Scale 2012. // In: Gradstein F., Ogg J., Schmitz M., Ogg G. (Eds.), Elsevier. 2012. DOI: 10.1016/B978-0-444-59425-9.00007-X

McQuarrie N., Strock J.M., Verdel C., Wernicke B.P. Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions // Geophys, Res. Letters. 2003, 2036, doi:10.1029/2003GL017992.

McLoughlin S. The breakup history of Gondwana and its impact on pre-Cenozoic floristic provincialism // Australian Journal of Botany. 2001. Vol. 49 (3). P. 271–300. https://doi.org/10.1071/BT00023

Müller R. D. et al. Age, spreading rates and spreading symmetry of the world's ocean crust. // Geochem. Geophys. Geosyst. 2008. Vol. 9, Q04006. doi:10.1029/2007GC001743.

Nakiboglu S. Hydrostatic theory of the Earth and its mechanical implications // Phys. Earth Planet. Inter. 1982. Vol. 28, No. 4. P. 302–311.

Nikishin A.M., Petrov E.I., Malyshev N.A., Ershova V.P., 2017. Rift systems of the Russian Eastern Arctic shelf and Arctic deep water basins: link between geological history and geodynamics //

Geodynamics & Tectonophysics. 2017. Vol. 8, No. 1. P. 11–43. doi:10.5800/GT-2017-8-1-0231.

Nikishin, A.M., Petrov, E.I., Cloetingh, S., Freiman, S.I., Malyshev, N.A., Morozov, A.F., Posamentier, H.W., Verzhbitsky, V.E., Zhukov, N.N., Startseva, K. Arctic Ocean Mega Project: Paper 3 — Mesozoic to Cenozoic geological evolution // Earth-Science Reviews. 2021. Vol. 217, 103034.

Niu Y., Liu Y., Xue Q., Shao F., Chen S., Duan M., Guo P., Gong H., Hu Y., Hu Z., Kong J., Li J., Liu J., Sun P., Sun W., Ye L., Xiao Y., Zhang Y. Exotic origin of the Chinese continental shelf: new insights into the tectonic evolution of the western Pacific and eastern China since the Mesozoic // Sci. Bull. 2015. Vol. 60 No. 18. P. 1598–1616. DOI 10.1007/s11434-015-0891-z

Pal D., Ghosh A. How the Indian Ocean geoid low was formed // Geophys. Res. Lett., 2023. Vol. 50, No. 9, e2022GL102694, doi:10.1029/2022GL102694

Pal D., Ghosh A. Present day mantle structure from global mantle convection models since the Cretaceous // Geophys. J. Int. 2024. Vol. 238. P. 1651–1675

Otofuji Y-I. Large tectonic movement of the Japan Arc in late Cenozoic times inferred from paleomagnetism: review and synthesis // The Island Arc. 1996. Vol. 5. P. 229–249.

Otofuji Y-I., Matsuda T., Enami R., Uno K., Nishihama K., Halim N., Su L., Zaman H., Kulinich R.G., Zimin P.S., Matunin A.P., Sakhno V.G. Late Cretaceous to early Paleogene paleomagnetic results from Sikhote Alin, Far Eastern Russia: implications for deformation of East Asia // Earth Planet. Sci. Letters. 2003. Vol. 130. P. 95–108.

Papadopoulou M., Barry N.L., Dash B., Halton A.M., Sherlock S.C., Hunt A.C. Evidence for long-lived (>100 Myr) continental intraplate volcanism: Mongolia since the last ocean closure // Gondwana Research. 2024. Vol. 133. P. 30–59. https://doi.org/10.1016/j.gr.2024.04.009

Randive K., Meshram T. An overview of the carbonatites from the Indian subcontinent // Open Geoscience. 2020. Vol. 12. P. 85–116. https://doi.org/10.1515/geo-2020-0007

Rao B.P., Kumar M.R., Saikia D. Seismic evidence for a hot mantle transition zone beneath the Indian Ocean Geoid Low // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2020. Vol. 21. e2020GC009079. https://doi.org/10.1029/2020GC009079

Rasskazov S., Taniguchi H. Magmatic response to the Late Phanerozoic plate subduction beneath East Asia. CNEAS Monograph Series No. 21. Tohoku University, Japan, 2006. 156 p.

Rasskazov S.V., Brandt S.B., Brandt I.S. Radiogenic isotopes in geologic processes Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2010. 306 p.

Rasskazov S., Chuvashova I., Yasnygina T., Saranina E. Mantle evolution of Asia inferred from Pb isotopic signatures of sources for Late Phanerozoic volcanic rocks // Minerals. 2020. Vol. 10, No. 9, 739; doi:10.3390/min10090739

Rasskazov S.V., Yasnygina T.A., Chuvashova I.S., Saranina E.V. Contrast evolution of Indian and North Asian tectonosphere: Pb-isotope ages of deep sources for carbonatite-alkaline igneous complexes and Ba–Sr signatures of rocks // Geology and Environment. 2025. Vol. 5, No. 3. P. 94–125. DOI 10.26516/2541-9641.2025.3.94.

Rea D.K., Dixon J.M. Late Cretaceous and Paleogene tectonic evolution of the North Pacific Ocean // Earth Planet. Sci. Letters. 1983. V. 65. P. 145–166.

Regelous M., Hofmann A.W., Abouchami W. et al. Geochemistry of lavas from the Emperor Seamounts, and the geochemical evolution of Hawaiian magmatism from 85 to 42 Ma // J. Petrol. 2003. V.44, № 1. P. 113–140.

Reiss A., Thomas C., Driel J., Heyn B. A hot mid-mantle anomaly in the area of the Indian Ocean geoid low // Geophysical Research Letters. 2017. Vol. 44. P. 6702–6711.

Rona P.A., Richardson E.S. Early Cenozoic global plate reorganization // EPSL. 1978. Vol. 40. P. 1–11.

Sarkar S., Giuliani A., Dalton H., Phillips D., Ghosh S., Misev S., Maas R. Derivation of lamproites and kimberlites from a common evolving source in the convective mantle: the case for Southern African ‘transitional kimberlites’ // Journal of Petrology. 2023. Vol. 64. P. 1–16 https://doi.org/10.1093/petrology/egad043

Segev A. Synchronous magmatic cycles during the fragmentation of Gondwana: radiometric ages from the Levant and other provinces // Tectonophysics. 2000. V. 325. P. 257–277.

Sheldrick T.C., Barry T.L., Van Hinsbergen D.J.J., Kempton P.D. Constraining lithospheric removal and asthenospheric input to melts in Central Asia: A geochemical study of Triassic to Cretaceous magmatic rocks in the Gobi Altai (Mongolia) // Lithos. 2018. P. 296–299, 297–315.

Sheldrick T.C., Barry T.L., Dash B., Gan C., Millar I.L., Barfod D.N., Alison M. Halton Simultaneous and extensive removal of the east Asian lithospheric

root // Scientific Reports. 2020. Vol. 10. P.4128 | https://doi.org/10.1038/s41598-020-60925-3

Sheth H.C. Were the Deccan flood basalts derived in part from ancient oceanic crust within the Indian continental lithosphere? // Gondwana Research. 2005. Vol. 8 (2). P. 109–127. https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)71112-6

Simkin T., Tilling R.I, Taggart J.N., Jones W.J., Spall H. This dynamic planet world map of tectonics, volcanoes, earthquaces, and plate tectonics. Washington D.C., 1989.

Xu Y.-G., Huang X.-L., Ma J.-L., et al. Crust–mantle interaction during the tectono-thermal reactivation of the North China craton: constraints from SHRIMP zircon U–Pb chronology and geochemistry of Mesozoic plutons from western Shandong // Contrib. Miner. Petrol. 2004. 147. P. 750–767.

Zhang D., Zhou T., Feng Y. et al. Source, evolution and emplacement of Permian Tarim Basalts: Evidence from U–Pb dating, Sr–Nd–Pb–Hf isotope systematics and whole rock geochemistry of basalts from the Keping area, Xinjiang Uygur Autonomous region, northwest China // Journal of Asian Earth Sciences. 2012. V. 49. P. 191–202. doi:10.1016/j.jseaes.2011.10.018

Referencies

Akinin, V.V. Late Mesozoic and Cenozoic magmatism and transformation of the lower crust in the northern framing of the Pacific. Abstract of a dissertation… by Doctor of Geological and Mineral Sciences. Moscow, IGEM RAS, 2012. 43 p.

Arndt N., Lesher C.M., Barnes S.J. Komatiite. Cambridge University Press, 2008. 458 p.

Beck R.A., Burbank D.W., Sercombe W.J. et al. Stratigraphic evidence for an early collision between northwest India and Asia // Nature. 1995. V. 373. P. 55–58.

Bely, V.F., Belaya, B.V. Late stage of development of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt (upper reaches of the Enmyvaam River) – Magadan: SVKNII FEB RAS, 1998. 108 p.

Besse J., Courtillot V. Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr // J. Geophys. Res. 2002. V. 197, B 11. P. 6–31.

Boztug D., Jonckheere R., Wagner G.A., Yegingil Z. Slow Senonian and fast Paleocene — Early Eocene uplift of the granitoids in the Central Eastern Pontides, Turkey: apatite fission-treck results // Tectonophysics. 2004. Vol. 382. P. 213–228.

Caplan-Auebrach J., Duennebier F., Ito G. Origin of intraplate volcanoes from guyot heits and oceanic palaeodepth // Geophys. Res. 2000. Vol. 106. P. 2679–2697.

Chambat F., Ricard Y., Valette B. Flattening of the Earth: Further from hydrostaticity than previously estimated // Geophysical Journal International. 2010. Vol. 183. P. 727–732.

Chuvashova I.S., Rasskazov S.V., 2014. Sources of magmatism in the mantle of the evolving Earth. Irkutsk State University Publisher, Irkutsk, 291 p.

Chuvashova I.S., Andreeva Yu.S., Rasskazov S.V. Cretaceous-Paleogene basalts and alkaline basaltoids from South-Eastern Mongolia: 1. Distribution in spatial-temporal geological-geochronological context of the Late Mesozoic and Cenozoic // Geology and Environment. 2024. Vol. 4, No. 3. P. 33–64. https://doi.org/10.26516/2541-9641.2024.3.33

Chuvashova I.S., Hassan A., Al Hamud A., Kovalenko S.N., Rudneva N.A., Rasskazov S.V. Transition from the Selenga-Vitim Trough to the Vitim Plateau: Cenozoic Sedimentation and Volcanism // Bulletin of Irkutsk State University. Earth Sciences Series. 2019. Vol. 27. pp. 138–153. https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.138

Chuvashova I.S., Rasskazov S.V., Brandt S.B. Cyclic variations of potassium in late Cenozoic lavas of Central Mongolia // Bulletin of Irkutsk State University. Earth Sciences Series. 2010. Vol. 3, No. 1. pp. 159–176.

Chuvashova I.S., Rasskazov S.V., Sun Yimin. Recent geodynamics of Central Asia: Primary and secondary mantle melt anomalies in the context of orogenesis, rifting, and plate motion and interaction // Geodynamics and Tectonophysics. 2017. Vol. 8, no. 1. pp. 45–80. doi.org/10.5800/GT-2017-8-1-0232

Condie K.C. Mantle plumes and their record in Earth history. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 246 p.

Courtillot V., Féraud G., Maluski H. Deccan flood basalts and the Cretaceous/Tertiary boundary // Nature. 1988. Vol. 833. P. 843–846.

Cui R., Fang J., Yoshida M. Chen M. Modeling Long-Wavelength Geoid Anomalies from Instantaneous Mantle Flow: Results from Two Recent Tomography Models // Pure Appl. Geophys. 2019. Vol. 176. P. 4335–4348.

Dawson J. Kimberlites and xenoliths in them. M.: Mir, 1983. 306 p. (Translated from English to Russian)

Dickin A.P. The North Atlantic Tertiary province / J.M. Macdougall (ed.) Continental Flood Basalts, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London. 1988. P. 111–149.

Didenko, A.N., “On a Possible Cause of Quasiperiodic Fluctuations in the Frequency of Geomagnetic Reversals and the 87Sr/86Sr Ratio in Marine Carbonate Rocks in the Phanerozoic,” Geology and Geophysics, 2011, Vol. 52, No. 12, pp. 1945–1956.

Dobretsov, N.L., Kirdyashkin, A.G., Kirdyashkin, A.A., “Deep Geodynamics.” Novosibirsk: SB RAS Publishing House, GEO Branch, 2001, 409 p.

Engebretson D.C., Cox A., Gordon R.G. Relative motion between oceanic plates of the Pacific basin // J. Geophys. Res. 1984. V. 89, N B12. P. 10291–10310.

Enkhtuvshin H.A Petrological study on the Late Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks of the Mongolian Plateau // Master thesis. Shimane University, 1995. 119 p.

Foulger G.R. Plates vs. plumes: a geological controversy. Wiley–Blackwell, 2010. 328 p.

Gordon R.G., Jurdy D.M. Cenozoic global plate motions // J. Geophys. Res. 1986. Vol. 91. P. 12389–12406.

Guo F., Fan W., Wang Y., Li C. When did the Emeishan mantle plume activity start? Geological and geochemical evidence from ultramafic–mafic dikes in Southwestern China // International Geology Review. 2004. V. 46. P. 226–234.

Hilgen F.J. Astronomical calibration of Gauss to Matuyama sapropeles in the Mediterranean and implication for the geomagnetic polarity time scale // Earth and Planet. Sci. Lett. 1991. Vol. 104, N 2. P. 226–244.

Hilgen F.J., Krijgsman W., Langereis J., Lourens L.J. Breakthrough made in dating of geological record // EOS: Trans. Amer. Geophys. Union. 1997. Vol. 78, N28. P. 285–287.

Hilde T.W., Uyeda S., Kroenke L. Evolution of the Western Pacific and its margin // Tectonophysics. 1977. V. 38. P. 145–165.

Hinnov L.A. Cyclostratigraphy and its revolutionizing applications in the Earth and planetary sciences // Geol. Soc. Am. Bull. 2013. Vol. 125. P. 1703–1734.

Hudson T.L., Magoon L.B. Tectonic controls on greenhouse gas flux to the Paleogene atmosphere from the Gulf of Alaska accretionary prism // Geology. 2002. Vol. 30. P. 547–550.

Jolley D.W., Clarke B., Kelley S. Paleogene time scale miscalibration: evidence from the dating of North Atlantic igneous province // Geology. 2002. Vol. 30. P. 7–10.

Imbrie J., Boyle E.A., Clemens S.C., Duffy A., Howard W.R., Kukla s G., Kutzbach s J., Martinson D. G., Mcintyre s A., Mix A.C., Molfino B., Morley s J.J., Peterson s L.C., Pisias N.G., Prell W.L., Raytoo M.E., Shackleton N.J., Toggweiler J.R. On the structure and origin of major glaciation cycles. 1. Linear responses to Milankovitch forcing // Paleoceanology. 1992. Vol. 7, N 6. P. 701–738.

Ishiwatari A., Ichiyama Y. Alaskan-type plutons and ultramafic lavas in Far East Russia, Northeast China, and Japan // International Geology Review. 2004. V. 46. P. 316–331 DOI: 10.2747/0020-6814.46.4.316

Karetnikov A.S. Age and genesis of platinum group mineralization in the Kondyor massif: paleomagnetic and radioisotope data // Lithosphere, 2006, no. 3, pp. 96–107.

Karetnikov, A.S. Age estimation of ultramafic rocks of the Chad massif (Khabarovsk Krai) based on paleomagnetic data // Pacific Geology. 2015. Vol. 34, no. 6, pp. 74–90.

Kirillova, G.L. Correlation of Cretaceous events in East Asia with global events // Pacific Geology. 1997. no. 6, pp. 3–20.

Kirillova, G.L. Cretaceous of eastern Russia: sedimentation, geodynamics, biodiversity, climate. Vladivostok: Dalnauka, 2000. 94 p.

Khan S.D., Stern R.J., Manton M.I. et al. Age, geochemical and Sr–Nd–Pb isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis of Teru volcanics, Northern Kohistan terrane, Pakistan // Tectonophysics. 2004. V. 393. P. 263–280.

Khanchuk A.I., Didenko A.N., Popeko L.I., Sorokin A.A., Shevchenko B.F. Structure and evolution of the Mongol-Okhotsk Orogenic Belt // The Central Asia Orogenic Belt: geology, evolution, tectonics and models (A. Kroner, ed.), Borntraeger Science Publishers, Stuttgart, 2015. P. 211–234.

Kovalenko V.I., Kostitsyn Yu.A., Yarmolyuk V.V., et al. Magma sources and isotopic (Sr, Nd) evolution of rare-metal Li–F granitoids // Petrology. 1999. Vol. 7, No. 4. P. 401–429.

Kovalenko V.I., Yarmolyuk V.V., Andreeva I.A., et al. Magma types and their sources in the Earth’s history. Part 2. Rare-metal magmatism: rock associations, magma composition and sources, geodynamic settings of formation. Moscow: IGEM RAS, 2006. 280 p.

Kovalenko D.V. Paleomagnetism of late Paleozoic, Mesozoic, and Cenozoic geological complexes of Mongolia // Geology and Geophysics. 2010. Vol. 51, No. 4. P. 496–515.

Korina N.A. Khangai Highlands // Geomorphology of the Mongolian People's Republic. Proceedings

of the Joint Soviet-Mongolian Research Expedition. Vol. 28. M.: Science. 1982. pp. 87–108.

Kotlyakov V.M. A world of snow and ice. M.: Nauka, 1994. 286 p.

Kotlyar I.N., Rusakova T.V. Cretaceous magmatism and ore content of the Okhotsk-Chukotka region: geological and geochronological correlations. Magadan, 2004. 152 p.

Kravchinsky V.A. Paleomagnetism of rocks of the Mongol-Okhotsk fold belt. Dissertation ... candidate of geological and mineralogical sciences. Irkutsk, 1995. 181 p.

Kravchinsky V.A., Cogné J.P., Harbert W.P., Kuzmin M.I. Evolution of the Mongol–Okhotsk Ocean as constrained by new palaeomagnetic data from the Mongol–Okhotsk suture zone, Siberia // Geophys. J. Int. 2002. Vol. 148, No. 1. P. 34–57. http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-246x.2002.01557.x.

Krishnamurthy P. Carbonatites of India // Journal Geological Society of India. 2019. Vol. 94. P. 117–138. https://dx.doi.org/10.1007/s12594-019-1281-y

Larson R.L. Latest pulse of Earth: Evidence for a mid-Cretaceous superplume // Geology. 1991. V. 19. P. 547–550.

Laskar J., Robutel P., Joutel F., Gastineau M., Correia1 A.C.M., Levrard B. A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth // Astron. Astrophys. 2004. Vol. 428. P. 261–285.

Laskar J., Fienga A., Gastineau M., Manche H. La2010: a new orbital solution for the long-term motion of the Earth // Astron. Astrophys. 2011. V. 532. P. A89. doi: 10.1051/0004-6361/201116836

Laurens L.J., Antonarakou A., Hilgen F.J., Van Hoof A.A.M., Vergnaud-Grazzini C., Zachariasse W.J. Evaluation of the Plio-Pleistocene astronomical time scale // Paleoceanography. 1996. Vol.11, N4. P. 391–413.

Le Pichon X., Jellinek M., Lenardic A., Şengör A.M.C., İmren C. Pangea migration // Tectonics. 2021. Vol. 40, e2020TC006585. https://doi.org/10.1029/2020TC006585

Le Pichon X., Şengör, A.M.C., İmren C. Pangea and the lower mantle // Tectonics. 2019. Vol. 38, 10.1029/2018TC005445

Li Z., Li Y., Chen H. et al. Hf isotopic characteristics of the Tarim Permian large igneous province rocks of NW China: Implication for the magmatic source and evolution // Journal of Asian Earth Sciences. 2012a. V. 49. P. 191–202. doi:10.1016/j.jseaes.2011.11.021

Li Z., Chen H., Song B. et al. Temporal evolution of the Permian large igneous province in Tarim Basin in northwestern China // Journal of Asian Earth Sciences. 2011. V. 42. P. 917–927. doi:10.1016/j.jseaes.2011.05.009

Li Y-Q., Li Z-L., Sun Y-L. et al. Platinum-group elements and geochemical characteristics of the Permian continental flood basalts in the Tarim Basin, northwest China: Implications for the evolution of the Tarim Large Igneous Province // Chemical Geology. 2012. V. 328. P. 278–289

Lithgow-Bertelloni C., Richards M.A. The dynamics of Cenozoic and Mesozoic plate motions. // Reviews of Geophysics. 1998. Vol. 36, No. 1. P. 27–78.

Logatchev N.A., Sherman S.I., Levi K.G. On the principles and methods of compiling a map of the recent tectonics of Siberia // Methodological recommendations for the Atlas of tectonic maps and reference profiles of Siberia. Novosibirsk, 1981. P. 12–20.

Ma C., Meyers S.R., Sageman B.B. Theory of chaotic orbital variations confirmed by Cretaceous geological evidence // Nature. 2017. Vol. 542. P. 448–470. doi:10.1038/nature21402

Machetel P., Humler E. High mantle temperature during Cretaceous avalanche // Earth Planet Sci. Letters. 2003. V. 208. P. 125–133.

Maruyama S., Liou J.G. Initiation of ultrahigh-pressure metamorphism and its significance on the Proterozoic-Paleozoic boundary // The Island Arc. 1998. V. 7. P. 6–35.

McArthur J.M., Howarth R.J., Bailey T.R. Strontium isotope stratigraphy: LOWESS version 3: best fit to the marine Sr-isotope curve for 0–509 Ma and accompanying look-up table for deriving numerical age. // J. Geol. 2001. Vol. 109. P. 155–170.

McArthur J.M., Howarth R.J., Shields G.A. Chapter 7. Strontium Isotope Stratigraphy. The Geologic Time Scale 2012. // In: Gradstein F., Ogg J., Schmitz M., Ogg G. (Eds.), Elsevier. 2012. DOI: 10.1016/B978-0-444-59425-9.00007-X

McQuarrie N., Strock J.M., Verdel C., Wernicke B.P. Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions // Geophys, Res. Letters. 2003, 2036, doi:10.1029/2003GL017992.

McLoughlin S. The breakup history of Gondwana and its impact on pre-Cenozoic floristic provincialism // Australian Journal of Botany. 2001. Vol. 49 (3). P. 271–300. https://doi.org/10.1071/BT00023

Melnikov O.A. Structure and geodynamics of the Hokkaido-Sakhalin folded region. Moscow: Nauka, 1987. 95 p.

Melnikov O.A. Geological formations of the Hokkaido-Sakhalin region. Vladivostok: Far Eastern Branch of the USSR Academy of Sciences, 1988. 213 p.

Milanovsky E.E. Earth pulsations // Geotectonics. 1995. No. 5. P. 3–24

Müller R. D. et al. Age, spreading rates and spreading symmetry of the world's ocean crust. // Geochem. Geophys. Geosyst. 2008. Vol. 9, Q04006. doi:10.1029/2007GC001743.

Nakiboglu S. Hydrostatic theory of the Earth and its mechanical
implications // Phys. Earth Planet. Inter. 1982. Vol. 28, No. 4. P. 302–311.

Nikishin A.M., Petrov E.I., Malyshev N.A., Ershova V.P., 2017. Rift systems of the Russian Eastern Arctic shelf and Arctic deep water basins: link between geological history and geodynamics // Geodynamics & Tectonophysics. 2017. Vol. 8, No. 1. P. 11–43. doi:10.5800/GT-2017-8-1-0231.

Nikishin, A.M., Petrov, E.I., Cloetingh, S., Freiman, S.I., Malyshev, N.A., Morozov, A.F., Posamentier, H.W., Verzhbitsky, V.E., Zhukov, N.N., Startseva, K. Arctic Ocean Mega Project: Paper 3 — Mesozoic to Cenozoic geological evolution // Earth-Science Reviews. 2021. Vol. 217, 103034.

Nikolaev N.I. Recent Tectonics of the USSR (Proceedings of the Commission for the Study of the Quaternary Period) Moscow–Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1949. 342 p.

Niu Y., Liu Y., Xue Q., Shao F., Chen S., Duan M., Guo P., Gong H., Hu Y., Hu Z., Kong J., Li J., Liu J., Sun P., Sun W., Ye L., Xiao Y., Zhang Y. Exotic origin of the Chinese continental shelf: new insights into the tectonic evolution of the western Pacific and eastern China since the Mesozoic // Sci. Bull. 2015. Vol. 60 No. 18. P. 1598–1616. DOI 10.1007/s11434-015-0891-z

Oliferovsky R.V., Sedunova E.A., Shametova I.B., Bashkirtsev A.V., Danilin D.A., Mongush A.R., Kovalenko S.N., Yasnygina T.A., Chuvashova I.S., Saranina E.V., Rasskazov S.V. Source of trachydacite-rhyolite pebbles from Middle Jurassic conglomerates on the northwestern shore of Lake Baikal: comparison of pebbles with rocks of Upper Paleozoic and Mesozoic igneous complexes of Transbaikalia // Geology and Environment. 2022. Vol. 2, No. 4. Pp. 53–79. DOI 10.26516/2541-9641.2022.4.53

Pal D., Ghosh A. How the Indian Ocean geoid low was formed // Geophys. Res. Lett., 2023. Vol. 50, No. 9, e2022GL102694, doi:10.1029/2022GL102694

Pal D., Ghosh A. Present day mantle structure from global mantle convection models since the Cretaceous // Geophys. J. Int. 2024. Vol. 238. P. 1651–1675

Otofuji Y-I. Large tectonic movement of the Japan Arc in late Cenozoic times inferred from paleomagnetism: review and synthesis // The Island Arc. 1996. Vol. 5. P. 229–249.

Otofuji Y-I., Matsuda T., Enami R., Uno K., Nishihama K., Halim N., Su L., Zaman H., Kulinich R.G., Zimin P.S., Matunin A.P., Sakhno V.G. Late Cretaceous to early Paleogene paleomagnetic results from Sikhote Alin, Far Eastern Russia: implications for deformation of East Asia // Earth Planet. Sci. Letters. 2003. Vol. 130. P. 95–108.

Papadopoulou M., Barry N.L., Dash B., Halton A.M., Sherlock S.C., Hunt A.C. Evidence for long-lived (>100 Myr) continental intraplate volcanism: Mongolia since the last ocean closure // Gondwana Research. 2024. Vol. 133. P. 30–59. https://doi.org/10.1016/j.gr.2024.04.009

Randive K., Meshram T. An overview of the carbonatites from the Indian subcontinent // Open Geoscience. 2020. Vol. 12. P. 85–116. https://doi.org/10.1515/geo-2020-0007

Rao B.P., Kumar M.R., Saikia D. Seismic evidence for a hot mantle transition zone beneath the Indian Ocean Geoid Low // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2020. Vol. 21. e2020GC009079. https://doi.org/10.1029/2020GC009079

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. Generation of the global Asian Isotope Thermal Anomaly (ASITA) in the incipient Earth-Moon system: Gas-dust cloud fragmentation versus mega-impact // Geology and Environment. 2024. Vol. 4, No. 1. P. 7–41. https://doi.org/10.26516/2541-9641.2024.1.7

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. Global and regional expression of the latest geodynamic stage // Bulletin of MOIP. Geological Dept. 2013a. Vol. 88, issue 4. pp. 21–35.

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. Recent mantle geodynamics of Central Asia. Irkutsk: Irkutsk State University Publishing House, 2013b. 308 pp.

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. Cenozoic dynamic extremes in episodes of crustal melt eruptions in orogenic and rift structures of Asia // Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from ocean to continent): Proceedings of the meeting. Issue. 10. Vol. 2. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust SB RAS. 2012a. P. 51–54.

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. Temporal change in sources of late Cenozoic volcanism at the

boundary of the Transbaikal and Sayan-Mongolian melt domains // Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from ocean to continent). Proceedings of the meeting. Issue 12. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust SB RAS. 2014a. P. 239–240.

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. Volcanism and transtension in the northeastern Baikal Rift System. Novosibirsk, Academic Publishing House «GEO», 2018. 384 p. doi: 10.21782/B978-5-6041446-3-3

Rasskazov S., Taniguchi H. Magmatic response to the Late Phanerozoic plate subduction beneath East Asia. CNEAS Monograph Series No. 21. Tohoku University, Japan, 2006. 156 p.

Rasskazov S.V., Brandt S.B., Brandt I.S. Radiogenic isotopes in geologic processes Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2010. 306 p.

Rasskazov S., Chuvashova I., Yasnygina T., Saranina E. Mantle evolution of Asia inferred from Pb isotopic signatures of sources for Late Phanerozoic volcanic rocks // Minerals. 2020. Vol. 10, No. 9, 739; doi:10.3390/min10090739

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Mordvinova V.V., et al. The Role of the Lehman Cratonal Divide in the Cenozoic Dynamics of the Central Asian Upper Mantle: Interpretation of Seismic Wave Velocity Models in Light of the Spatiotemporal Evolution of Volcanism // Fundamental Problems of Geotectonics. Abstracts of the XL Tectonic Meeting. Moscow: Moscow State University. 2007b. Pp. 126–129.

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Yasnygina T.A., et al. Potassium and Potassium-Sodium Volcanic Series in the Cenozoic of Asia. Novosibirsk: Academic Publishing House "GEO", 2012b. 310 p.

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Mikolaichuk A.V., Sobel E.R., Yasnygina T.A., Fefelov N.N., Saranina E.V. Lateral change of sources of Cretaceous-Paleogene magmatism in Tien Shan // Petrology. 2015. Vol. 23, No. 3. pp. 308–336.

Rasskazov S.V., Logatchev N.A., Kozhevnikov V.M., Yanovskaya T.B. Stage dynamics of the upper mantle of East Asia: relationships between migrating volcanism and low-velocity anomalies // Dokl. 2003. Vol. 390, No. 1. Pp. 90–95.

Rasskazov S.V., Yasnygina T.A., Chuvashova I.S., Saranina E.V. Contrast evolution of Indian and North Asian tectonosphere: Pb-isotope ages of deep sources for carbonatite-alkaline igneous complexes and Ba–Sr signatures of rocks // Geology and Environment. 2025. Vol. 5, No. 3. P. 94–125. DOI 10.26516/2541-9641.2025.3.94.

Rasskazov S.V., Yasnygina T.A., Chuvashova I.S. Mantle sources of Cenozoic volcanic rocks of East Asia: derivatives of slabs, sublithospheric convection, and the lithosphere // Pacific Geology. 2014b. Vol. 33, No. 5. pp. 47–65. Rasskazov S.V., Melnikov O.A., Rybin A.V., Guryanov V.A., Yasnygina T.A., Brandt I.S., Brandt S.B., Saranina E.V., Maslovskaya M.N., Fefelov N.N., Zharov A.E. Spatial change of deep sources of Cenozoic volcanic rocks of the western coast of South Sakhalin // Pacific Geology. 2005b. Vol. 24, No. 2. Pp. 10–32.

Rasskazov S.V., Yasnygina T.A., Hari K.R., Chuvashova I.S., Saranina E.V. Magmatic sources of the evolving continental tectonosphere in India: Generation of alkaline igneous complexes with carbonatites in the Samalpatti (Southern India) and Amba Dongar (Western India) massifs // Geodynamics & Tectonophysics. 2024. Vol. 15, No. 5, 0783. doi:10.5800/GT-2024-15-5-0783

Rea D.K., Dixon J.M. Late Cretaceous and Paleogene tectonic evolution of the North Pacific Ocean // Earth Planet. Sci. Letters. 1983. V. 65. P. 145–166.

Regelous M., Hofmann A.W., Abouchami W. et al. Geochemistry of lavas from the Emperor Seamounts, and the geochemical evolution of Hawaiian magmatism from 85 to 42 Ma // J. Petrol. 2003. V.44, № 1. P. 113–140.

Reiss A., Thomas C., Driel J., Heyn B. A hot mid-mantle anomaly in the area of the Indian Ocean geoid low // Geophysical Research Letters. 2017. Vol. 44. P. 6702–6711.

Rona P.A., Richardson E.S. Early Cenozoic global plate reorganization // EPSL. 1978. Vol. 40. P. 1–11.

Sarkar S., Giuliani A., Dalton H., Phillips D., Ghosh S., Misev S., Maas R. Derivation of lamproites and kimberlites from a common evolving source in the convective mantle: the case for Southern African ‘transitional kimberlites’ // Journal of Petrology. 2023. Vol. 64. P. 1–16 https://doi.org/10.1093/petrology/egad043

Saveliev, D.P. Intraplate Alkaline Basalts in the Cretaceous Accretionary Complex of the Kamchatka Peninsula (Eastern Kamchatka) / D. P. Saveliev // Volcanology and Seismology. 2003. No. 1. pp. 14–20.

Saveliev D.P. Cretaceous Within-Plate Volcanics of Eastern Kamchatka: Geological Setting and Influence on Island-Arc Volcanism // Geology and Exploration. 2004. No. 2. P. 16–19.

Segev A. Synchronous magmatic cycles during the fragmentation of Gondwana: radiometric ages from the Levant and other provinces // Tectonophysics. 2000. V. 325. P. 257–277.

Sheldrick T.C., Barry T.L., Van Hinsbergen D.J.J., Kempton P.D. Constraining lithospheric removal and asthenospheric input to melts in Central Asia: A geochemical study of Triassic to Cretaceous magmatic rocks in the Gobi Altai (Mongolia) // Lithos. 2018. P. 296–299, 297–315.

Sheldrick T.C., Barry T.L., Dash B., Gan C., Millar I.L., Barfod D.N., Alison M. Halton Simultaneous and extensive removal of the east Asian lithospheric root // Scientific Reports. 2020. Vol. 10. P.4128 | https://doi.org/10.1038/s41598-020-60925-3

Sheth H.C. Were the Deccan flood basalts derived in part from ancient oceanic crust within the Indian continental lithosphere? // Gondwana Research. 2005. Vol. 8 (2). P. 109–127. https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)71112-6

Simkin T., Tilling R.I, Taggart J.N., Jones W.J., Spall H. This dynamic planet world map of tectonics, volcanoes, earthquaces, and plate tectonics. Washington D.C., 1989.

Skoblo V.M., Lyamina, N.A., Luzina, I.V., Rudnev, A.F. Continental Upper Mesozoic of the Baikal and Transbaikal Regions. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2001. 332 p.

Sokolov S.D. Continental accretion, terranes and nonlinear effects in the geodynamics of northeastern Russia, tectonic and geological phenomena // Proceedings of the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences 505. Moscow: Nauka, 1997. P. 42–69.

Sherman S.I., Levi K.G., Ruzhich V.V., Sankov V.A., Dneprovskiy Yu.I., Rasskazov S.V. Geology and Seismicity of the BAM Zone. Neotectonics. Novosibirsk: Nauka, 1984. 207 p.

Tauson L.V., Antipin V.S., Zakharov M.N., Zubkov V.S. Geochemistry of Mesozoic latites in Transbaikalia. Novosibirsk: Nauka, 1984. 215 p.

Vorontsov, A.A., Yarmolyuk, V.V., Komaritsyna, T.Yu. Late Mesozoic-Early Cenozoic riftogenic magmatism of the Uda sector (Western Transbaikalia) // Geology and Geophysics. 2016. Vol. 57b, No. 5. pp. 920–946.

Xu Y.-G., Huang X.-L., Ma J.-L., et al. Crust–mantle interaction during the tectono-thermal reactivation of the North China craton: constraints from SHRIMP zircon U–Pb chronology and geochemistry of Mesozoic plutons from western Shandong // Contrib. Miner. Petrol. 2004. 147. P. 750–767.

Yakubovich, O.V. A New Method of Isotope Geochronology for Dating Platinum Minerals. Abstract of a Candidate of Geological and Mineralogical Sciences Dissertation, St. Petersburg: St. Petersburg State University, 2013. 20 p.

Yarmolyuk, V.V., Kozlovsky, A.M., Savatenkov, V.M., Kudryashova, E.A., Kuznetsov, M.V. Late Mesozoic East Mongolian Volcanic Region: Structure, Igneous Associations, and Sources of Magmatism // Petrology. 2020. Vol. 28, No. 6. pp. 563–590.

Yarmolyuk V.V., Kudryashova E.A., Kozlovsky A.M., et al. Late Cretaceous – Early Cenozoic Trace of the South Khangai Mantle Hotspot // Volcanology and Seismology. 2007. No. 1. pp. 3–31.

Yarmolyuk V.V., Kudryashova E.A., Kozlovsky A.M. Late Stages of the Development of the Late Mesozoic East Mongolian Volcanic Region: Age and Composition of Volcanic Rocks // Dokl. AN. 2019. Vol. 487. pp. 283–288. DOI: https://doi.org/10.31857/S0869-56524873283-288

Zamaraev S.M., Sizykh V.I., Meshalkin S.I., Novokshonov Yu.A. Structural Features of the Angarsk Thrust // Geology and Geophysics. 1983, No. 5. P. 126–129.

Zhang D., Zhou T., Feng Y. et al. Source, evolution and emplacement of Permian Tarim Basalts: Evidence from U–Pb dating, Sr–Nd–Pb–Hf isotope systematics and whole rock geochemistry of basalts from the Keping area, Xinjiang Uygur Autonomous region, northwest China // Journal of Asian Earth Sciences. 2012. V. 49. P. 191–202. doi:10.1016/j.jseaes.2011.10.018

Zonenshain L.P., Natapov L.M. Tectonic History of the Arctic // Actual Problems of Geotectonics. Moscow: Nauka, 1987. P. 31–57.

Чувашова Ирина Сергеевна,
кандидат геолого-минералогических наук,
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,
Институт земной коры СО РАН,
старший научный сотрудник,
тел.: (3952) 51–16–59,
email: chuvashova@crust.irk.ru
Chuvashova Irina Sergeevna,
candidate of geological and mineralogical sciences,
664033, Irkutsk, st. Lermontova, 128,

Institute of the Earth's Crust SB RAS,
Senior Researcher,
tel.: (3952) 51–16–59,
email: chuvashova@crust.irk.ru

Рассказов Сергей Васильевич,
доктор геолого-минералогических наук, профессор,
664025, Иркутск, ул. Ленина, д. 3,
Иркутский государственный университет, геологический факультет,
заведующий кафедрой динамической геологии,
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,
Институт земной коры СО РАН,
заведующий лабораторией изотопии и геохронологии,
тел.: (3952) 51–16–59,
email: rassk@crust.irk.ru
Rasskazov Sergei Vasilevich,
doctor of geological and mineralogical sciences, professor,
664025, Irkutsk, st. Lenina, 3,
Irkutsk State University, Faculty of Geology,
Head of Dynamic Geology Char,
664033 Irkutsk, st. Lermontova, 128,
Institute of the Earth's Crust SB RAS,
Head of the Laboratory for Isotopic and Geochronological Studies,
tel.: (3952) 51–16–59,
email: rassk@crust.irk.ru