Исторические обзоры

УДК 55+551.2 (571.53) https://doi.org/10.26516/2541-9641.2022.2.139

История и методология геологических наук в Иркутском Госуниверситете: развитие гипотез о кайнозойском рифтогенезе, вулканизме и землетрясениях в Байкало-Монгольском регионе

С.В. Рассказов ^{1,2}, С.П. Примина ², И.С. Чувашова ^{1,2}

Проблема рифтогенеза является в настоящее время одной из самых актуальных и перспективных проблем в геотектонике, поскольку ее разработка невозможна без проникновения в сущность глубинных процессов.

Флоренсов, Логачев, 1975

Аннотация. В разработке дисциплины «История и методология геологических наук» тестируется модель программ научных исследований Имре Лакатоса на примере развития представлений о кайнозойском рифтогенезе, вулканизме и землетрясениях в Байкало-Монгольском регионе. Показано прогрессивное развитие гипотез с 1950-х гг. до настоящего времени.

Ключевые слова. Кайнозой, рифтогенез, вулканизм, землетрясение, активный разлом, Байкал.

History and methodology of geological sciences at Irkutsk State University: development of hypotheses about Cenozoic rift genesis, volcanism and earthquakes in the Baikal-Mongolian region

Rasskazov S.V.^{1,2}, Primina S.P.², Chuvashova I.S.^{1,2}

The problem of rifting is currently one of the most urgent and promising problems in geotectonics, since its development is impossible without insight into the essence of deep processes.

Florensov, Logachev, 1975

Abstract. In the development of the discipline "History and methodology of geological sciences", the model of research programs of Imre Lakatos is tested on the example of the development of ideas about Cenozoic rifting, volcanism and earthquakes in the Baikal-Mongolian region. The progressive development of hypotheses since the 1950s until now is shown.

Keywords. Cenozoic, rifting, volcanism, earthquake, active fault, Baikal.

¹ Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

² Иркутский государственный университет, геологический факультет, г. Иркутск, Россия

¹ Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia

² Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Введение

Дисциплина «История и методология геологических наук» (ИМГН) читается в Иркутском государственном университете для формирования у будущего геолога понимания геологии как развивающегося научного мировоззрения о Земле. История геологических наук может освещаться в виде череды сухих фактов. Методология же не может быть таковой, поскольку затрагивает во многом несовершенные глубинные корни профессии. Преподаватель должен помочь студентам и аспирантам определиться в текущем состоянии геологической науки и дать им понимание основы организации исследования, которое должно иметь эффективный выход результатов в виде надежно аргументированного нового знания.

Разработки дисциплины ИМГН отражены в учебных изданиях (Обручев, 1931-1944; Флоренсов, 1960; Вернадский, 1981; Белоусов, 1993; Хаин, Рябухин, 1997; Хаин и др., 2008), которые, прежде всего, обращены в историю и методологию прошедших десятилетий и предоставляют ценность для обзора существовавших прежде возможностей решений геологических вопросов, а также оценки ранее существовавших подходов к геологическим проблемам. Изложение дисциплины ИМГН немыслимо без ее соединения с семинарским курсом «Современные проблемы геологии», который в значительной мере определяется текущими публикациями в журналах по наиболее значимым геологическим разработкам общемирового уровня. Разумеется, региональная составляющая тоже присутствует.

В геологии важны результаты систематических работ, которые в полной мере представляются в монографиях. Журнальные статьи, как правило, содержат скупую информацию и посвящены решению частных вопросов, большинство из которых не находит места в контексте общего знания. Авторы склонны тиражировать свои статьи в разных изданиях, усиливая личный рейтинговый эффект в «основном геологическом потоке», фактически не привнося нового знания.

Научное знание оперирует гипотезой. С течением времени гипотезы меняются.

Гипотеза, сформулированная тем или иным автором, обычно имеет предшествующие формулировки. Чарльз Дарвин не был первым в наблюдениях за животным миром. Его гипотеза об эволюции видов была предметом внимания современников, о чем имеются документальные свидетельства. Другой пример – гипотеза распада суперконтинента Пангея. Первое графическое изображение праконтинента, его распада и перемещения фрагментов было изображено Антонио Снидеру-Пеллигрини в 1858 г. (Милановский, 2000). Альфред Вегенер представил гипотезу о «Земле всех» (Пангее) в монографии 1914 г. Эта гипотеза была воспринята только наиболее посвящёнными в тему современниками. Большинство ее отвергло. Геология прошла длительный путь через тектонику литосферных плит, прежде чем гипотеза о Вегенеровской Пангее оказалась в центре внимания для объяснения характера эволюции Земли с точки зрения строения и динамики нижней мантии (Le Pichon et al., 2019).

Дисциплина ИМГН необходима для полноценного профессионального геологического образования. В 1997-2002 гг. эту дисциплину для студентов геологического факультета читал академик Н.А. Логачев, исполнявший в то время обязанности заведующего кафедрой динамической геологии. О нем написана серия очерков, собранных в книге (Николай Алексеевич Логачев, 2005). Сначала, после окончания Иркутского госуниверситета, он состоялся как исследователь и развил новое геологическое направление по континентальному рифтогенезу, а затем стал администратором, который уже не имел времени на серьезные занятия наукой и полностью сосредоточился на решении организационных вопросов академической науки. Нам не пришлось слушать его лекций по курсу ИМГН, но, думается, что он выстраивал эту дисциплину исходя из своего исследовательского опыта изучения континентальрифтогенеза и административного опыта организации региональных и международных проектов с учетом не только общемировых тенденций в геологии 20-го столетия, но и региональной специфики геологии Восточной Сибири. К сожалению, каких-либо материалов, связанных с его разработками курса ИМГН не сохранилось.

Геологические работы на юге Сибири в конце 19-го и первой половине 20-го столетия В.А. Обручева, А.В. Львова, И.Д. Черского, Е.В. Павловского, С.В. Обручева, В.В. Ламакина и других геологов имели характер научного поиска. Высказывались гипотезы, не достаточно подкрепленные фактами. Шло накопление опыта, которое нашло воплощение в первых геологических картах. На примере гор Сибири В.А. Обручев сформулировал понятие «неотектоники». Н.А. Флоренсов (1960) провел первичный анализ исходных данных и дал подробный обзор имевшихся материалов и выводов исследователей Прибайкалья, обратив особое внимание на то, что впадины байкальского типа сравнивались с впадинами Восточной Африки А.В. Львовым (1904 г.) и Е.В. Павловским (1930-е гг.). Впадины Восточной Африки относились Дж. Грегори к рифтам. Соответственно, впадины оз. Байкал и сухих долин классифицировались как рифтовые. В 1960-х гг. состоялись экспедиции по изучению структур Восточной Африки под руководством В.В. Белоусова. Интерес к континентальному рифтогенезу достиг пика в середине 1970-х гг. Тем не менее, эта тематика не была включена в перечень современных проблем геологии в начальной версии монографии (Хаин, 1995) и была добавлена как новый раздел только в переизданную версию (Хаин, 2003).

Для продвижения наиболее существенных полученных при результатов, изучении рифтогенеза и вулканизма на юге Восточной Сибири и в сопредельных регионах в новом тысячелетии, нами издавались монографии (Rasskazov et al., 2006, 2010; Рассказов и др., 2012; Рассказов, Чувашова, 2013, 2018; Чувашова, Рассказов, 2014). Цель статьи – обозначить ключевые разработки по истории и методологии направления континентального рифтогенеза в Байкало-Монгольском регионе, которые, как нам кажется, будут полезны для обсуждения со студентами и аспирантами, выбирающими свой путь в профессии, и с преподавателями, выстраивающими образовательные курсы геологического факультета.

Модели программ научных исследований: от жесткого центрального ядра основной гипотезы к гипотезам прогресса или дегенерации

В «методологию программ научных исследований» объединялись исторические наблюдения за научной практикой, проведенные Имре Лакатосом, который утверждал, что основная научная парадигма состоит из конкурирующих исследовательских программ. Исследовательская программа включает в основном два компонента: «жесткое ядро» - центральные постулаты гипотезы, эффективно защищенные от фальсификации, и «защитный пояс» - набор вспомогательных гипотез, которые вводятся в разное время для компенсации прогностических ошибок (рис. 1). Такая методология защищает гипотетические построения от ложноотрицательных результатов (Foulger, Rossetter, 2019).



Рис. 1. Модель программ научных исследований Имре Лакатоса. Модифицированная схема жесткого ядра гипотезы и защитного пояса из работы (Foulger, Rossetter, 2019).

Fig. 1. Model of research programs by Imre Lakatos. Modified scheme of the rigid core of the hypothesis and the protective belt from (Foulger and Rossetter, 2019).

Имре Лакатос различал «прогрессивные» и «дегенеративные» программы научных исследований. Исследовательская программа является прогрессивной, если

вспомогательные гипотезы, введенные в защитный пояс, используются для успешных прогнозов, поскольку эти прогнозы подтверждают как вспомогательную гипотезу, так и основное ядро программы. Мы используем модель программ научных исследований Имре Лакатоса для демонстрации характера развития знаний о кайнозойском рифтогенезе и вулканизме юга Сибири и сопредельной Монголии.

Три развитые программы научных исследований по кайнозойскому рифтогенезу и вулканизму

Изучение континентального рифтогенеза проводилось в 1950–1980-х гг. по исследовательской программе Байкальской рифтовой зоны (БРЗ), которая составляла жесткое ядро. Эта программа включала вспомогательные конкурирующие программы, которые вписывались в принятую центральную гипотезу и могли приобрести прогрессивную или дегенеративную направленность в развитии (рис. 2а).

Мы не разбираем все конкурирующие пути защитного пояса гипотезы БРЗ и обозначаем только развитие вспомогательной гипотезы Н.А. Флоренсова (1968), в которой вулканизм и рифтогенез рассматривались как парагенетические процессы. В прогрессивном или дегенеративном суждениях о вулканизме и рифтогенезе связь между этими процессами либо устанавливалась, либо отрицалась. В результате выполненных работ по изучению вулканизма и рифтогенеза оформилось жесткое ядро новой гипотезы о связи эволюции вулканизма с развитием Байкальской рифтовой системы (БРС). Эта новая программа сопровождалась защитным поясом вспомогательных программ, которые вписались и развили принятую центральную гипотезу (рис. 2б).

Следующий шаг в развитии гипотез о рифтогенезе и вулканизме был сделан, когда выявилась синхронность вулканизма БРС и Япономорской задуговой области рифтогенеза и спрединга. Эта вспомогательная гипотеза оформилась в жесткое ядро гипотезы об активизации расплавных аномалий Центральной и Восточной Азии в связи с развитием Японско-Байкальского

геодинамического коридора (ЯБГК). В ходе сбора фактического материала для аргументации ее жесткого центрального ядра были развиты соответствующие вспомогательные гипотезы защитного пояса (рис. 2в).

Программы научных исследований гипотезы о Байкальской рифтовой зоне

В книге «Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья», опубликованной в 1960 г., Н.А. Флоренсов, рассматривая распределение вулканогенных и осадочных формаций в рельефе, пришел к выводу «об исключительной локализации кайнозойских впадин в Прибайкалье, о том, что последние как бы вложены, «втиснуты» в гораздо более широкое и ровное мезозойское тектоническое поле» (Флоренсов, 1960, с. 189). Эта книга «явилась не только крупным событием восточно-сибирского масштаба, но и предтечей многих региональных и надрегиональных работ как самого Николая Александровича, так и его учеников и последователей» (Николай Александрович Флоренсов, 2003, с. 21). В монографии «Нагорья Прибайкалья и Забайкалья» (1974 г.), подготовленной коллективом авторов под научным руководством Н.А. Логачева, понимание последовательности и условий формирования кайнозойских отложений во впадинах БРЗ и сопредельных территорий было уже поднято на новый уровень благодаря созданию в конце 50х и первой половине 60-х годов региональных стратиграфических схем. Эта книга опубликована в составе многотомной монографической серии «История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока» (1960–1976 гг.), отмеченной Государственной премией СССР в области науки и техники.

Ядро гипотезы — структурно-геоморфологическое понятие БРЗ как полосы поднятий и впадин позднего плиоцена-квартера — получило обоснование при изучении строения осадочного наполнения впадин байкальского типа (рис. 3). В Тункинской и Баргузинской долинах и Южно-Байкальской впадине были выделены угленосная (танхойская) свита, сложенная тонкообломочным осадочным материалом, и охристая (аносовская) свита, представленная грубообломочными

молассоидами. Нижняя (тахойская) часть разреза относилась к раннеорогенному этапу развития рельефа, верхняя (аносовская) – к

позднеорогенному этапу (Логачев, 1958, 1974).

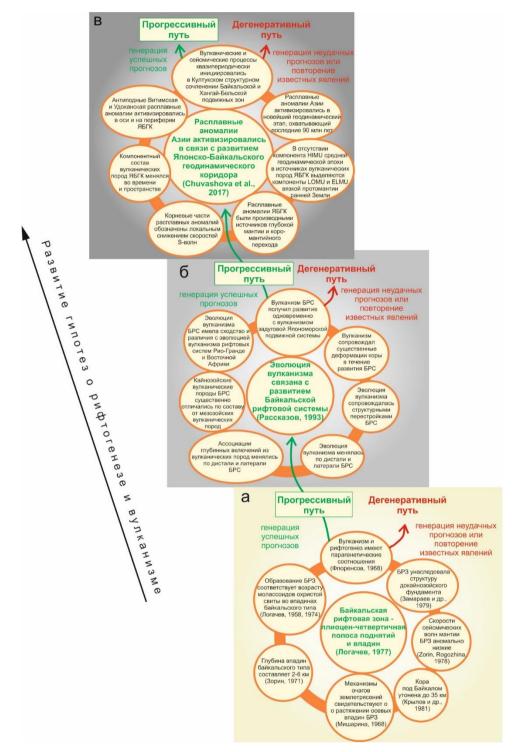


Рис. 2. Модели трех развитых программ научных исследований кайнозойского рифтогенеза и вулканизма: a — БРЗ как полосы поднятий и впадин, оформившейся на юге Сибири и сопредельной Монголии в позднем плиоцене-квартере, δ — БРС как структуры растяжения коры, проницаемой для позднекайнозойских магматических расплавов, и δ — ЯБГК как структуры, в которой получили развитие расплавные аномалии новейшего геодинамического этапа.

Fig. 2. Models of three developed programs of scientific studies of Cenozoic rifting and volcanism: a - BRZ as a band of uplifts and depressions that took shape in the south of Siberia and adjacent Mongolia in the Late Pliocene-Quaternary, 6 - BRS as a crustal extension structure permeable to Late Cenozoic magmatic melts, and B - JBGC as a structure in which melt anomalies of the latest geodynamic stage developed.

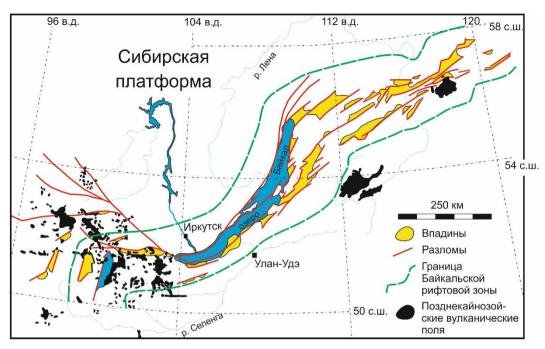


Рис. 3. Классическое понимание полосы плиоцен-четвертичных поднятий и впадин как единого целого, образующего Байкальскую рифтовую зону (Логачев, 1977).

Fig. 3. The classical understanding of the band of Pliocene-Quaternary uplifts and depressions as a single whole, forming the Baikal rift zone (Логачев, 1977).

Обоснование вывода об образовании БРЗ одновременно с накоплением молассоидов охристой свиты в осевых впадинах байкальского типа сыграло роль не только центрального тезиса гипотезы рифтогенеза, но и выдвинуло вопросы детальной разработки стратиграфии осадочных толщ рифтовых впадин в круг вспомогательных гипотез. Во вспомогательных гипотезах была определена глубина впадин байкальского типа от 2 до 6 км (Зорин, 1971), механизмы очагов землетрясений, свидетельствовавшие о растяжении осевых впадин БРЗ (Мишарина, 1967), утонении коры под Байкалом до 35 км (Крылов и др., 1981), аномально низких скоростях сейсмических волн в мантии БРЗ (Zorin, Rogozhina, 1978), унаследованности Байкальской рифтовой зоной структуры докайнозойского фундамента (Замараев и др., 1979) и парагенетических соотношениях между БРЗ и вулканизмом (Флоренсов, 1968).

Структурно-геоморфологическое определение БРЗ способствовало распространению мнения о рифтогенном и предрифтовом

этапах развитии новейших структур Байкало-Монгольского региона. К рифтогенному этапу относились вулканические поля позднего плиоцена и квартера, к предрифтовому – поля более раннего вулканизма (Грачев, 1977; Салтыковский и др., 1980; Салтыковский, 1999). К предрифтовому режиму были отнесены вулканическое плато Дариганга на юго-востоке Монголии, Витимское плато в Западном Забайкалье, некоторые широтные грабены Хангая в Монголии и грабены северо-восточного Китая — Фэнвей (Шаньси) и Ляохе. Критерии различий предрифтового и рифтогенного этапов рифтогенеза и вулканизма, однако, не были определены.

Программы научных исследований гипотезы об эволюции вулканизма Байкальской рифтовой системы (БРС)

Изучение кайнозойских континентальных рифтовых зон Евразии, Африки и Северной Америки международными исследовательскими группами, а также новые методики и

возможности обработки и анализа больших массивов геологической и геофизической информации выдвинули на рубеже XX и XXI столетий в качестве приоритетной задачи создание комплексной модели развития рифтогенеза от его зарождения до современности. Для обоснования модели осуществлялся литолого-фациальный и формационный анализ осадочного и вулканогенного наполнения рифтовых впадин, изучались микроэлементные и изотопные характеристики вулканических пород территорий рифтогенеза, выявлялись особенности напряженного состояния литосферы, определялся уровень современной тектонической активности, выражаемой сейсмичностью и юным разломообразованием, проводилась комплексная обработка геофизических и петрологических данных о строении, состоянии и возможном составе глубинных частей литосферы и астеносферы. Выяснялись условия развития рифтогенеза во внутренних частях и на окраинах материков, определялась потенциальная способность мощных осадочных толщ рифтовых впадин к продуцированию и накоплению энергоносителей (нефть, газ, бурый уголь) и

природа различий рифтовых зон по уровню сейсмотектонической активности и тенденциям в развитии опасных экзогеодинамических процессов.

Задачи создания комплексной модели развития новейшей структуры Байкальской рифтовой зоны решались в рамках научной «Кайнозойский континентальный школы рифтогенез», оформленной грантом РФФИ в 2000–2001 гг. Руководитель этой школы Н.А. Логачев выделил 5 главных направлений исследований: 1) изучение вулканических и осадочных формаций в рифтах Азии и Восточной Африки (основные исполнители: Н.А. Логачев и С.В. Рассказов), 2) тектонофизическое изучение развития БРЗ (основной исполнитель С.И. Шерман), 3) неотектонические исследования, изучение современных движений методами спутниковой геодезии в Байкало-Монгольском регионе (основные исполнители: К.Г. Леви, В.А. Саньков), 4) геологические исследования (основной исполнитель В.В. Ружич) и 5) геофизические исследования (основной исполнитель Ю.А. Зорин) (рис. 4).

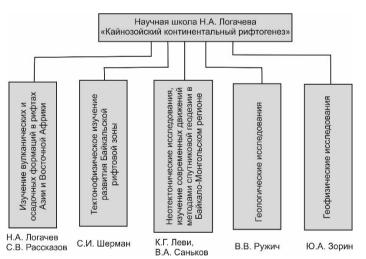


Рис. 4. Блок-диаграмма направлений научной школы Н.А. Логачева. Основной результат: комплексная модель кайнозойского континентального рифтогенеза. Грант РФФИ научной школы 2000–2001 гг.

Fig. 4. Block diagram of the directions of the scientific school of N.A. Logachev. Main result: complex model of Cenozoic continental rifting. Grant of the RFBR scientific school 2000–2001.

В рамках научной школы «Кайнозойский континентальный рифтогенез» в разные годы проводились конференции: Проблемы рифтогенеза, ИЗК (1975 г.), Внутриконтинентальные горные области: геологические и геофизические аспекты, ИЗК (1987 г.), Рифтогенез внутриконтинентальных

обстановок: Байкальская рифтовая система и другие континентальные рифты, ИЗК (1996 г.), Кайнозойский континентальный рифтогенез, ИЗК, ИГУ (2010 г.), Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы, ИЗК, ИГУ (2013 г.), Рифты, орогены и глобальная тектоника (симпозиум в рамках XLVIII

Тектонического совещания), Москва, МГУ, ГИН (2016 г.), Рифтогенез, орогенез и сопутствующие процессы, ИЗК, ИГУ (2019 г.).

Работы по изучению вулканических и осадочных формаций обозначили ядро новой гипотезы о связи эволюции вулканизма с развитием БРС, которая, по определению (Рассказов, 1993), включала осевую полосу поднятий и впадин (БРЗ) и сопредельные территории позднекайнозойского вулканизма. Благодаря систематическому изучению разрезов вулканических и вулканогенно-осадочных толщ с K–Ar и ^{40}Ar – ^{39}Ar датированием вулканических пород и палеонтологическими определениями возраста осадочных отложений были обозначены основные закономерности распределения вулканизма БРС во времени и пространстве. Таким образом, БРС получила определение области растяжения, в которой магматические расплавы проникали сквозь кору и изливались на земную поверхность. На вулканических территориях имели место движения земной поверхности, свидетельствовавшие о деформациях коры. К БРС относились вулканические поля обширной территории Саян и Витимское вулканическое поле, расположенные за структурно-геоморфологическими границами БРЗ (см. рис. 3), а также вулканические поля Центральной Монголии.

Вокруг жесткого центрального ядра гипотезы о вулканизме БРС образовался круг вспомогательных гипотез: кайнозойские вулканические породы БРС существенно отличались по составу от мезозойских вулканических пород, характер эволюции вулканизма менялся по дистали и латерали БРС, ассоциации глубинных включений из вулканических пород также менялись по дистали и латерали БРС, вулканизм сопровождал существенные

деформации коры в течение развития БРС и ее структурные перестройки. Эволюция вулканизма БРС имела сходство и различия с эволюцией вулканизма рифтовых систем Рио-Гранде и Восточной Африки. Вулканизм БРС получил развитие одновременно с вулканизмом задуговой Япономорской подвижной системы.

Программы научных исследований гипотезы об активизации расплавных аномалий Японско-Байкальского геодинамического коридора

Вывод о синхронности вулканизма БРС и задуговой Япономорской подвижной системы заставил обратиться к изучению пространственно-временного распределения вулканизма на всей территории от Байкала до Японского моря и перейти к ядру новой гипотезы об активизации расплавных аномалий в связи с развитием ЯБГК. Байкальская рифтовая система воспринималась в этой программе научных исследований как один из структурных элементов геодинамического коридора. Единый процесс активизации расплавных аномалий ЯБГК рассматривался в контексте активизации всей Азии.

По определению (Chuvashova et al., 2017; Рассказов, Чувашова, 2018), Японско-Бай-кальский геодинамический коридор представляет собой ограниченную по латерали подвижную полосу литосферы и подлитосферной мантии Центральной и Восточной Азии, подверженную воздействию сил и процессов новейшего геодинамического этапа и характеризующуюся действием силы затягивания материала от периферии коридора к его оси (рис. 5).

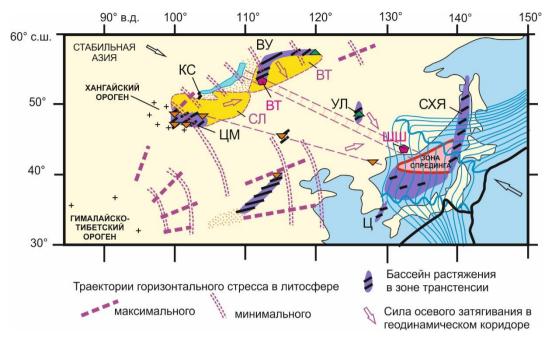


Рис. 5. Пространственные соотношения осевого затягивания в Японско-Байкальском геодинамическом коридоре с траекториями тектонических напряжений, производных Индо-Азиатской конвергенции. *Транственсионные структуры:* ВУ — Витимо-Удоканская, К — Култукская, ЦМ — Центрально-Монгольская, УЛ — Удаляньчи, ШН — Шанси. Япономорская структура пулл-апарт включает зоны транстенсии: СХЯ — Сахалин-Хоккайдо-Япономорскую, Ц — Цусимскую. *Вулканические поля* в оси Японско-Байкальского коридора (малиновые пятиугольники) — Витимское (ВТ) и Шкотовско-Шуфанское (ШШ). *Крупные межгорные бассейны* (желтые поля): Селенгинский (СЛ), Витимский (ВТ). Структуры Японского моря и Татарского пролива показаны по работе (Jolivet et al., 1994), траектории тектонических напряжений — по работам (Хи et al., 1992; Саньков и др., 2011).

Fig. 5. Spatial relationships of axial pull in the Japan-Baikal geodynamic corridor with tectonic stress trajectories derived from the Indo-Asian convergence. *Transtensional structures*: BY - Vitim-Udokan, K - Kultuk, ЦМ - Central Mongolian, УЛ - Udalyanchi, ШН - Shanxi. The Sea of Japan pull-apart structure includes transtension zones: СХЯ - Sakhalin-Hokkaido-Japan Sea, Ц - Tsushima. *Volcanic fields* in the axis of the Japan-Baikal corridor (crimson pentagons) - Vitimskoe (ВТ) and Shkotovsko-Shufanskoe (ШШІ). *Large intermountain basins* (yellow fields): Selenga (СЛ), Vitim (ВТ). The structures of the Sea of Japan and the Tatar Strait are shown according to the work (Jolivet et al., 1994), tectonic stress trajectories - according to the works (Хи et al., 1992; Саньков и др., 2011).

Вспомогательные конкурирующие гипотезы защитного пояса ЯБГК включают выводы о том, что расплавные аномалии Азии активизировались в новейший геодинамический этап, охватывающий последние 90 млн лет, корневые части расплавных аномалий обозначены локальным снижением скоростей S-волн, в отсутствии компонента HIMU средней геодинамической эпохи в источниках вулканических пород ЯБГК присутствуют компоненты LOMU и ELMU вязкой протомантии ранней Земли, расплавные аномалии ЯБГК были производными источников глубокой мантии и коро-мантийного перехода, компонентный состав вулканических пород ЯБГК менялся во времени

пространстве, антиподные Витимская и Удоканская расплавные аномалии активизировались в оси и на периферии ЯБГК, вулканические и сейсмические процессы квазипериодически инициировались в Култукском структурном сочленении Байкальской и Хангай-Бельской подвижных зон. Последняя вспомогательная гипотеза должна обеспечить прогноз сильных землетрясений.

От результатов изучения новейшей геодинамики и вулканизма к прогнозу сильных землетрясений

Н.А. Флоренсов (1978, с. 219) писал: «С точки зрения автора, прогноз землетрясений является настолько важной проблемой

мировой науки, что всякие попытки внести свою лепту в ее решение (в том числе, конечно, и в качественные приемы или подходы) должны поощряться, подвергаться проверке временем и практикой, а уже затем отвергаться или получать полное признание». Главным мотивом программ научных исследований Имре Лакатоса (см. рис. 1) является прогноз, удачный или неудачный. Если прогноз удачен, гипотеза верна, если неудачен – не верна. Модели трех развитых программ научных исследований кайнозойского рифтогенеза и вулканизма (см. рис. 2) замыкаются на вопросе прогноза сильных землетрясений. До настоящего времени разработка подходов к прогнозу сильных землетрясений не потеряла актуальности в современной геологии и по-прежнему имеет значительный социальный отклик.

Байкальская сейсмическая зона (БСЗ) сильных землетрясений определена инструментальными наблюдениями и в целом подтверждена сейсмогеологическими данными, оперирующими сейсмическими событиями с временными интервалами в тысячи лет (Солоненко и др., 1985). Однако для непосредственного предупреждения населения об опасности необходимо определить конкретное время и место готовящегося сильного сейсмического толчка. В настоящее время удачные прогнозы исключительно редки. Основная причина неудач заключается в недостаточном понимании механизмов подготовки и реализации сейсмогенных деформаций на той или иной территории, а также в использовании косвенных сейсмопрогностических откликов неясной природы. Такие отклики могут случайно дать успешный прогноз землетрясения в одном случае и показать те же характеристики в ситуации без землетрясения.

Используя мониторинговые гидроизотопные ряды наблюдений с 2012 г. в статье, опубликованной в мае 2020 г., мы сделали прогноз сильной сейсмической активизации, действительно произошедшей в Южно-

Байкальской впадине в конце этого же года (Rasskazov et al., 2020). К весне 2022 г. сейсмическая активность снизилась, но афтершоки продолжаются, среди которых попрежнему могут реализоваться сильные сейсмические толчки.

Процесс современных деформаций коры в БСЗ отражает предшествующий ход дефорзапечатленный в геологической структуре. Учитывая исследовательские программы ЯБГК, БРС и БРЗ и результаты гидрогеохимического мониторинга, мы продвигаемся к прогнозу сильных землетрясений в центральной части БСЗ в 7 шагов: 1) обосновываем модель современной геодинамики Азии и определяем характер деформаций коры и подкоровой мантии в ЯБГК по пространственно-временной активности источников вулканизма на протяжении всего новейшего геодинамического этапа, 2) обосновываем модель современной геодинамики БРС по пространственно-временной активности источников неоген-четвертичного вулканизма, 3) концентрируемся на пространственно-временной эволюции плиоцен-четвертичного вулканизма БРЗ с выходом на голоценовые события для понимания характера коротких заключительных импульсных деформаций коры, 4) определяем сейсмогенное состояние разломов по результатам гидроизотопных исследований в БРС и сопредельных регионах Азии, 5) выбираем чувствительные полигоны в центральной части БСЗ для организации гидроизотопного мониторинга и получаем ряд наблюдений полного сейсмогеодинамического цикла, 6) определяем гидрогеохимическими методами вхождение деформаций коры активных разломов в аномальное состояние и 7) проводим экспрессный детальный гидроизотопный мониторинг сети станций полигона во время аномального состояния активных разломов и составляем заключение о характере деформаций коры, соответствующих (или не соответствующих) подготовке и реализации сильного землетрясения (рис. 6).



Рис. 6. Модель программы научных исследований развития сейсмогенных деформаций в Байкальской сейсмической зоне, отражающих пространственно-временное развитие структур Центральной и Восточной Азии, маркированное вулканизмом.

Fig. 6. Model of the program of scientific research on the development of seismogenic deformations in the Baikal seismic zone, reflecting the spatio-temporal development of the structures of Central and East Asia, marked by volcanism.

Шаг 1. Обоснование модели деформаций коры и подкоровой мантии в контексте новейшего геодинамического этапа.

Новейшая геодинамика литосферы подлитосферной мантии Восточной и Центральной Азии определяется действием механизма затягивания материала от периферии к оси Японско-Байкальского геодинамического коридора (ЯБГК). В БРС ось коридора пространственно соответствует Среднему Байкалу. Осевое затягивание материала ССВ фланга коридора контролировало импульсную антиподную (подлитосферную в оси и литосферную на периферии) активность источников вулканизма последних 16 млн лет в Витимо-Удоканской зоне горячей транстенсии. Осевое затягивание материала ЮЮЗ фланга коридора компенсировалось сокращением коры области конвергенции во фронте Индо-Азиатского взаимодействия. В горячей западной полосе Хангай-Бельской зоны орорифтовыми генеза сегментами

вулканические импульсы передавались с квазипериодичностью 2.5 млн лет с юга на север (от Долины Озер через Центральный Хангай в Хубсугульский сегмент БРС), в восточной полосе вулканические импульсы передавались в противоположном направлении – с севера на юг (от восточной части Тункинской долины БРС к Восточному Хангаю). Сочетание сжатия и растяжения литосферы в восточной полосе Хангай-Бельской зоны привело к развитию источников вулканизма в обстановке деламинации литосферы. С учетом результатов сейсмической томографии Sволн (Мордвинова и др., 2019) мы принимаем модель сейсмогенных деформаций коры центральной части БРС, которые создаются растягивающими усилиями в оси Японско-Байкальского геодинамического коридора и передаются от Южного Байкала в Тункинскую долину по пластичному слою 38-39 км. Максимальное растяжение коры под Средним Байкалом привело к ее утонению до 35 км.

Под восточной частью Тункинской долины кора растягивалась в Камарско-Становой зоне горячей транстенсии 18—12 млн лет назад, но последующее сжатие привело к ее утолщению до 50 км. Для регистрации сейсмогенных деформаций наиболее чувствительно сочленение активных (Обручевского и Юго-Западного Бортового) разломов растяжения Южно-Байкальской впадины и активного (Главного Саянского) разлома сжатия восточной части Тункинской долины.

Шаг 2. Выявление характера сейсмогенных деформаций коры и подкоровой мантии в контексте неоген-четвертичного развития БРС.

Удоканская расплавная аномалия северовосточной части БРС имела импульсное развитие в противофазе по отношению к Витимской расплавной аномалии. Витимская расплавная аномалия генерировалась в оси ЯБГК, Удоканская – на периферии. В среднем миоцене сначала на Витимском, а затем на Удоканском вулканических полях проявился высоко-Мд (высокотемпературный) вулканизм. Позже имели место перекликающиеся интервалы вулканизма Витимского и Удоканского полей с квазипериодами, соответствующими великим циклам эксцентриситета вращения Земли 2.4 млн лет. Различаются два интервала смещения вулканизма от Витимской к Удоканской расплавной аномалии (1 - 16-14 млн лет назад и 2 - 13.6-8 млнлет назад) и последующее чередование синхронных и асинхронных вулканических эпизодов: 3 – синхронизация 7.5 млн лет назад, 4 – асинхронизация 5.2–2.3 млн лет назад, 5 – синхронизация 1.8-1.7 млн лет назад и 6 асинхронизация 1.1-настоящее время. В отличие от Витимского и других вулканических полей Внутренней Азии, Удоканское поле характеризовалось извержениями трахитов, которые контролировались тектоническими зонами (Рассказов, Чувашова, 2018) (рис. 7).

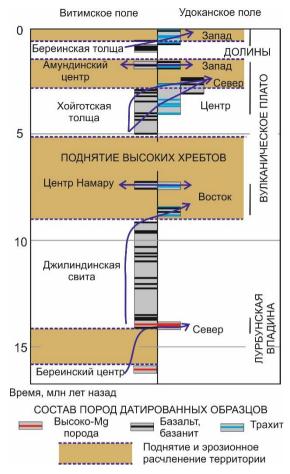


Рис. 7. Сопоставления вулканических эпизодов Витимского поля (осевая расплавная аномалия ЯБГК) и Удоканского поля (периферическая расплавная аномалия ЯБГК). Стрелки показывают запаздывание удоканских вулканических эпизодов относительно витимских. Двусторонние стрелки обозначают синхронные эпизоды.

Fig. 7. Comparison of volcanic episodes in the Vitim field (axial melt anomaly of the JBGC) and Udokan field (peripheral melt anomaly of the JBGC). The arrows show the delay of the Udokan volcanic episodes relative to the Vitim ones. Double-sided arrows indicate synchronous episodes.

Подобное импульсное развитие вулканизма с квазипериодическим пространственно-временным смещением выявлено в юго-западной части Байкальской рифтовой системы. В восточной части Тункинской долины, близи Байкала, находится Камарская и Еловская группы вулканических полей, от которых к югу протягивается трансхамардабанская вулканическая полоса, включающая Джидинскую группу полей. Западнее выделяются группы полей центра Селенгинского бассейна: Угейнурское, Селенгинское,

Нижнеорхонское и Хануйское. Южнее располагаются Восточнохангайская и Долиноозерская группы. Отдельно рассматриваются Верхнечулутынское и Тарят-Чулутынское поля субмеридиональной Чулутынской зоны транстенсии. Дивергентные (рифтогенные) импульсы вулканизма инициировались в восточной части Тункинской долины от оси ЯБГК и распространялись к югу и юго-западу

через Селенгинский бассейн во временных интервалах 18–11 млн лет назад, 7.0–4.5 млн лет назад, а также в конце квартера. Процессы Индо-Азиатской конвергенции вызывали смещение вулканизма с юга на север, вдоль субмеридиональной Чулутынской зоны транстенсии, во временных интервалах 10.0–7.0 млн лет назад и в последние 4.5 млн лет (рис. 8).

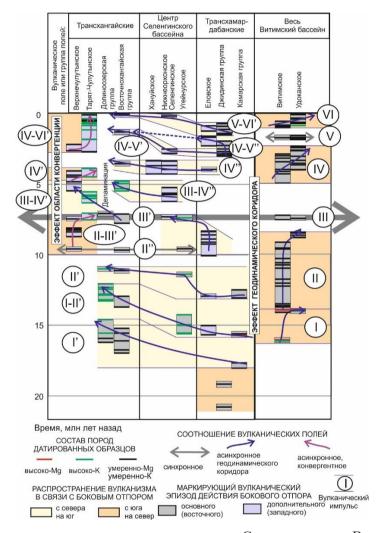


Рис. 8. Пространственно-временная миграция вулканизма Селенгинского и Витимского бассейнов. К Селенгинскому бассейну относятся трансхабардаманские, трансангайские поля и поля центра этого бассейна. Квазипериодическая миграция вулканизма направлена от Байкала к Восточному Хангаю и от Верхнечулутынского поля к Тарят-Чулутынскому. Вулканические импульсы I–III характеризуют раннее (миоценовое) развитие БРС, импульсы III–IV – позднемиоценовую структурную перестройку, импульсы IV–VI — плиоцен-четвертичное обособление структур БРЗ при позднем развитии БРС. Использованы датировки вулканических пород, приведенные в монографии (Рассказов и др., 2012).

Fig. 8. Spatial-temporal migration of volcanism in the Selenga and Vitim basins. The Selenga basin includes the Transkhabardaman, Transangai fields and the fields of the center of this basin. The quasi-periodic migration of volcanism is directed from Baikal to Eastern Khangai and from the Upper Chulutyn field to the Taryat-Chulutyn field. Volcanic impulses I–III characterize the early (Miocene) development of the BRS, impulses III–IV characterize the late Miocene structural rearrangement, and impulses IV–VI characterize the Pliocene–Quaternary separation of the BRZ structures during the late development of the BRS. The dates of volcanic rocks given in the monograph (Рассказов и др., 2012) were used.

Пространственно-временная миграция вулканизма БРС характеризует деформации литосферы под действием двух силовых источников: дивергентного (байкальского, производного осевой части ЯБГК) и конвергентного (чулутынского, производного Индо-Азиатского взаимодействия). Дивергентные и конвергентные силы, очевидно,

определяют не только длительные процессы, запечатленные во времени и пространстве в вулканических импульсах квазипериодов великих циклов эксцентриситета, но и современные короткопериодические деформации коры, реализующиеся в сильных сейсмических активизациях (рис. 9).

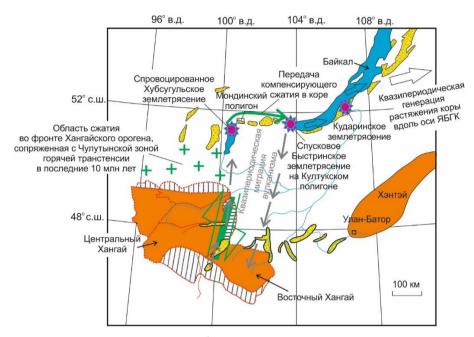


Рис. 9. Схема геодинамики орогенных и рифтовых структур по распределению вулканизма в югозападной части БРС с распространением интерпретации на сейсмическую активизацию 2020—2021 гг.
Впадины—подвески (по Н.А. Флоренсову, Хубсугульская, Дархатская, Бусийнгольская) образовались как радиальные структуры поперечного растяжения во фронте западной части Хангайского орогена при ее правостороннем смещении относительно восточной части орогена (Восточного Хангая) и расположенной севернее Орхон-Селенгинской седловины. Вулканизм квазипериодически мигрирует от Байкала в Восточному Хангаю и в противоположном направлении вдоль ядра Хангайского орогена. Здесь горячая транстенсия маркируется вулканической деятельностью во временном интервале 9.6—2.1 млн лет назад на Верхнечулутынском и Тарят-Чулутнынском вулканических полях. Сжатие коры севернее радиальных впадин выразилось в поднятии субширотного хр. Мунку-Сардык в последние 10 млн лет. Надвигание северных отрогов этого хребта на Окинское плоскогорье после 2.6 млн лет привело к прекращению вулканизма здесь около 2.1 млн лет назад. Показаны впадины рифтовых сегментов и контуры орогенных провинций Хангая. Для хангайских морфоструктур использована геоморфологическая схема из работы (Корина, 1982).

Fig. 9. Scheme of geodynamics of orogenic and rift structures based on the distribution of volcanism in the southwestern part of the BRS with the extension of interpretation to seismic activity in 2020–2021. Suspension depressions (according to N.A. Florensov, Khubsugul, Darkhat, Busiingol) were formed as radial structures of transverse extension in the front of the western part of the Khangai orogen during its right-hand displacement relative to the eastern part of the orogen (Eastern Khangai) and the Orkhon-Selenga saddle located to the north. Volcanism quasi-periodically migrates from Baikal to Eastern Khangai and in the opposite direction along the core of the Khangai orogen. Here, hot transtension is marked by volcanic activity in the time interval of 9.6–2.1 Ma at the Upper Chulutyn and Taryat-Chulutyn volcanic fields. The compression of the crust north of the radial depressions resulted in the uplift of the sublatitudinal ridge Munku-Sardyk in the last 10 million years. The thrusting of the northern spurs of this ridge onto the Oka Plateau after 2.6 Ma led to the cessation of volcanism here about 2.1 Ma ago. Depressions of rift segments and contours of orogenic provinces of Khangai are shown. For the Khangai morphostructures, the geomorphological scheme from (Корина, 1982) was used.

Шаг 3. Выявление характера сейсмогенных деформаций коры и подкоровой мантии в контексте плиоцен-четвертичного развития БР3.

Пространственно-временная тектоническая эволюция Азии воспринимается через анализ характера распределения плиоценчетвертичного вулканизма. Вулканические события и активизация глубинных расплавных аномалий БРЗ характеризуются импульсной эволюцией, вписывающейся в два великих цикла эксцентриситета вращения Земли: плиоценовый -5.3-2.6 млн лет назад и четвертичный – последних 2.6 млн лет. Юный вулканизм БРС активизировался при деформациях коры, сменявшихся во времени и пространстве. Вулканическому интервалу конца плейстоцена-голоцена предшествовали тектонические и вулканические импульсы с квазипериодами порядка 10-14 тыс. лет. Вулканизм последних 14 тыс. лет проявился на северо-восточном и западном структурных окончаниях БРС. На вулканическом поле хр. Удокан установлена ранняя фаза извержений с 14 до 9 тыс. лет назад при северо-восточном растяжении коры с последующим переходом к северо-западному растяжению, свойственному ее современным деформациям в северовосточной части БРС.

Шаг 4. Определение сейсмогенного состояния разломов по результатам гидроизотопных исследований.

Активность разломов оценивается по возрастанию значений отношения активностей 234 U/ 238 U (*OA4*/8) и активности 234 U (*A4*) в подземных водах. В участках эпицентральных полей, приуроченных к разломам БРС, получены значения ОА4/8 в интервале 2-4. В неактивных участках разломов значения OA4/8 находятся в интервале 1–2. Высокие отношения OA4/8, выявленные в подземных водах Еловско-Култукской и Ниловско-Мондинской инверсионных секций окончаний Тункинской долины, совпадают с участками концентрации землетрясений (Рассказов и др., 2018). Тектонические усилия растяжения создаются в оси ЯБГК и компенсируются тектоническими усилиями сжатия, создающимися во фронте Хангайского орогена (см. рис. 8).

На западном окончании долины определены пространственные вариации ОА4/8 в природных водах и проведен 5-летний мониторинг вод скважины Моп-D в Мондинской впадине. Задокументированное ступенчатое снижение значений ОА4/8 в воде этой скважины, одновременно с подготовкой и реализацией землетрясения с энергетическим классом К=13.9 на севере оз. Хубсугул, отразило последовательное закрытие трещин, препятствовавшее проникновению глубинных вод в Тумелик-Мондинской асейсмичной зоне. Нивелирование Мондинской аномалии Тумелик-Мондинской асейсмичной зоны с продолжением активности Туранской и Ниловской аномалий внутренней части Ниловско-Мондинской секции подчеркнуло ее особую роль как связующего звена между Хубсугульским сегментом радиальных рифтов, образовавшихся во фронте Хангайского орогена, и наиболее крупной центральной впадиной Тункинской долины.

В подземных водах ее восточного окончания, в районе пос. Култук, снижение значений *ОА4/8* сменялось их резким возрастанием и переходом к малоамплитудным вариациям. Соответственно, закрытие трещин сменялось открытием, способствовавшим циркуляции глубинных вод и реализации землетрясений. Проявление Култукской, Зактуйской и Северо-Торской аномалий *ОА4/8* и землетрясений по периферии Еловско-Култукской секции обозначило границы Восточно-Тункинского литосферного блока, расплющенного у края фундамента Сибирской платформы.

Шаг 5. Выделение полного 12-летнего сейсмогеодинамического цикла в центральной части БРС.

В чувствительном к деформациям Култукском структурном сочленении Южно-Байкальской впадины и Тункинской долины с 2012 г. проводится гидроизотопный мониторинг. В ходе мониторинга на Култукском сейсмопрогностическом полигоне установлено возрастание OA4/8 и A4 в подземных водах при усилении растяжения коры и относительное снижение значений обоих параметров при уменьшении растяжения. Определен полный 12-летний сейсмогеодинамический цикл, ходе которого В условиях минимального растяжения коры полигона реализовалось Голоустное землетрясение 2015 г. на Южном Байкале и в условиях усилившегося растяжения произошло Кударинское и

другие сильные сейсмические толчки Байкало-Хубсугульской активизации 2020–2021 гг. (рис. 10) (Rasskazov et al., 2022).

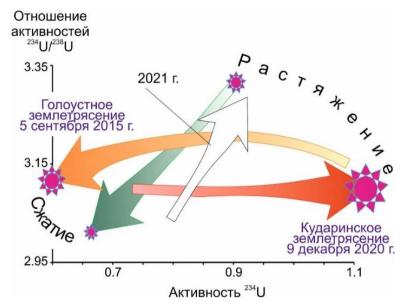


Рис. 10. Реконструкция полного сейсмогеодинамического цикла сжатия и растяжения коры по результатам мониторинга ст. 27 Култукского полигона. Сейсмическим стадиям соответствуют тренды последовательного изменения *OA4/8* и *A4* в подземных водах с выходом на экстремальные значения, соответствующие сильным сейсмическим событиям. Полный цикл начался 27 августа 2008 г. и завершился 9 декабря 2020 г. Слабые неопасные землетрясения 2013–2014 гг. (зеленый уровень) сменялись нарастанием опасности желто-оранжевого уровня в 2015 г. и красным уровнем опасности в конце 2020 – начале 2021 гг.

Fig. 10. Reconstruction of the complete seismogeodynamic cycle of compression and extension of the crust based on the results of monitoring st. 27 of the Kultuk polygon. The seismic stages correspond to trends in successive changes in *OA4/8* and *A4* in groundwater, reaching extreme values corresponding to strong seismic events. The full cycle began on August 27, 2008 and ended on December 9, 2020. Weak non-hazardous earthquakes in 2013–2014 (green level) were replaced by an increase in the yellow-orange level of danger in 2015 and a red level of danger in late 2020 – early 2021.

Шаг 6. Определение аномального деформационного состояния коры.

При отборе проб проводятся измерения окислительно-восстановительного потенциала подземных вод (Eh). При подготовке и реализации землетрясения установлено общее (аномальное) снижение Eh на всех станциях Култукского сейсмопрогностического полигона. В ходе Байкало-Хубсугульской активизации 2020-2021 гг. сейсмогенные деформации коры Среднего Байкала сопровождались откликами землетрясений в коре Хубсугула. Снижение значения Ећ станции 9 Обручевского разлома Южно-Байкальской впадины служило откликом на сейсмические события Среднего Байкала. Систематически запаздывающие на несколько дней снижения Еһ станции 8 в зоне Главного Саянского разлома отражало направленную передачу деформационного импульса от Среднего Байкала к Хубсугулу. Снижение Еһ в подземных водах рассматривается как сейсмопрогностический признак неясной природы. Такие признаки указывают на аномальное деформационное состояние коры, но их проявление недостаточно для полноценного сейсмического прогноза.

Шаг 7. Экспрессный детальный гидрогеохимический мониторинг и подготовка заключения о характере аномального состояния активных разломов. Для получения информации о тектонических эффектах в коре при подготовке и пространственной передаче деформационного импульса от Среднего Байкала к Хубсугулу проводятся экспрессные измерения *OA4/8* и *A4* в подземных водах всех задействованных мониторинговых станций Култукского полигона. Делается конкретная оценка характера развития сейсмогенных деформаций по пространственным соотношениям сжатия и растяжения на станциях Обручевского и Главного Саянского разломов.

Заключение

В разработке дисциплины «История и методология геологических наук» использована модель программ научных исследований Имре Лакатоса на примере развития представлений о кайнозойском рифтогенезе, вулканизме и землетрясениях в Байкало-Монгольском регионе. Прогрессивное развитие гипотез с 1950-х гг. до настоящего времени определялось наличием ядра - структурногеоморфологическое понятия Байкальской рифтовой зоны как полосы поднятий и впадин позднего плиоцена-квартера (Логачев, 1977) и сформированных на основе этой гипотезы программы научных исследований гипотезы об эволюции вулканизма Байкальской рифтовой системы (Рассказов, 1993) и более продвинутой программы научных исследований Японско-Байкальского геодинамического коридора (Chuvashova et al., 2017). В рамках последней программы выстраиваются мониторинговые исследования по прогнозу сильных землетрясений в Южно-Байкальской впадине и Тункинской долине.

Благодарности

Гидроизотопный мониторинг был организован в 2012 г. на геологическом факультете Иркутского госуниверситета по проекту программы «Научные и педагогические кадры России» и продолжается в настоящее время в рамках работ ИЗК СО РАН по крупному проекту Минобрнауки России «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории», № 13.1902.21.0033.

Литература

Белоусов В.В. Очерки истории геологии. У истоков науки о Земле (геология до конца XVIII в.). М., 1993. 267 с.

Вернадский В.И. Избранные труды по истории науки. М.: Наука, 1981. 362 с.

Грачев А.Ф. Рифтовые зоны Земли. Л.: Недра, Ленингр. отд-ние, 1977. 247 с.

Замараев С.М., Васильев Е.П., Мазукабзов А.М., Ружич В.В. Соотношение древней и кайнозойской структур в Байкальской рифтовой зоне. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1979. 125 с.

Зорин Ю.А. Новейшая структура и изостазия Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий. М.: Наука, 1971. 168 с.

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

Крылов С.В., Мандельбаум М.М., Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р., Петрик Г.В., Селезнев В.С. Недра Байкала по сейсмическим данным. Новосибирск: Наука. Сиб. отд.-ние, 1981. 105 с.

Логачев Н.А. Кайнозойские континентальные отложения впадин байкальского типа // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1958а. №4. С. 18–29

Логачев Н.А. Саяно-Байкальское и Становое нагорья // Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. М.: Наука. 1974. С. 7–163.

Логачев Н.А. Вулканогенные и осадочные формации рифтовых зон Восточной Африки. М.: Наука, 1977. 183 с.

Милановский Е.Е. Альфред Вегенер. 1880–1930. М. Наука, 2000. 239 с.

Мишарина Л.А. Напряжения в земной коре в рифтовых зонах. М.: Наука, 1967. 136 с.

Мордвинова В.В., Кобелев М.М., Хритова М.А., Турутанов Е. Х., Кобелева Е.А., Трынкова Д.С., Цыдыпова Л. Р. Глубинная скоростная структура южной окраины Сибирского кратона и Байкальский рифтогенез // Доклады АН. 2019. Т. 484, № 1. С. 93–97. doi.org/10.31857/S0869-5652484193-97.

Николай Александрович Флоренсов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 170 с.

Николай Алексеевич Логачев. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 251 с.

Обручев В.А. История геологического исследования Сибири в 5 томах. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1931–1944.

Рассказов С.В., Ильясова А.М., Чувашова И.С., Чебыкин Е.П. Вариации 234 U/ 238 U в подземных водах Мондинского полигона как отклики землетрясений на окончании Тункинской долины в Байкальской рифтовой системе // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9, № 4. С. 1217–1234. doi:10.5800/GT-2018-9-4-0392

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., Чувашова И.С., Ясныгина Т.А., Фефелов Н.Н., Саранина Е.В. Калиевая и калинатровая вулканические серии в кайнозое Азии. Новосибирск: Академическое изд-во «ГЕО». 2012. 351 с.

Рассказов С.В., Саранина Е.В., Мартынов Ю.А. Импульсный подъем мантийных диапиров в Япономорской и Байкальской подвижных системах // Проблемы геодинамики и прогноза землетрясений. Хабаровск, Институт тектоники и геофизики ДВО РАН. 2001. С. 139–156.

Салтыковский А.Я. Базальтовый магматизм как отражение динамики верхней мантии (на примере Байкало-Монгольского региона и Исландии). Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук в форме научного доклада. Москва: Объединенный институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 1999. 50 с.

Салтыковский А.Я., Грачев А.Ф., Геншафт Ю.С. Некоторые закономерности пространственного распределения петрогенных элементов в базальтах Байкало-Монгольского региона // Особенности внутриконтинентального базитового магматизма. М.: Объединенный институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта АН СССР. 1980. С.3–80.

Саньков В.А., Парфеевец А.В., Лухнев А.В. и др. Позднекайнозойская геодинамика и механическая сопряженность деформаций земной коры и верхней мантии Монголо-Сибирской подвижной области // Геотектоника. 2011. № 5. С. 52–70.

Солоненко В.П., Николаев В.В., Семенов Р.М., Демьянович М.Г., Курушин Р.А., Хромовских В.С., Чипизубов А.В. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Сейсмогеология и сейсмическое районирование. Новосибирск: Наука, 1985. 207 с.

Флоренсов Н.А. Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. М.–Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. 258 с.

Флоренсов Н.А. Байкальская рифтовая зона и некоторые задачи ее изучения // Байкальский рифт. М.: Наука. 1968. С. 40–56.

Флоренсов Н.А. Очерки структурной геоморфологии. М.: «Наука», 1978. 237 с.

Флоренсов Н.А., Логачев Н.А. К проблеме Байкальского рифта // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. 1975. Т. L, № 3. С. 21–35.

Хаин В.Е. Основные проблемы современной геологии (геология на пороге XXI века). М.: Наука, 1994. 190 с.

Хаин В.Е. Основные проблемы современной геологии. Издание второе, дополненное. М.: Научный мир, 2003. 348 с.

Хаин В.Е., Рябухин А.Г. История и методология геологических наук. М.: Изд-во МГУ, 1997. 224 с.

Хаин В.Е., Рябухин А.Г. Наймарк А.А. История и методология геологических наук: учебное пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 416 с.

Chuvashova I., Rasskazov S., Sun Yi-min, Yang Chen Origin of melting anomalies in the Japan-Baikal corridor of Asia at the latest geodynamic stage: evolution from the mantle transition layer and generation by lithospheric transtension // Geodynamics & Tectonophysics. 2017. V. 8, № 3. P. 435–440. Doi.org/10.5800/GT-2017-8-3-0256.

Foulger G.R., Rossetter T. Do mantle plumes exist? // Abstract 95-2, Geological Society of America Annual Meeting, Phoenix, AZ. 2019. P. 22–25.

Jolivet L., Tamaki K., Fournier M. Japan Sea opening history and mechanism: A synthesis // J. Geophys. Res. 1994. V. 99, № B11. P. 22.237–22.259.

Le Pichon, X., Şengör, A.M.C., İmren, C. Pangea and the lower mantle // Tectonics. 2019. V. 38. P. 3479–3504.

Rasskazov S.V., Chebykin E.P., Ilyasova A.M., Snopkov S.V., Bornyakov S.A., Chuvashova I.S. Change of seismic hazard levels in complete 12-year seismogeodynamic cycle of the South Baikal Basin: Results of hydroisotopic (²³⁴U/²³⁸U) monitoring // Geology and Environment. 2022. V. 2, № 2. P. 3–20.

Rasskazov S., Ilyasova A., Bornyakov S., Chuvashova I., Chebykin E. Responses of a 234U/238U activity ratio in groundwater to earthquakes in the South Baikal Basin, Siberia // Front. Earth Sci. 2020. V. 14, N 4. P. 711–737.

Xu Z., Wang S., Huang Y. et al. Tectonic stress field of China inferred from a large number of small earthquakes // J. Geophys. Res. 1992. V. 97, № B8. P. 11.867–11.877.

Zorin Yu.A., Rogozhina V.A. Vechanism of rifting and some features of the deep-seated structure of P. 23–30. the Baikal rift zone // Tectonophysics. 1978. V. 45. P. 23–30.

Рассказов Сергей Васильевич

доктор геолого-минералогических наук, профессор

664003 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 Vasilievich

doctor of geological and mineralogical sciences, professor

664003 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

Примина Светлана Павловна

кандидат геолого-минералогических наук

664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,

Иркутский государственный университет, геологический факультет,

Профессор, декан геологического факультета, заведующая кафедрой нефти и газа

Email: chuvashova@crust.irk.ru

Primina Svetlana Pavlovna

candidate of geological and mineralogical sciences

664003 Irkutsk, st. Lenina, 3,

Irkutsk State University, Faculty of Geology,

Professor, dean of Geological Faculty, Head of Oil and Gas Char

 $svetlana.primina @\,gmail.com$

Чувашова Ирина Сергеевна

кандидат геолого-минералогических наук

664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,

Иркутский государственный университет, геологический факультет,

доцент

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

664003 Irkutsk, st. Lenina, 3.

Irkutsk State University, Faculty of Geology,

assistant professor

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