

БАЙКАЛЬСКИЙ МУЗЕЙ ИРКУТСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ ИМ. А.П. ВИНОГРАДОВА СО РАН
ИРКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СО РАН

**МИХАИЛ ИВАНОВИЧ КУЗЬМИН:
Я ЛЮБЛЮ ТЕБЯ, ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ!**

Авторы-составители

доктор биологических наук *О.Т. Русинек*
доктор географических наук *Е.В. Безрукова*

Ответственные редакторы

кандидат географических наук *В.А. Фиалков*
кандидат географических наук *А.И. Шеховцов*

Иркутск
2018

УДК 551.1/4(571.5)092
ББК 26.3(2Р54)дКузьминМ.И.
К89

Михаил Иванович Кузьмин: Я люблю тебя, планета Земля! / авторы-сост. О.Т. Русинек, Е.В. Безрукова. – Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. – 150 с.: 55 ил., 5 табл.

Книга посвящена геологу, доктору геолого-минералогических наук, профессору, академику Михаилу Ивановичу Кузьмину. М.И. Кузьмин – руководитель широко известной научной школы по химической геодинамике. М.И. Кузьмин одним из первых в нашей стране поддержал идеи новой парадигмы в геологии – тектоники литосферных плит. В течение ряда лет М.И. Кузьмин являлся руководителем программы «Глобальные изменения природной среды и климата на основе комплексного изучения осадков озера Байкал», исследования по которой продолжаются и в настоящее время. Он возглавлял Координационный комитет международной программы «Байкал–Хубсугул бурение» с участием японских, американских и монгольских ученых. На основе этих данных была получена непрерывная климатическая запись для обширного региона Центральной Азии за последние 8 млн лет.

М.И. Кузьмин – почетный гражданин Иркутска, кавалер орденов Почета, «За заслуги перед отечеством» IV степени, Лауреат Демидовской премии, награжден и другими знаками отличия.

Издание предназначено для широкого круга читателей – геологов, географов, биологов, экологов, преподавателей и студентов естественно-научного и гуманитарного профилей, а также для тех, кто интересуется историей науки.

*Утверждено к печати Ученым советом
Байкальского музея Иркутского научного центра*

ISBN 978-5-94797-327-3

© Байкальский музей ИНЦ, 2018
© Институт геохимии
им. А.П. Виноградова СО РАН, 2018
© Русинек О.Т., Безрукова Е.В., 2018

ВВЕДЕНИЕ

Глубокоуважаемые коллеги и друзья!

Вашему вниманию предлагается шестой выпуск серии «Исследователи Байкала». Он посвящен академику Михаилу Ивановичу Кузьмину. 20 июня 2018 г. Михаилу Ивановичу исполнилось 80 лет.

Кузьмин Михаил Иванович, академик РАН (2003), доктор геолого-минералогических наук (1982), профессор по кафедре геоэкологии и прикладной геохимии (2000), директор Института геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения РАН (1988–2012), председатель Президиума Иркутского научного центра СО РАН (2002–2009). Известный специалист в области геохимии, геодинамики и петрологии. Автор 445 научных работ, включая 20 монографий.

М.И. Кузьмин внес выдающийся вклад в формирование нового направления в геологической науке – химической геодинамике и создал научную школу по этому направлению.

М.И. Кузьмин провел исследования по типизации магматических пород и изучению связи их геохимических особенностей с их формированием в определенной геодинамической обстановке. Широко известны его труды по проблемам изменения природной среды и климата, а также проблемам петрологии и геодинамики, где установлено соответствие каждой геодинамической обстановке определенного набора геохимических типов пород, что определяет основу палеотектонических реконструкций, металлогенического анализа и возможность широкого применения геохимии в геологических исследованиях.

М.И. Кузьмин – руководитель Международной программы «Глобальные изменения природной среды и климата на основе комплексного изучения осадков оз. Байкал». Возглавлял координационный комитет Международной программы «Байкал-бурение», Региональный экспертный совет конкурса научных исследований по проблемам озера Байкал и Байкальского региона и Научный совет Сибирского отделения РАН по проблемам озера Байкал. Член редколлегий журналов «Геохимия» и «Геология и геофизика». Лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники. Почетный гражданин г. Иркутска.

Жизненное кредо М.И. Кузьмина: «Не изменять себе – именно это и есть совесть любого честного человека. Всему этому нас учило общество, наши родители, наши учителя в школе» (Кузьмин, 2018).

Он осуществляет большую научно-организационную деятельность в специализированных ученых советах академических институтов Иркутска и Новосибирска.

В рамках очерка мы переиздаем 3 статьи М.И. Кузьмина, которые являются частью его фундаментального научного наследия.

Авторы составители выражают благодарность сотрудникам Института геохимии за помощь в сборе материалов для очерка: к.х.н., ученому секретарю Ирине Юльевне Пархоменко, секретарю-референту Светлане Оле-

говне Котомановой, начальнику отдела кадров Людмиле Николаевне Одаревой и м.н.с. Егору Владимировичу Иванову.

Большую помощь в подборе публикаций М.И. Кузьмина оказали заведующая отделом библиографии ИОГУНБ им. И.И. Молчанова-Сибирского Любовь Юрьевна Олейник, сотрудник Центральной научной библиотеки Иркутского научного центра Елена Валерьевна Ожегова, ведущий специалист научной библиотеки Байкальского музея ИНЦ Елена Владимировна Головачева и ведущий специалист научной библиотеки Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН Ирина Александровна Погодаева.

Особенно мы благодарны сотрудникам геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова: д.г.-м.н., с.н.с. Нине Георгиевне Зиновьевой (зам. зав. кафедрой петрологии) и к.г.-м.н., сотруднику кафедры геохимии Юлии Анатольевне Поповой за материалы об учителях М.И. Кузьмина.

АВТОБИОГРАФИЯ МИХАИЛА ИВАНОВИЧА КУЗЬМИНА

Академика РАН, советника РАН, главного научного сотрудника
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института геохимии им. А.П. Виноградова
Сибирского отделения Российской академии наук

Родился 20 июня 1938 года в г. Москве в семье педагогов. Отец, Кузьмин Иван Иванович, 1905 года рождения, погиб на фронте во время Великой Отечественной войны в 1942 году. Мать, Глушенок Ольга Захаровна, 1903 года рождения, умерла в 1983 году.

В 1955 году после окончания средней школы № 167 поступил на геологический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. В 1960 году окончил университет по специальности «геохимия» с присвоением квалификации «геолога-геохимика» и был направлен по распределению в г. Иркутск в Институт геохимии СО АН СССР. В Институте геохимии работаю по настоящее время: с 1960 г. по 1988 г. – в должности старшего лаборанта-исследователя, младшего научного сотрудника, старшего научного сотрудника, заведующего лабораторией; с октября 1988 г. по 2012 г. был директором Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.

После окончания геологического факультета МГУ в июле 1960 года приехал в Иркутск в Институт геохимии СО АН СССР. После разговора с директором Института Л.В. Таусоном был направлен в экспедицию Института, которая занималась изучением магматизма и рудными месторождениями Восточного Забайкалья. Мне поручили изучать геохимию мезозойских гранитоидов региона и их металлогению. Эти исследования продолжались в 1960–1966 годы. В 1966 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Закономерности распределения редких элементов в мезозойских гранитоидах центральной части Восточного Забайкалья».

С 1967 г. начал работать в Монголии в составе Советско-Монгольской экспедиции АН СССР и АН МНР. Первые годы занимался изучением геохимии и металлогении мезозойских гранитоидов Монголии. Была установлена зональность мезозойского магматизма Монголии, заключающаяся в изменении состава и возраста магматических пород с востока на запад. Зональность магматизма приурочена к Монголо-Охотскому глубинному разлому. В 1970–1973 годах, работая с партиями экспедиций Министерства геологии СССР, проследил эту зональность, учитывая наши работы по Забайкалью, далее на восток в пределах Станового хребта и до Охотского моря, используя обширные литературные данные. В дальнейшем было доказано, что Монголо-Охотский разлом – это структура, сохранившаяся после закрытия Монголо-Охотского океанического бассейна. Именно с этой океанической структурой связана зональность магматических пород востока Азиатского континента.

В 1974–1981 годы продолжал работы в составе Российско-Монгольской геологической экспедиции, изучая офиолитовые комплексы Монголии, которые представляют собой остатки Палеоазиатского океана, являющегося составной частью Центрально-Азиатской складчатой области. В начале 1970-х годов под руководством выдающегося российского геолога Л.П. Зоненшайна занимался изучением новой парадигмы геологии – тектоники литосферных плит. В 1976 г. мы (Л.П. Зоненшайн, М.И. Кузьмин, В.М. Моралев) опубликовали первую книгу на русском языке под названием «Новая глобальная тектоника, магматизм и металлогения» (М.: Недра, 1976), которая имела большое значение для познания идей тектоники плит российскими геологами.

На основе использования положений тектоники литосферных плит и выполненных мной исследований в Монголии, Забайкалье, Становике в 1982 году мной была защищена докторская диссертация на тему «Геохимия фанерозойских магматических пород и геодинамические условия их формирования в подвижных поясах». Докторская диссертация послужила основой публикации монографии под таким же названием, которая вышла в Издательстве Сибирского отделения Новосибирске в 1985 году.

В 1980-х годах мы вместе с Л.П. Зоненшайном провели исследования, которые позволили выявить закономерность распределения активных вулканических образований, не связанных с границами плит, так называемых горячих точек, на поверхности Земли. Оказалось, что эти проявления связаны с горячими полями мантии нашей планеты, образующими две крупных области: Тихоокеанскую и Африкано-Атлантическую. В этих областях к поверхности подходит разогретое глубинное вещество мантии, которое и определяет особенности химизма внутриплитовых магматических образований. Первую статью о горячих полях мы опубликовали в 1983 году в журнале «Геотектоника». В конце 1980-х годов в связи с развитием исследований по сейсмотомографии наличие горячих полей, фиксируемых по низкоскоростным сейсмическим волнам, было доказано геофизиками, которые показали подъем нижнемантийного вещества к поверхности Земли от границы ядро–мантия, от слоя D^{''}. В 1992 году была опубликована мной совместно с Л.П. Зоненшайном монография «Палеогеодинамика» (М.: Наука, 1982), которая в 1997 году вышла в США на английском языке. В этих работах мы показали значение глубинной геодинамики, которую иногда называют тектоникой плюмов, в формировании горно-складчатых поясов Земли.

В 1984–1990 годах мы вместе с Л.П. Зоненшайном и Л.М. Натаповым работали над интерпретацией данных по геологии нашей страны с позиций тектоники литосферных плит. В 1990 году была опубликована наша монография «Тектоника плит территории СССР», которая в том же году была издана в США. Эта монография получила широкую известность среди мирового геологического сообщества.

В 1980–1989 годах работал в составе океанологических экспедиций, изучая с использованием подводных обитаемых аппаратов «Пайсис» и

«Мир» дно океанов до глубины 6000 метров. Эти экспедиции выполнялись сотрудниками Института океанологии АН СССР, которые возглавлял академик Александр Лисицын. Мы изучали строение, состав магматических пород, осадков и гидротермальные образования в рифтовых зонах Аденского и Калифорнийского заливов, а так же рифтовые зоны Тихого, Индийского и Атлантического океанов, т. е. в тех зонах, в которых формировалась современная океаническая кора и океаническая литосфера. В результате наших работ был опубликован ряд научных статей в отечественных и зарубежных научных журналах, а так же три коллективные монографии и атлас подводных фотографий с кратким описанием под названием «Тайны глубин». К сожалению, это популярное издание опубликовано только на английском и испанском языках. На русское издание, в связи с началом «перестройки» не хватило средств.

В 1989 году стал директором Института, в начале 1990-х годов началась перестройка, резко сократилось финансирование научных исследований академических Институты. Необходимо было начать выполнять международный научный проект, чтобы получить дополнительное финансирование для сохранения научного коллектива Института. Еще в конце 1989 г. Даг Вильямс, профессор Университета Южной Королины, предложил нам начать исследование континентального палеоклимата Центральной Азии на основе глубоководного бурения на Байкале. Решили начать этот проект, который получил название «Байкал-бурение». В исследованиях принимали участие ученые США, Японии, в отдельные периоды Германии и Южной Кореи. Мы пробурили пять кустов скважин на Байкале, глубина самой большой достигала 660 метров в осадках, был вскрыт разрез, охватывающий интервал около 8 млн лет. Была пробурена глубокая скважина на озере Хубсугул, которое является рифтовым озером Байкальской рифтовой зоны. Хубсугул расположен значительно гипсометрически выше Байкала, в его осадках запечатлен палеоклимат, свойственный гористой местности. Результаты исследований участники проекта опубликовали в более 100 статьях в Российских и зарубежных журналах. Кроме того вышло два спецвыпуска журнала «Геология и геофизика», в которых был ответственным редактором. Журнал печатается на русском и английском языках и имеет высокий рейтинг. Все это способствовало заинтересованности результатами наших работ широкой геологической общественности России и зарубежных стран.

В 2008 году стало несколько лучше с финансированием. Институт смог закупить новое аналитическое оборудование, больше времени стал посвящать проблеме эндогенной активности Земли. Меня назначили куратором темы ОФИ_м РФФИ № 13-05-12026 «Мантийные плюмы и их роль в формировании структуры литосферы, крупных изверженных провинций и месторождений, стратегического сырья Евразийского континента». По этой тематике финансировалось 12 проектов различных академических организаций, Институт геохимии выполнял проект «Эпохи, обстановки и источники внутриплитового магматизма в фанерозойской истории Сибири и

ее складчатого обрамления». Эти работы проводились в 2010–2015 годы. В процессе их выполнения было проведено два рабочих совещания, в которых приняли участие, главным образом, российские ученые и одна международная конференция. По результатам выполняемых работ участниками проекта и участниками международной конференции было выпущено два спецвыпуска журнала «Геология и геофизика». Работы стали широко известны большому кругу геологов разных стран.

С 2014 года вместе с академиком В.В. Ярмолюком работаю над проблемой изменения стиля эндогенных изменений тектонической активности Земли в процессе ее геологической истории. Установлено, что если в первые 500 млн лет истории Земли большое значение для ее эндогенной активности имели метеоритно-астероидные бомбардировки, а с 4,0–2,7 млрд лет определяющее значение имели внутренние эндогенные процессы. Стиль геодинамических процессов определения так называемой тектоникой покрывки, совмещенной с тектоникой мантийных переверотов. В интервале 2,7–2,0 млрд лет было время смены стиля тектонических движений. После 2,0 млрд лет наступило время современной тектоники, при которой происходит совмещение тектоники плит и тектоники плюмов. По теме данного исследования нами опубликовано уже восемь научных статей в высоко рейтинговых научных отечественных журналах.

Наукометрические данные (на апрель 2017 г.) по <http://expertcorps.ru/>

Год первой публикации, упомянутой в WoS – 1965;

Суммарное цитирование статей – 4678;

Цитирование статей, опубликованных в последние 7 лет – 339;

Максимальное цитирование одной статьи – 187;

Индекс Хирша – $h = 34$;

Число работ, реферируемых в базе WoS (глубина от 1986 г.) – 188.

Web of Science, данные с 1975 года (на апрель 2017 г.)

Публикации – 159;

Цитируемость – 1827;

Индекс Хирша – 24.

Система РИНЦ (на апрель 2017 г.)

Публикации – 263;

Цитируемость – 3732;

Индекс Хирша – 29.

Имею стаж педагогической работы в высших учебных заведениях:

- в Иркутском государственном университете – с 1988 г. по 2000 г.;

- в Иркутском государственном техническом университете – с 1993 г.

по 2014 г. (читал курс лекций «История геологии и геопроблемы» на факультете геологии, геоэкологии и геоинформатики).

С 1985 г. по 1990 г. читал выездной курс лекций «Тектоника плит и металлогения» в Донецком политехническом институте и Новосибирском государственном университете.

В 2000 г. присвоено ученое звание «профессор» по кафедре геоэкологии и прикладной геохимии. Под моим руководством защитили кандидатские диссертации 11 аспирантов.

Мною, частично в соавторстве, опубликовано 418 научных работ, в том числе 19 монографий. В 1991 году был избран членом-корреспондентом РАН по Отделению геологии, геофизики, геохимии и горных наук. В 1997 году в составе авторского коллектива мне была присуждена Государственная премия РФ и присвоено звание лауреата Государственной премии РФ в области науки и техники за цикл работ «Глубинная геодинамика».

С 2002 г. по 2009 г. являлся председателем Президиума Иркутского научного центра, членом Президиума Сибирского отделения РАН с 1997 г., председателем Специализированного Ученого совета при Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН с 1990 г. по 2012 г. и членом Специализированного Ученого совета при Объединенном институте геологии, геофизики и минералогии СО РАН (г. Новосибирск) с 1989 г., членом ряда рабочих групп и комплексных программ, председателем секции «Минеральные ресурсы и геологические катастрофы» в Совете при Губернаторе Иркутской области с 1990 г., членом Совета и редколлегии журнала «Геохимия» с 1989 г., членом Совета редколлегии журнала «Геология и геофизика» с 1993 г., а членом редколлегии с 2000 г., членом редколлегии журнала «Геология рудных месторождений» с 2006 г., членом редколлегии журнала «География и природные ресурсы» с 2014 г., членом редколлегии журнала «Геосферные исследования» с 2016 г.

Являюсь Почетным гражданином города Иркутска.

НАГРАДЫ

- Государственные:

1. Медаль «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина», 06.04.1970 г.

2. Медаль «Ветеран труда», за долголетний добросовестный труд, 28.09.1987 г.

3. **Государственная премия РФ** в области науки и техники 1997 г. и звание лауреата Государственной премии РФ в области науки и техники 1997 г. за цикл трудов «Глубинная геодинамика», 10.06.1997 г.

4. Орден Почета за высокие достижения в научно-исследовательской работе и общественной деятельности, за заслуги в подготовке высококвалифицированных кадров, Указ Президента РФ от 05.04.1999 г., награда № 6671, удостоверение № 236824.

5. Орден «За заслуги перед Отечеством» IV степени, награда № 2426, удостоверение № 555215, Указ Президента РФ от 13.12.2007 г.

6. Орден Дружбы, Указ Президента РФ от 22.05.2014 года, № 356.

- СО РАН:

1. Почетное звание «Заслуженный ветеран Сибирского отделения АН СССР» за многолетнюю активную научную, производственную и общест-

венную работу, – присвоено Постановлением Президиума и МК профсоюзов за СО АН СССР от 01.06.1982 г., № 315.

2. Благодарность Президиума СО РАН и премия за большую работу по научному обоснованию трассы нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» и выноса за пределы озера Байкал, 2006 г.

- г. Иркутска и Иркутской области:

1. Почетная грамота Губернатора Иркутской области, за значительный личный вклад в развитие науки, большую научно-организационную и общественную деятельность, 11.01.1999 г.

2. Знак отличия «За заслуги перед Иркутской областью», 07.10.2003 г.

3. **Почетное звание «Почетный гражданин города Иркутска»**, 31.05.2007 г.

4. Почетная грамота Законодательного собрания Иркутской области, 2007 г.

5. Почетная грамота Мэра г. Иркутска, июнь 2008 г.

6. Юбилейная медаль «В память 350-летия Иркутска», 14.09.2011 г.

7. Знак общественного поощрения «75 лет Иркутской области», 2012 г.

8. Почетный знак Юрия Абрамовича Ножикова «Признание», 2016 г.

- Демидовская Премия 2007 г. (общенациональная, неправительственная научная премия) За выдающийся вклад в формирование нового направления в геологии – химической геодинамики и решение проблем глобального изменения природной среды и климата на основе комплексного изучения осадков озер Байкал, Хубсугул и малых озер Центральной Азии.

- РАН:

1. Благодарность Президиума Российской академии наук за многолетнее плодотворное руководство Институтом, 2012 г.

2. Юбилейная медаль «Валентин Афанасьевич Коптюг – великий ученый и патриот», 09.06.2011 г.

3. Памятная медаль в честь 100-летия со дня рождения академика А.А. Трофимука, 2011 г.

4. Памятная медаль «300 лет Михаилу Васильевичу Ломоносову», 2011 г.

5. Медаль «Академик П.П. Ширшов», 2017 г.

- Иностранная:

- Орден Правительства Монголии «Полярная Звезда», 2017 г.

Семейное положение

Женат, имею двух детей:

жена – Кузьмина Тамара Михайловна, 1940 года рождения, в настоящее время пенсионерка;

дочь – Гомонова (Кузьмина) Ольга Михайловна, 1963 года рождения;

сын – Кузьмин Павел Михайлович, 1969 года рождения.

2017 г.

М.И. Кузьмин

ОСНОВНЫЕ ДАТЫ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ М.И. КУЗЬМИНА

Кузьмин Михаил Иванович родился в г. Москве 20 июня 1938 года в семье Ивана Ивановича Кузьмина и Ольги Захаровны Глушонок.



Рис. 1. Иван Иванович Кузьмин (1905–1942).



Рис. 2. Ольга Захаровна Глушонок (1903–1983).

Михаил Иванович Кузьмин и его брат Владимир Иванович в 2015 г. к 70 летию победы в Великой Отечественной войне издали книгу «По зову памяти (хроника семьи И.И. Кузьмина и О.З. Глушонок)». Благодарные сыновья написали: «Двум замечательным людям, победившим вместе с советским народом фашизм, создавшим свободную, счастливую жизнь своим детям, всему молодому поколению нашей огромной Родины, дорогим родителям Ивану Ивановичу Кузьмину, погибшему под Ржевом весной 1942 года, и Ольге Захаровне Глушонок, оставшейся вдовой и отдавшей всю жизнь воспитанию своих сыновей Володи и Миши Кузьминых, посвящается эта книга».

В 1945 г. Миша пошел в первый класс 167-й московской школы, а в 1955 г. окончил ее¹, имея в аттестате две четверки: по английскому и рус-

¹ Школа № 167 была открыта 19 октября 1936 года. Среди выпускников школы – космонавт, первый врач, полетевший в космос Б.Б. Егоров; знаменитый актер театр им. Е.Б. Вахтангова Н.О. Гриценко, академик РАН, физик А.В. Гуревич; математик, лингвист, публицист, доктор физико-математических наук В.Д. Успенский, известные деятели культуры, писатели, ученые. http://sch2054.mskobr.ru/common_edu/sp_4_1113/obwie_svedeniya/istoriya_uchrezhdeniya/nachalo_istorii_shkola_167/ Сейчас это Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение города Москвы "Школа № 2054" Школьный корпус № 4 Адрес: город Москва, Дегтярный переулок, дом 7.

скому языкам. «Школа привила нам гордость за нашу страну, любовь к нашей истории, русской литературе, русской живописи, с которой мы знакомились в Третьяковской галерее», – пишет М.И. Кузьмин (2018). Несмотря на определенные успехи в математике, уже в пятом классе Миша под влиянием старшего брата, понял, что хотел бы учиться в университете и стать геологом. В домашней библиотеке были замечательные популярные книги по геологии В.А. Обручева и минералогии А.Е. Ферсмана, поэтому Миша «рано увлекся проблемами геологии». С восьмого класса Миша Кузьмин со своими школьными друзьями Женей Шуригой и Володей Заверткиным стали заниматься в геологическом кружке при МГУ. Также брат Владимир брал Михаила в подмосковные геологические экскурсии. Все это положительно сказалось на выборе будущей профессии.

Как пишет М.И.: «В школе сформировались важные качества моего характера, основные жизненные принципы, было принято решение по профессии, любовь к которой позже мне привили университетские преподаватели. Очевидно, очень важно, что школа привила нам замечательное качество – чувство товарищества, дружбы. Здесь мы нашли верных друзей, с которыми мы оказались связанными узами дружбы на всю жизнь» (Кузьмин, 2018).

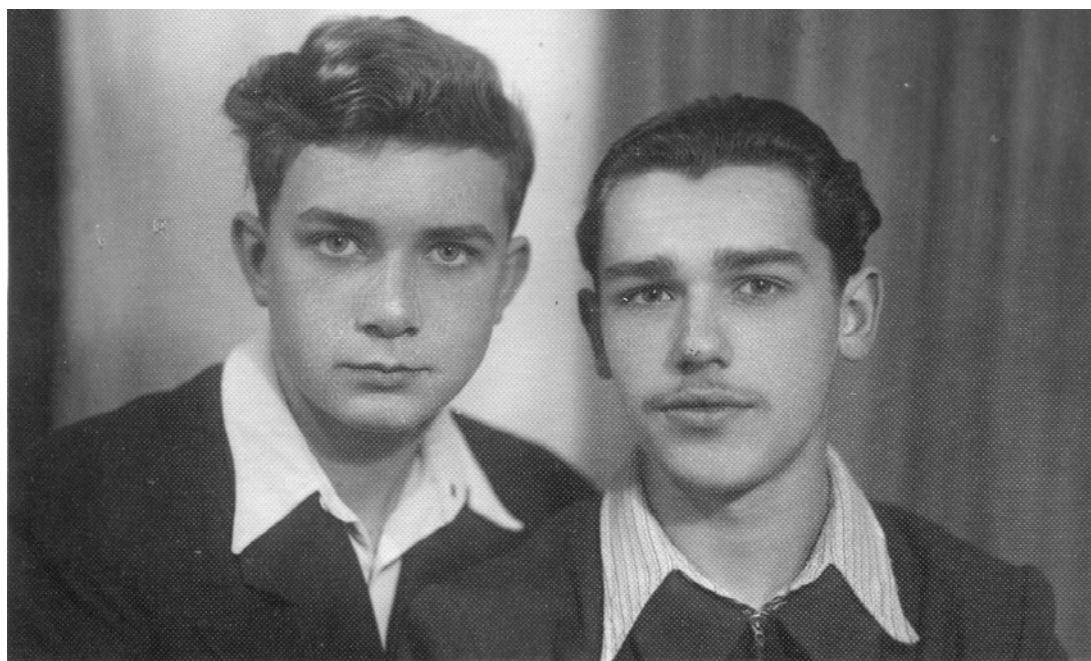


Рис. 3. Миша Кузьмин с другом Женей Шуригой
в год окончания школы. 1955 г.

В том же году, сдав экзамены, М. Кузьмин поступил на геологический факультет МГУ на специальность геохимия. После 2 курса стал учиться на кафедре петрографии. Окончил университет в 1960 году, имея четверки по английскому языку, военному делу, основам марксизма-ленинизма, истории геологии и палеонтологии. Получил диплом по специальности «геохимия», с присвоением квалификации геолога-геохимика.



Рис. 4. Миша Кузьмин студент
1 курса МГУ.



Рис. 5. Миша Кузьмин взял напрокат студенческую форму брата.
1 курс.



Рис. 6. Здание Московского госуниверситета на Воробьевых Горах.



Рис. 7. Выпуск
 геологов,
 1960 г.

О годах учебы в университете Михаил Иванович вспоминает, что на 1–2 курсах он учился в первой группе геохимиков. «Было две группы, весь поток геохимического факультета первые два года учился по единой программе. На третьем курсе по желанию студенты были разделены между четырьмя кафедрами. Были сформированы группы геохимиков, петрографов, минералогов и кристаллографов. У нас, первых геохимиков, на первом курсе были шефы третьекурсники-петрографы: Стас Чесноков и Натэла Зардиашвили. Они помогали нам понять геологическую специальность. Каждую субботу мы выезжали за город в геологическую экскурсию. Мы учились там полевой геологической жизни: ставили палатки, разжигали костер, готовили вечерний чай, а утром варили кашу. Вечерами долго сидели у костра, наши шефы рассказывали что-то по геологии, но кроме того учили нас геологическим песням».

Именно с тех пор, М.И. запомнил на всю жизнь геологические песни, которые часто пели на производственной практике и в экспедициях.

После третьего курса производственную практику М.И. проходил на Урале, а после четвертого на дипломной практике был в Казахстане. Это были университетские экспедиции, где было много студентов, а также молодых специалистов, недавно закончивших университет.

На третьем курсе большая часть из первой группы геохимиков выбрала петрографию. М.И. до сих пор считает, что это был правильный выбор.

Учеба в университете в конце 50-х годов дала возможность М.И., благодаря научно-студенческому обществу, объединявшему студентов всех курсов, проводить, с одной стороны, студенческие конференции, а с другой, могло финансово поддерживать поездки студентов в каникулы на различные месторождения. Благодаря поддержке этой студенческой организации он смог каникулы на третьем и четвертом курсах провести в экскурсиях на Кольском полуострове, где ознакомился с шахтами в Мончегорске и штольнями по щелочным пегматитам в Ловозере.

На студенческих практиках на третьем курсе по обмену с геологическим факультетом Варшавского университета М. Кузьмин побывал в горной стране Татры, изучая один из крупных гранитных массивов.

С особенным уважением М.И. вспоминает своих учителей, которые в большой степени определили его дальнейшую геологическую судьбу. На первом курсе читала курс общей геологии А.Ф. Якушева. Это был прекрасный лектор-педагог. Лекции слушал весь курс, а это около 250 студентов. Она умела увлечь слушателей, на каждой лекции рассказывая о чем-то новом. Именно с первого курса М.И. понял, что каждый лектор должен увлечь слушателей, заставить их полюбить свой предмет.

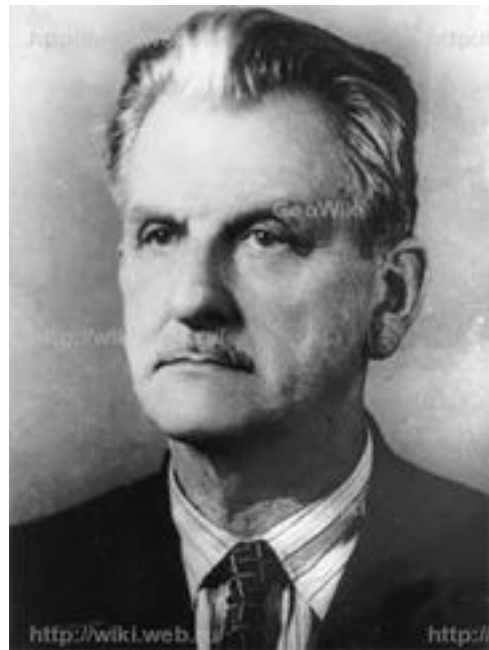
На старших курсах М.И. слушал лекции по петрохимии Сергея Дмитриевича Четверикова, по оптической минералогии – Ефрема Александровича Кузнецова, особенно интересны были посещения его практических занятий, когда он мог только посмотреть бегло шлиф и сразу сказать, что это за минерал. Прекрасным учителем по петрографии была Татьяна Ива-

новна Фролова. Конечно, содержательны и интересны были лекции по геохимии А.П. Виноградова.



Рис. 8. Александра Федоровна Якушева (1907–2001). Геолог и геоморфолог, профессор (1961–1987) и профессор-консультант (1987) кафедры динамической геологии геологического факультета МГУ. В Московском университете читала курсы "Общая геология", "Общая гидрогеология", "Геоморфология", "Геология с основами геоморфологии".

Рис. 9. Сергей Дмитриевич Четвериков (1892–1972) – профессор, доктор геолого-минералогических наук. В Московском университете и других вузах Москвы С.Д. Четвериков читал курсы "Кристаллография и минералогия", "Петрография", "Физико-химические основы минералогии и петрографии магматических пород", "Кристаллооптика с методами петрографических исследований". Им был организован курс "техническая петрография", который он читал длительное время для студентов петрографов. Его учебные пособия по методам кристаллооптического изучения пород



и минералов и петрохимии не потеряли своей значимости до сих пор.



Рис. 10. Ефрем Александрович Кузнецов (1892–1976) – известный советский геолог, петрограф, доктор геолого-минералогических наук, профессор МГУ, крупный специалист по геологии Урала. В Московском университете читал курсы "Петрография магматических и метаморфических пород", "Оптические методы изучения пород".

Рис. 11. Татьяна Ивановна Фролова – (1922–2007) – петролог и геолог, доктор геолого-минералогических наук (1971), профессор кафедры петрографии геологического факультета МГУ (1972). В Московском университете читала курсы “Петрография магматических и метаморфических пород”, “Формации магматических пород как индикаторы геотектонического режима”, “Основные проблемы магматизма”, “Магматизм океанов”.



Рис. 12. Александр Павлович Виноградов (1895–1975) – академик, геохимик, организатор и директор Института геохимии и аналитической химии (ГЕОХИ) АН СССР, основатель и руководитель первой отечественной кафедры геохимии (в МГУ), вице-президент, академик Академии наук СССР (1953). Иностраный член Болгарской, Польской, Индийской академий наук. Дважды Герой Социалистического Труда. Лауреат Ленинской премии.

С удовольствием студенты посещали лекции корифеев: заведующего кафедрой геологии и геохимии полезных ископаемых Владимира Ивановича Смирнова о закономерностях их размещения и Владимира Владимировича Белоусова по тектонофизике. В.В. Белоусов в то время возглавлял недавно организованную им Лабораторию тектонофизики.

Рис. 13. Владимир Иванович Смирнов (1910–1988) – геолог, доктор геолого-минералогических наук (1945), профессор, академик АН СССР (1962), заведующий кафедрой геологии и геохимии полезных ископаемых геологического факультета МГУ (1952–1988). Заместитель министра геологии СССР, член Президиума Академии наук СССР, академик-секретарь Отделения геологии, геофизики, геохимии (1969–1975), вице-президент Международного союза геологических наук (1968–1976).



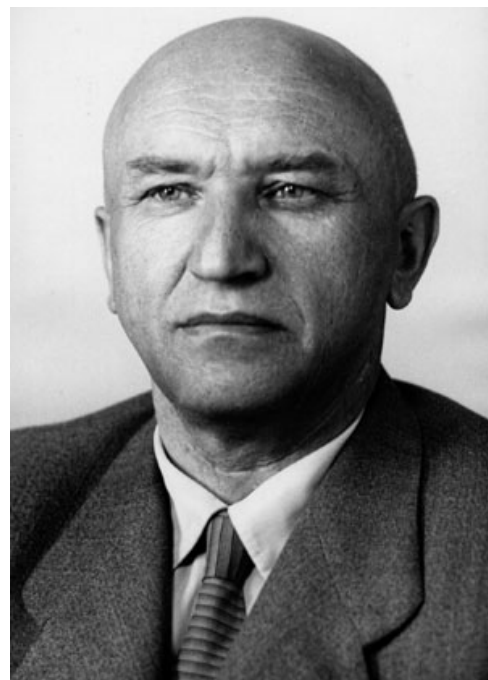


Рис. 14. Владимир Владимирович Белоусов (1907–1990) – геолог, геофизик, геотектонист, профессор, член-корреспондент Академии наук СССР (1953). Автор радиомиграционной гипотезы развития тектоносферы.

С особым благоговением М.И. вспоминает о своем учителе петрологии – Владимире Сергеевиче Коптеве-Дворникове. Владимир Сергеевич задавал на каждом предыдущем занятии какую-нибудь научную статью для обсуждения. Кто-то должен был подготовиться и сделать сообщение, а затем начиналось обсуждение. Выступало большое количество студентов, а в заключении Владимир Сергеевич подводил итоги. Эти семинары учили студентов работать с литературой, вникать в научную сущность изучаемых работ, делать свои заключения по обсуждаемой работе. Именно эти семинары научили М.И. работать с научной литературой.

Также В.С. Коптев-Дворников говорил своим студентам: «До тех пор пока вы несколько (5 и более) лет внимательно не поработаете, изучая геологические обнажения, вы не станете хорошо знающими геологами. Стремитесь внимательно изучить взаимоотношения пород, оценить особенности строения обнажений, запомнить их, а в дальнейшем пытаться найти такие же взаимоотношения на других обнажениях. М.И. Кузьмин относит это наставление студентам к одной из важных заповедей профессии.

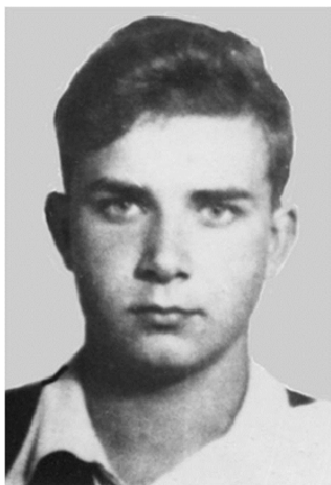
Рис. 15. Владимир Сергеевич Коптев-Дворников (1903–1970). Петрограф и геолог, заслуженный деятель науки КазССР (1961), доктор геолого-минералогических наук (1943), зав. кафедрой петрографии геологического факультета МГУ (1963–1970), профессор с 1954 г., организатор и руководитель лаборатории палеовулканологии на геологическом факультете МГУ (1964), председатель петрографической секции МОИП (1956–1970). В Московском университете читал курс "Петрография магматических и метаморфических пород".



М.И. писал диплом по теме «Дайки второго этапа Крыкудукского массива» под руководством Владимира Сергеевича Коптева-Дворникова, который всегда относился к М.И. очень доброжелательно. И именно В.С. организовал направление М.И. Кузьмина в Институт геохимии СО РАН в Иркутске. Как это произошло? М.И. описывает это так: «На 5-м курсе (Эрик Спиридонов, Валя Куфтырева, Валя Жуков и М.И.) решили поехать в Горно-Алтайское геологическое предприятие и организовать молодежную геологическую экспедицию. Они переписывались с представителями предприятия, но к моменту их распределения вызов на них не пришел. Эрик Спиридонов распределился в аспирантуру с работой в Казахстанской экспедиции, Валя Куфтырева на дипломной практике была с отрядом учебного секретаря Иркутского ИГХ СО РАН Е.Н. Знаменского, получила распределение в ИГХ, а М.И. с Валей Жуковым подписали распределение в Карагандинское (Казахстан) геологическое управление. Через несколько дней, во время обсуждения диплома с Владимиром Сергеевичем, он вдруг спросил М.И.: «Ты распределился в Карагандинское управление, но как мне кажется, у тебя есть способности к научной работе, мы можем взять тебя в аспирантуру в Уральскую экспедицию». М.И. сказал: «Большое спасибо, но я не хочу оставаться в Москве». «Хорошо, я помогу распределиться в Иркутский институт геохимии» (Коптев-Дворников был оппонентом по докторской диссертации директора ИГХ Льва Владимировича Таусона). М.И. ответил, что хотел бы работать в институтах организованного в то время Сибирского отделения Академии наук. Владимир Сергеевич помог реализовать это желание М.И.



Рис. 16. В.С. Коптев-Дворников (на переднем плане) со студентами МГУ на дипломной практике в Казахстане.



И уже 16 июля 1960 года М.И. Кузьмин смог приехать на работу в Институт геохимии², а еще рез три дня был в Забайкалье, где затем в течение следующих шести лет изучал молодые (180–120 млн лет) мезозойские граниты, с которыми связаны новые богатства Восточного Забайкалья. Вот так М.И. стал сибиряком, посвятил всю свою жизнь Институту геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.

Рис. 17. М.И. Кузьмин приехал в Иркутск в 1960 г.

Первую научную статью М.И. Кузьмин опубликовал в 1964 г.: Кузьмин М.И., Клепикова Е.А., Петров Л.Л., Рощупкина О.С., Таусон Л.В., Хлебникова А.А. Поведение редких элементов при становлении гипабиссальных гранитных интрузий (на примере Шахтаминского массива, Восточное Забайкалье) // В кн.: Геохимия редких элементов в изверженных горных породах. М., 1964. – С. 5–18.

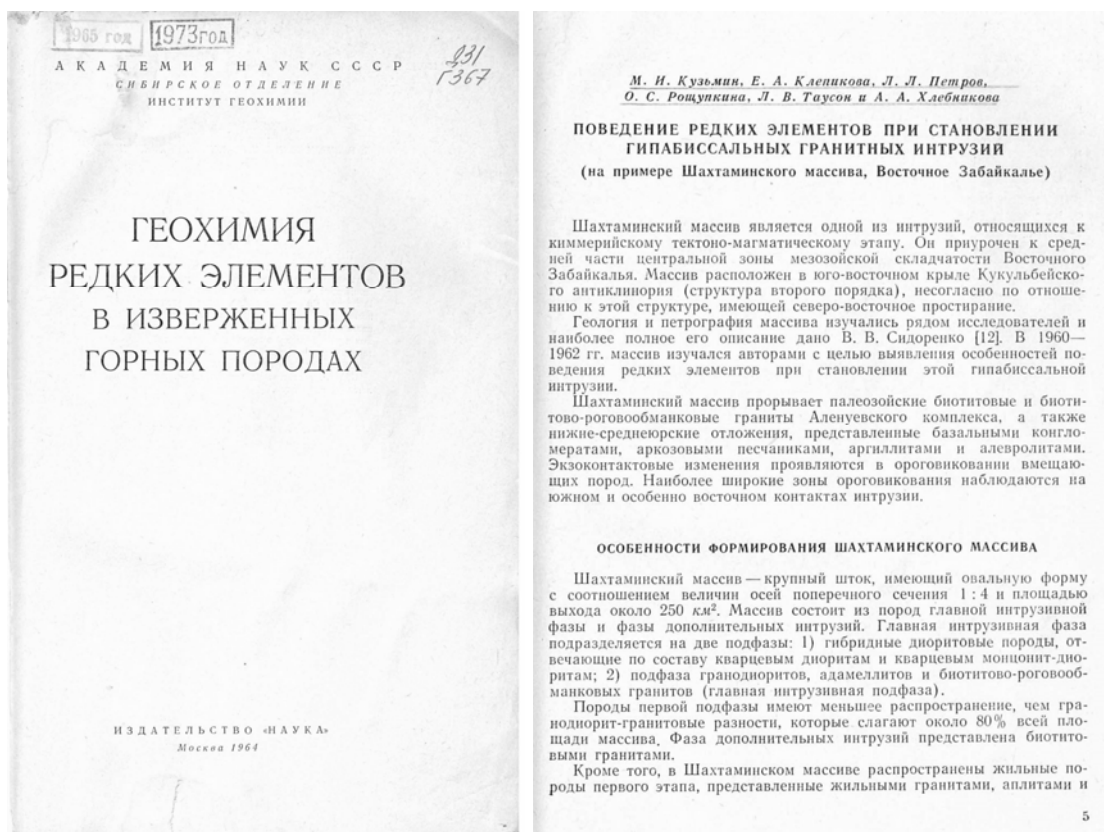


Рис. 18. Первая научная статья М.И. Кузьмина.

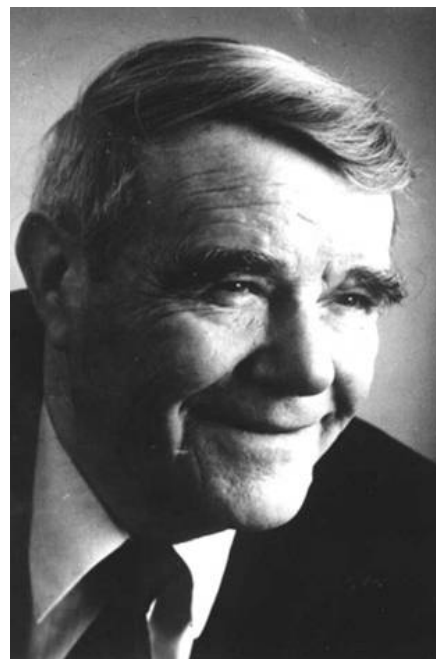
² Постановлением Президиума Академии наук СССР от 29 ноября 1957 г. № 794 и Постановлением Совета Министров РСФСР от 23 июля 1958 г. № 795 был создан Институт геохимии. Постановлением Совета Министров РСФСР от 23 июня 1976 г. № 355 и Распоряжением Президиума Академии наук СССР от 16 августа 1976 г. № 10120-1316 Институту геохимии было присвоено имя академика Александра Павловича Виноградова.

В Институте геохимии М.И. был комсоргом Института, председателем местного комитета, членом и секретарем партийного бюро. Много времени отдавал общественной работе.

В 1966 г. М.И. были завершены работы по изучению молодых (мезозойских) гранитов Восточного Забайкалья их геохимии и металлогении

В 1967 г. директор института Лев Владимирович Таусон направил небольшой отряд (М.И. Кузьмин, В.И. Коваленко, А.В. Горегляд и В.И. Мансуров – водитель) в Монголию. Задачей отряда было изучение рудоносных мезозойских гранитоидов Монголии в составе Советско-Монгольской экспедиции АН СССР и АН МНР.

Рис. 19. Лев Владимирович Таусон (1917–1989) – академик, доктор геолого-минералогических наук, геохимик, специалист в области геохимии эндогенных процессов и геохимических методов поиска и разведки рудных месторождений, профессор ИГУ, директор Института геохимии им. А.П. Виноградова СО АН СССР (1961–1988). Основатель и заведующий (1981–1989) первой в стране кафедры поисковой и разведочной геохимии (в настоящее время – кафедра геоэкологии и прикладной геохимии) Иркутского политехнического института (ныне Иркутский государственный технический университет).



В экспедиции работали выдающиеся геологи России – академик А.Л. Яншин (научный руководитель), А.П. Лучицкий, М.С. Нагибина, Н.С. Зайцев (начальник экспедиции) и другие. Общение с этими замечательными специалистами М.И. рассматривает как подарок судьбы. В составе экспедиции

был и Лев Павлович Зоненшайн, которого академик А.С. Монин – директор Института океанологии АН СССР, назвал величиной мировой и тем более советской геологии.



Рис. 20. Александр Леонидович Яншин (1911–1999) – советский и российский естествоиспытатель, геолог, академик АН СССР и РАН. Один из основателей Сибирского отделения АН СССР и Института геологии и геофизики СО АН СССР. Вице-президент АН СССР (1982–1988), крупный общественный и государственный деятель, президент Московского общества испытателей природы (1967–1999).

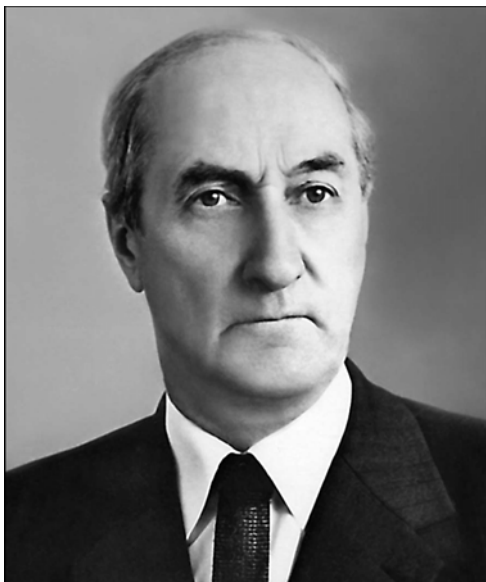


Рис. 21. Игорь Владимирович Лучицкий (1912–1983) – советский геолог, член-корреспондент АН СССР (1968). Фундаментальные работы: «Основные черты вулканизма Восточного Забайкалья (1950), «Вулканизм и тектоника девонских впадин Минусинского межгорного прогиба» (1960), «Эксперименты по деформации горных пород в обстановке высоких давлений и температур», (1967) (совместно с В.И. Громиным и Г.Д. Ушаковым), «Основы палеовулканологии» (1971).



Рис. 22. Лев Павлович Зоненшайн (1929–1993) – российский геолог, член-корреспондент РАН (1991), доктор геолого-минералогических наук. Работал заведующим лабораторией Института океанологии им. П.П. Ширшова. Основное направление научной деятельности: изучение современной тектонической активности в океанах. Учитель, коллега и друг М.И. Кузьмина.



Рис. 24. Валерий Михайлович Моралёв (1928–2003) – доктор геолого-минералогических наук, специалист по металлогении и древним докембрийским комплексам, заведующий лабораторией Института литосферы РАН.

Рис. 23. Андрей Сергеевич Монин (1921–2007) – академик, доктор физико-математических наук, профессор, директор Института океанологии им. П.П. Ширшова (1965–1987), заведующий лабораторией синоптических процессов (1987).



В 1973 году в журнале «Геотектоника» вышла первая совместная статья с Л.П. Зоненшайном по анализу магматизма и металлогении Монголо-Охотского пояса, в которой такой анализ проводился на основе процессов взаимодействия плит на границе Тихого океана с Азиатским континентом. Вскоре у Льва Павловича появилась идея написать книгу о новой глобальной тектонике и связи тектоники с магматизмом и металлогенией. Он привлек к этой работе М.И. и В.М. Моралева – специалиста по металлогении и древним докембрийским комплексам. «Глобальная тектоника, магматизм и металлогения» вышла в 1976 г. Очень емко о книге написал В.М. Моралев: «Книга получила быстрое и широкое признание в самых обширных кругах геологической общественности нашей страны и, как мне кажется, для очень многих сыграла решающую роль в ознакомлении с новой концепцией и выработке убежденности в ее приемлемости для геологического анализа. Мне кажется, что созданием этой книги Лев Павлович внес столь значительный вклад в развитие русской геологической школы и раскрепощение научного мышления геологов нашей страны, как никто другой».

В 1974 г. М.И. поехал в экспедицию в Монголию, где вместе со Львом Павловичем они детально исследовали все породы Хан-Тайширского комплекса, провели их геохимическое изучение, которое, благодаря аналитическому отделу ИГХ СО РАН, можно было выполнить на высоком мировом уровне. В результате вышла статья в журнале «Геотектоника».

Опыт изучения офиолитовых комплексов в Монголии, на Урале помог М.И. в работах в океанологических экспедициях, когда ему, «континентальному геологу», посчастливилось погружаться на подводных обитаемых аппаратах (ПОА) «Пайсис» (максимальная глубина до 2000 метров) и «Мир» (максимальная глубина до 6000 метров) в различных океанах. Его самое глубокое погружение было на 5200 метров в Атлантическом океане (разлом Кейн). В океанических экспедициях он познакомился с замечательными океанологами А.П. Лисицыным, Ю.А. Богдановым, В.В. Серовой, а также с отважными подводниками-командирами подводных аппаратов, с которыми затем М.И. неоднократно исследовал океаническое дно: А.М. Сагалевичем, А.М. Подражанским, Е.С. Черняевым.

Опыт исследований океана, а также работы, проводимые в 1990-х годах по изучению осадочных разрезов оз. Байкал, несомненно, помогли М.И. лучше понять значение современных, а, следовательно, и более молодых геологических процессов.

Осенью 1982 года (на следующий день после защиты М.И. докторской диссертации) Л.П. Зоненшайн предложил вместе с ним рассмотреть закономерности распространения «горячих точек», чтобы выявить их связь с определенными глубинными структурами Земли. В результате они обнаружили систему конвекционных течений мантии и сделали вывод, что, если процессы, происходящие в верхних оболочках, определяются тектоникой литосферных плит, то выделение горячих полей говорит о еще более глубинных процессах. По сути, они сформулировали новое направление в исторической геохимии и геодинамике.



Рис. 25. Александр Петрович Лисицын (род. 1923) – российский учёный, специалист в области морской геологии, доктор геолого-минералогических наук (1966), профессор (1974) академик Российской академии наук (1994). Заведующий лабораторией физико-геологических исследований Института океанологии РАН им. П.П. Ширшова.

Рис. 26. Юрий Александрович Богданов (1934–2014) – геолог, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники за создание фундаментальной основы исследования океанского гидротермального рудообразования, открытие крупных объектов в Международном районе океана и получение



права на их разведку в целях расширения минерально-сырьевого потенциала и укрепления геополитического статуса России (2012).

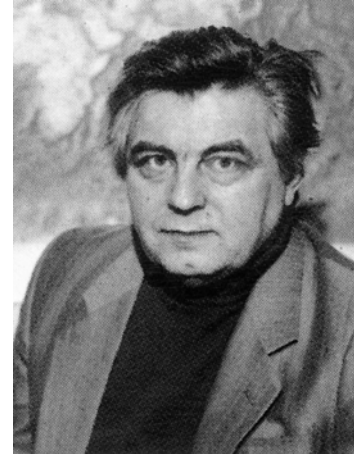
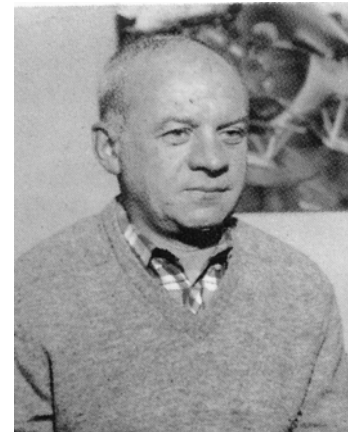


Рис. 27. Анатолий Михайлович Сагалевич (род. 1938) – советский и российский учёный, исследователь Мирового океана с применением глубоководных обитаемых аппаратов, профессор, Герой Российской Федерации.

Рис. 28. Александр Моисеевич Подражанский (род. 1941) – советский и российский учёный, гидронавт, исследователь Мирового океана с применением глубоководных обитаемых аппаратов. Начиная с 1968 г., работал в Институте Океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР в качестве старшего пилота подводных обитаемых аппаратов АН СССР. Участвовал в создании советских глубоководных обитаемых аппаратов «Пайсис VII», «Пайсис XI», «Мир-1» и «Мир-2». Проводил исследования в Тихом океане и других районах Мирового океана, а также на озере Байкал (1977).



В 1989 г. М.И. был избран директором Института геохимии им. А.П. Виноградова. Осенью 1989 г. умер Л.В. Таусон, и М.И. стал отвечать за развитие ИГХ СО РАН. Начало 1990-х – распад Советского Союза, резкий спад экономики России. Будущее Академии наук было неясно. В некоторых республиках Академии ликвидировали. Финансирование институтов резко снизилось. Наконец, в 1993 г. приняли решение об организации РАН – преемника АН СССР. Но это не спасло положения. М.И., как директору, необходимо было что-то предпринимать. Надо было решаться на крупный международный проект, который помог бы сохранить институт. В то время

у мирового научного сообщества большой интерес вызывали проблемы окружающей среды, в частности проблемы палеоклимата. Прекрасным полигоном для исследований, конечно, был Байкал с его многокилометровой осадочной толщей. М.И. никогда не занимался изучением осадков, особенно использованием их геохимических особенностей для расшифровки палеоклимата, но все-таки решил взяться за проект «Изучение палеоклимата кайнозоя на основе бурения осадков озера Байкал» («Байкал-бурение»). Именно этот проект был выбран для работ в рамках международного сотрудничества с американскими, японскими и немецкими коллегами.

Рис. 29. М.И. Кузьмин и Лев Моисеевич Натанов – доктор геолого-минералогических наук, главный геолог треста «Аэрогеология», Лауреат Государственной премии СССР в области науки и техники (1988).



В 1989 г. по инициативе крупнейшего геолога и океанолога нашей страны члена-корреспондента РАН Л.П. Зоненшайна была составлена программа «Глубоководная экология, палеолимнология и геодинамика Байкала», поддержанная председателем Сибирского отделения Академии наук СССР академиком В.А. Коптюгом, зам. председателя СО РАН, а потом председателем СО РАН Н.Л. Добрецовым и президентом Академии – академиком Г.И. Марчуком. Данная программа включала новый этап геологических, геофизических и подводных исследований впадины Байкала.

Во время Международного геологического конгресса в Вашингтоне (1989 г.) американские ученые, в первую очередь профессор Университета Южной Каролины Д.Ф. Вильямс, предложили российским коллегам начать совместные исследования глобальных изменений природной среды и климата Центральной Азии на основе глубоководного бурения на Байкале. Подготовку буровой части будущего проекта «Байкал-бурение» («Бурение на Байкале») взяло на себя ГНПП «Недра» Мингео СССР. В 1992 году к проекту «Бурение на Байкале» присоединились японские ученые – Японская Байкальская ассоциация (доктор Т. Каваи) и Университет Киото (проф. Ш. Хорие, руководитель первого проекта бурения на оз. Бива, Япония). В это же время проект стал поддерживаться Министерством науки и технологий Российской Федерации.

Получение сверх-длинных, охватывающих по времени несколько миллионов лет, непрерывных палеоклиматических записей в Северном полушарии возможно только на Байкале. Учитывая также расположение его в высоких широтах, о чем уже упоминалось, проект привлекает к Байкалу интересы мирового научного сообщества.

Перед началом бурения в 1992–1993 гг. сотрудниками Южного отделения Института океанологии РАН в содружестве с Геологической службой США были проведены многоканальные сейсмические исследования, позволившие оценить строение и мощность осадочной толщи Байкала (Зоненшайн и др., 1992; Хатчинсон и др., 1993; Moore, Klitgord et al., 1997).

Работы по эндогенной геохимии должны были подождать. М.И. как можно быстрее надо было понять задачи исследования геохимии озерных осадков для реконструкции палеоклимата, ознакомиться и с техникой бурения, в частности бурения со льда – самого дешевого способа проведения таких работ на глубочайшем озере мира – Байкале. Все это оказалось не просто. Команда буровиков и ученых должна была выйти в экспедицию зимой перед самым началом ледостава (т. е. еще по чистой воде), встать в нужную точку и... вмерзнуть в лед.

Основная задача М.И. состояла в достижении равенства участников трех стран в решении главных вопросов. Учитывая, что основное финансирование осуществляли Япония и Америка, а затраты на один сезон бурения составляли 850–1000 тыс. долл., это было непросто. Но стороны смогли договориться. Архив керн остается в России, и первая статья по результатам изучения каждого нового керн бурения будет опубликована в журнале «Геология и геофизика». Руководил зимними экспедициями М.И. Кузьмин. В результате этих работ был получен уникальный материал и сделаны очень важные выводы. Ученые поняли, что появление в горах вокруг оз. Байкал около 2,5 млн лет назад горных ледников связано не только с глобальным похолоданием климата, но и с новым этапом орогенических движений, в частности, с ростом молодых гор. Анализ керн из скважин с Академического подводного хребта показал, что за последние 6,6 млн лет Байкал представлял собой глубоководный рифтовый бассейн, а грубозернистые осадки глубоких котловин – это продукты турбидитных потоков, формировавшихся из наземных отложений, поступавших со склонов горных хребтов, окружавших озеро, в эпизоды значительных по амплитуде землетрясений.

В рамках этой программы начался новый этап исследования донных отложений оз. Байкал, который помимо изучения состава вещества осадков включал исследования с помощью высокоразрешающего сейсмического профилирования. Проведенные до начала буровых работ исследования позволили уточнить строение и мощность (до 8 км) осадочного чехла оз. Байкал.

В 1997 г. был создан буровой комплекс «Байкал-2000», смонтированный на 1000-тонной барже. Он позволял проводить бурение скважин длиной до 1 км при глубине воды до 900 м. Этим комплексом проводилось бурение в 1997, 1998 и 1999 гг. В целом в рамках проекта «Байкал-бурение» за 10 лет было проведено пять буровых экспедиций, вскрывших семь

скважин длиной от 40 до 630 м, и получено более 1500 м донных отложений озера с возрастом 8 млн лет.

Записи тектонической и климатической эволюции континентальных недр имеют важное значение для понимания динамики климатической системы Земли, эволюционных процессов в земной биосфере и происхождения человека.



Рис. 30. Буровой комплекс «Байкал-2000».

Рис. 31. Кернорезная установка (фото В.А. Короткоручко).

Керны бурения донных отложений озера Байкал представляют собой важнейшие научные ориентиры, которые могут быть использованы для интерпретации других континентальных данных, включая другие озерные и океанические архивы.

Команда проекта бурения на Байкале (BDP) воспользовалась суровыми сибирскими зимами и использовала замерзшую поверхность Байкала в качестве буровой платформы. Места вмораживания буровых площадок были выбраны с использованием сейсмических исследований толщи донных отложений озера. Постоянно совершенствуя буровые работы и технологии, команда BDP достигла нового подхода в извлечении кернов и стала миро-



вым лидером в получении высокого качества длительных временных озерных записей из глубоководных точек озера.

Записи из керна BDP-93 имеют огромное значения для демонстрации чувствительности Байкальской системы к изменению климата в последние 75 000 лет. Эти результаты стали первым убедительным доказательством наличия климатической связи между территорией бассейна озера Байкал в Сибири и территорией Северной Атлантики, где находится «кухня» современного глобального климата.

Программа бурения BDP-96 была поистине исторической по своей природе, потому что ее результаты позволили впервые для Северного полушария реконструировать непрерывный ход природно-климатических изменений в бассейне озера за последние 5 млн лет. Подробные микропалеонтологические исследования керна BDP-96 предоставили новую стратотипическую и биостратиграфическую записи для изучения континентального палеоклимата. Корреляция байкальской записи с морской стратиграфией открывает новые возможности для изучения масштабов и динамики прошлых климатических изменений.

Программа бурения BDP-97 в южном бассейне озера Байкал представляет собой первое в мире озерное бурение на глубинах более 1000 м в дополнение к первому в истории отбору проб единственно известных пресноводных (метановых) гидратов.

Программа бурения BDP-98 позволила ученым вернуться в район очень успешного бурового участка BDP-96 и продлить эту запись еще на 3 миллиона лет назад в миоцен (до почти 8 млн лет назад), пробуравив 601 м отложений Байкала.

Программа бурения BDP-99. Бурение в зимний период 1998–1999 гг. на Посольском берегу на глубине 200 м позволило получить 250 м осадков. Этот уникальный осадочный архив демонстрирует взаимодействие того, как тектоника и климат влияют на седиментацию на Байкале в течение последних 1 млн 200 тыс. лет.

Полученные в итоге реализации BDP программы уникальные осадочные архивы теперь доступны для глубокого научного изучения палеоклиматической и палеоэкологической эволюции центрально-евразийского суперконтинента, который в большей части все еще является терраинкогнито для научного сообщества.

Результаты исследований по проекту «Байкал-бурение» опубликованы более чем 100 работах в российских и международных журналах.

Наконец, в 2005–2009 годах финансирование стало стабильным. ИГХ смог закупить новое аналитическое оборудование. В институт стало приходиться больше молодежи. Все это позволило М.И. вернуться к систематическим исследования по отложенной с 2009 г. теме – глубинной геодинамике. С начала 2000 г. в этой теме произошло много важных открытий и уточнений. Уже было четко установлено существование больших мантийных низкоскоростных и высокоскоростных провинций. Последние ассоциируются с холодными областями, в которых происходит опускание в зо-

нах субдукции и поглощение мантией литосферных плит. Поглощаемая литосфера частично остается на границе верхней и нижней мантий, а частично погружается до слоя D''. Большое значение для понимания процессов глубинной геодинамики имело открытие в 80-х годах прошлого столетия этого слоя мощностью 150–350 км. В слое D'' и зарождаются плюмы, потоки глубинного мантийного вещества, поднимающегося к поверхности. Именно это глубинное мантийное вещество обуславливает появление ряда магматических комплексов и месторождений полезных ископаемых. В настоящее время доказана связь тектоники плит и тектоники плюмов.

В последние годы М.И. активно занимается проблемами плюмов, связью плюмов и тектоники плит, о чем говорил еще Лев Павлович Зоненшайн. Если тектоника плит (парадигма 60-х гг.) объясняет, как взаимодействуют верхние оболочки Земли, то к настоящему времени становится очевидным более комплексный характер взаимодействия верхних оболочек планеты.

Если говорить о прикладном значении этих работ, то с плюмами намечается связь крупных месторождений. Изучать рудную геологию невозможно, не изучая зарождение, эволюцию и связь рудных процессов и мантийных плюмов.

Конечно, проблема глубинной геодинамики требует еще глубокого и детальнейшего исследования, но уже очевидно, что и российские исследования внесут значимый вклад в познание процессов образования, эволюции и современной тектонической активности Земли. М.И. Кузьмин уверен, что ученым удастся сделать определенный прорыв в исследовании закономерностей проявления «плюмового» магматизма, а также решение вопросов связи этого магматизма и металлогении.

М.И. и в настоящее время продолжает исследовать эту проблему в составе коллектива, в котором работают замечательные специалисты. Это и академик В.В. Ярмолюк, вместе с которым М.И. отвечает за выполнение данных исследований. В коллективе работают талантливые ученые – академики Л.Н. Когарко, И.В. Рябчиков, член-корреспондент А.В. Соболев и ряд других.

Очевидно, следует остановиться на послужной биографии М.И. С самого начала своей трудовой деятельности до настоящего времени академик М.И. Кузьмин работает в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. Начиная с должности лаборанта, был младшим, старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией. В 1988 г. был избран по рекомендации Л.В. Таусона директором Института и выполнял эту работу до 2012 г. С 2002 г. по 2009 г. совмещал эту работу с должностью Председателя Президиума ИНЦ СО РАН.

В 1966 г. М.И. Кузьмин защитил кандидатскую диссертацию, в 1982 г. ему была присвоена степень доктора наук. В 1991 г. М.И. был избран член-корреспондентом РАН, а с 2003 г. стал действительным членом РАН по специальности геохимия. В 2000 г. ему присвоено звание профессора, в 2011 г. он избран иностранным членом Академии наук Монголии. С 2012 г. работает в Институте геохимии СО РАН в качестве советника РАН. Следует отметить, что М.И. всегда умел находить общий язык и работать в

контакте с новыми директорами Института: член-корреспондентом РАН В.С. Шацким и д.г.-м.н. А.Б. Перепеловым, с которыми он постоянно обсуждал современные проблемы геохимии.

М.И. полагает, что уход с поста директора позволил ему еще активнее заняться научной работой. Например, в 2014 г. им было опубликовано вместе коллегами 10 научных статей, не считая 7 публикаций, касающихся положения Академии наук в связи с принятием закона о реорганизации РАН. После многократных обсуждений с В.С. Шацким, в 2014 г. М.И. занялся проблемой образования и ранней (4,5–4,1 млрд лет) истории Земли. Несомненно, историческая геология, а соответственно, и геохимия, имеют важное значение для понимания закономерностей эволюции нашей планеты, смены тектонических процессов, последовательности образования внутренних оболочек Земли. Наконец у М.И. появилась возможность писать и популярные статьи, которые, как он считает, необходимо публиковать научным работникам, чтобы общество понимало проблемы их решения и значения для развития науки и значение науки для общества.

С 2014 г. М.И. Кузьмин вместе с академиком В.В. Ярмолюком работал над проблемой изменения стиля эндогенных изменений тектонической активности Земли в процессе ее геологической истории. Установлено, что если в первые 500 млн лет истории Земли большое значение для ее эндогенной активности имели метеоритно-астероидные бомбардировки, а с 4,0–2,7 млрд лет определяющее значение имели внутренние эндогенные процессы. Стиль геодинамических процессов определения так называемой тектоникой покрывки, совмещенной с тектоникой мантийных переворотов. В интервале 2,7–2,0 млрд лет было время смены стиля тектонических движений. После 2,0 млрд лет наступило время современной тектоники, при которой происходит совмещение тектоники плит и тектоники плюмов.

К настоящему времени М.И. опубликовано частично в соавторстве 445 научных статей, включая 20 монографий, с 1980 г. в Web of Science учтены 143 печатные работы, индекс цитирования – 2237, индекс Хирша (h-index) – 25 (рис. 32).

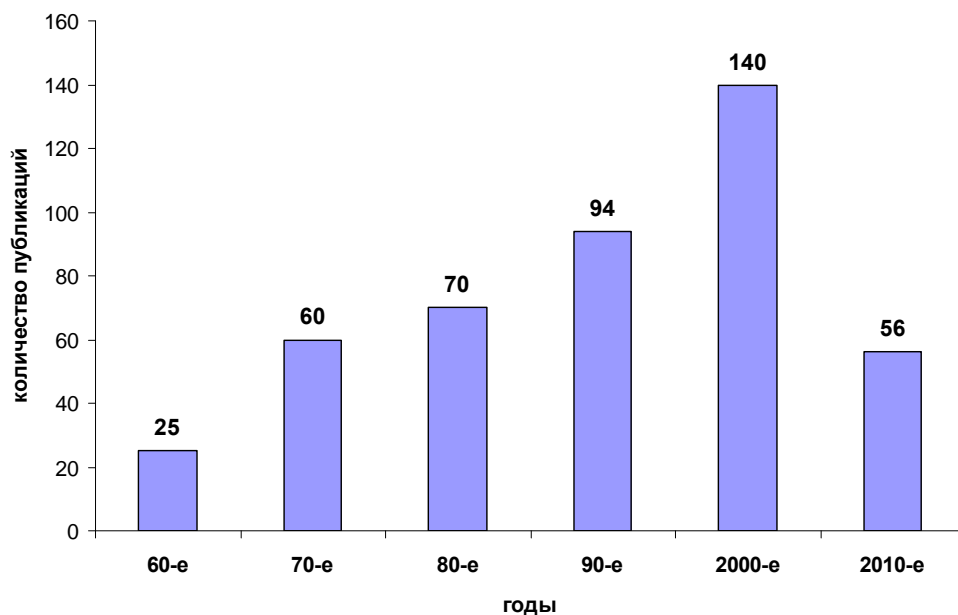


Рис. 32. График публикационной активности М.И. Кузьмина (1964–2018 гг.).

М.И. Кузьмин руководил и руководит рядом грантов РФФИ (табл. 1).

Таблица 1

Гранты РФФИ М.И. Кузьмина (2013-2018 гг.)

Номер гранта	Тема	Конкурс
<u>18-55-91049</u>	Роль вещества океанической литосферы и карбонатизированной мантии в происхождении щелочно-базальтовых магм позднекайнозойских вулканических ареалов Северной Монголии	<u>Монг_оми</u>
<u>17-05-20479</u>	Проект организации Всероссийской конференции с международным участием «Современные направления развития геохимии», посвященной 60-летию Института геохимии СО РАН и 100-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона	<u>Г</u>
<u>17-05-00928</u>	Базиты позднепалеозойско-раннемезозойских областей внутриплитовой активности Сибирского палеоконтинента: источники вещества магм и вариации их состава по изотопно-геохимическим Sr-Nd-Pb данным.	<u>А</u>
<u>16-55-44030</u>	Кайнозойский вулканизм Северной Монголии – источники и условия происхождения щелочно-базальтовых магм на инициальных и терминальных стадиях развития процессов плюм-литосферного взаимодействия	<u>Монг_a</u>
<u>15-05-20655</u>	Проект организации международной конференции «Large igneous provinces, mantle plumes and metallogeny in the Earth's history»	<u>Г</u>
<u>14-45-04147</u>	Определение минерального состава донных байкальских осадков по данным силикатного анализа методами физико-химического моделирования с целью реконструкции региональных изменения климата в Байкальском регионе в кайнозой	<u>р_сибирь_a</u>
<u>14-05-00887</u>	Позднемезозойский внутриплитовый вулканизм Монголо-Охотского складчатого пояса: изотопная геохимия, геохронология и источники вещества пород трахибазальтовой серии Восточного Забайкалья.	<u>А</u>
<u>13-05-12026</u>	Эпохи, обстановки и источники внутриплитного магматизма в фанерозойской истории Сибири и ее складчатого обрамления	<u>офи_m</u>

Многие годы М.И. получает гранты по поддержке научных школ «Химическая геодинамика эндогенных геологических процессов: источники магм, коровая контаминация и процессы образования вулканических серий пород в континентальных рифтовых системах Центрально-Азиатского складчатого пояса».

В комплексной программе фундаментальных исследований СО РАН «Интеграция и развитие» № П.2П. М.И. Кузьмин является руководителем интеграционного проекта ПРОЕКТ № П.2П/IX.124-3 «ЭВОЛЮЦИЯ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЛИТОСФЕРЫ, ВУЛКАНИЗМ И КЛИМАТ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ В МЕЗОЗОЕ И КАЙНОЗОЕ».

Таблица 2

Наиболее цитируемые публикации М.И. Кузьмина




№ п/п	Статья	Цитируемость
1	Williams D.F., Peck J., Karabanov E.B., Prokopenko A.A., Kravchinsky V., King J., Kuzmin M.I. Lake Baikal record of continental climate response to orbital insolation during the past 5 million years // <i>Science</i> , 1997, V. 278, № 5340, P. 1114–1117.	201
2	Kravchinsky V.A., Cogne 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 // <i>Geophysical journal international</i> , 2002, V. 148, № 1, P. 34–57.	194
3	Prokopenko A.A., Hinnov L.A., Williams D.F., Kuzmin M.I. Orbital forcing of continental climate during the Pleistocene: a complete astronomically tuned climatic record from Lake Baikal, SE Siberia // <i>Quaternary science reviews</i> , 2006, V. 25, № 23-24, P. 3431–3457.	101
4	Zonenshain L.P., Kuzmin M.I. , Lisitsin A.P., Bogdanov Yu.A., Baranov B.V. Tectonics of the Mid-Atlantic rift valley between the TAG and MARK areas (26-24° N): evidence for vertical tectonism // <i>Tectonophysics</i> , 1989, V. 159, № 1-2. P. 1–23.	91
5	Prokopenko A.A., Karabanov E.B., Williams D.F., Kuzmin M.I. , Shackleton N.J., Crowhurst S.J., Peck J.A., Gvozdkov A.N., King J.W. Biogenic silica record of the Lake Baikal response to climatic forcing during the Brunhes // <i>Quaternary research</i> , 2001, V. 55, № 2, P. 123–132	89
6	Kuzmin M.I. , Yarmolyuk V.V., Kravchinsky V.A. Phanerozoic hot spot traces and paleogeographic reconstructions of the Siberian continent based on interaction with the African large low shear velocity province // <i>Earth-science reviews</i> , 2010, V. 102, № 1-2, P. 29–59	85

Под научным руководством М.И. Кузьмина подготовлено одиннадцать кандидатов наук (табл. 3).

Таблица 3

Аспиранты М.И. Кузьмина

№ п/п	Ф.И.О.	Фото аспирантов	Дата защиты	Место защиты, тема диссертации
1	Очир Гэрэл		26.10.1978 г.	Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, «Петрология и геохимия гранитоидов с хрусталеносными пегматитами»
2	Антонов Андрей Юрьевич		17.05.1984 г.	Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, «Петрология и геохимия верхнемезозойских гранитоидов южного ограничения Алданского щита»
3	Брынцев Вячеслав Васильевич		19.12.1988 г.	Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, «Петрология и геохимия докембрийских гранитоидов Северо-Западного Присаянья»
4	Сорокин Андрей Анатольевич		19.01.1993 г.	Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, «Геохимия и геодинамическая позиция магматических пород центрального сегмента Монголо-Охотского складчатого пояса»
5	Мамаджанов Юнус Мамаджанович		24.11.1995 г.	Институт геологии АН Республики Таджикистан г. Душанбе, «Петрология и геохимия шошонит-латитовой ассоциации Кураминской зоны (Средний Тянь-Шань)»

6	Сандимиров Игорь Валерьевич		08.06. 1999 г.	Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, «Геохимия и изотопный состав урана и тория в водных системах и донных осадках озера Бай- кал»
7	Солотчин Павел Анатольевич		28.01. 2004 г.	Институт геологии СО РАН, г. Новосибирск, «Нижнеюрские отложения юго-востока Западно- Сибирской плиты – геоло- гия, минералогия и условия седиментации»
8	Крайнов Михаил Андреевич		14.10. 2005 г.	Институт геохимии им. А.П. Виноградова г. Ир- кутск, «Датирование и па- леоклиматические реконст- рукции осадков озера Бай- кал по палеомагнитным данным»
9	Кострова Светлана Сергеевна		13.04. 2007 г.	Институт геохимии им. А.П. Виноградова, г. Ир- кутск, «Изотопный состав кислорода створок диато- мовых водорослей из осад- ков озера Байкал»
10	Маркова (Шолохова) Юлия Николаевна		29.11. 2012 г.	Институт геохимии им. А.П. Виноградова г. Ир- кутск, "Геохимические ин- дикаторы условий осадко- накопления в озерах Цен- тральной Азии в позднем плейстоцене и голоцене".
11	Иванов Егор Влади- мирович		18.06. 2018 г.	Институт геохимии им. А.П. Виноградова, г. Ир- кутск, «Геохимические осо- бенности донных отложе- ний озера Байкал как показа- тель изменения природной среды в плиоцене- плейстоцене»

За многолетнюю исследовательскую деятельность М.И. Кузьмин награжден рядом государственных наград, почетными званиями и грамотами. Как видно из послужного перечисления, а также научных успехов, академик М.И. Кузьмин оправдал надежды его родителей.



Орден Почета России.



Орден «За заслуги перед Отечеством» IV степени.



Орден Дружбы.



Медаль «Академик П.П. Ширшов».



Демидовская медаль.



Почетный гражданин г. Иркутска.



Орден «Полярная звезда» (Монголия).

Рис. 33 а. Некоторые ордена и медали М.И. Кузьмина.



Памятная медаль «300 лет Михаилу Васильевичу Ломоносову».



Памятная медаль в честь 100-летия со дня рождения академика А.А. Трофимука.



Юбилейная медаль «Валентин Афанасьевич Коптюг – великий ученый и патриот».

Рис. 33 б. Некоторые ордена и медали М.И. Кузьмина.

ЛИТЕРАТУРА О М.И. КУЗЬМИНЕ

1. Добрецов, Н. Члену-корреспонденту М. И. Кузьмину – 60 лет / Н. Добрецов, В. Фомин // Наука в Сибири. – Новосибирск, 1998. – № 23/24. – С. 5.
 2. Киселёва, Г. На дно морское... за знаниями о Земле // Наука в Сибири. – Новосибирск, 1998. – № 23/24. – С. 5 ; Вост.-Сиб. правда. – 1998. – 20 июня. – С. 8.
 3. Члену-корреспонденту М. И. Кузьмину – 60 лет! // Наука в Сибири. – Новосибирск, 1998. – № 23/24. – 19 июня. – С. 1.
- Поздравление Президиума СО РАН.*
4. Академическая наука в Восточной Сибири : (к 50-летию Иркут. науч. центра Сиб. отд-ния Рос. акад. наук). – Новосибирск, 1999. – С. 351 : портр.
 5. В Германии о Байкале / подгот. Г. Киселева // Наука в Сибири. – 1999. – № 50. – 24 декабря.
- Недавно в Германии прошло несколько конференций, посвященных проблемам уникального сибирского озера и развитию российско-немецкого сотрудничества в Байкальском регионе. О впечатлениях и результатах этой поездки рассказывает заместитель председателя Президиума Иркутского научного центра, член-корреспондент РАН Михаил КУЗЬМИН.*
6. Прорыв вглубь истории Земли // Наука в Сибири. – 2000. – № 37. – 22 сентября.
- Автор этих дневниковых записей – заместитель председателя Иркутского научного центра, директор Института геохимии СО РАН, лауреат Государственной премии член-корреспондент РАН Михаил Кузьмин.*
7. В тесном взаимодействии с регионом // Наука в Сибири. – 2002. – № 50. – 27 декабря. – С. 5.
- Выступление председателя Президиума ИНЦ СО РАН, члена-корреспондента РАН М. Кузьмина на Общем собрании СО РАН 15 декабря 2002 года.*
8. Киселёва, Г. «Государству наукой крепнуть должно» / Г. Киселева // Наука в Сибири. – 2002. – № 26-27. – 05 июля.
- На общем годовичном собрании СО РАН председателем Президиума Иркутского научного центра избран первый заместитель председателя Президиума ИНЦ, директор Института геохимии им. А. П. Виноградова, член-корреспондент РАН Михаил КУЗЬМИН.*
9. За заслуги перед областью // Наука в Сибири. – Новосибирск, 2003. – Ноябрь. (№ 43). – С. 2.
- Председатель Президиума Иркутского научного центра СО РАН академик Михаил Кузьмин награжден знаком «За заслуги перед Иркутской областью».*
10. Киселёва, Г. Знак общественного признания / Г. Киселёва // Вост.-Сиб. правда. – 2003. – 5 марта. – С. 1.
- О присвоении М. Кузьмину знака «Достояние Сибири».*
11. Киселёва, Г. Земля пережила не одно потепление / Г. Киселева // Наука в Сибири. – 2003. – № 8. – 1 марта. – С. 3.
- На одном из недавних заседаний Президиума СО РАН с интересным докладом выступил член-корреспондент РАН М. Кузьмин.*
12. Кузьмин, М. И. Академик Кузьмин: В науке давно штормит / М. И. Кузьмин // Аргументы и факты. – 2003. – № 29. – (Прил.: Аргументы и факты в Вост. Сибири. – С. 3).

Интервью с М. И. Кузьминым о состоянии иркутской академической науки, о себе, о жизни.

13. Кузьмин Михаил Иванович // Наука в Сибири. – Новосибирск, 2003. – Апр. – С. 6.

14. Поздравляем! // Наука в Сибири. – 2003. – Май (№ 20). – С. 3.

Об избрании М. И. Кузьмина академиком Российской академии наук.

15. Сергеева, Е. Учёные создают солнечные батареи / Е. Сергеева // Известия. – 2003. – 28 мая. – С. 7.

О присвоении М. Кузьмину звания «Академик Российской академии наук».

16. Задачи интеграции научных и образовательных учреждений Иркутской области при реализации программы формирования Сибирского научно-производственного комплекса : [из выступления акад. М. Кузьмина, председателя Президиума ИЦ СО РАН] // Наука в Сибири. – 2004. – № 49. – 17 декабря. – С. 5.

17. Сибиряки. – Иркутск, 2006. – С. 144–145 : портр.

18. То же. – Иркутск, 2008. – С. 152–153 : портр.

19. Иркутский вектор сибирской науки // Наука в Сибири. – 2007. – № 41. – 25 октября. – С. 5.

О пройденном наукой Восточной Сибири полувековом пути и ее сегодняшнем дне корреспондент «НВС» беседует с председателем Президиума Иркутского научного центра СО РАН академиком Михаилом Кузьминым.

20. ИЦ СО РАН: год минувший // Наука в Сибири. – 2007. – № 12. – 22 марта. – С. 6.

Из доклада председателя Президиума Иркутского научного центра СО РАН академика Михаила Кузьмина о деятельности центра на Общем собрании коллектива ИЦ 2007 года.

21. Киселева Г. Заглядывая в далекое прошлое Земли / Г. Киселева // Наука в Сибири. – 2007. – № 50. – 27 декабря. – С. 3.

Лауреатом Демидовской премии 2007 года стал иркутский ученый академик М. И. Кузьмин.

22. Кузьмин, М. И. Иркутский вектор сибирской науки / М. И. Кузьмин ; записала Г. Киселёва // Вост.-Сиб. правда. – 2007. – 25 окт. (№ 205). – С. 3.

23. Российская академия наук. Сибирское отделение : персональный состав / сост. Е. Г. Водичев и др. – Новосибирск, 2007. – С. 140–141, 579, 589, 592 : портр. – Библиогр.: с. 141 (8 назв.).

24. Сергеева, Ю. Глубоководный академик / Ю. Сергеева // Вост.-Сиб. правда. – 2007. – 24 нояб. (№ 225/226). – С. 10–11.

25. Академику Михаилу Ивановичу Кузьмину – 70 лет // Наука в Сибири. – 2008. – № 25. – 20 июня. – С. 2.

Поздравление Президиума СО РАН.

26. Гордеева, О. Из Москвы – в Иркутск / О. Гордеева // Пятница. – 2008. – 4–11 июля (№ 26). – С. 4.

27. Киселева Г. К вершинам науки через глубины Земли / Г. Киселева // Наука в Сибири. – 2008. – № 25. – 20 июня. – С. 3.

20 июня исполняется 70 лет председателю Президиума Иркутского научного центра СО РАН, директору Института геохимии им. А. П. Виноградова Сибирского отделения Михаилу Ивановичу Кузьмину

28. Кузьмин, М. И. К вершинам науки через глубины Земли / М. И. Кузьмин ; записала Г. Киселёва // Вост.-Сиб. правда. – 2008. – 19 июня (№ 108). – С. 3.

Беседа с М. И. Кузьминым о жизни, научной карьере, будущем науки.

29. Кузьмин, М. И. Научный секрет вечной молодости / М. И. Кузьмин // Областная. – 2008. – 20 июня (№ 67). – С. 13.
30. Солонина, Г. Земные процессы академика Кузьмина / Г. Солонина // Право выбора. – 2008. – 5–16 нояб. (№ 21). – С. 1, 3.
31. Короткоручко, В. О науке в несколько строк : история в фотографиях / В. Короткоручко. – Иркутск, 2009. – С. 14, 138, 145, 147.
32. Кузнецов, Г. Михаил Кузьмин / Г. Кузнецов // Вост.-Сиб. правда. – 2010. – 31 марта (№ 44). – С. 1, 2 : портр.
33. Кузьмин, М. И. Аналитическая записка для принятия решения по БЦБК и г. Байкальску / М. И. Кузьмин // Наука в Сибири. – Новосибирск, 2010. – 15 апр. (№ 15). – С. 8.
34. Кузьмин Михаил Иванович // Иркутск : ист.-краевед. слов. – Иркутск, 2011. – С. 286–287.
35. Михаил Кузьмин – учёный с международным именем // 350 лиц Иркутска : альбом. – Иркутск, 2011. – С. 92–93 : портр. работы С. Н. Элояна.
36. Переломова, Ю. Дважды академик / Ю. Переломова // Вост.-Сиб. правда. – 2011. – 4 нояб. (№ 126). – С. 1 : портр.

Михаил Иванович Кузьмин стал академиком Монгольской академии наук.

37. Пархоменко, И. Ю. Кузьмин Михаил Иванович / И. Ю. Пархоменко // Приангарье: годы, события, люди : календарь знаменат. и памят. дат Иркут. обл. на 2013 г. – Иркутск, 2012. – С. 88–92 : ил.
38. Переломова, Ю. Летописи длиною в тысячи лет / Ю. Переломова // Вост.-Сиб. правда. – 2012. – 16 февр. (№ 17). – С. 8.

О работе по изучению иркутскими учёными палеоклимата Байкальского региона рассказывает академик Михаил Кузьмин.

39. Академику М. И. Кузьмину – 75 лет // Наука в Сибири. – 2013. – № 24. – 20 июня. – С. 6.

Поздравление Президиума СО РАН.

40. Сила – в единении: [из выступления академика М. И. Кузьмина] // Наука в Сибири. – 2013. – № 27. – 11 июля. – С. 5.
41. Кузьмин Михаил Иванович (к 80-летию со дня рождения) // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59, № 6. – С. 881.

ЗАЩИТА БАЙКАЛА ОТ ТРУБЫ

Озеро Байкал и Байкальская природная территория – объект многолетних исследований институтов Иркутского и Бурятского научных центров СО РАН, а Научный совет СО РАН по проблемам озера Байкал (далее Совет) – важная составляющая деятельности Сибирского отделения РАН. Совет осуществляет координацию исследований и разработок в рамках программ Сибирского отделения РАН, российских, региональных и международных программ по вопросам устойчивого развития, охраны и рационального использования природных ресурсов озера Байкал; проводит научную экспертизу и представляет в Сибирское отделение заключения по крупным проектам, связанным с использованием природных ресурсов в бассейне озера, а также по другим экономическим мероприятиям, законодательным и нормативным инициативам, касающимся Байкальской природной территории.

В 2002–2010 гг. Совет работал под руководством председателя Президиума Иркутского научного центра СО РАН академика Михаила Ивановича Кузьмина. В бюро Совета вошли выдающиеся ученые: академик М.А. Грачев, академик А.К. Тулохонов, чл.-к. РАН И.В. Гордиенко. В составе Совета работали 39 человек от более 30 организаций, расположенных на территории Иркутской области, Республики Бурятия и Читинской области. Членами Совета были руководители институтов СО РАН, ВУЗов, отраслевых институтов, региональных организаций Министерства природных ресурсов РФ и других организаций, чья деятельность непосредственно связана с изучением, охраной или хозяйственным освоением озера Байкал и прибайкальских территорий.

2005–2006 годы для Совета прошли под знаком «трубы». Прибайкальская территория оказалась в центре интересов большого нефтяного и газового бизнеса, так как расположена на пути магистральных трубопроводов из Сибири в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Первые варианты проекта трубопровода для транспортировки российской нефти в страны АТР были разработаны в 2003–2004 годах, но подверглись жесткой критике специалистов и общественности. Распоряжением Правительства РФ № 1737-р от 31 декабря 2004 г. было принято решение о дальнейшем проектировании и строительстве нефтепровода ВСТО. В течение 2005 г. было подготовлено ТЭО (проект) «Трубопроводная система ВСТО». На этой стадии ОАО «АК «Транснефть» в одностороннем порядке были внесены существенные изменения в проектную документацию. Трасса маршрута с 700 км по 1142 км на территории Иркутской области и Республики Бурятия должна была проходить вдоль железной дороги БАМ, отклоняясь на 70–80 км южнее и местами приближаясь к побережью озера Байкал на расстояние менее одного километра.

Принципиальной опасностью представленного проекта являлось прохождение трассы нефтепровода в непосредственной близости от озера Байкал (до 700–800 м от уреза воды) по территории сейсмичностью до 10

баллов с числом землетрясений различной силы до 1000 ежегодно и активными разломами земной коры. При разрыве трубопровода до 3000 т нефти могло бы достичь озера за 20–40 минут. Время локализации аварии разработчики определили более 2-х часов. Таким образом, нефть в короткий период могла покрыть акваторию озера до южной оконечности острова Ольхон, то есть более половины площади Байкала.

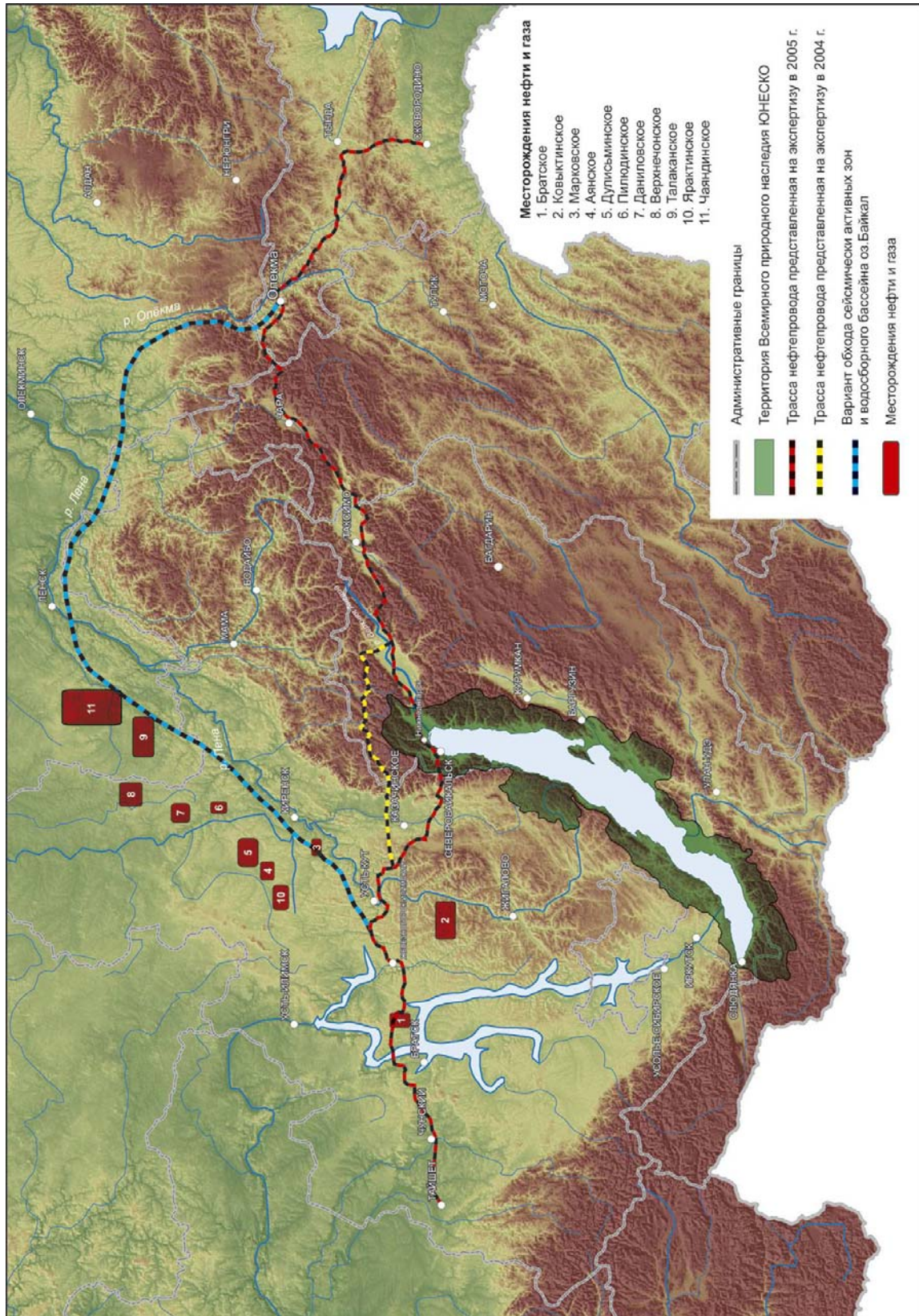


Рис. 34. Варианты трасс нефтепровода.

Позиция Сибирского отделения РАН по проекту нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» была твердой и однозначной (концентрированно изложена академиками председателем СО РАН Н.Л. Добрецовым и председателем Совета М.И. Кузьминым в письме на имя председателя Правительства РФ М.Е. Фрадкова). Сибирское отделение РАН выступило категорически против прохождения трассы нефтепровода по территории объекта всемирного природного наследия «Озеро Байкал», почеркнув что никогда, и никому не согласовывало указанную трассу. Сибирское отделение РАН рекомендовало проработать альтернативные варианты трассы нефтепровода, в обход Байкальской горной области по территории Сибирской платформы и с гораздо более низкой сейсмичностью (6–7 баллов, в сравнении с 9–10 баллами по представленному компанией варианту). Предложенный Сибирским отделением вариант строительства был дешевле за счет снижения уровня сейсмичности территории, несмотря на некоторое удлинение трассы, а также позволял освоить северные территории Иркутской области и южные – Республики Саха (Якутия). Но главное, в этом случае снимался вопрос об угрозе Байкалу.

Период с февраля по апрель 2006 года стал для Совета периодом «Великой войны за Байкал».

24 января 2006 г. были объявлены результаты государственной экологической экспертизы (ГЭЭ) технико-экономического обоснования строительства нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан». В Заключении экспертизы было указано, что проект экологически опасен и должен быть переработан с целью поиска альтернативных вариантов прохождения участка трассы за пределами бассейна озера Байкал. В общей сложности отрицательное индивидуальное заключение дали 46 членов экспертной комиссии, что составило более двух третей от ее состава. В нарушение законодательно установленных процедур проведения государственной экологической экспертизы, отрицательное заключение не было признано правомочным. 3 февраля 2006 г. был подписан приказ о продлении ГЭЭ на месяц с включением в экспертную комиссию 34 новых членов. Через месяц работы новой комиссии, 3 марта 2006 г., страна получила положительное заключение по проекту.

Ученые не стали исследовать «баланс интересов» в этой ситуации, но активно выступили в защиту всемирного достояния. 28 февраля в «Восточно-Сибирской Правде» было опубликовано открытое письмо ведущих ученых ИНЦ СО РАН. Ученые выразили глубокую обеспокоенность по поводу ситуации, сложившейся вокруг государственной экологической экспертизы проекта трубопровода ВСТО на участке Тайшет – Сковородино, затрагивающего территорию объекта всемирного природного наследия – озера Байкал. В письме было обращение к новому составу комиссии с призывом проявить профессионализм, научную добросовестность и гражданскую позицию. В этой же газете 7 марта 2006 г. было опубликовано Открытое письмо В.В. Путину, подписанное чл.-к. РАН Е.В. Складчиковым. Многочисленные письма с мнением ученых были направлены на имя Пре-

зидента РФ Путина В.В., председателя Правительства Фрадкова М.Е., секретаря Общественной палаты Велихова Е.П., руководителя Ростехнадзора Пуликовского К.Б. и многих других. Важно, что в Иркутской области, в отличие от Республики Бурятия, губернатор А.Г. Тишанин, руководство администрации и Законодательного Собрания Иркутской области поддержали мнение о недопустимости строительства нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» вдоль береговой линии озера Байкал. О необходимости запрета опасного для Байкала проекта ученые ИНЦ говорили на совещании в Минпромэнерго России 21 марта 2006 г. в г. Москве, на совещании Совета по науке, технологиям и образованию при Президенте Республики Бурятия 5 апреля в г. Улан-Удэ, на городских митингах. Следует добавить, что иркутских ученых поддержали коллеги из учреждений Бурятского научного центра СО РАН.

Академик М.И. Кузьмин возглавил борьбу за спасение Байкала, неоднократно представляя мнение ученых Сибирского отделения на совещаниях с участием членов Правительства РФ, РАН, в том числе на встречах с академиком Н.П. Лаверовым.

Без сомнения, большую роль сыграло население г. Иркутска, продемонстрировав реальный пример формирования гражданского общества в стране. 30 марта было официально объявлено о создании «Байкальского движения», которое вышло за пределы региона. В марте-апреле 2006 года в г. Иркутске состоялись самые большие митинги и шествия населения в защиту Байкала, в организации которых приняли участие различные организации.



Рис. 35. Выступление М.И. Кузьмина в защиту Байкала.



Рис. 36, 37. Во время митингов в защиту Байкала.

Только личное вмешательство Президента РФ В.В. Путина позволило решить эту проблему. 26 апреля 2006 г. на совещании губернаторов Сибирского федерального округа в г. Томске обсуждался вопрос о трассе трубопровода. Мнение ученых представлял вице-президент Академии наук Российской Федерации академик Николай Павлович Лаверов. Многие помнят завершающие дискуссию слова Президента: «...причем трасса трубопровода должна пройти севернее той зоны, которую обозначил академик Лаверов. Вот будем считать, что на этом мы и договорились».

По поручению Президента РФ 05.06.2006 г. Российская академия наук принимает решение об организации Рабочей группы по подготовке предложений по программе «Эколого-экономическое обоснование нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан на участке Байкальской природной территории (вариант вне водосборной площади озера Байкал)» под руководством ак. Н.П. Лаверова.

В 2006 г. председателю и нескольким членам Совета объявлена благодарность Президиума СО РАН и выплачена премия (единственный случай за 10 лет) за большую работу по научному обоснованию трассы нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» и выноса ее за пределы водосбора озера Байкал.

Открытое письмо³

директоров и ведущих научных специалистов институтов, входящих в состав Иркутского научного центра Сибирского отделения РАН, руководителю Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) Константину Пуликовскому, председателю комиссии государственной экологической экспертизы (ГЭЭ) материалов проекта первого пускового комплекса трубопроводной системы "Восточная Сибирь - Тихий океан" (ВСТО) Михаилу Генералову и членам комиссии ГЭЭ

Уважаемый Константин Борисович!

Уважаемый Михаил Борисович!

Уважаемые коллеги!

Мы обращаемся к вам и к широкой общественности, чтобы выразить нашу глубокую обеспокоенность по поводу ситуации, сложившейся вокруг государственной экологической экспертизы проекта (ТЭО) трубопровода ВСТО на участке Тайшет – Сковородино, затрагивающей территорию объекта Всемирного природного наследия – озера Байкал.

В соответствии с приказами Ростехнадзора от 3.11.2005 № 815 и от 25.11.2005 № 870 экспертная комиссия ГЭЭ в составе 52 специалистов провела экспертизу материалов проекта. При этом экспертами были выявлены случаи противоречия ТЭО проекта действующему законодательству, отмечена техническая неубедительность предлагаемых проектных решений в зоне высокой сейсмической активности и высокая экологическая опасность проекта в целом.

Принципиальной опасностью представленного проекта является прохождение трассы нефтепровода в непосредственной близости от озера Байкал (до 700–800 м от уреза воды) по территории сейсмичностью до 12 баллов с числом землетрясений различной силы до 1000 ежегодно и активными разломами земной коры.

³ Опубликовано в газете «Восточно-Сибирская правда», 28 февраля 2006 г.

Лучшие в мире технические решения позволяют безаварийно работать нефтепроводам при сейсмичности в 8 баллов. Нет техники, работающей при сейсмичности 10 и более баллов. Поэтому представленные технические решения не только противоречат законодательству, но и могут привести к крупным авариям. Никто не оценил экономический ущерб от последствий таких аварий. Но реальный ущерб уникальному водоёму – озеру Байкал – не может быть оценен лишь экономическим ущербом. Озеро Байкал будет загрязнено нефтью на площади 10 тыс. кв. км, что составляет треть акватории уникального природного объекта. Объёмы разлива нефти, которые по проекту могут попасть в Байкал в течение 20–40 минут, составят до 4 тыс. тонн, что уничтожит подавляющую часть эндемичных организмов озера, которые являются механизмом самоочищения и поддержания уникальных качеств воды Байкала.

Экспертная комиссия, как нам известно, приняла отрицательное заключение по проекту, в первую очередь по участку нефтепровода, проходящему в непосредственной близости от Байкала. Руководство Ростехнадзора должно было утвердить текст заключения, однако это не было сделано. Вместо этого приказом Ростехнадзора сроки проведения экспертизы были продлены на месяц, а в состав экспертной комиссии дополнительно включены ещё 34 человека.

В сообщении пресс-службы Ростехнадзора в качестве причины продления экспертизы была названа «недостаточная обоснованность» выводов комиссии, хотя результаты работы предыдущего состава комиссии ГЭЭ официально не были дезавуированы.

Мы рассматриваем подобные действия Ростехнадзора как явное нарушение Федерального закона, попытку манипуляции государственной экологической экспертизой. Научная общественность Иркутского научного центра обеспокоена такими действиями Ростехнадзора.

Мы понимаем необходимость строительства трубопровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» для развития восточных регионов России. О необходимости этого выступали ведущие учёные Сибирского отделения РАН, Иркутского научного центра СО РАН, которые являются авторами данного письма. Однако мы понимаем, что никакие самые благие побуждения не могут оправдать любые действия, которые ставят под угрозу Байкал – жемчужину России, участок Всемирного природного наследия. Специалисты Сибирского отделения готовы обсуждать с «Транснефтью» альтернативные варианты прохождения трубопровода в Байкальском регионе.

В связи с этим мы обращаемся к нашим коллегам – учёным и экспертам, недавно вошедшим в состав комиссии государственной экологической экспертизы.

Уважаемые господа, коллеги!

Мы не сомневаемся, что вы, так же, как и все, кто внимательно следит за борьбой вокруг проекта трубопровода ВСТО, ясно отдаёте себе отчёт в происходящем. Вы вошли в состав экспертной комиссии после того, как

ваши коллеги – люди, чья квалификация, профессиональный опыт и честность никем не ставятся под сомнение, – вынесли своё заключение.

Положение, в которое вы поставлены, беспрецедентно. Мы надеемся, что в этой ситуации вы сумеете проявить ваш профессионализм, научную добросовестность и гражданскую позицию.

Председатель Президиума ИЦ СО РАН, директор Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН академик РАН М.И. КУЗЬМИН

Зам. председателя Президиума ИЦ СО РАН, директор Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН чл.-к. РАН Н.И. ВОРОПАЙ

Зам. председателя Президиума ИЦ СО РАН, зав. отделением Института динамики систем и теории управления СО РАН д.т.н. И.В. БЫЧКОВ

Учёный секретарь Президиума ИЦ СО РАН к.э.н. А.Н. КУЗНЕЦОВА

Директор Иркутского института химии им. А.Е. Фаворского СО РАН академик РАН Б.А. ТРОФИМОВ

Зав. лаб. Института земной коры СО РАН академик РАН Ф.А. ЛЕТНИКОВ

Директор Института земной коры СО РАН чл.-к. РАН Е.В. СКЛЯРОВ

Зам. директора Института земной коры СО РАН д.г.-м.н. К.Г. ЛЕВИ

И.о. зав. лаб. Института земной коры СО РАН д.г.-м.н. Ю.Б. ТРЖЦИНСКИЙ

Зам. директора Института солнечно-земной физики СО РАН чл.-к. РАН В.М. ГРИГОРЬЕВ

И.о. директора Института солнечно-земной физики СО РАН д.ф.-м.н. А.П. ПОТЕХИН

Зам. директора Института солнечно-земной физики СО РАН д.ф.-м.н. А.С. ПОТАПОВ

И.о. директора Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН д.г.н. А.Н. АНТИПОВ

Зам. директора Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН д.г.н. В.М. ПЛЮСНИН

И.о. директора Института динамики систем и теории управления СО РАН к.т.н. Н.Н. МАКСИМКИН

Зав. лаб. Института динамики систем и теории управления СО РАН к.ф.-м.н. Д.Е. УРБАНОВИЧ

Директор Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН д.б.н. В.К. ВОЙНИКОВ

Зам. директора Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН д.б.н. А.С. ПЛЕШАНОВ

Директор Иркутского филиала Института лазерной физики СО РАН д.ф.-м.н. Е.Ф. МАРТЫНОВИЧ

Зам. директора Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН д.т.н. Б.Г. САНЕЕВ

Зам. директора Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН д.ф.-м.н. А.И. НЕПОМНЯЩИХ

Старший научный сотрудник Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН к.г.- м.н. Ю.Н. УДОДОВ

Ведущий специалист Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН Л.А. ПЛАТОНОВ

НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ М.И. КУЗЬМИНА

М.И. Кузьмин, В.В. Ярмолюк

Биография Земли: основные этапы геологической истории⁴



Михаил Иванович Кузьмин, академик РАН, директор Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН с 1988 г. по 2012 г. В настоящее время главный научный сотрудник института и советник РАН. Ведущий специалист в области геохимии, геодинамики, петрологии. Один из создателей нового направления в геологии – химической геодинамики. Лауреат Государственной РФ (1997) и Демидовской (2007) премий.



Владимир Викторович Ярмолюк, академик РАН, заведующий лабораторией Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН. Область научных интересов – процессы глубинной геодинамики, изотопная геохимия, редкометалльный магматизм и связанные с ним месторождения, палеогеодинамические реконструкции. Лауреат премии им. Ленинского комсомола (1978), Государственной премии РФ (1997) и премии им. В.А. Обручева (2005).

Ключевые слова: континентальная кора, мантия, магматизм, мантийные плюмы, субдукция, тектоника литосферных плит, горячие точки мантии.

Keywords: the crust, mantle, magmatism, mantle plumes, subduction, plate tectonics, hot spots.

Земля обладает уникальными характеристиками, которых нет у других планет Солнечной системы и у планет других звездных систем. Наиболее полно эти особенности обобщил в своей книге «Земля как эволюционирующая планетная система» замечательный геолог Кент Конди [1]. Книга написана для студентов университетов, но знать об этом, как нам кажется, необходимо со школы, так как только от нас – жителей Земли – зависит, как бережно следует использовать эти удивительные ее свойства, чтобы сохранить для будущих поколений нашу планету. Среди отличительных особенностей Земли Конди отмечает следующее.

Земная орбита близка к круговой, что обеспечивает более или менее постоянное поступление количества тепла, исходящего от Солнца. Если бы орбита была более вытянута, то на планете стало бы холоднее зимой и жарче летом. Тогда высшие формы жизни могли бы и не выжить.

Если бы Земля была только на 5% ближе к Солнцу, то (подобно тому, что происходит на Венере) температура на ее поверхности была бы слишком высокой для существования воды в жидком состоянии. Если бы наша

⁴ Опубликовано в журнале «Природа». – 2017. – № 6. – С. 12–25.

планета находилась на 5% дальше от Солнца, то океаны замерзли бы, фотосинтез был бы значительно ослаблен, и содержание атмосферного кислорода сильно бы сократилось. В обоих случаях условия на Земле затрудняли бы появление привычных для нас форм жизни.

Если бы Земля была существенно массивнее, то силы гравитации, скорее всего, препятствовали бы появлению высших форм жизни, а если меньше, то Земля, подобно Марсу, лишилась бы атмосферы под воздействием солнечного ветра, что также не способствует развитию жизни.

Если бы Земля не имела достаточно мощного магнитного поля, то смертоносные космические лучи убили бы все формы жизни на ней. Если бы не было озонового слоя, фильтрующего и не допускающего вредную ультрафиолетовую солнечную радиацию, высшие формы жизни на Земле также не могли бы существовать.

Если бы гравитационное поле Юпитера не оказывало регулирующее воздействие на внутренние зоны Солнечной системы, Земля беспрерывно подвергалась бы бомбардировкам метеоритов и комет, следствием которых стали бы постоянные катастрофы глобального масштаба, препятствующие эволюции жизни до высших ее форм.

И наконец, если бы не было тектоники плит, то не произошла бы дифференциация рельефа Земли и не сформировались бы континенты, т. е. те территории, на которых мог обитать человек.

От себя добавим, что не образовались бы и многие рудные месторождения, обеспечившие развитие цивилизаций.

Вполне понятно, что большинство уникальных характеристик Земля приобрела как в ходе становления Солнечной системы, так и в процессе всей геологической истории. К сожалению, это предположение сложно обосновать из-за неполноты наших знаний, однако данные, накопленные разными науками (астрономией, геологией, биологией и др.) высвечивают отдельные участки земной истории, что дает основание для попыток реконструировать ее в полном объеме.

Благодаря использованию космических аппаратов и орбитальных телескопов (в том числе телескопа «Хаббл»), получен огромный материал о других звездных мирах, позволивший более полно понять закономерности формирования планетных систем и, в частности, расшифровать ранние этапы развития Солнечной системы.

Еще совсем недавно считалось, что наша планетная система зародилась во вращающемся газопылевом облаке, в центре которого возникло Солнце, а вокруг него (с учетом дифференциации облака) образовались планеты с определенными стабильными орбитами. Полученные новые данные сильно скорректировали эту стройную концепцию [2]. Разделение Солнечной системы на внутреннюю часть, в пределах которой развиты каменные планеты небольших размеров, и внешнюю, с газовыми гигантами, делают нашу систему «белой вороной» среди других звездных систем. В Солнечной системе нет планет средних размеров (~ 1 – 10 масс Земли), называемых также суперземлями и обычных для других звездных систем.

В них планеты расположены ближе к своей звезде, чем Меркурий к Солнцу, и их история, как правило, заканчивается столкновением со светилом. Как полагают некоторые исследователи, особый путь развития нашей системы вызван тем, что в первые миллионы лет ее становления гигантские планеты, возникшие в ее пределах, испытывали динамическую неустойчивость и орбитальные миграции [2]. Эти бурные события могли сбросить на Солнце (или выбросить в межзвездное пространство) целые планеты.

Здесь на основе современных знаний о начальных стадиях формирования Солнечной системы, а также геологической истории Земли мы хотим показать, как образовалась наша уникальная планета, на которой появился и живет человек.

Мы понимаем, что поднимаемую проблему можно раскрыть лишь на уровне наших сегодняшних познаний, в которых еще много пробелов. Однако накопление новых достижений науки в разных направлениях происходит в геометрической прогрессии. В скором времени будут получены новые данные. Они, вероятно, внесут принципиальные изменения в сложившуюся картину земной истории. И тем не менее нам представляется, что какой-то итог понимания эволюции нашей планеты надо подводить в разное время. Это помогает следить за развитием науки и вносить соответствующие дополнения и исправления в наши более ранние построения.

Возникновение Солнечной системы и особенности ее формирования

Зарождение Солнечной системы произошло в недрах гигантского газопылевого облака (рис. 1). По-видимому, «родам» способствовало участие некой сверхновой звезды, засеявшей облако короткоживущими изотопами. Продукты их распада позволяют расшифровать некоторые особенности становления планетной системы (включая Землю) на ранней стадии ее формирования.

Расчеты показывают, что за менее чем 100 тыс. лет в центре газопылевого скопления под действием гравитации возникла звезда, окруженная широким кольцом из газа и пыли – протопланетным диском [3]. Мельчайшие частицы, двигаясь вместе с потоками газа, сталкивались и слипались друг с другом. Движение пылинок в газе тормозилось, что вынуждало их по спирали опускаться к звезде. При этом они постепенно нагревались. В результате вода и другие летучие вещества с низкой температурой кипения испарялись. Граница, на которой все происходило, называется «линией льда». Располагается она между орбитами Марса и Юпитера, разделяя Солнечную систему на внутреннюю область, лишенную летучих веществ и содержащую твердые планеты, и внешнюю – богатую летучими веществами (см. рис. 1). В пределах последней располагаются газовые планеты-гиганты.

Первые 2 млн лет истории Солнечной системы стали временем формирования многочисленных планетных эмбрионов – планетозималей, а за линией льда – планет-гигантов Юпитера и Сатурна. Этим Солнечная система резко отличается от других планетных систем, где подобные гиганты

расположены гораздо ближе к светилу. По образному выражению К. Батыгина с коллегами, такие особенности Солнечной системы – «продукты ее молодости... включавшей больше драмы и хаоса» [2]. Важным элементом первичного хаоса стало сложное взаимодействие гигантских периферийных планет.

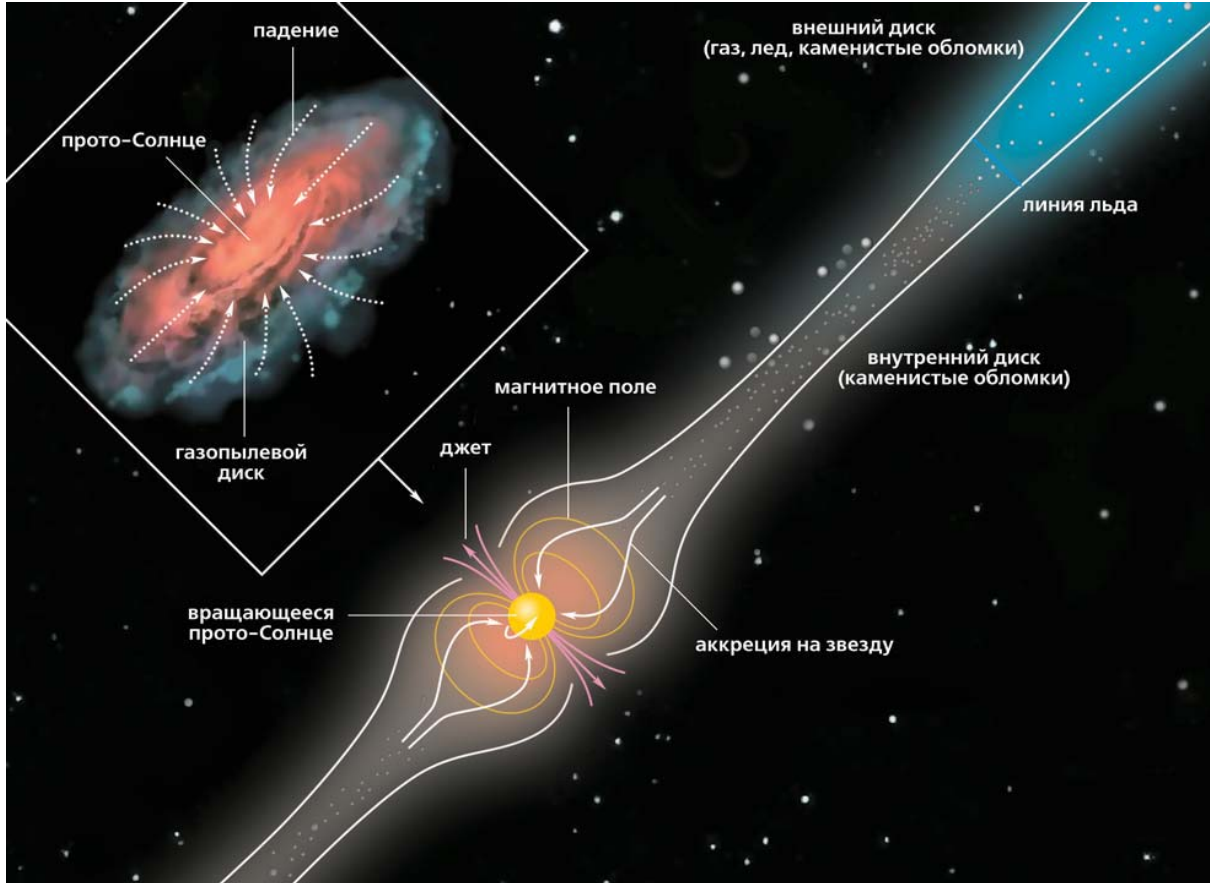


Рис. 1. Рождение Солнечной системы 4568 млн лет тому назад [2]. Наша звезда возникла как прото-Солнце в центре гигантского молекулярного облака во вращающемся газопылевом диске. В его внутренней области образовались каменные планеты: Меркурий, Венера, Земля, Марс. В более холодной внешней части через 2 млн лет сформировались планеты гиганты: Юпитер и Сатурн, которые начали дрейфовать в сторону Солнца.

Впервые на это было обращено внимание в компьютерной модели Ф. Массе и М.Снэллгроува, описавшей одновременную эволюцию в протопланетном диске орбит Сатурна и Юпитера [4]. Эти исследователи показали, что в результате миграции к центру системы планеты-гиганты обрели определенную конфигурацию, благодаря которой они смогли воздействовать на протопланетный диск. Сложившийся баланс сил (гравитации, момента импульса, гравитационного влияния внешнего пояса комет и др.) изменил движение обеих планет.

Развивая эти идеи, Батыгин с коллегами установили, что главным эффектом смены галса стала атака Юпитера и Сатурна на «население» первичных внутренних планет Солнечной системы [2].

Еще двигаясь к Солнцу, гиганты возмущали движение мелких тел, которые сталкивались и дробились, образуя рои обломков. За сотни тысяч лет такие рои могли сбросить на Солнце любую суперземлю. По мере того как бывшие суперземли падали на Солнце, они должны были оставлять за собой пустынную область в протопланетной туманности. Допускается, что прежде чем сменить галс, Юпитер мигрировал к Солнцу до расстояния нынешней орбиты Марса. При этом он увлек за собой во внутреннюю область Солнечной системы ледяные скопления общей массой более 10 масс Земли, обогатив ее водой и другими летучими веществами. Такой сброс протопланет во внутренние участки Солнечной системы изменил орбитальный момент не только Юпитера, но и Сатурна и вызвал смену их галсов в сторону от Солнца. В результате во внутренних участках Солнечной системы возникли условия для формирования новых планет из сохранившихся там редких обломков. Постепенно планеты-путешественники стабилизировали свои орбиты. Этому способствовало их взаимодействие с другими планетами-гигантами (Нептуном и Ураном) и внешним поясом льдистых астероидов (поясом Койпера). Предполагается, что побочным эффектом такого уравнивания стал еще один вброс во внутреннюю область Солнечной системы потока обломков, который вызвал мощную астероидную бомбардировку внутренних планет. Шрамы от нее видны в виде гигантских кратеров на поверхности Луны, Меркурия и Марса, а на Земле они привели к практически полному уничтожению пород гадейской континентальной коры – первой коры в геологической истории нашей планеты. Около 3,9 млрд лет назад планеты-гиганты успокоились. Структура Солнечной системы стабилизировалась в том виде, в котором сейчас и наблюдается [2].

Мы полагаем, что картина, представленная Батыгиным с коллегами, наиболее полно объясняет особенности ранних этапов развития Солнечной системы, в том числе разделение планет на две большие группы – каменные и газово-ледяные. Вполне понятны обоснования появления планет небольших масс во внутренней части Солнечной системы и их каменный облик. В значительной степени предложенная модель объяснила и смену галсов планет-гигантов. В то же время наши знания о рождении Солнечной системы еще очень скудны, и, очевидно, описанная картина будет модифицироваться по мере появления новых данных.

Историю формирования и развития Земли необходимо начинать практически с зарождения Солнечной системы, ранний этап которой характеризовался путешествием планет газовых гигантов к центру системы и обратно. Он-то во многом и определил особенности строения нашей планеты и ее дальнейшую геологическую историю.

Темные зоны

Два первых зона в истории Земли выделяются как хаотичный, охватывающий время формирования Земли и Луны в интервале от 4568 млн лет до 4500–4450 млн лет назад, и гадейский, характеризующий первые страницы геологической истории Земли в интервале 4500/4450-4000/3900

млн лет назад [5]. Оба зона отвечают времени ранней «бурной» юности Солнечной системы, и их следы не сохранились в явном виде в структурах нашей планеты.

В **хаотичный эон** (спустя 11 млн лет после зарождения Солнечной системы) масса Земли составляла 63 % от ее современных значений, а через 30 млн лет достигла 93 % [6]. Конечно, хронология этих ранних событий устанавливается частично и с большим допущением и в основном опирается на данные о поведении продуктов распада короткоживущих изотопов (с константой полураспада в несколько миллионов лет).

Земля – высокодифференцированная планета, имеющая железное ядро и твердую силикатную оболочку, которая включает мантию, литосферу и земную кору. Узнать состав оболочек Земли помогают данные по углистым хондритам, которые стали строительным материалом при образовании внутренних планет Солнечной системы (в том числе и нашей). Сходство хондритов с составом солнечной короны позволило Б. Вуду не только определить состав прото-Солнечной туманности, но и использовать их для оценки среднего состава Земли [6]. При аккреции (слипанию, как в снежном коме) такого материала к прото-Земле и его последующем плавлении, вызванном соударениями и радиоактивным распадом, происходило разделение элементов в соответствии с их геохимическими свойствами. Литофильные элементы, имеющие сродство с силикатами (Si, Mg, Ca, Ti, Sc, Al, PЗЭ и др.), концентрировались в мантии и земной коре в соотношениях, близких к составу углистых хондритов. В отличие от них, сидерофильные (Fe, Ni, Co, Mn, W, Cr, Pt, Re и др.) элементы, геохимически близкие к железу, «ушли» совместно с его расплавами в ядро планеты. Их содержание в мантии существенно ниже, чем в хондритах.

О времени формирования ядра позволяют судить данные о распределении в силикатной оболочке Земли продуктов короткоживущих изотопных систем, в которых родительские и дочерние изотопы могли иметь разные геохимические свойства. В результате они по-разному себя вели в процессах аккреции Земли и дифференциации ее оболочек. В этом отношении наиболее интересные результаты дала система $^{182}\text{Hf} \rightarrow ^{182}\text{W}$. В ней родительский изотоп ^{182}Hf с периодом полураспада около 9 млн лет практически исчез в течение первых 50 млн лет земной истории. В отличие от дочернего сидерофильного изотопа ^{182}W , гафний – литофильный. При дифференциации планеты на железное ядро и силикатную мантию ^{182}W стремился уйти в ядро, а ^{182}Hf оставался в мантии (рис. 2). Если бы ядро сформировалось сразу после аккреции, то дочерний изотоп остался бы вместе с родителем в мантии и соответствовал составу хондритов. Мантия по сравнению с хондритом обеднена вольфрамом ($\text{Hf}/\text{W}=19$ и $1,1$ соответственно), что указывает на формирование ядра в некотором интервале геологического времени, в течение которого вольфрам вместе с железом частично перераспределились в ядро. На основе изотопного состава вольфрама в земной мантии минимальное время, необходимое для образования ядра, оценивается в 34 ± 7 млн лет после начала аккреции Земли [7].

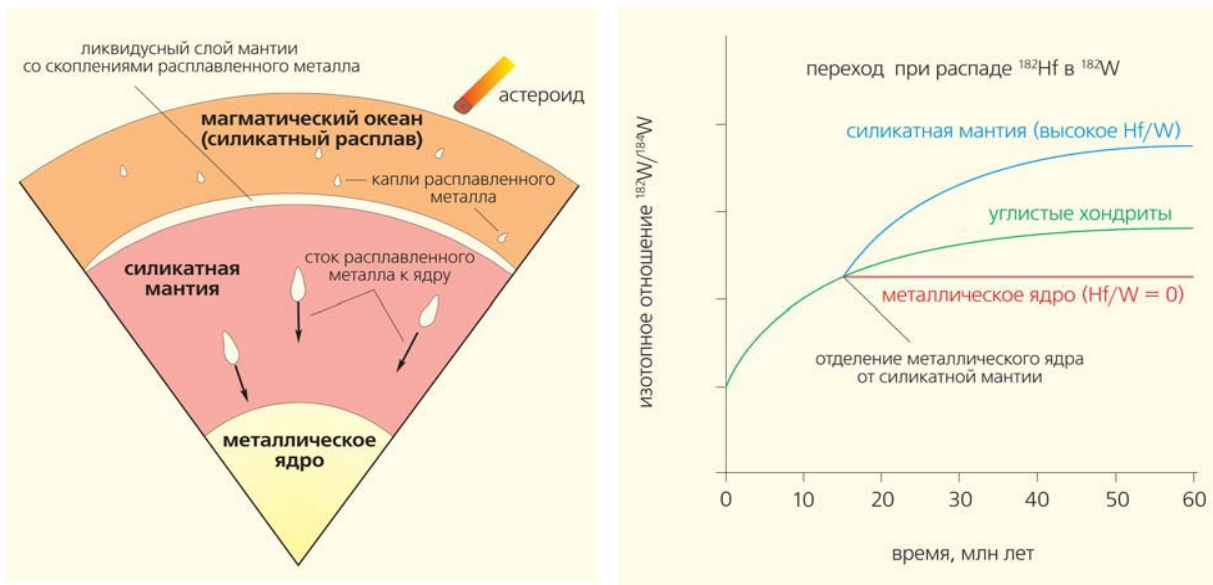


Рис. 2. Модель дифференциации Земли в хаотичный эон. Слева – модель образования ядра [6]. Большое значение при формировании ядра играли глубокие магматические бассейны силикатного расплава, образовавшиеся при столкновении Земли с большими астероидами. Крупнейшее столкновение привело к плавлению верхних оболочек Земли до глубины 700 км. Капли сидерофильных элементов, возникавшие при плавлении смешанного железокремнистого материала, погружались на дно магматических бассейнов и образовывали крупные скопления более плотного расплавленного металла, который стекал через нижнюю мантию в формирующееся ядро. Справа – время формирования ядра согласно распаду ^{182}Hf в ^{182}W (период полураспада 8,9 млн лет). Через 20 млн лет образовалась большая часть ядра, а через 50 млн лет – все ядро. Примерно через 30 млн лет после возникновения Солнечной системы Земля столкнулась с космическим телом, по массе близким Марсу. В космос было выброшено силикатное вещество мантии, которое послужило строительным материалом для Луны.

Таким образом, дифференциация вещества Земли началась практически с момента ее образования. Столкновение формирующейся планеты с крупными астероидами, а также тепло радиоактивного распада (в первую очередь короткоживущих изотопов) вызывали плавление ее силикатной оболочки с образованием магматических океанов. При высокой температуре и давлении 20–23 ГПа происходило разделение магмы на силикатный и железный расплавы [6]. Уже через первые 5–8 млн лет объем Земли был близок к половине его нынешнего размера. Удары крупных астероидов могли образовывать магматические бассейны глубиной до 400 км. Расплавы железа, как более тяжелые, накапливались на его дне, а затем «проваливались» вниз, наращивая ядро [6].

Исключительным событием в хаотичном эоне стало формирование Луны, сыгравшей важную роль в дальнейшем развитии нашей планеты. Большинство исследователей считают, что причина ее образования – столкновение Земли с крупным космическим телом, по размеру близким к Марсу. Предполагается, что такая космическая катастрофа произошла спустя 30 млн лет после образования Солнечной системы [8]. Это согласу-

ется с последними оценками минимального возраста нашего спутника – 4,51 млрд лет, полученными по циркону из лунных пород. Масса Земли тогда уже составляла около 93% ее современной массы [8]. К тому времени сформировалась и большая часть ядра Земли (см. рис. 2). Столкновение небесных тел изменило наклон оси вращения Земли к оси ее орбиты, составивший 23° [9], что способствовало, как считает Конди, установлению благоприятных климатических условий для существования жизни. В то же время косо удар обусловил выброс значительной части мантийного (силикатного) вещества, которое пошло на формирование Луны [9]. Ядро же Земли этим столкновением затронуто не было. Действительно, породы Луны обеднены сидерофильными элементами, а также изотопом ^{182}W , что указывает на возникновение удара после формирования значительной части земного ядра.

В результате столь мощного импакта произошло массовое плавление мантии Земли с образованием глубокого (до 700 км) магматического океана, эволюция которого способствовала вещественной дифференциации верхних оболочек планеты в гадейское время.

Название **гадейского зона** происходит от имени Гадеса – древнегреческого бога подземного мира, – указывая тем самым на «адские» условия на Земле в то время. Новая эпоха началась после формирования системы Земля – Луна. Выделение гадейского зона (как распознаваемой эпохи в истории Земли) началось после обнаружения в конце XX в. на западе Австралии в осадочных породах гор Джек Хиллс обломков циркона $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$ с возрастными характеристиками, уходящими за известную к тому времени границу геологической истории. Следует отметить, что циркон – великолепный геохронометр, устойчивый к самым экстремальным геологическим воздействиям (высоким температуре и давлению). Находка обломков цирконов с возрастом их центральных частей в 4,376 млрд лет стала мировой сенсацией. Наиболее интенсивно эти цирконы начали изучаться в последние два десятилетия, когда появилось аналитическое оборудование новейшего поколения, позволяющее проводить разнообразные (в том числе геохимические и изотопные) исследования в точке. Обобщающая работа по изучению цирконов Джек Хиллс была выполнена О. Нэбелом с соавторами [10]⁵. Основные результаты также приведены и в нашей работе [8]. Возникновение этих цирконов связывается с кристаллизацией первых гранитоидных (кислых) сплавов, которые образовались при плавлении первичной основной (базальт-коматиитовой) континентальной коры при воздействии на нее восходящих горячих потоков (плюмов) мантии. Астероидно-метеоритные бомбардировки, имевшие в гадее большой масштаб и, как отмечалось, продолжавшиеся до стабилизации орбит Юпитера и Сатурна, разрушали первичную континентальную кору [8]. Ее фрагменты смешивались с мантией и плавилась. Цирконы же, устойчивые до температуры более 1690°C , сохранялись и со вновь образованными порциями магм воз-

⁵ Ссылки на других авторов можно найти в этой работе.

вращались на поверхность, принимая участие в формировании новой коры. При плавлении уже этой коры цирконы концентрировались в остаточных кислых расплавах и служили затравками для новых их генераций. Подобный процесс неоднократного вовлечения циркона в разные субстраты плавления, называемый рециклингом, мог повторяться до тех пор, пока Земля подвергалась массивным астероидным бомбардировкам, т. е. вплоть до архейского времени.

Цирконы с гадейскими возрастными характеристиками установлены также в архейских породах Гренландии, Канады, Северного Китая, Северной Америки и Южной Африки [8, 10].

Это говорит о том, что условия для их возникновения в гадейской коре существовали практически повсеместно. Детальное изучение цирконов показало, что пик возрастов в разных их генерациях пришелся на 4,25 млрд лет, что позволяет предполагать наиболее быстрый рост гадейской земной коры именно в тот период. Относительный пик значений возраста приходится также на 4,1 млрд лет, а цирконов возрастом 3,9–4,0 млрд лет очень мало. Это время определяется как окончание гадейского зона. Именно тогда произошла последняя тяжелая бомбардировка Земли и Луны и, очевидно, резко сократился процесс рециклинга цирконов, связанный с их насильственным мгновенным перемещением в область плавления.

Большое значение для понимания геологических условий, существовавших на нашей планете в гадейское время, имеет изучение цирконов в породах Луны, которые были доставлены на Землю экспедициями «Аполлон-14» (1971 г.) и «Аполлон-17» (1972 г.). Возраст лунных цирконов лежит в диапазоне 4,0–4,35 млрд лет [10], т.е. они формировались одновременно с гадейскими. Образование лунных цирконов происходило при высоких температурах (~920–1140°C), а земных – при средних (~700°C) [10, 11]. Отличаются земные и лунные цирконы также по нормированному содержанию в них редкоземельных элементов (рис. 3). В земных цирконах четко видна положительная аномалия церия. Она свидетельствует об окислительных условиях кристаллизации расплавов, способствовавших вхождению церия валентностью +4 в структуру минерала. Об окислительных условиях на Земле в гадейское время свидетельствуют также данные по изотопному составу кислорода в цирконах [10]. В отличие от земных, лунные аналоги формировались в восстановительной среде. Они к тому же обладают и характерной микроструктурой. В них установлено присутствие локальных участков перекристаллизации и аморфизации, выявляются пластические деформации, разрывы и трещины, т. е. типичные следы импактных структур [12]. Судя по всему, эти кристаллы подвергались метеоритным бомбардировкам. В земных цирконах таких структур не наблюдается, что указывает на меньшее влияние астероидных ударов на образование данных минералов.

Несмотря на общий пессимизм в отношении сохранности гадейской коры после переработки ее мощнейшими астероидными бомбардировками, похоже, что ее фрагмент все же был обнаружен. Ему соответствует Нув-

вуагитугский (Nuvvuagittuq) зеленокаменный пояс на северо-восточном побережье Гудзонского залива в Канаде, изученный в самые последние годы [13]. Его центральная часть (серия Ujaraaluk) сложена основными и ультраосновными вулканическими и интрузивными породами, возраст которых по соотношению продуктов распада короткоживущей ($^{146}\text{Sm} \rightarrow ^{142}\text{Nd}$; $T_{1/2} = 68$ млн лет) и долгоживущей ($^{147}\text{Sm} \rightarrow ^{143}\text{Nd}$; $T_{1/2} = 106$ млрд лет) изотопных систем оценен в ~ 4400 млн лет. Полученные оценки позволяют говорить об этих породах как о древнейшей коре Земли, которая сформировалась после гигантского импакта, приведшего к образованию Луны [13].

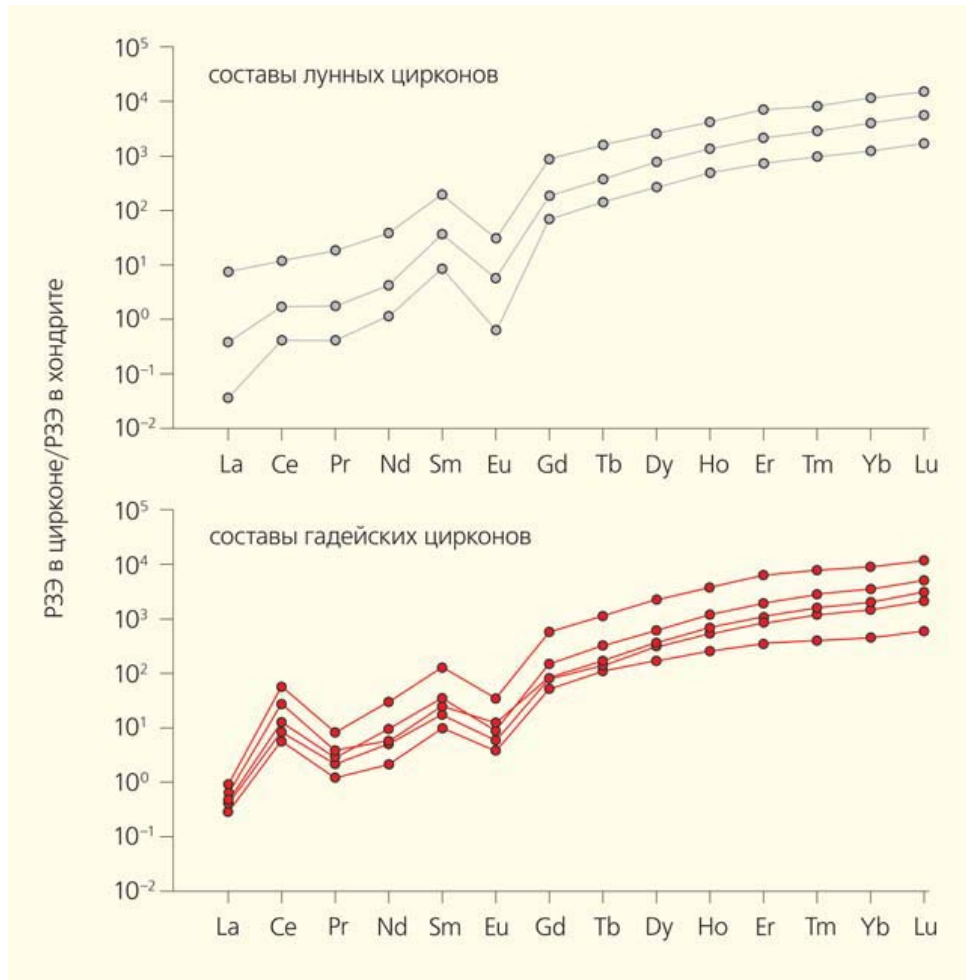


Рис. 3. Нормированные содержания редкоземельных элементов в лунных и земных (гадейских) цирконах. Температура образования лунных цирконов $975\text{--}1150^\circ$, а земных – 700° [10, 11].

По завершении аккреции Земли и обособлению ее ядра (т. е. к концу гадейского эона) температура мантии была в 1,2 раза выше современной [1], а перенос тепла и вещества из глубин Земли к поверхности обеспечивался общемантийной конвекцией. На поверхности Земли располагались крупные лавовые плато, подобные лунным морям. Кора наращивалась за счет излияний базальтов и коматиитов, питаемых мантийными плюмами, а также за счет подслаивания снизу магм, внедрявшихся в основание коры.

Такой тип развития коры выделяется как режим тектоники покрывки⁶ [14]. Значительные лавовые платоизлияния, массивные метеоритные бомбардировки и общемантийная конвекция служили основными механизмами, определявшими развитие Земли в гадейское время.

Эры самоорганизации Земли

После тяжелой бомбардировки около 4,0–3,9 млрд лет назад [2, 15] космический фактор перестал играть ведущую роль в формировании и разрушении коры Земли. Характер геологических процессов стал определяться механизмами «самоорганизации» недр планеты, которые упорядочили строение и состав всех ее оболочек. С того же времени в структурах верхней оболочки Земли (в ее коре) прослеживается поддающаяся расшифровке летопись событий, которая позволяет с той или иной степенью детальности реконструировать историю нашей планеты.

Архейская эра представляет собой наиболее ранний отрезок, доступный для изучения. Он начался с прекращения тяжелых астероидных бомбардировок и продолжался более миллиарда лет (3,9–2,5 млрд лет назад). В ту эпоху широкое развитие приобрели основные и ультраосновные (коматииты) вулканические породы, а также кислые породы тоналит-трондьемит-гранодиоритовой (ТТГ) серии. Совместно они образуют гранит-зеленокаменные пояса в фундаменте древних платформ.

Об обстановке формирования этих пород позволяют судить данные по изотопному составу кислорода в цирконах архейских гранитоидов, варьирующему в пределах: $\delta^{18}\text{O} = 6\text{--}7\%$. Подобное постоянство свидетельствует о слабом развитии процессов выветривания, способствующих фракционированию изотопов кислорода. Соответственно, можно говорить о слабой дифференцированности рельефа в архее с преобладанием ландшафтов типа лавовых равнин (подобных равнинам Луны и Марса), а также о развитой гидросфере, которая изолировала каменную оболочку от воздействия атмосферы [16]. Такой тип развития соответствует режиму lid-tectonics и свидетельствует о доминировании в то время механизмов общемантийной конвекции с участием мантийных плюмов. Восходящие мантийные потоки питали лавовые платоизлияния, наращивая тем самым мощность коры. В результате ее основание погружалось в глубины, где происходила трансформация пород в эклогиты. Плавление последних под влиянием тех же мантийных плюмов вело к образованию магм, исходных для пород тоналит-трондьемит-гранодиоритовой серии.

Вопрос о появлении кислых пород ТТГ-серии – принципиальный для понимания геологических процессов в архее. В современных геологических структурах подобные породы образуются преимущественно в обста-

⁶ В гадей-архейское время верхняя каменная оболочка Земли была более или менее однородной. Ее сплошность нарушалась либо бомбардировкой астероидов, либо прорывом магмы глубинных плюмов. Оба эти процесса обеспечивали появление на поверхности магматических расплавов, наращивающих кору сверху. Такое состояние земной поверхности обозначается как «тектоника инертной покрывки», или, кратко, – «тектоника покрывки» (lid-tectonics).

новках, связанных с зонами субдукции. Однако в те далекие времена процессы тектоники литосферных плит (включающие в качестве основного элемента субдукцию) не имели широкого развития [1, 17]. Указанный выше механизм образования кислых магм за счет плавления низов базитовой коры не так давно обоснован на примере тоналит-трондьемит-гранодиоритового комплекса Минто Блок (Minto Block) на севере Канады [18]. В детализированном виде предложенная модель включает подъем мантийного плюма к основанию коры, плавление его головной части и поступление расплавов не только на поверхность, но и на разные уровни коры (рис. 4). Тепло, привнесенное расплавами в кору, вызывало ее плавление. Продуктами последнего стали тоналитовые магмы, которые поднимались вверх, образуя крупные внутрикоровые линзы. Последующие воздействия плюма на кору вовлекали в плавление тоналиты первого этапа. В результате появлялись все более кислые расплавы – вплоть до гранодиоритов. Предложенная модель полностью согласуется с современной обстановкой океанического плато и не требует образования зон субдукции [18].

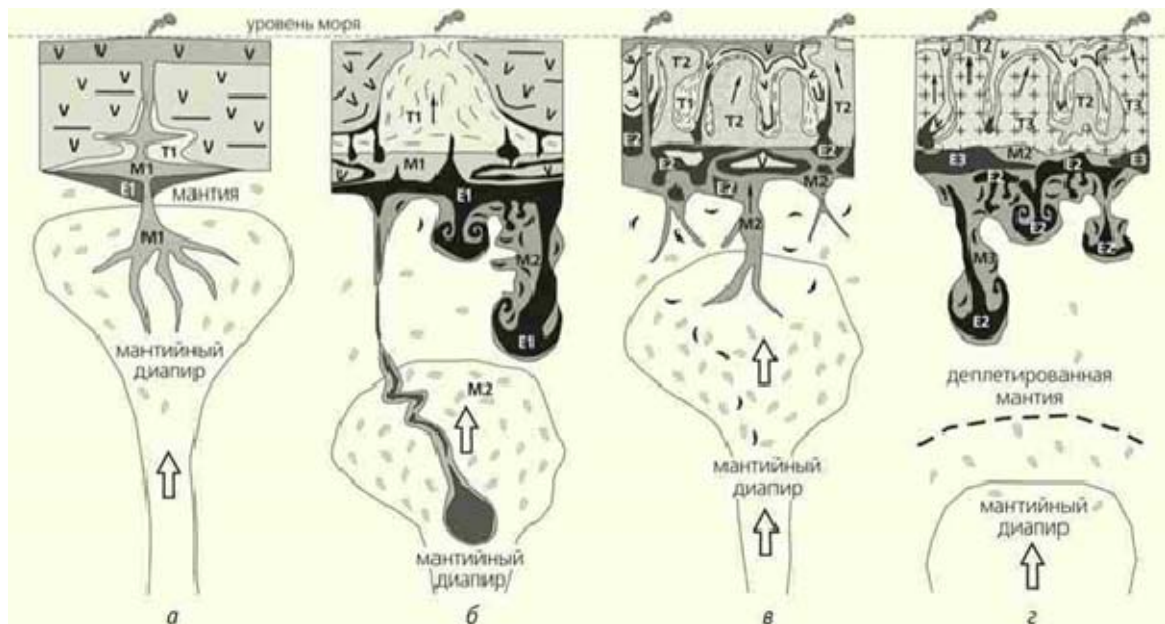


Рис. 4. Модель формирования тоналитовых расплавов под влиянием мантийных плюмов в ранней истории Земли [18]: а – мантийный плюм – источник расплавов (M1), образующих мощную вулканическую кору; расплавы, задержавшиеся в ее основании, подплавляют ее и формируют тоналитовые расплавы (T1); б – более легкие расплавы T1 поднимаются в кору; реститы и кумуляты (E1) погружаются в мантию, где частично смешиваются со второй генерацией мантийных расплавов (M2); в – расплавы M2 воздействуют на основание коры и плавят участвующий в ее строении материал; формируется вторая генерация менее плотных тоналитовых расплавов (T2); г – с прекращением второго импульса магматизма низы коры остывают, частично отслаиваются и погружаются в мантию; этот процесс провоцирует мантийное плавление с образованием расплавов M3. Их воздействие на ранее сформированные тела M2 и реликты лав приводит к формированию третьей генерации тоналитов и гранодиоритов T3 и реститов генерации E3.

Архейская эра была временем поступления высокого теплового потока из недр Земли. Это послужило причиной высокой степени плавления мантии и образования больших объемов высокотемпературных магм с содержанием $MgO > 32\%$ [19, 20]. Потеря тепла привела к тому, что к окончанию архея внутри Земли формируется внутреннее металлическое ядро. Сейчас трудно сказать, как это сказалось на дипольном характере земного магнитного поля, но именно с конца архея в породах начинают определяться палеомагнитные характеристики, которые в руках геологов стали инструментом для распознавания важных событий геологического прошлого, прежде всего – для реконструкций древних континентов.

В соответствии с геологическими и палеомагнитными данными, первый суперконтинент Кенорленд возник около 2700 млн лет назад [1]. С этого момента в геологической истории Земли наступила эпоха суперконтинентальных циклов [21]. Их важная характеристика – перемещение континентальных масс в горизонтальном направлении – стала свидетельством зарождения в конце архея механизмов тектоники литосферных плит. Тем не менее до их доминирования оставалось еще около 700 млн лет.

Эпоха от 2,7 до 2,0 млрд лет – переходная между тектоникой ранней (>2700 млн лет) Земли и современной тектоникой [17, 22]. В этот интервал времени закончилось формирование основных внутренних оболочек планеты, на границе ядра и мантии возник слой D", в результате развития процессов субдукции произошло разделение мантии на верхнюю и нижнюю, а общемантийная конвекция сменилась двухъярусной.

Переходный период четко фиксируется по смене целого ряда фундаментальных характеристик (рис. 5), отразивших изменение состава источников магматических и осадочных пород, а также условий их формирования [22]. Тогда радикально модифицировались такие важные эндогенные системы Земли, как магматизм и магматогенное рудообразование. Если в гаее и архее ведущими магматическими ассоциациями были коматиит-базальтовые и трондьемит-тоналит-гранодиоритовые, то в переходный период их арсенал резко расширился. Появились новые группы и семейства пород, в том числе, известково-щелочной, субщелочной и щелочной серий. В тот период резко возросла роль магматических ассоциаций андезит-дацитового ряда, которые несли метки формирования в субдукционных условиях. Стали проявляться принципиально новые рудообразующие процессы, существенно расширившие круг эндогенных полезных ископаемых в структурах коры. Начали формироваться полиметаллические месторождения, редких и благородных металлов и редких земель.

К рубежу ~2,7 млрд лет относятся изменения изотопного состава Nd в продуктах мантийного плавления. В магматических ассоциациях стали преобладать породы с характеристиками деплетированной (верхней, геохимически истощенной) мантии. Этот факт указывает на то, что к концу архея завершилось разделение мантии на верхнюю и нижнюю, более обогащенную несовместимыми элементами.

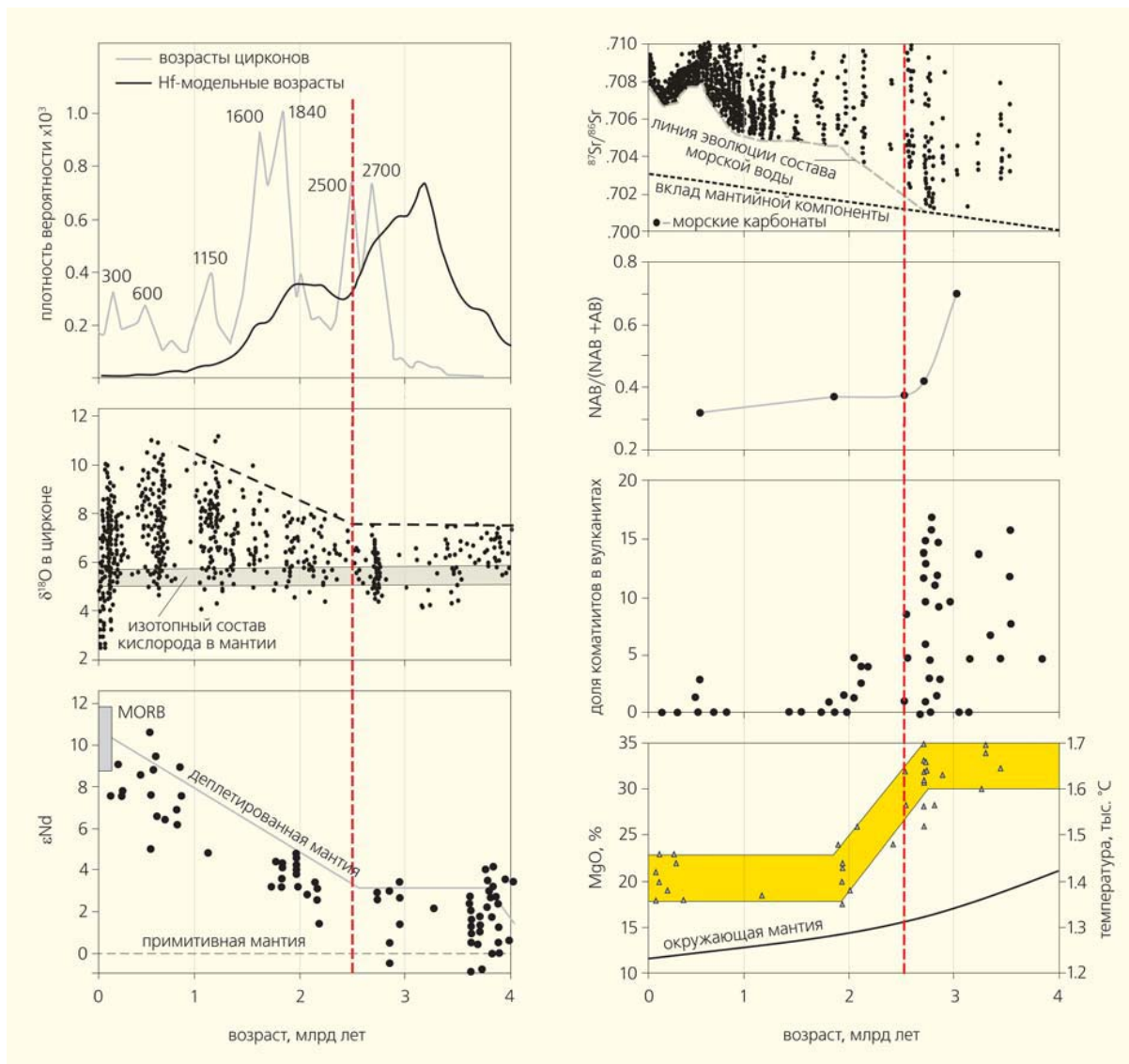


Рис. 5. Корреляции вещественных параметров, характеризующих состояния земных оболочек и мантийных разновременных слоев в процессе эволюции планеты [22]: а – распределение возрастов цирконов и соответствующих им модельных (по изотопам Hf) возрастов [23]; б – вариации изотопного состава кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) в цирконах из гранитоидов [16]; в – вариации изотопного состава неодаима ϵNd в породах раннего архея, зеленокаменных поясов и конвергентных границ плит [1]; г – вариации изотопного состава стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) в морской воде в течение геологической истории [1]; д – соотношения океанических базальтов, не связанных с магматическими дугами (NAB) и связанных с ними (AB), в течение всей геологической истории [1]; е – изменение доли коматиитов в составе магматических поясов в течение геологического времени [24]; ж – вариации и максимальные содержания MgO в коматиитах и пикритах, связанных с остыванием окружающей мантии [19].

К этому времени относится также возникновение первой суши. Раньше поверхность Земли была слабо дифференцирована и в основном покрыта водами Мирового океана. 2,5 млрд лет назад размеры суши достигли таких объемов, которые отразились в составе отложений, и в частности в изотопном составе стронция морских вод (см. рис. 5, г). Он формируется

из двух основных источников: лав, излившихся на дно океана, и осадков, образовавшихся при разрушении континентальной коры. Изотопный состав стронция в карбонатах архейского океана практически равновесен с породами основных и ультраосновных лав его ложа. Примерно 2.7 млрд лет назад отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в карбонатах (см. рис. 5, г) начало отличаться от мантийного и с тех пор постепенно растет. Это указывает на появление в водах океана дополнительного источника стронция с характеристиками континентальной коры и, соответственно, на образование в поверхностных структурах Земли суши, поставляющей осадочный материал в океаны.

Близкие выводы о времени формирования континентальной коры и суши следуют также из данных по изменению изотопного состава кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) в источнике магматических пород (см. рис. 5, б). Смена источников связывается с возникновением осадочных пород, образовавшихся в результате размыва материковой суши, т. е. с появлением ее значительных объемов. Формирование материков сопровождалось ростом поднятий, породы которых подвергались интенсивному химическому выветриванию. Обогащенные тяжелым изотопом кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) измененные породы разрушались и слагали осадки, которые в дальнейшем стали источником гранитных расплавов. Этот процесс – основная причина роста величины $\delta^{18}\text{O}$ в постархейских гранитоидах.

К границе архея и протерозоя относится и так называемая Великая кислородная революция (ВКР) – глобальное изменение состава атмосферы Земли, произошедшее 2460–2426 млн лет назад. Его результатом стало появление в атмосфере свободного кислорода, определившего смену восстановительных условий в атмосфере на окислительные. Природа этого события таит в себе много загадок. В земных недрах кислород, как правило, находится в связанной форме. В свободном виде он практически не может существовать, так как сразу расходуется на окисление горных пород и минералов. Эндогенная природа кислорода, появившегося в атмосфере на рубеже архея и протерозоя, скорее всего, исключается.

На Земле важнейший механизм высвобождения кислорода из химически связанного состояния в свободную форму – фотосинтез. В ранние эпохи развития фотосинтезирующими организмами были цианобактерии. Можно предположить, что на рассматриваемое время пришлось вспышка образования сообществ этих микроорганизмов. Однако результаты обобщения геохимических исследований, выполненные Т. Лайонзом с соавторами, показывают, что в архее продуцировалось столько же органического углерода, сколько и в более поздние геологические эпохи [26]. Это позволило авторам сделать вывод, что, хотя фотосинтезики и существовали в архее, их деятельность была вторичной по отношению к доминирующим анаэробным процессам. Выделяемый ими кислород практически сразу расходовался на окисление горных пород и растворенных соединений гидросферы.

Ответ на вопрос о природе ВКР и ее приуроченности к границе архея и протерозоя пришлось искать в совокупности таких геологических про-

цессов, которые могли изменить условия в атмосфере и тем самым способствовать образованию свободного кислорода. Исследования, проведенные в Южной Африке, показали, что появление свободного кислорода, зафиксированное горизонтами окисленных пород и минералов, тесно сопряжено с принципиально новыми геологическими процессами. К их числу относятся и образование суперконтинента Кенорленд, т. е. первой суши в более или менее значимых размерах, и гуронское оледенение, охватившее всю Землю, и распад суперконтинента под действием мантийного плюма. Эти процессы сопровождались изменениями характера магматизма. В том числе менялся состав вулканических газов, а соответственно, и химические составы океана и атмосферы. Предполагается, что в атмосфере уменьшилось количество сернистых газов и метана, на окисление которых тратился весь свободный кислород. Возможно, одним из следствий таких изменений стало снижение количества парниковых газов, послужившее толчком для глобального оледенения. В условиях суши деятельность фотосинтетиков способствовала поступлению кислорода прямо в атмосферу. В ней неокисленных соединений содержалось существенно меньше, чем в водной среде, которая доминировала на поверхности Земли в более ранние времена. Это обеспечивало большую сохранность кислорода в атмосфере и дальнейшее его накопление. В решении проблемы ВКР еще много вопросов, связанных с реконструкцией развития органического мира на ранних стадиях развития нашей планеты. Но они уводят в сторону от темы нашего повествования и потому здесь не обсуждаются. Нам представляется, что имеющиеся данные позволяют сейчас сделать следующий промежуточный вывод. Несмотря на то что ВКР не была результатом конкретного геологического процесса, она стала следствием кумулятивного эффекта от серии геологических событий, которые создали условия для появления свободного кислорода в атмосфере Земли и тем самым способствовали ускорению эволюции живого вещества.

Характер развития Земли 2,7–2,0 млрд лет назад, очевидно, связан с процессами, протекающими во внутренних оболочках планеты, а также с формированием новых. Во-первых, как уже отмечалось, на рубеже 3,0–2,7 млрд лет назад стали активно проявляться элементы тектоники плит. Это вело к тому, что часть погружающихся литосферных плит оставалась на границе верхней и нижней мантии, разделяя ее и создавая условия для формирования двухъярусной конвекции. Меньшая часть субдуцируемой литосферы погружалась до границы ядро–мантия и, очевидно, 2,7–2,0 млрд лет назад послужила основой для формирования слоя D" – пограничного между ядром и мантией. В какой-то степени этот процесс можно наблюдать по изменению состава глубинных плюмов, поднимавшихся от границы ядро–мантия (см. рис. 5, ж), что детально описано Л. Кэмпбеллом и Р. Гриффитсом [19]. Магма таких плюмов 3,4–2,7 млрд лет назад содержала постоянное количество MgO – около 32±2,5 мас.%, что соответствовало температуре расплавов не менее 1650±5°C. Как полагают авторы указанной работы, архейские плюмы формировались на термальной границе,

отвечающей поверхности ядра. Их температура оставалась постоянной и соответствовала температуре внешнего жидкого ядра, которая сохранялась благодаря буферирующему эффекту кристаллизации внутреннего твердого железно-никелиевого ядра. 2,7 млрд лет назад плотная субдуцированная литосфера стала накапливаться на внешней границе ядра, создавая разделяющий мантию и ядро изоляционный слой D", который последовательно понижал тепловой поток из ядра, а соответственно, и температуру глубинных плюмов (см. рис. 5, ж). Постепенно толщина этого слоя достигла критических значений, необходимых для формирования внутренней конвекции [19]. Слой D" изолировал мантию от непосредственного контакта с ядром, что и вызвало понижение температуры на их общей границе. Если на верхней границе ядра температура составляет около 3800-4200 К, то на верхней границе слоя D" – 2700–2800 К [28]. Таким образом, буферный слой D" при своей средней мощности около 200 км обеспечил перепад температур более чем в 1000 К и стал регулятором снижения температуры в основании мантии.

Процессы формирования слоя D" и тектоники плит оказались тесно связанными, хотя и разделяются практически всем объемом мантии. Если слой D" регулирует взаимодействие ядра и мантии, то субдукция послужила причиной интенсивной переработки и дифференциации земной коры и верхней мантии. В результате порожденных субдукцией процессов магматизма и метаморфизма кора разделилась на нижнюю, существенно базитовую, и верхнюю, обогащенную гранитным веществом. Важным агентом в этих трансформациях стала морская вода, вовлеченная совместно с субдуцированной литосферой в мантию. Она рециклировала (т. е. вновь перемещалась к поверхности), понижая температуру плавления мантии и низов коры, способствовала образованию расплавов с широким спектром составов, а также их обогащению металлами, редкими элементами и др. В конечном итоге благодаря процессам субдукции возникло большинство месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Схематично смена стилей тектонических движений от гадейского эона до переходного периода показана на рис. 6.

Поздние эпохи

Итак, окончательное изменение в составе отдельных оболочек Земли произошло 2,0 млрд лет назад [22]. К тому времени завершилось формирование деплетированной мантии нашей планеты, которая потеряла значительную часть литофильных элементов, перешедших в континентальную кору. Произошла дифференциация последней на базитовый и гранитный слои. Геологическим показателем такой дифференциации стало образование на рубеже 1,9 млрд лет огромной массы гранитов-рапакиви, обогащенных литофильными элементами. Деплетированная мантия стала основным поставщиком базальтов срединно-океанических хребтов.

С того времени в развитии Земли четко прослеживаются суперконтинентальные циклы [29]. Начало им, как уже отмечалось, положило образование в конце архея суперконтинента Кенорленд, который прекратил свое

существование 2,1 млрд лет назад. Около 1,8 млрд лет назад возник суперконтинент Колумбия (или Нуна), распавшийся 1,4 млрд лет назад. Позднее, около 1 млрд лет назад, сформировался суперконтинент Родиния, прекративший свое существование 0,8–0,7 млрд лет назад. Около 300 млн лет назад образовался суперконтинент Пангея, раскол которого начался в ранней юре (200–180 млн лет назад) и привел к обособлению современных континентов.



Рис. 6. Эволюция стилей геодинамического развития Земли 4,5–2,7 (2.0) млрд лет назад [22]. В гадее первичная кора наращивалась за счет излияний, питаемых восходящими мантийными плюмами, и разрушалась при астероидных бомбардировках. В архее происходил рост коры за счет длительных платокоматиитовых излияний. По достижении большой мощности ее нижние горизонты подвергались эклогитизации. В дальнейшем эклогитизированные блоки погружались до границы ядра и мантии, где они закладывали основу для формирования слоя D'', который изолировал ядро; мантия охлаждалась, изменялась система конвективных потоков. Фазовые переходы в минералах разделили мантию на верхнюю и нижнюю. Постархей – протерозойский переходный период характеризовался началом и эволюцией процессов субдукции, формированием зон спрединга и ростом горных сооружений.

Общее в этих суперконтинентальных циклах – смена доминирующих геодинамических механизмов. На ранней стадии образования суперконтинентов ведущую роль играли механизмы тектоники плит, определявшие перемещение отдельных блоков (континентов и микроконтинентов) к общему центру [22]. Блоки сталкивались, и вдоль их границ формировались орогенные пояса. Субдуцированная литосфера (главным образом океаническая) погружалась в мантию. Значительная ее часть сохранялась на границе верхней и нижней мантии, другая же отрывалась и в виде фрагментов слэбов погружалась до слоя D'', нарушая сложившееся в нем термальное равновесие. В результате формировался поток горячей мантии, который восходил от слоя D'' и компенсировал поступление в низы мантии фрагментов литосферных слэбов. Этот поток в виде огромного гриба (суперплюма) поднимался до границы нижней и верхней мантии, где преобразовывался в серию небольших плюмов. Последние воздействовали на лито-

сферу суперконтинента, раскалывая его на более мелкие континентальные массы [30].

Еще один значительный процесс после рубежа 2,0 млрд лет – образование Африканского и Тихоокеанского горячих полей мантии [31], или мантийных провинций с пониженными скоростями сейсмических волн [32]. Соответствующие этим событиям мантийные пертурбации, по-видимому, нашли отражение в свинцовой изотопной системе базальтов океанических островов и срединно-океанических хребтов. На рис. 7 видно, что их составы образуют тренд, наклон которого происходит вблизи точки 1,8 млрд лет [33]. Этот тренд позволяет оценить возраст существующей гетерогенности мантии.

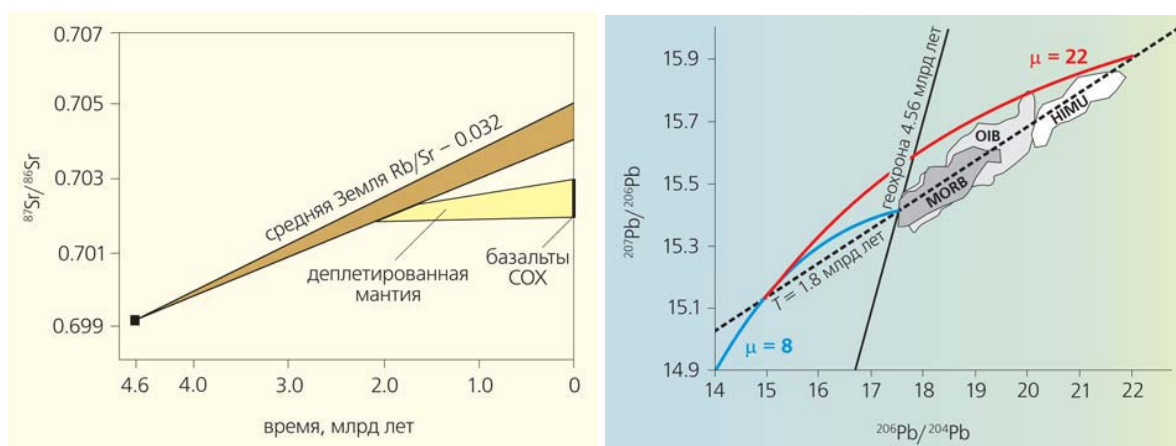


Рис. 7. Графики, определяющие время формирования деплетированного (астеносферного) слоя мантии (источника базальтов срединно-океанических хребтов, MORB) и обогащенных базальтов океанических островов (Африканского и Тихоокеанского горячих полей мантии) [21]. Слева – состав изотопов стронция, показывающих время отделения деплетированной мантии [34]. Справа – график изменения состава изотопов свинца в базальтах MORB, OIB (океанических островов) и HIMU (с высоким $d = U/Pb$) [33]. Темно-синяя линия – тренд эволюции состава мантии (от момента образования Земли до настоящего времени) с величиной $d = 8$. Красная линия – тренд изменения состава обогащенной мантии с величиной $d = 22$. Тонкая черная линия аппроксимирует изотопные составы разных базальтов и отвечает времени (около 1,8 млрд лет назад) образования их источников в составе мантии.

Низкоскоростные мантийные провинции (суперплюмы) по сравнению с окружающей мантией более горячие. Они представляют собой восходящие мантийные потоки и играют важную роль в современной геодинамике Земли. Например, Африканское горячее поле мантии сыграло роковую роль в судьбе Пангеи, вызвав продолжающееся до сих пор ее дробление. Таким образом, именно последние 2 млрд лет геологической истории отвечают окончательному становлению современного стиля тектонических движений на Земле. Выделение деплетированной мантии (источника базальтов срединно океанических хребтов) можно определить по изменению

изотопов стронция, которые показывают, что этот мантийный резервуар образовался также около 2,0 млрд лет назад [34].

Уникальная планета

Уникальность Земли определяется, во-первых, ее положением в той части Солнечной системы, где возможно возникновение жизни; во-вторых, особыми условиями ее внутреннего саморазвития, которые создали предпосылки для появления живых организмов и их эволюции вплоть до высших форм. На нашей планете реализовались геологические механизмы, обусловившие образование многочисленных месторождений полезных ископаемых, без использования которых возникновение человеческой цивилизации было бы невозможно.

И ныне наша планета остается тектонически активной. В геологических процессах, которые определяют формирование различных структур на континентах и в океанах, образование полезных ископаемых, естественные изменения окружающей среды и климата, принимают участие все оболочки Земли, включая атмосферу и гидросферу. Конечно, окончательно понять роль каждой оболочки в эволюции планеты пока еще нельзя, но очертить их значение попробуем.

Ядро, формирующее магнитное поле, определяет главное наше комфортное существование, не допуская на поверхность Земли смертоносные космические лучи. Внешнее ядро по плотности отличается от внутреннего, что, скорее всего, связано с наличием в нем легких летучих компонентов, которые, поднимаясь в слой D", вызывают образование плюмов. В одной из последних сводок, выполненной К. Литасовым и А. Шацким, говорится, что легкими компонентами ядра могли быть Si, S, O, C, H и N [28]. Понятно, что они сохранились в жидком ядре во время кристаллизации внутреннего металлического, но когда и как они первоначально оказались в ядре, пока не ясно.

Мантийные плюмы, поднимаясь от ядра к поверхности, несут энергию для взаимодействия двух верхних оболочек – литосферы и астеносферы. Плюмы – важнейший элемент нижнемантийной конвекции. Их подъем вверх компенсируется погружением холодного субдуцированного вещества вниз, в слой D". Нижнемантийная конвекция поддерживает мелкочешуйчатую верхнемантийную конвекцию.

Происходящие на Земле процессы отражены в ее современном рельефе, который чрезвычайно разнообразен – от обширных океанических котловин и континентальных равнин до узких горных систем, островных дуг и цепочек островов. Активные геологические процессы проявляются в виде сейсмических катастроф, вулканизма, гидротермальной (в том числе рудообразующей) деятельности. Кроме того, они во многом определяют климат планеты, состояние атмосферы и гидросферы.

В значительной степени характер современной активности Земли обусловлен механизмами тектоники литосферных плит, в которой взаимодействуют два слоя – литосфера и астеносфера. Они определяют формирование литосферных плит, рождение и закрытие океанических бассейнов, а

вместе с веществом плюмового магматизма способствуют образованию месторождений полезных ископаемых. Рост гор, их разрушение, а также различные газы, поступающие из недр планеты, определяют изменения климата, появление холодных и теплых периодов, к приходу которых человечество должно готовиться.

Так схематично можно представить современную геолого-тектоническую жизнь нашей планеты.

Познавать историю Земли и понимать ее дальнейшее развитие необходимо для жизни последующих поколений землян, а также чтобы постичь устройство других планет и Космоса в целом.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта Президента РФ НШ-9638.2016.5.

Литература

1. Condie K.C. Earth as an evolving Planetary System. Elsevier, 2011.
2. Батыгин К., Лафлин Г., Морбиделли А. Рожденные из хаоса // В мире науки. 2016. № 7. С. 16–27.
3. Лин Д. Происхождение планет // В мире науки. 2008. № 8. С. 22–31.
4. Masset F., Snellgrove M. Reversing type II migration: resonance trapping of a lighter giant protoplanet // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2001. V. 320. № 4. L55–L59.
5. Goldblatt C., Zahnle K.J., Sleep N.H., Nisbet E.G. The eons of chaos and hades // Solid Earth. 2010. V. 1. P. 1–3 (<http://dx.doi.org/10.5194/se-1-1-2010>).
6. Wood B. The formation and differentiation of Earth // Physics Today. 2011. V. 64. № 12. P. 40–45 (<http://dx.doi.org/10.1063/PT3.1362>).
7. Костицын Ю.А. Возраст земного ядра по изотопным данным: согласование Hf–W и U–Pb систем // Геохимия. 2012. № 6. С. 531–554.
8. Кузьмин М.И. Докембрийская история зарождения и эволюции Солнечной системы и Земли. Статья I // Geodynamics & Tectonophysics. 2014. V. 5. № 3. P. 625–640.
9. Хейзен Р. История Земли (от звездной пыли – к живой планете). М., 2015.
10. Nebel O., Rapp R.P., Yaxley G.M. The role of detrital zircons in Hadean crustal research // Lithos. 2014. V. 190–191. P. 313–327.
11. Taylor D.J., McKeegan K.D., Harrison T.M. Lu–Hf zircon evidence for rapid lunar differentiation // Earth and Planet. Sci. Lett. 2009. V. 279. P. 157–164.
12. Grange M.L., Pidgeon R.T., Nemchin A.A. et al. Interpreting the U–Pb data from primary and secondary features in lunar zircon // Geochim. et Cosmochim. Acta. 2013. V. 101. P. 112–132. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2012.10.013>).
13. O’Neil J., Carlsons R.W., Paquette J.-L., Francis D. Formation age and metamorphic history of the Nuvvuagittuq Greenstone Belt // Precamb. Res. 2012. V. 220–221. P. 23–44.
14. Debaille V., O’Neill C., Brandon A.D. et al. Stagnant-lid tectonics in early Earth revealed by ^{142}Nd variations in late Archean rocks // Earth and Planet. Sci. Lett. 2013. V. 373. P. 83–92.
15. Bottke W.F., Vokrouhlicky D., Minton D. et al. An Archean heavy bombardment from a destabilized extension of the asteroid belt // Nature. 2012. V. 485. P. 78–81.

16. Valley J.W., Lackey J.S., Cavosie A.J. et al. 4.4 billion years of crustal maturation: oxygen isotope ratios of magmatic zircon // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2005. V. 150. P. 561–580.
17. Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В., Эрнст Р.Е. Тектоническая активность Земли на ранних этапах (4.56-3.4 (2.7?)) ее эволюции // *Геология и геофизика.* 2016. Т. 57. № 5. С. 815–832.
18. Bedard J.H. A catalytic delamination-driven model for coupled genesis of Archaean crust and sub-continental lithospheric mantle // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 2006. V. 79. P. 1188–1214.
19. Campbell I.A., Griffiths R.W. Did the formation of D" cause the Archean-Proterozoic transition? // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 2014. V. 388. P. 1–8.
20. Ernst R.E. Large igneous provinces. Cambridge, 2014.
21. Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В. Тектоника плит и мантийные плюмы – основа эндогенной тектонической активности Земли последние 2 млрд лет // *Геология и геофизика.* 2016. Т. 57. № 1. С. 11–30.
22. Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В. Изменение стиля тектонических движений в процессе эволюции Земли // *Докл. АН.* 2016. Т. 469. № 6. С. 706–710.
23. Condie K.C., Aster R.C. Episodic zircon age spectra of orogenic granitoids: the supercontinent connection and continental growth // *Precamb. Res.* 2010. V. 180. P. 227–236.
24. de Wit M.J., Ashwal L.D. Greenstone belts: what are they? // *South African J. of Geology.* 1995. V. 98. P. 505–520.
25. Магматические горные породы. Т. 6. Эволюция магматической истории Земли. М., 1987.
26. Lyons T.W., Reinhard C.T., Planavsky N.J. The rise of oxygen in Earth's early ocean and atmosphere // *Nature.* 2014. V. 506. P. 307–315.
27. Gumsley A.P., Chamberlain K.R., Bleeker W. et al. Timing and tempo of the Great Oxidation Event // *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2017. V. 114. № 8. P. 1811–1816.
28. Литасов К.Д., Шацкий А.Ф. Состав и строение ядра земли. Новосибирск, 2016.
29. Li Z.X., Zhong S. Supercontinent–superplume coupling, true polar wander and plume mobility: plate dominance in whole-mantle tectonics // *Physics of the Earth and Planetary Interiors.* 2009. V. 176. P. 143–156.
30. Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В. Мантийные плюмы Северо-Восточной Азии и их роль в формировании эндогенных месторождений // *Геология и геофизика.* 2014. Т. 55. № 2. С. 153–184.
31. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Внутриплитовый вулканизм и его значение для понимания процессов в мантии Земли // *Геотектоника.* 1983. № 1. С. 28–45.
32. Dziewonski A.M. Mapping the lower mantle, determination of lateral heterogeneity up to degree and order 6. 1984 // *J. of Geophys. Res.* 1984. V. 89. P. 5929–5952.
33. Hofmann A.W. Mantle geochemistry the message from oceanic volcanism // *Nature.* 1997. V. 385. P. 219–229.
34. Кузьмин М.И. Тектоника литосферных плит и геохимия // *Современные проблемы теоретической и прикладной геохимии.* Новосибирск, 1987. С. 19–26.

Внутриплитовый вулканизм и его значение для понимания процессов в мантии Земли⁷

В качестве внутриплитового магматизма рассматриваются все проявления вулканической и интрузивной активности, которые не контролируются границами литосферных плит: вулканические острова в океанах, изолированные вулканы и платобазальты на континентах. Они распределены на земной поверхности неравномерно, группируясь в крупные (2000–10 000 км) в поперечнике области, которые отвечают горячим полям в мантии Земли. На протяжении последних 120 млн лет существовали две крупные области – Африканская и Тихоокеанская – и две малые области – Центральноазиатская и Тасманская; они сохраняли неизменным свое положение на земной сфере. По сравнению с базальтами срединно-океанических хребтов внутриплитовые базальты в 2–3 раза обогащены литофильными редкими элементами с крупными ионными радиусами и радиогенным стронцием, что свидетельствует об их выплавке из мантии различного состава: соответственно из истощенной астеносферы и неистощенной нижней мантии.

Горячие поля в связи с этим интерпретируются как отражение восходящих ветвей, а расположенные между ними холодные поля – как отражение нисходящих ветвей конвективных течений в нижней мантии. Перемещение вещества и энергии происходит на двух уровнях: нижнемантийном, где действует тектоника горячих полей, ответственная за формирование и распад Пангеи, и верхнем, охватывающем астеносферу и литосферу, где действует тектоника литосферных плит, определяющая раскрытие и закрытие океанов и образование складчатых поясов.

ВВЕДЕНИЕ

Современный вулканизм приурочен главным образом к границам литосферных плит. Но есть, и это давно известно, вулканизм, не связанный с границами плит, а появляющийся внутри плит, как в океанах, так и на континентах. Извержения на Гавайских островах – наиболее привычный и наиболее яркий пример такого вулканизма.

Наилучшим объяснением внутриплитового вулканизма является гипотеза горячих точек и мантийных струй, предложенная Г. Уилсоном [69-71] и У. Морганом [49, 50] и затем поддержанная многими исследователями [32, 33, 37, 51, 56]. Согласно этой гипотезе, внутриплитовый магматизм обусловлен «пятнами» разогретой астеносферы, которые неподвижны относительно нижней мантии и в свою очередь связаны с мантийными

⁷ Опубликовано в журнале «Геотектоника». – 1983. – № 1, Январь–Февраль. – С. 28–45.

струями (или плюмажами), поднимающимися от границы мантии и ядра Земли. Некоторые авторы [37, 56] пришли к выводу, что горячие точки представляют собой не только термальные, но и геохимические аномалии, поскольку связанные с ними изверженные породы обогащены многими литофильными элементами по сравнению с базальтами срединно-океанических хребтов (базальтами СОХ). Гипотеза горячих точек хорошо объяснила образование протяженных вулканических хребтов в океане, таких, как Гавайско-Императорский, Восточно-Индийский, Китовый и др. В этих хребтах происходит последовательное удревнение возраста базальтов по простиранию, что согласуется с прохождением литосферных плит над неподвижными горячими точками в мантии. В представлениях о горячих точках есть, однако, одно уязвимое место: мантийные струи рисуются в виде необычайно узких (150 км поперечником) столбов, которые должны пронизывать всю толщу мантии от ее границы с ядром до астеносферы, оставаясь к тому же неподвижными на протяжении десятков миллионов лет. Уже указывалось В.Е. Хаиным и др., например [55], что реологические и физико-химические параметры мантии делают маловероятным существование таких столбов.

Альтернативное объяснение внутриплитового вулканизма предлагает концепция так называемой мембранной тектоники, выдвинутая Д. Таркоттом [63, 64]. В соответствии с ней жесткие литосферные плиты, перемещаясь по эллиптической поверхности Земли, проходят участки с различным радиусом кривизны и в результате этого растрескиваются, а возникающие трещины заполняются базальтовой выплавкой из астеносферы. Следовательно, в мантии нет ни термальных, ни геохимических аномалий, а особенности состава внутриплитового магматизма обусловлены лишь выплавкой базальта на большой глубине, т. е. при других термодинамических условиях, чем под срединно-океаническими хребтами, как это предусмотрено известной схемой Грина и Рингвуда [6]. Эта гипотеза плохо объясняет происхождение линейных вулканических цепей, а также точечное проявление вулканизма на тех плитах, которые движутся, как в Атлантическом океане, в широтном направлении, т. е. по линиям равной кривизны.

К выяснению происхождения внутриплитового магматизма мы попытаемся подойти, рассмотрев распространение внутриплитовых изверженных пород на протяжении мезозоя и кайнозоя и проанализировав их геохимию в сравнении с базальтами СОХ.

КОМПЛЕКСЫ ПОРОД ВНУТРИПЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА

Под внутриплитовым магматизмом следует, по-видимому, понимать все проявления вулканизма и интрузивной деятельности, которые не подчинены границам литосферных плит. В большинстве случаев такого рода проявления действительно обнаруживаются во внутренних частях плит вдали от их границ. Немалое количество вулканов, которые относятся к той же категории, располагается в гребневой зоне срединноокеанических хребтов, например острова Азорские, Вознесения, Буве, Амстердам, Бал-

лени, Пасхи и др. В то же время ни один из этих островов не находится непосредственно в самой осевой экстрезивной зоне, где идут излияния низкокалиевых толеитовых базальтов и происходит наращивание новой океанической коры; все они располагаются на каком-то, измеряемом десятками километров, расстоянии от осевой зоны, т. е. они остаются, строго говоря, внутриплитовыми. Лишь Исландия представляет собой выдающееся исключение из этого правила, поскольку аномальные по составу базальты, равно как аномальные рельеф и глубинное строение, свойственны самой осевой зоне. Термин «внутриплитовый магматизм», как видно, не столь уж точен. В океанах наиболее характерная его особенность состоит в появлении щелочных базальтов, щелочных и ультращелочных пород и в обогащении всех пород по сравнению с базальтами СОХ многими литофильными элементами (К, Rb, Sr, Ba, РЗЭ, Zr, Hf, Nb, Та и др.). Не случайно все чаще океанические базальты разделяются на истощенные (базальты СОХ) и неистощенные (базальты океанических островов). Видимо, лучше было бы обозначить внутриплитовый магматизм как неистощенный независимо от того, где он встречается: внутри плит или на их границах. Но в силу традиции мы используем, со всеми сделанными оговорками, прежнее наименование.

Вулканические острова в океане – главные формы рельефа, созданные внутриплитовым магматизмом. Наибольшим распространением на них пользуются вулканы толеитовой и щелочно-базальтовой серий, Щелочные породы подчинены базальтам, хотя встречаются на всех вулканических островах. К островам примыкают в ряде мест линейные вулканические хребты. К структурам, образованным внутриплитовым магматизмом, следует также отнести разнообразные вулканические массивы, такие как поднятия Шатского и Хесса в Тихом океане, Брокен и Крозе в Индийском океане, Риу-Гранди в Атлантическом океане.

На континентах к комплексам пород внутриплитового магматизма в первую очередь принадлежат траппы. У. Морган [50] подметил, что хотя траппы и предшествуют расколу континентов и новообразованию океанов, в момент своего излияния они не контролировались никакой границей плит. В.Г. Казьмин [13] показал, что эоцен-олигоценые траппы Эфиопского и Сомалийского плато предшествовали образованию Эфиопского рифта и расколу Африки в данном месте. Не считая траппов, к внутриплитовому магматизму на континентах относятся одиночные вулканы и изолированные вулканические поля, например Тибести в Африке или Центральный массив в Европе. В эту же группу входят магматические проявления по обрамлению континентальных рифтовых зон. Преобладающими на континентах являются толеитовые базальты – наиболее распространенная порода траппов. Широко развиты также щелочные базальты, щелочные и ультращелочные породы, щелочно-ультраосновные комплексы, карбопатиты. На континентах развиты и кислые породы, что легко объясняется вовлечением в магмообразование материала континентальной коры.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВНУТРИПЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА В НОВЕЙШУЮ ЭПОХУ

На рис. 1 показано распространение внутриплитового магматизма за последние 15 млн лет, т. е. со среднего миоцена до современности.

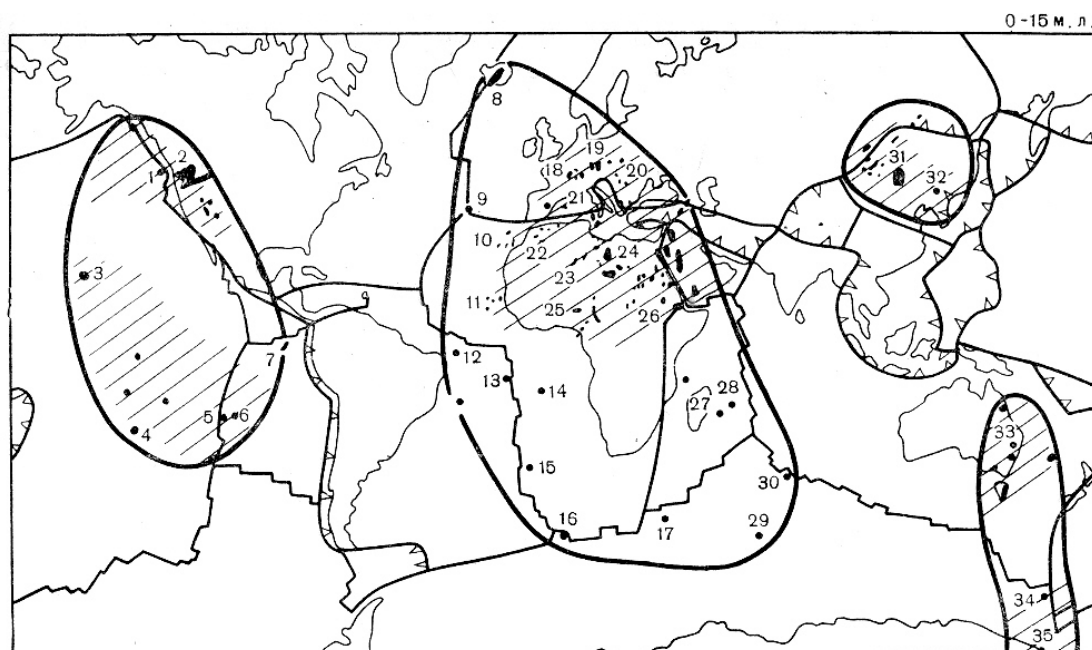


Рис. 1. Схема распространения внутриплитового магматизма в новейшее время (15–0 млн лет).

Черным обозначены районы и отдельные точки проявления внутриплитового магматизма. Заштрихованы районы сгущения проявлений внутриплитового магматизма. Оконтурены толстой линией главные области внутриплитового магматизма. Гонкие линии границы литосферных плит, с зубцами – зоны субдукции, без зубцов оси спрединга и трансформные разломы. Номера: 1 – Хуанде-Фука, 2 – Колумбийское плато, 3 – Гавайи, 4 – Лайн, 5 – Пасхи, 6 – Сала-и-Гомес, 7 – Галапагос, 8 – Исландия, 9 – Азоры, 10 – Канарские острова, 11 – острова Зеленого Мыса, 12 – Фернандо-ди-Нариньи, 13 – Вознесения, 14 – Св. Елены, 15 – Тристап-да-Кунья, 16 – Буве, 17 – Прозе, 18 – Центральный массив, 19 – Рейнский грабен, 20 – Чешский рифт, 21 – Сардиния, 22 – Марокко, 23 – Хоггар, 24 – Тибести, 25 – Камерун, 26 – Афар, 27 – Реюньон, 28 – Маврикий, 29 – Кергелен, 30 – Сен-Поль, 31 – Байкал, 32 – Дариганга, 33 – Восточная Австралия, 34 – Баллени, 35 – Эребус, 36 – базальты Гренландии, 37 – Тулейская провинция, 38 – траппы Эфиопского и Сомалийского плато, 39 – Декканские траппы, 40 – траппы Параны, 41 – траппы Амазонки, 42 – поднятие Шатского, 43 – базальты Восточного Забайкалья и Монголии, 44 – траппы Карру, 45 – траппы Раджамахал, 46 – Центральноатлантическая провинция, 47 – сибирские траппы.

Для территории океанов на схему нанесены все острова с молодыми вулканическими извержениями, а также плато Крозе [41].

На континентах внутриплитовый магматизм был наиболее широко проявлен в Африке и Западной Европе. В Африке известны многочисленные поля молодых вулканических пород к северу от экватора: районы Тибести [66], Хоггара и Атакора [36, 45, 58], Западного Судана и Ливии [65], Аравийско-

го полуострова [17], Камеруна и островов Фернандо По, Сан-Томе и Принсипи [22]. Повсюду развита бимодальная серия, т. е. сочетание основных и кислых пород, обычно преобладают высококальциевые щелочные базальты, довольно много щелочных пород, а в районе Камеруна известны щелочные агпаитовые граниты [22]. Западно-Европейская провинция протягивается от Центрального массива через Рейнский грабен (знаменитый Кайзерштуль) в Чехословакию и далее до Судет в Польше. К той же провинции З. Балла (устное сообщение, 1981 г.) относит щелочные базальты Паннонской низменности в Венгрии. Кроме щелочных базальтов и кислых пород в Западно-Европейской провинции известны щелочные комплексы и карбопатиты. Связующими между Западно-Европейской и Северо-Африканской провинциями являются щелочные вулканы Средиземноморья: Везувий, Этна, Пантеллери, вулканы Сардинии. Такое сквозное, не считающееся со Средиземноморским поясом развитие щелочного и щелочно-базальтового вулканизма было отмечено Е.Е. Милановским и Н.В. Короновским [23, 24], которые выделили единый Рейнско-Ливийский вулканический пояс.

На остальных континентах внутриплитовый магматизм распространен более ограниченно. Он сконцентрирован в трех провинциях – Центральноазиатской, Колумбийской и Тасманской.

В Центральноазиатскую провинцию входят вулканические плато Витимское, Окинское, Хангайское, Дариганга, а также вулканические центры в Тункинской долине и во впадине Токка [4, 15, 16, 20]. Возраст вулканических извержений охватывает интервал от 50 млн лет до современности, но основной пик приходится на время после 30 млн лет [7]. Часть вулканических центров приурочена к грабенам Байкальской рифтовой зоны, но значительно большая часть, относящаяся к Витимскому плато или плато Дариганга, находится далеко и даже очень далеко за пределами рифтовой зоны. Среди базальтов присутствуют породы как толеитовой, так и щелочно-базальтовой серий [16]. Среди щелочных базальтов распознаются калиевые и натровые разности, причем многие из последних близки к базальтам Гаванских островов [13].

Колумбийская провинция занимает запад Северной Америки, включая колумбийские платобазальты и породы бимодальной серии провинции Бассейнов и Хребтов. Если в пределах последней вулканизм хотя бы частично контролируется горсто-грабеновой структурой, то колумбийские платобазальты имеют плащеобразное залегание и не считаются с блоковой тектоникой. Состав вулканизма здесь изучен с большой подробностью: на Колумбийском плато преобладают толеитовые базальты, в провинции Бассейнов и Хребтов много щелочных базальтов и различных щелочных пород. Все исследователи отмечают обогащенность лав щелочными и литофильными редкими элементами с крупными ионными радиусами.

В Тасманской провинции к новейшему вулканизму относятся щелочные базальты Тасмании, толеитовые и щелочные базальты Виктории, Нового Южного Уэльса и северного Квинсленда [22]. К этой же провинции

тяготеют вулканические центры Антарктиды, в том числе вулкан Эребус, а также острова Баллени и Лорд Хау.

Из сделанного обзора видно, что внутриплитовый магматизм развит на земной поверхности неравномерно: области его концентрации перемежаются с областями его полного отсутствия. Выделяются четыре области внутриплитового магматизма (см. рис. 1): Тихоокеанская, Африканская, Центральноазиатская и Тасманская, причем первые две значительно превосходят по размерам две последние. В очерченные на рис. 1 области попадают практически все проявления внутриплитового магматизма последних 15 млн. лет. При желании Тихоокеанскую область можно разделить на две части – южную, охватывающую океанические горячие точки к юго-востоку от Гавайских островов, и северную, включающую главным образом Колумбийскую провинцию. В Африканской области можно обособить центральную континентальную часть, охватывающую Северо-Африканскую и Западно-Европейскую провинции, и периферическую, включающую океанические вулканические острова. Аналогично можно разделить и Тасманскую область. Обращает на себя внимание значительно большее количество проявлений внутриплитового магматизма на континентах по сравнению с океанами. Вполне вероятно, что эта разница обманчива и обусловлена лишь меньшей изученностью океанов.

Структурно новейший внутриплитовый магматизм проявлен различно. Довольно много одиночных вулканов, часто встречаются вулканические плато. На континентах можно говорить о приуроченности многих вулканических полей к разломам: в Африке это линия Камеруна, грабен оз. Тана, разломы Хоггара, в Западной Европе – Рейнский грабен, Чешский рифт, в Азии – грабены Северной Монголии и Тункинской долины.

В ряде провинций внутриплитового магматизма установлены крупные аномалии глубинного строения, выражающиеся в появлении обширных линз разуплотненной мантии, которые можно трактовать в качестве выступов астеносферы. Они известны в Центральной Азии [29], в Афаре [38], под Рейнским грабеном [12], под провинцией Бассейнов и Хребтов [62], под Исландией и т. д. С проявлениями внутриплитового магматизма часто связаны аномалии в рельефе. Так, Гавайские острова располагаются на крупном вздутии океанического дна высотой до 0,5 км и шириной в 1000 км. Давно подмечено [3] высокое стояние Африканского континента, который приподнят над уровнем моря на 750 м, а его северная часть, где сконцентрирована главная масса новейшего вулканизма, испытала поднятие с миоцена до современности на 2000 м [19]. Эта же северная часть Африки подверглась в новейшее время сильному раздроблению с обновлением многих древних разломов (Казьмин, устное сообщение, 1981 г.). Не случайно к Северной Африке приурочено большое число землетрясений с $M > 5$. Все это находится в полном соответствии с положением Африки в центре очерченной области развития внутриплитового магматизма.

СООТНОШЕНИЕ ВНУТРИПЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА И ГРАНИЦ ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ, ГОРЯЧИЕ И ХОЛОДНЫЕ ПОЛЯ МАНТИИ ЗЕМЛИ

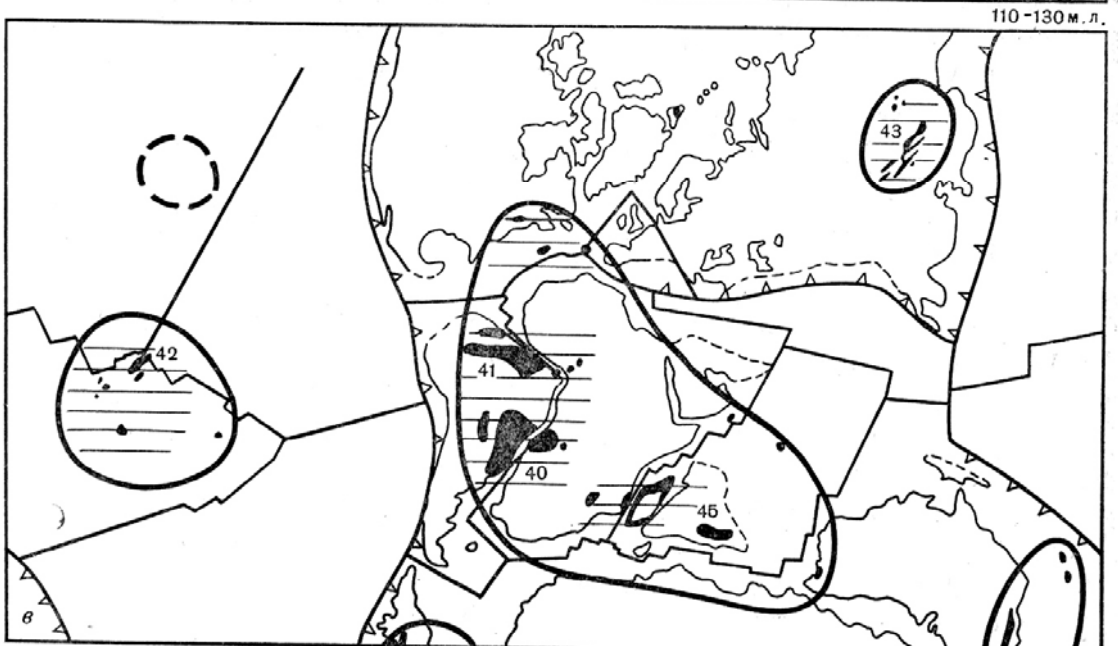
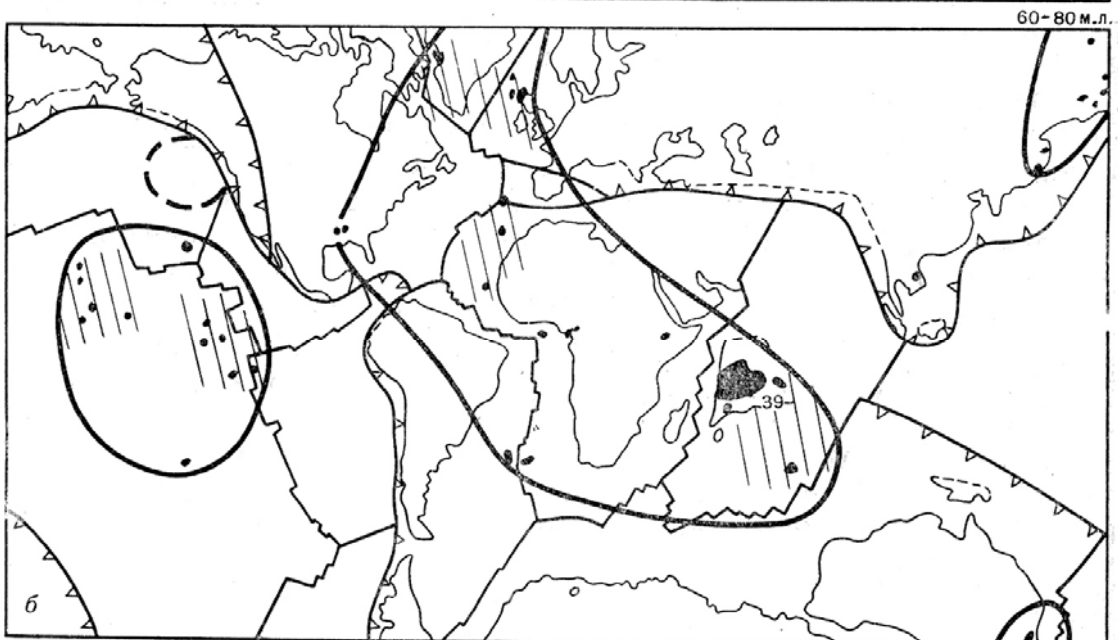
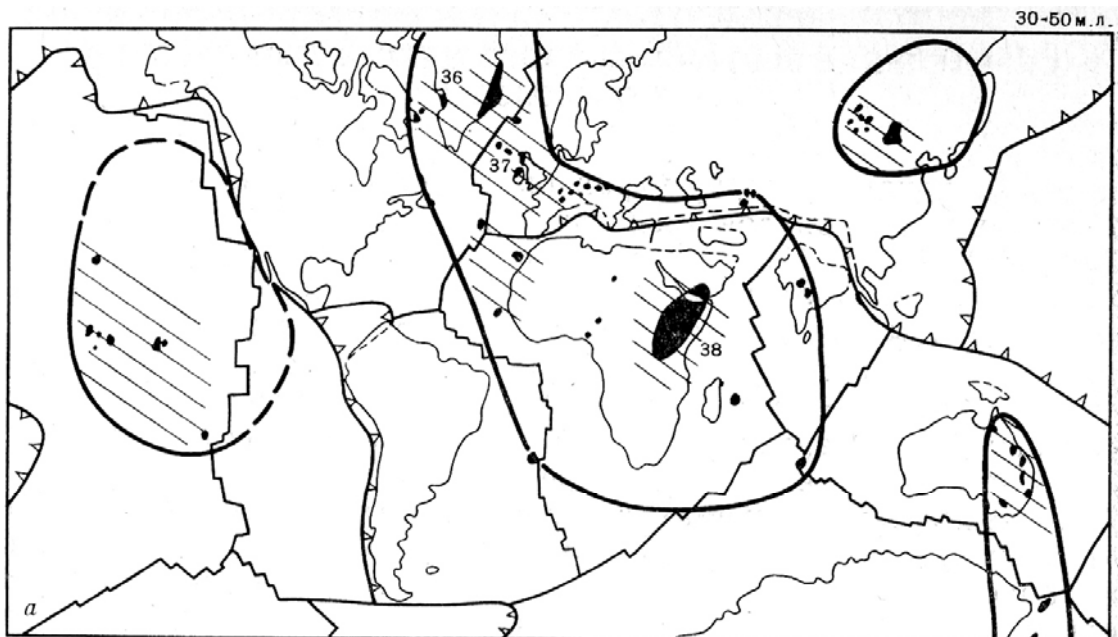
Как следует из рис. 2, области внутриплитового магматизма не подчинены границам литосферных плит. Особенно наглядно это видно в Африканской области. Базальтовый магматизм здесь совершенно не считается с Альпийским складчатым поясом и появляется как далеко за пределами пояса, так вблизи и даже внутри него. Срединно-океанические хребты частью расположены внутри очерченных областей, но в южной части Тихого океана, восточной части Индийского океана и в Арктике они не попадают в эти области. В отличие от представления о мантийных струях вырисовываются значительно более обширные области: их поперечник измеряется для крупных областей 9000–10 000 км (1/4 земного экватора), а для малых – 3000–4000 км.

Неравномерность распределения внутриплитового магматизма на земной поверхности, несомненно, отражает крупнейшие неоднородности в мантии и, очевидно, в достаточно глубокой мантии. Существование областей концентрации базальтового магматизма на поверхности Земли свидетельствует о соответствующем разогреве мантии под этими областями. Мы предлагаем в дальнейшем именовать такие области горячими полями мантии, противопоставляя их холодным полям, где внутриплитовый магматизм отсутствует.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРИПЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА В МЕЗОЗОЕ И КАЙНОЗОЕ

На рис. 2 показано распространение внутриплитового магматизма для следующих интервалов геологического времени: 30–50, 60–80, 100–120, 140–160 и 190–210 млн лет. Во всех случаях в качестве основы взяты палеогеодинамические реконструкции, на которых восстановлены положения континентов и океанов и прошлые границы литосферных плит, а сами реконструкции ориентированы относительно полюсов Земли в соответствии с палеомагнитными данными. Следовательно, контуры вулканических полей на схемах отвечают их истинному прежнему положению на земной сфере.

В океанах точки на схемах соответствуют пересчитанному на данный момент времени положению подводных гор и вулканических островов данного возраста. Восстановлены также первичные положения подводных массивов на время их образования: поднятия Хесса на уровне 80 млн лет, Шатского – 120 млн лет. На срезе 140–160 млн лет показан подводный массив Мид-Пасифик, расположенный внутри систем мезозойских магнитных аномалии.



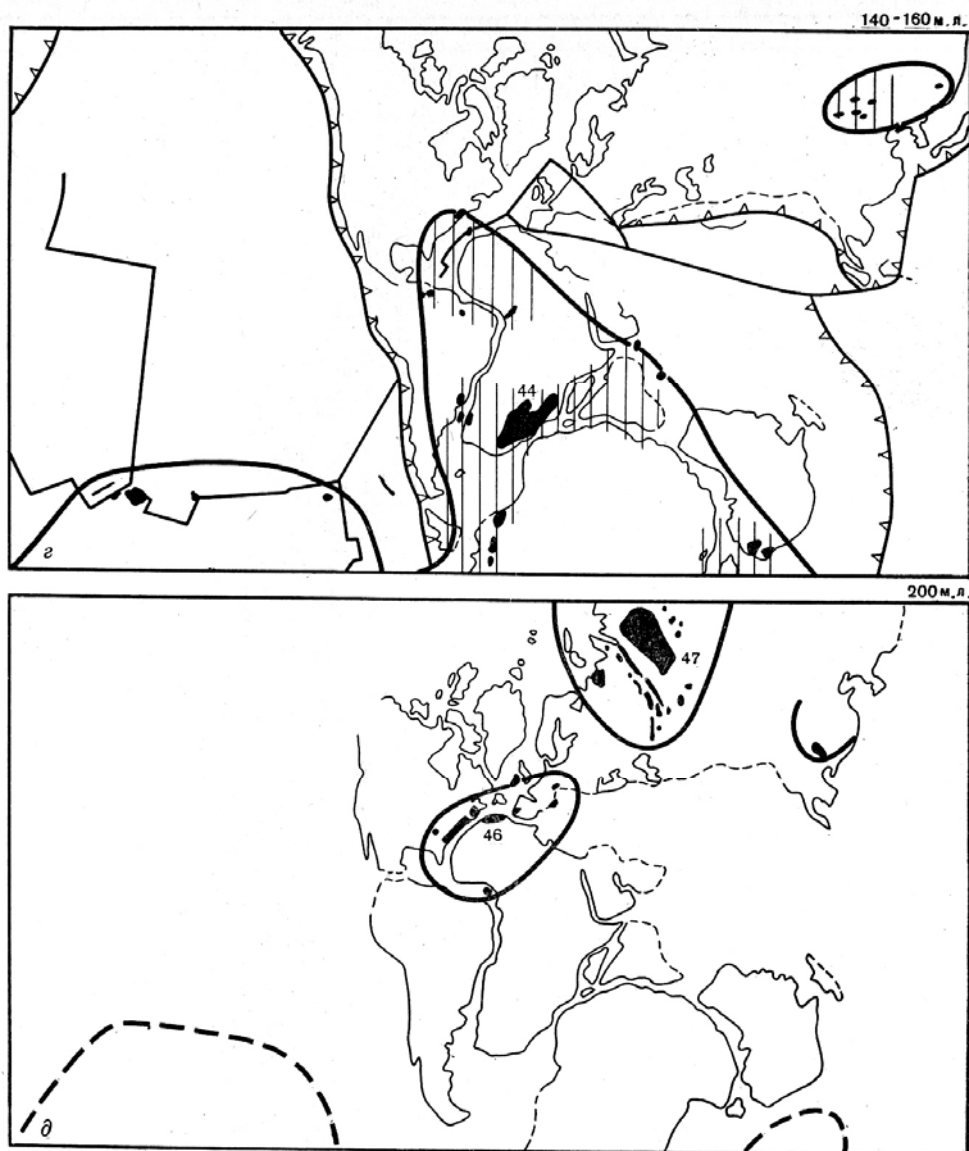


Рис. 2. Схемы распространения внутриплитового магматизма в кайнозое и мезозое.

а – 30–50 млн лет, б – 60–80, в – 100–120, г – 140–160, д – 190–210 млн лет. Условные знаки те же, что на рис. 1. Основой являются палеогеодинамические реконструкции [9, 10, 59]

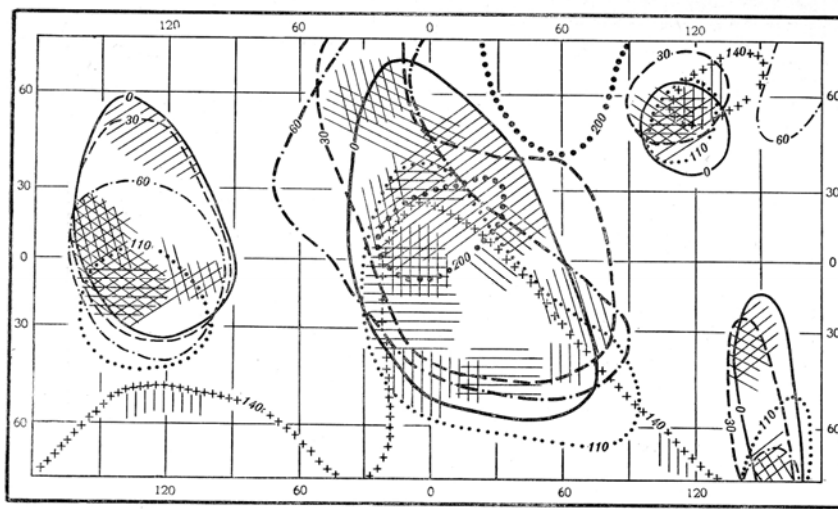
На континентах в мезозойско-кайнозойское время большое место среди внутриплитового магматизма занимают траппы. Поля платобазальтов на схеме 30–50 млн лет показаны в Эфиопии и в Туленско-Гренландской провинции. К уровню 60–80 млн лет относятся траппы Индии, к уровню 100–120 млн лет – траппы Южной Америки, Мадагаскара и Восточной Австралии, Раджмахальские траппы Индии, 160 млн лет – траппы системы Карру в Африке и трапповые поля Антарктиды. В Центральноазиатской провинции показаны эоцен-олигоценые платобазальты Центральной Монголии, нижнемеловые базальты Восточной Монголии и Забайкалья, юрские щелочные породы Восточной Монголии и Сихотэ-Алиня.

Для уровня 190–210 млн лет материалы по океану практически отсутствуют. На континентах этот период отмечен широким развитием траппов

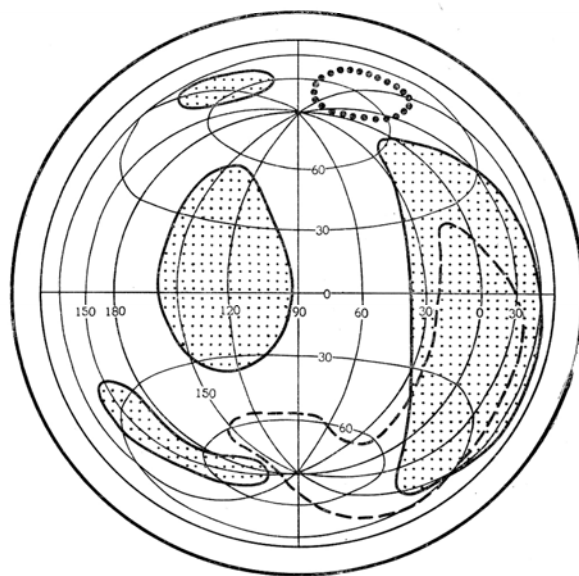
Сибири. Поля базальтов этого возраста известны в Ньюаркском грабене и в его аналогах на Востоке Северной Америки и в ряде грабенов Северной Африки, где они предшествовали раскрытию в юре Северной Атлантики. Видимо, к этому же времени относятся базальты Эйменьшань (Омэйшань) в Китае [26].

На любой из схем видно, что распределение внутриплитового магматизма, как и сейчас, было неравномерным. Можно обособить ряд областей, которые оконтурены на каждой схеме. На схемах 30–50, 60–80 и 100–120 млн лет сохраняются те же области, что и сейчас, т. е. две крупные – Тихоокеанская и Африканская – и две малые – Центральноазиатская и Тасманская. На уровне 140–160 млн лет выделяется только одна крупная область, протягивающаяся в меридиональном направлении от экватора на юг через Африку, Антарктиду и южный полюс до южной части Тихого океана. В это время уже существовала Центральноазиатская малая область. Резко отличным от современного было распределение внутриплитового магматизма 200 млн лет назад. Для этого времени намечаются две области – Сибирская на севере, в районе 60° с.ш., и Центральноатлантическая. Если сопоставить схемы между собой (рис. 3), то четко видно, что контуры областей внутриплитового магматизма сохраняли одно и то же положение в течение последних 120 млн лет. Центры обеих крупных областей были все это время вблизи экватора. В предыдущие 80 млн лет (с 200 до 120 млн лет) такой устойчивости в распределении базальтового вулканизма не наблюдается. 200 млн лет назад главная область вулканизма находилась недалеко от северного полюса. 160 млн лет назад она оказалась в южном полушарии, а к 120 млн лет назад эта область как бы распалась на две половины, причем каждая из них переместилась к северу, к экватору, заняв примерно современное положение. В раннем мезозое, таким образом, система горячих полей в мантии была неустойчивой, и только к меловому периоду она стала стационарной. Можно сопоставить это событие с моментом распада Пангеи и с установившимся к середине мезозоя устойчивым раскрытием молодых океанов.

Надо, очевидно, иметь в виду, что горячие поля состоят из серии более мелких «пятен», которые обычно называют горячими точками. В движении литосферных плит по отношению к горячим пятнам вырисовываются интересные детали. Например, Северная Америка на протяжении почти всего мезозоя – кайнозоя была лишена внутриплитового вулканизма. Только тогда, когда из-за раскрытия Атлантики она продвинулась на запад и перекрыла своим краем горячее пятно в Тихом океане, начались излияния колумбийских платобазальтов. Другой пример: знаменитые декканские траппы Индии образовывались 60–70 млн лет назад, когда Индия проходила над горячими точками Маврикий и Амстердам, т. е. над теми точками, которые после ухода Индии на север были ответственны за образование Мальдивского и Восточно-Индийского хребтов.



а



б

Рис. 3. Сопоставление положения горячих полей в разные отрезки мезозоя и кайнозоя а – в проекции Меркатора. Линии разного типа очерчивают контуры разновозрастных горячих полей; цифры – возраст в млн лет. Заштрихованные контуры показывают наложение штриховок, отвечающих разным возрастам на рис. 2.6 – в проекции Ламберта. Оконтурены сплошной линией и покрыты точками горячие поля с 120 млн лет до современности; оконтурено пунктирной линией горячее поле на время 140–160 млн лет; оконтурено точечной линией горячее поле на время 190–210 млн лет.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ ВНУТРИПЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА

Все породы внутриплитового магматизма являются неистощенными по сравнению с базальтами СОХ (табл. 1). Это наглядно видно при сравнении петрохимически близких толеитовых базальтов океанических островов и базальтов СОХ. На рис. 4, а показано соотношение 11 литофильных элементов с крупными ионными радиусами в толеитовых базальтах океанических островов по отношению к базальтам СОХ. Видно, что концентрация этих элементов в толеитах островов в 2–3 раза выше, чем в базальтах СОХ. В щелочных породах содержания всех этих элементов еще выше.

Таблица 1

	Толеитовый базальт СОХ	Толеитовый базальт окраинных островов	Щелочной базальт окраинных островов	На-базальт континентальных рифтов	К-базальт континентальных рифтов	Недифференцированные траппы
SiO ₂	50,14	48,80	48,12	46,62	45,31	48,05
TiO ₂	1,40	2,38	2,96	2,41	2,93	1,48
Al ₂ O ₃	15,65	14,21	14,70	13,55	14,53	16,13
ΣFeO + Fe ₂ O ₃	9,84	11,74	12,76	14,03	14,03	12,71
MgO	7,87	7,75	7,02	7,38	5,78	6,82
CaO	11,66	10,71	10,01	10,10	10,68	10,85
Na ₂ O	2,61	2,29	3,05	3,27	3,34	2,32
K ₂ O	0,17	0,37	0,92	1,19	3,16	0,56
Rb	1,5	7,2	22	33	130	16
Ba	22	127	306	455	370	360
Sr	129	288	490	660	1300	690
Ni	113	92	103	111	100	110
Co	41	50	41	50	49	34
Cr	302	160	150	250	307	180
V	312	455	340	250	265	190
La	3,5	13	22	47	80	17
Ce	11,1	29	86	101	167	66
Nd	10,4	18	35	45	79	32
Eu	1,35	1,9	2,2	1,9	2,1	2,7
Yb	3,3	3,2	3,1	2,1	3,1	2,7
Y	33	50	34	27	36	25
Zr	95	161	238	310	400	130
Hf	–	4,9	3,2	–	–	5
Nb	–	18	32	50	110	3,2
Ta	–	1,6	1,9	3,2	9,2	0,5

Примечание. Средние значения из разных источников взяты из [18]; данные по траппам из [1, 27].

Геохимические различия двух типов базальтов океана проступают и при сравнении распределений в них редкоземельных элементов (РЗЭ). Во всех породах островов содержания легких лантаноидов значительно выше, чем в базальтах СОХ. Это видно на графиках нормированных содержаний РЗЭ (рис. 4, б) и при сравнении отношения легкого и тяжелого лантаноида (рис. 4, в) в обоих типах базальтов. Вулканические породы океанических островов и базальты СОХ отличаются и по изотопному составу стронция, неодима, свинца, Отношения $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ в островах в среднем составляет 0,7038, варьируя от

0,7030 до 0,7054 [40], а в базальтах СОХ оно равно 0,7028 [34]. Отношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ для базальтов островов меньше 0,5130, а для базальтов СОХ – 0,5130–0,5133 [52], соответственно $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ равны 19,3–20,4 и 17,8–18,8 [53, 61].

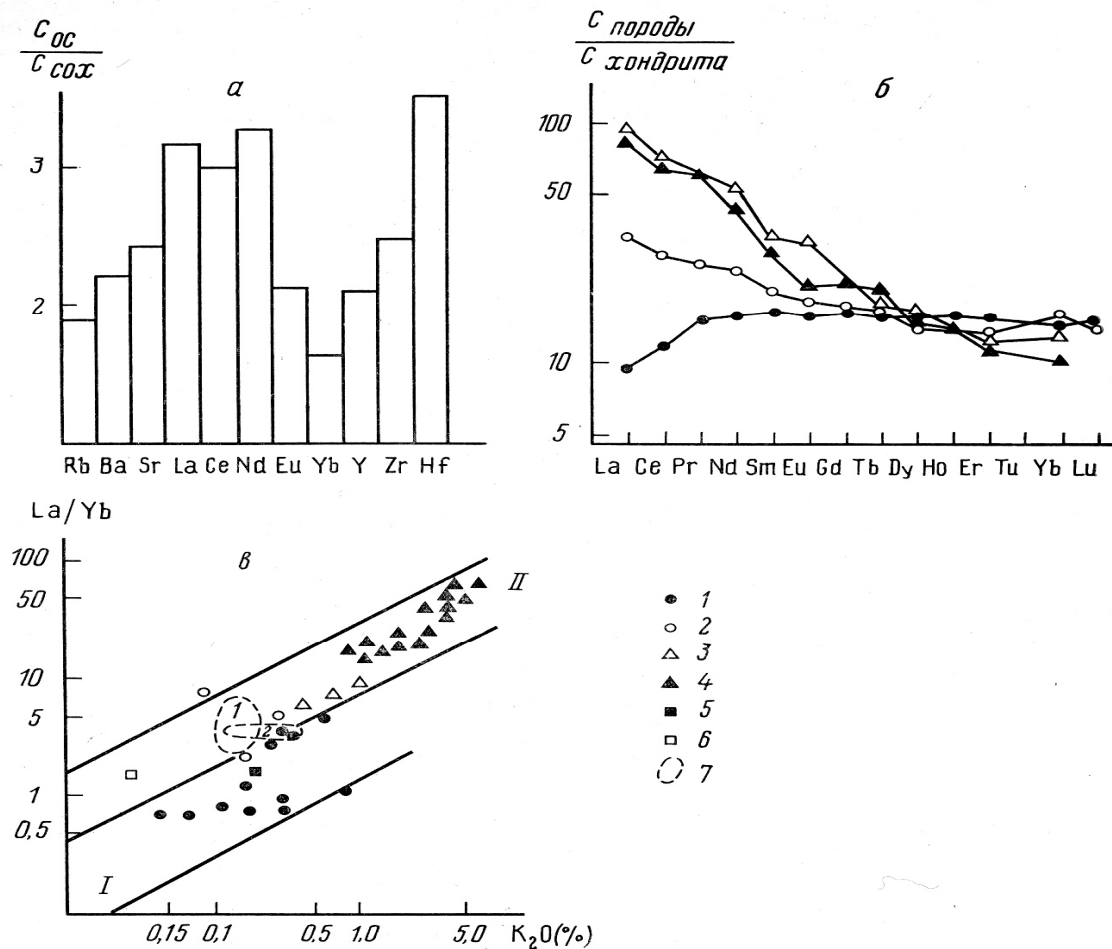


Рис. 4. Геохимическая характеристика внутриплитового магматизма. Использованы материалы 10. А. Балашова [2], Б.Г. Лутца [21], Л.И. Зубатаревой и др. [11], М.И. Кузьмина [18].

а – отношения концентраций литофильных элементов в базальтах СОХ и базальтах океанических островов при одинаковых петрохимических характеристиках $\text{SiO}_2 = 45\text{--}50\%$, $\text{K}_{\text{Fe}} = 0,4\text{--}0,6$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0,10\text{--}1,0$. б – график нормированных по отношению к хондриту содержаний редкоземельных элементов в базальтах океанических островов, континентальных рифтов и срединно-океанических хребтов, в – график зависимости величины отношения La/Yb от K_2O . I – поле толеитовых базальтов СОХ, II – поле внутриплитовых базальтов. 1 – базальты СОХ, 2 – толеитовые базальты островов, 3 – щелочные базальты островов, 4 – щелочные базальты континентальных рифтов, 5 – хондриты, 6 – метеорит Альянде, 7 – поля толеитовых базальтов Исландии (1) и Гавайских островов (2).

Все геохимические особенности базальтов островов сохраняются во внутриплитовых базальтах континентов, в том числе и в траппах. Конечно, в какой-то мере обогащенность континентальных пород литофильными элементами (особенно калием, рубидием, радиогенным стронцием) может быть объяснена контаминацией материала континентальной коры. Однако общая тенденция обогащения литофильными элементами первична. Как в

океанах, так и на континентах внутриплитовый магматизм отвечает геохимическим аномалиям, которые имеют мантийный источник. Эти аномалии надежно установлены в океане, например, для Исландии, где в направлении на юг от острова в базальтах хребта Рейкьянес содержания лантана уменьшаются на протяжении 500 км от 6,5 до 1,5 г/т [56]. Геохимическая аномалия устанавливается на континенте в провинции Бассейнов и Хребтов. Здесь к подошве коры подходит слой разуплотненной мантии со скоростями сейсмических волн 7,1 км/с, т. е. астеносферный выступ. К выступу приурочен район, в котором отношение изотопов стронция в базальтах больше 0,7045, а также отмечаются повышенные содержания стронция и бария [18, 44]. Это указывает на источник радиогенного стронция в астеносферном выступе.

ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВНУТРИПЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА

Мантийная природа внутриплитового магматизма сомнений не вызывает. Вопрос стоит в том: связаны ли различия в составе, например базальтов океанических островов и базальтов СОХ с гетерогенностью мантии по глубине или определяются термодинамическими условиями плавления мантийного вещества.

Геохимические данные свидетельствуют в пользу первого предположения [18, 37, 52, 56, 68]. Толейтовые базальты океанических островов, как и базальты СОХ, должны образовываться при большем проценте частичного плавления. Тем не менее они обогащены литофильными элементами. Поскольку условия выплавки петрохимически одинаковых базальтов должны быть близкими, трудно ожидать, что может произойти увеличение содержания элементов в 2–3 раза, если не предполагать обогащенность мантии под океаническими островами теми же элементами. В пользу разного состава мантии под островами и срединно-океаническими хребтами говорят и отмеченные различия в соотношениях РЗЭ и изотопов Sr, Nd, Pb в базальтах.

Можно привести расчет баланса литофильных элементов при выплавке базальтов из мантии разного состава. Суть расчета состоит в следующем. Исходя из концентраций, подсчитывается абсолютное количество каждого из редких элементов в единице объема мантийного вещества со средней плотностью 3,3 г/см³. Количество любого литофильного элемента, которое можно извлечь из единицы объема, равно общей массе элемента за вычетом его содержания в остатке. За остаток принимается альпинотипный гипербазит. Возможные количества поступления литофильных элементов в базальтовую выплавку вычисляются исходя из того, что щелочные и толейтовые базальты образуются соответственно при 5 и 20 % выплавки, т. е. из 1 м³ мантии должно образоваться 165 кг щелочного и 660 кг толейтового базальта. Как показывают экспериментальные исследования [28], при меньших процентах выплавки на любых глубинах будут формироваться пикриты, а не базальты. Результаты расчета сведены в табл. 5. Если за исходный состав мантии, родоначальной для лав океанических островов, взять океанический лерцолит, который является материнским для базальтов СОХ [8, 31], то абсолютного количества литофильных эле-

ментов не хватает для образования ни щелочных, ни толеитовых базальтов океанических островов. Его не хватает даже в том случае, если экстрагировать всю массу литофильных элементов, не учитывая остатка. В табл. 2 приведены данные по другим породам, которые можно рассматривать как гипотетическое вещество мантии, в частности гипербазиты о. Св. Павла, обладающие отношением $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, равным 0,7044, и повышенным содержанием многих литофильных элементов [39, 72], а также углистые хондриты – детально изученный метеорит Алленде с большим количеством тугоплавких включений [46, 67]. По содержанию: большинства рассматриваемых литофильных элементов эти породы близки к океаническому лерцолиту, т. е. они также не могут обеспечить количество литофильных элементов в базальтах океанических островов.

Таким образом, безусловным является вывод, что базальты океанических островов и базальты СОХ питаются из мантии разного состава.

	Содержания редких элементов (в г/т) и их масса (в г) в 1 м ³ вещества мантии с плотностью 3,3 г/см ³					Масса элемента в 660 кг толеитового базальта	То же, в 165 кг щелочного базальта
	1 океанический лерцолит	2 гипербазитовый о. Св. Павла	3 хондрит	4 углистый хондрит	5 альпино-типный гипербазит		
Rb	0,5 1,65	0,67 2,21	2,5 8,25	1,3 4,29	0,24 0,79	4,75	3,63
Ba	7,6 25,1	– –	3,4 11,22	– –	2,6 8,58	83,82	50,49
Sr	13,6 44,9	30 99,0	11 36,3	– –	2,8 9,24	190,08	80,85
La	0,86 2,84	3,2 10,56	0,3 0,99	0,44 1,45	0,51 1,68	8,58	3,63
Ce	2,10 6,93	4,4 14,52	0,84 2,77	1,25 4,12	0,90 2,97	19,14	14,19
Nd	1,30 4,29	2,0 6,0	0,58 1,91	0,91 3,0	0,54 1,78	11,88	5,78
Eu	0,12 0,4	0,11 0,36	0,074 0,24	0,107 0,35	0,032 0,11	1,25	0,36
Yb	0,43 1,42	0,21 0,69	0,17 0,56	0,32 1,06	0,16 0,53	2,11	0,51
Y	3,45 11,38	1,6 5,28	1,8 5,94	3,0 9,9	1,22 4,03	33,00	5,61
Zr	– –	– –	33 108,9	12 39,6	33 108,9	106,26	39,27
Hf	– –	– –	1,3 4,29	0,16 0,53	– –	3,23	0,53

Примечание. Содержания в океаническом лерцолите, хондрите и альпано-типном гипербазите приведены по [21], в гипербазитах о. Св. Павла по [43, 72], в углистых хондритах метеорита Алленде по [46, 67]; содержания в толеитовых и

Базальты СОХ формируются за счет истощенного вещества астеносферы. Учитывая большую протяженность хребтов и то, что в любом месте, где литосфера раскалывается на всю ее мощность, идут изливания океанических толеитов – пример тому рифт Красного моря – вывод об истощенности мантии под хребтами можно распространить на всю астеносферу Земли, т. е. на всю верхнюю мантию.

Для океанических островов приходится предполагать подток глубинного вещества, обогащенного литофильными элементами. Свидетелем подтока может быть появление метасоматических амфибола и флогопита в мантийных модулях из щелочных базальтов [47]. Наиболее вероятной оболочкой, откуда может поступать это вещество, является нижняя мантия. Это сходно с представлением о мантийных плюмажах, но в отличие от них существуют скорее, обширные потоки, приуроченные к горячим полям мантии.

Таблица 2

Расчет баланса литофильных элементов при выплавлении толеитовых (20% выплавки) и щелочных (5% выплавки) базальтов островов из вещества мантии

Дефицит или избыток массы элемента в веществе мантии							
для толеитового базальта $C_M - (C_T + C_A)$ вещество мантии				для щелочного базальта $C_M - (C_{щ} + C_A)$ вещество мантии			
1	2	3	4	1	2	3	4
-3,89	-3,33	+2,71	-1,25	-2,77	-2,21	+3,83	-0,13
-67,30	–	-81,18	–	-33,97	–	-47,85	–
-154,42	-100,32	-163,02	–	-45,19	+8,91	-53,79	–
-7,42	+0,30	-9,27	-8,81	-2,47	-5,25	-4,32	-3,87
-15,21	-7,59	-19,34	-17,99	+10,26	-2,64	-14,39	-13,04
-9,36	-11,07	-11,75	-10,66	-3,26	-0,96	-5,65	-4,56
-0,96	-1,00	-1,12	-1,01	-0,07	-0,11	-0,23	-0,12
-1,22	-1,95	-2,08	-1,58	-0,38	-0,35	-0,48	+0,02
-25,65	-31,75	-31,09	-27,13	+1,74	-4,36	-4,40	+0,26
–	–	-106,26	-175,56	–	–	-39,27	-108,57
–	–	+1,06	-2,67	–	–	+3,76	0

щелочных базальтах взяты из табл. 1. C_M – содержания в 1 м^3 вещества мантии, C_A – в 1 м^3 альпинотипного гипербазита (тугоплавкий остаток); C_T и $C_{щ}$ – содержания в расплаве толеитового или щелочного базальта.

По сравнению с истощенной верхней мантией нижняя мантия является неистощенной. Следовательно, нижняя мантия отличается по составу от верхней, а граница между ними отвечает не только фазовым переходам [28], а также геохимической неоднородности [37]. Вещество мантии первоначально, скорее всего, было однородным, а затем разделилось на верхнюю и нижнюю мантию. За счет дифференциации верхней мантии возникла континентальная литосфера, насыщенная литофильными элементами, а остатком явилась истощенная астеносфера. За счет астеносферы в срединно-океанических хребтах формируется новая океаническая кора, которая, погружаясь в желоба, возвращается в астеносферу.

Время максимального образования континентальной коры, 1700–2500 млн лет назад [35], можно считать временем максимальной дифференциации верхней мантии, а следовательно, отделения ее от нижней мантии. Это же время устанавливается независимо по изотопным данным. Изотопный состав стронция, свинца и неодима в базальтах островов очень непостоянен и значительно отличается от базальтов СОХ. Для стронция устанавливается положительная «изохронная» корреляция между величинами отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, причем определяемый по «лжеизохроне» возраст равен 1600–2000 млн лет [40]. Учитывая постоянство величины изотопного отношения стронция для базальтов СОХ – 0,7028, а также то, что именно этому значению отвечает величина начального отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ на «изохронном» графике базальтов островов, можно думать, что возраст 2000 млн лет отвечает времени формирования истощенной мантии астеносферного слоя. При такой трактовке базальты островов являются продуктами смешения вещества астеносферы с веществом неистощенной нижней мантии, как это предполагалось Дж. Шиллингом для образования базальтов Исландии [56]. Аналогичным образом выявляется гетерогенность мантии по изотопным соотношениям неодима. Возраст отделения гомогенного вещества астеносферы оценивается по этим данным приблизительно в 2000 млн лет [52, 53, 60, 61].

Геохимические данные позволяют предполагать стратификацию мантии. Она обусловлена различиями в составе верхней и нижней мантии, которые возникли не раньше чем 2 млрд лет назад. В это время происходила интенсивная дифференциация верхней мантии на континентальную литосферу, обогащенную литофильными элементами, и астеносферу, истощенную ими. Геохимическое взаимодействие между нижней и верхней мантией осуществляется, скорее всего, по модели Г. Вассербурга и Д. Де Паоло [68], в соответствии с которой геохимия внутриплитового вулканизма определяется нижнемантийным источником, а базальтов СОХ – астеносферным источником. На океанических островах может происходить смешение обоих источников.

ТЕКТОНИКА ПЛИТ И ТЕКТОНИКА ГОРЯЧИХ ПОЛЕЙ

Таким образом, горячие поля мантии Земли обладают следующими свойствами: а) их размеры составляют от 2000–3000 до 9000–10 000 км в

поперечнике; б) для них характерна неподвижность, сохранение одного и того же положения по отношению к полюсам Земли на протяжении длительного времени, измеряемого, по крайней мере, 120 млн лет, т. е. с периода раскола Гондваны; в) порождаемый ими внутриплитовый магматизм имеет свои источники в нижней мантии; г) контуры горячих полей не считаются с границами литосферных плит и даже, напротив, раскол Пангеи произошел на месте самого большого горячего поля в мантии.

Можно заключить, что процессы перемещения энергии и вещества внутри Земли происходят на двух уровнях, или ярусах: нижнемантийном, где возникают и развиваются горячие поля, и верхнем, охватывающем верхнюю мантию и литосферу Земли, где идет движение и взаимодействие литосферных плит. Следовательно, можно говорить о глубинных процессах, или тектонике горячих полей, и процессах в верхних оболочках, или тектонике литосферных плит. Тем самым действие тектоники плит ограничивается лишь верхними сферами Земли. Проявление тектоники горячих полей на поверхности Земли отражается главным образом во внутриплитовом магматизме, который возникает там, где, образно говоря, «дыхание» горячих полей нижней мантии пронизывает верхние оболочки Земли.

Естественно предположить, что тектоника горячих полей, доставляющая вещество и энергию из земных недр, порождает, как более глубинная, тектонику плит. В этом плане наилучшей представляется идея о двухъярусной конвекции [52].

Горячие поля можно интерпретировать как показатели подъема вещества и энергии нижней мантии, а располагающиеся между ними холодные поля – как показатели опускания этого вещества, т.е. вырисовывается система конвективных течений в нижней мантии.

Аргументы в пользу возможности вовлечения в конвекцию нижнемантийного материала приводились исследователями [25, 30, 31, 42, 54, 57]. Вполне правомерно сопоставление горячих полей с восходящими, а холодных полей – с нисходящими ветвями нижнемантийных конвективных течений.

Распределение горячих полей на площади отражает существование двух крупных восходящих потоков (с двумя мелкими ответвлениями в Центральноазиатской и Тасманской областях) и соответственно двух нисходящих потоков, т. е. современную двухъячеистую систему конвекции в нижней мантии. Нельзя не обратить внимания, что такую конвекцию из двух ячеек и с восходящими потоками как раз на месте намеченных горячих полей рисовали О.Г. Сорохтин [30] и А.С. Монин [25] для глобальной конвекции.

Мы должны далее заключить, что в верхней мантии, в частности в астеносфере, система конвекции другая, чем в нижней мантии: если в нижней мантии конвекция состоит из двух ячеек, то в верхней мантии она должна быть скорее всего многоячеистой, учитывая необходимость: того, чтобы протяженность ячеек была соизмерима с мощностью верхней мантии – 600–700 км; в нижней мантии наиболее вероятно химико-плотностная

природа конвекции, по модели О.Г. Сорохтина [30], тогда как в верхней мантии следует, видимо, предполагать термальную конвекцию за счет подогрева снизу, из горячих полей, т. е. из восходящих ветвей нижнемантийной конвекции. Нижняя мантия по составу ближе к первичному недифференцированному веществу Земли, чем истощенная верхняя мантия. В нижней мантии продолжается процесс дифференциации с выпадением вещества ядра и поступлением более легкого материала и энергии вверх, а в верхней мантии на протяжении последних 1,5–2 млрд лет перемешивается одна и та же истощенная перидотитовый субстрат.

В соответствии с гипотезой горячих полей нет узких мантийных струй, идущих от границы с ядром до подошвы литосферы. Однако есть выступы, или те же плюмажи, отходящие от границы раздела нижней и верхней мантии и как бы увенчивающие горячие поля Земли. Они порождают внутриплитовый магматизм и создают систему горячих точек. Неподвижность горячих точек связана с постоянством положения горячих полей, хотя не исключены эфемерные горячие точки, появляющиеся то в одном, то в другом месте над горячим полем. Скорости перемещения вещества в нижней мантии, судя по смещениям горячих точек [48], измеряются миллиметрами в год, т. е. на порядок меньше скорости движения литосферных плит и, вероятно, скорости конвективных движений в астеносфере.

На протяжении последних 120 млн лет положение горячих полей, как говорилось, было более или менее постоянным. Для начала мезозоя вместо стационарной картины намечается неустойчивость полей. По-видимому, эта неустойчивость отражает переход от одноячейстой системы конвекции, как это предполагается О.Г. Сорохтиным [30], Л.П. Зоненшайном и А.М. Городницким [9] для времени существования Пангеи в позднем палеозое и раннем мезозое, к двухъячейстой конвекции в позднем мезозое и кайнозое, когда уже произошел раскол Пангеи. Если тектоника плит ответственна за раскрытие и закрытие конкретных океанов, за образование складчатых поясов Земли, то с тектоникой горячих полей, с их перестройками связана более крупная цикличность в развитии Земли: образование и распад суперконтинентов (Пангеи) в течение каждых 600–800 млн лет.

Что касается небольших побочных ветвей, таких, как Центральноазиатская и Тасманская, трудно сказать, почему они возникают, но надо обратить внимание, что при численном моделировании на ЭВМ глобальной конвекции, осуществленном В.П. Кеонджяном [14], помимо главных ячеек постоянно, при разных вариантах, получались побочные малые ветви.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы стремились показать, что внутриплитовый магматизм приурочен к обширным, в тысячи километров поперечником, областям Земли и что эти области на протяжении последних 120 млн лет сохраняют неизменным положение по отношению к полюсам Земли. Внутриплитовые базальты в 2–3 раза обогащены литофильными элементами с крупными ионными ра-

диусами и радиогенным стронцием по сравнению с базальтами срединно-океанических хребтов, и их выплавка может происходить лишь из мантии, насыщенной этими элементами, в отличие от истощенной мантии, родоначальной для базальтов срединных хребтов. В связи с этим мы пришли к заключению, что источник внутриплитового магматизма лежит в нижней мантии. Области проявления внутриплитового магматизма удалось трактовать как поверхностное отражение горячих полей в нижней мантии – обширных участков, разогретых относительно смежных частей нижней мантии. Поскольку расположение и конфигурация горячих полей не согласуются с границами литосферных плит, был сделан вывод, что процессы перемещения вещества и энергии в Земле происходят отдельно на двух уровнях, в нижней и верхней мантии, и что для нижней мантии можно говорить о тектонике полей, тогда как для верхней мантии – о тектонике литосферных плит. Наиболее вероятным кажется предположение о двухъярусной конвекции с двумя ячейками, движимыми химико-плотностной дифференциацией (по модели Мони́на–Сорохти́на), в нижней мантии и с многими ячейками термальной конвекции в верхней. Мантийные плюмажи и горячие точки представляют собой выступы с кровли восходящих течений в нижней мантии, т. е. с поверхности горячих полей. Думается, что тектоника горячих полей свойственна всем планетам земной группы, тогда как тектоника литосферных плит – Земле и, по-видимому Венере.

Авторы искренне признательны за советы и критические замечания В.Е. Хайну, П.Н. Кропоткину, А.И. Альмухамедову, О.Г. Сорохтину, Ю.А. Зорину, С.И. Шерману.

Литература

1. Альмухамедов А.И., Петров Л.Л. Фтор, бор и бериллий в траппах Сибирской платформы, – *Геохимия*, 1978, № 7, с. 979–990.
2. Балашов Ю.А. *Геохимия редкоземельных элементов*. М.: Наука, 1976. 267 с.
3. Берк К., Уилсон Д.Т. Горячие точки на поверхности Земли. – *Успехи физ. наук*, 1977, т. 123, вып. 4, с. 615–632.
4. Геншафт Ю.С., Салтыковский А.Я. Проблемы глубинного строения Монголии. – В кн.: *Геология и магматизм Монголии*. М.: Наука, 1979, с. 183–194.
5. *Главнейшие провинции и формации щелочных пород*. М.: Наука, 1974. 376 с.
6. Грин Д.К., Рингвуд А.Е. *Петрология верхней мантии*. М.: Мир, 1968. 334 с.
7. Девяткин Е.В. *Кайнозой Внутренней Азии*. М.: Наука, 1981. 195 с.
8. Дмитриев Л.В., Уханов А.В., Шараськин А.Я. К вопросу о составе вещества верхней мантии. – *Геохимия*, 1972, № 10, с. 1155–1167.
9. Зоненшайн Л.П., Городницкий А.М. Палеозойские и мезозойские реконструкции континентов и океанов. – *Геотектоника*, 1978, № 3, с. 3–25.
10. Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А. *Введение в геодинамику*. М.: Недра, 1979. 311 с.

11. Зубатарева Л.И., Кабанова Е.С., Рудник Г.Б. Магматизм (магматические породы) океанических островов. Итоги науки и техники. Сер. Геохимия, минералогия петрография. Вып. 10. М.: ВИНТИ. 1976. 128 с.
12. Иллиес И.К. Рифтовые зоны Западной Европы и Альпийская система – В кн.: Проблемы рифтогенеза. Новосибирск: Наука, 1977, с. 89–103.
13. Казьмин В.Г. Особенности геодинамического развития Африкано-Аравийской рифтовой системы. – В кн.: Основные проблемы рифтогенеза. Новосибирск: Наука, 1977, с. 132–138.
14. Кеонджян В.П. Модель химико-плотностной дифференциации в мантии Земли. Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли, 1980, № 8, с. 3–15.
15. Кепежинскас В.В. Кайнозойские щелочные базальтоиды Монголии и их щелочные включения. М.: Наука, 1979. 312 с.
16. Киселев А.И., Медведев М.Е., Головкин Г.А. Вулканизм Байкальской рифтовой зоны и проблемы глубинного магмообразования. Новосибирск: Наука, 1979. 197 с.
17. Козлов В.В., Поникаров В.П., Разваляев А.В. Новейший вулканизм северного склона аравийской части Африканской платформы. – Вестн. МГУ, Геология, 1967, № 2, с. 42–51.
18. Кузьмин М.И. Геохимия фанерозойских магматических пород и геодинамические условия их формирования в подвижных поясах: Автореф. докт. дис. Иркутск: Ин-т геохимии, 1981. 50 с.
19. Логачев Н.А. Вулканогенные и осадочные формации рифтовых зон Восточной Африки. М.: Наука, 1977. 183 с.
20. Логачев Н.А., Флоренсов Н.А. Байкальская система рифтовых впадин. – В кн.: Роль рифтогенеза в истории Земли. Новосибирск: Наука, 1977, с. 19–29.
21. Лутц Б.Г. Химический состав континентальной коры и верхней мантии Земли. М.: Наука, 1975. 167 с.
22. Лучицкий И.В. Древние вулканические области южных материков в фанерозое. Новосибирск: Наука, 1978. 295 с.
23. Милановский Е.Е. Кинематика тектонических движений, термический режим и вулканизм Средиземноморского геосинклинального пояса и его «рамы» в орогенном этапе альпийского цикла. – Вулканология и сейсмология, 1981, № 4, с. 11–35.
24. Милановский Е.Е., Короновский Н.В. (Орогенный вулканизм и тектоника Альпийского пояса Евразии. М.: Недра, 1973. 279 с.
25. Монин А.С. История Земли. Л.: Наука, 1977. 228 с.
26. Основы тектоники Китая. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 524 с.
27. Нестеренко Г.В., Альмухамедов, А.И. Геохимия дифференцированных траппов. М.: Наука, 1978. 198 с.
28. Рингвуд А.Е. Состав и петрология мантии Земли. М.: Недра, 1981. 584 с.
29. Рогожина В.А. Область пониженных скоростей сейсмических волн в верхней мантии. – В кн.: Очерки по глубинному строению Байкальского рифта. Новосибирск: Наука, 1977, с. 29–48.
30. Сорохтин О.Г. Глобальная эволюция Земли. М.: Наука, 1974. 182 с.
31. Сорохтин О.Г. Геодинамика. Океанология. Геофизика океана. Т. 2. М.: Наука, 1979. 413 с.
32. Ушаков С.А. Строение и развитие Земли. Т. I. М.: ВИНТИ, 1974. 268 с.

33. Ушаков С.А. Гравитационное поле и рельеф дна океана. Л.: Недра, 1979. 295 с.
34. Фор Г., Пауэлл Дж. Изотопы стронция в геологии. М.: Мир, 1974. 214 с.
35. Хайн В.Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1973. 510 с.
36. Allegre C.J., Dupre B., Lambert V., Richard P. The subcontinental versus suboceanic debate. I. Lead-Neodymium – Strontium isotopes in primary alkali basalts from a shield area: the Ahoggar volcanic suite, – *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1981, v. 52, p. 85–92.
37. Anderson D.L. Chemical plumes in the mantle. – *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1975, v. 86, p. 1593–1600.
38. Berckhemer H., Baier B., Behle A., Burkhardt H., Gebrande H., Makris J., Miller H., Vees R. Deep seismic soundings in the Afar region and on highland of Ethiopia. – In: *Afar depression of Ethiopia. Proc. Int. Symp. on the Afar. V. 1. Inter-Un. Comm. Geodynamics, Sci. Rep 14. Stuttgart, 1975, p. 89–107.*
39. Bonatti E. Ancient continental mantle beneath oceanic ridges. – *J. Geophys. Res.*, 1971, v. 76, p. 3825–3831.
40. Brooks C., Hart S.R., Hofman A., James D.E. Rb–Sr-mantle isochrons from oceanic regions. – *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1976, v. 32, p. 51–61.
41. Chevallier L., Nougier J. Premiere etude volcano-structurale de l'ile de la Possesion, iles Crozet, ocean Indien austral. – *C. r. Acad. sci.*, 1981, ser. 2, t. 292, p. 363–368.
42. Davies G.F. Whole-mantle convection and plate tectonics. – *Geophys. J. roy. Astron. Soc.*, 1977, v. 49, p. 459–486.
43. Frey F.A. Rare earth and potassium abundances in the St. Paul's rocks. – *Earth planet. Sci. Lett.*, 1970, v. 7, p. 351–360.
44. Hedge C.E., Noble D.C. Upper Cenozoic basalts with high $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and Sr/Rb ratios, southern Great Basin, western US. – *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1971, v. 81, p. 3053–3070.
45. Girod M. Le massif volcaniques de l'Atakor (Hoggar, Sahara Algerien). Etude petrographiques, structural et volcanologique. Paris: Centre Nat. Rech. 1971. 157 p.
46. Grossman L. Refractory trace elements in Ca–Al-rich inclusions in the Al-lende meteorite. – *Geochim. et cosmochim. acta*, 1973, v. 37, p. 1119–1140.
47. Loid F.E., Baily D.K. Light element metasomatism of the continental mantle: the evidence and the consequences. – In: *Physics and Chemistry of the Earth. V. 9. N.Y.: Pergamon Press, 1975, p. 389–416.*
48. Molnar P., Atwater T. The relative motion of hot spots in the mantle. – *Nature*, 1973, v. 246, p. 288–291.
49. Morgan W.J. Convective plumes in the lower mantle. – *Nature*, 1971, v. 230, p. 42–43.
50. Morgan W.J. Deep mantle convection plumes and plate motions. – *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 1972, v. 56, p. 203–213.
51. O'Nions R.K., Evensen N.M., Hamilton P.J. Geochemical modelling of mantle differentiation and crustal growth. – *J. Geophys. Res.*, 1979, v. 84, p. 6091–6101.
52. O'Nions R.K., Hamilton P.J., Evensen N.M. The chemical evolution of the Earth mantle. – *Sci. Amer.*, 1980, v. 242, № 5, p. 91–101.
53. Oversby V.M., Gast P.W. Isotopic composition of lead from oceanic islands. – *J. Geophys. Res.*, 1970, v. 75, p. 2097–2114.

54. Ringwood A.E. Phase transformations and mantle dynamics. – *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1972, v. 14, p. 233–241.
55. Runcorn S.K. Some comments on the mechanism of continental drift. – In: *Mechanism of continental drift and plate tectonics*. L. – N. Y. – Toronto–Sydney: Acad. Press, 1980, p. 193–198.
56. Schilling J.G. Iceland mantle plume: geochemical study of Reykjanes Ridge – *Nature*, 1973, v. 242, p. 565–571.
57. Schubert G., Yuen D.A., Turcotte D.L. Role of phase transitions in a dynamic mantle. – *Geophys. J. roy. Astron. Soc.*, 1975, v. 42, p. 705–735.
58. Sesiano J. Le Hoggar et son volcanisme. – *Globe*, 1980, t. 120, p. 71–79.
59. Smith A.G., Briden J.C. *Mesozoic and Cenozoic paleocontinental maps*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1977. 63 p.
60. Sun S.S., Hakson J. Evolution of the mantle: geochemical evidence from alkali basalts. – *Geology*, 1975, v. 3, p. 297–302.
61. Tatsumoto M. Genetic relations of oceanic basalts as indicated by lead isotopes. – *Science*, 1966, v. 153, p. 1094–1101.
62. Thompson S.A., Zobacli M.L. Geophysics of the Colorado plateau uplift and mechanism. – In: *Papers presented to the Conference on Plateau uplift*. Lunar, a. Planet. Inst. Texas, 1978, p. 52–54.
63. Turcotte D.L. Membrane tectonics. – *Geophys. J. roy. Astron. Soc.*, 1974, v. 36, p. 33–42.
64. Turcotte D.L., Oxbourgh E.R. Mid plate tectonics. – *Nature*, 1973, v. 244, p. 337–339.
65. Vail J.R. Jebber-Marra, a dormant volcano in Darfour province, western Sudan. – *Bull. Volcanol.*, 1973, v. 36, p. 251–265.
66. Vincent P.M. The evolution of the Tibesti volcanic province, eastern Sahara. – In: *African magmatism and tectonics*. Edinburgh: Oliver & Boyd, 1970, p. 301–319.
67. Wakita H., Schmitt R.A. Rare earth and other elements abundances in the Alende meteorite. – *Nature*, 1970, v. 227, p. 471–479.
68. Wasserburg G.J., De Paolo D.J. Models of Earth structure inferred from neodymium and strontium isotopic abundances. – *Proc. Nation. Acad. Sci. USA*, 1979, v. 76, p. 3594–3596.
69. Wilson J.T. A possible origin of the Hawaiian Islands. – *Canad. J. Phys.*, 1963, v. 41, p. 863–866.
70. Wilson J.T. Evidence from ocean islands suggesting movement in the Earth. – *Phil. Trans, roy. Soc. L.*, 1965, ser. A, v. 258, p. 145–167.
71. Wilson J.T. Mantle plumes and plate motions. – *Tectonophysics*, 1973, v. 19, p. 149–164.
72. Wisemee J.D.H. Sant Paul rocks and the problem of the upper mantle. – *Geophys. J.*, 1966, v. 11, p. 519–525.

*Л.П. Зоненшайн, М.И. Кузьмин, А.П. Лисицын, Ю.А. Богданов,
А.М. Сагалевич, Б.В. Баранов*

Тектоника рифтовой долины Срединно-Атлантического хребта между 26 и 24° с. ш.: свидетельства вертикальных перемещений⁸

Был изучен отрезок Срединно-Атлантического хребта между 24 и 26° с. ш. во время 15-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» с использованием новых глубоководных обитаемых аппаратов «Мир-1» и «Мир-2». Рифтовая долина включает здесь семь магматических ячеек, которые находятся либо в конструктивной – вулканической, либо в деструктивной – невулканической фазе своей эволюции. Склоны двух типов обрамляют рифтовую долину. «Нормальные» склоны представлены серией сбросовых ступеней, наклоненных в сторону от рифтовой долины; они слабо возвышаются над неовулканическим хребтом в центре долины. «Аномальные» склоны подняты на 1–3 км над неовулканическим хребтом. На них обнажается почти ненарушенный разрез океанической коры от габбро через параллельные дайки до подушечных лав. Дайки падают вертикально, а лавы сохранили свое первичное залегание, что указывает на отсутствие вторичных наклонов блоков и говорит о преобладании чисто вертикального поднятия. Предполагается, что серпентинизация перидотитов верхней мантии ответственна за вертикальный подъем блоков на «аномальных» склонах. В деструктивные невулканические фазы морская вода по трещинам растяжения проникает сквозь кору до мантии, вызывая серпентинизацию перидотита и добавление серпентинитов в океанскую кору.

ВВЕДЕНИЕ

Срединно-Атлантический рифт между 26 и 24° с. ш., расположенный между областями TAG (Trans-Atlantic Geotravers) и MARK (Mid-Atlantic Ridge-Kane Fracture Zone), является, как и районы FAMOUS и AMAR [10], одним из наиболее изученных отрезков медленно спрединговых хребтов (рис. 1). Исследования в районе 26° с. ш. ведутся с начала 70-х годов [26, 28]. Они привели к открытию первых гидротермальных источников [27] в медленно спрединговых хребтах. Район MARK был подробно изучен несколькими научными экспедициями. Больше внимание здесь было уделено восточному отрезку Срединно-Атлантического хребта (САХ), вытянутому вдоль 45° з. д., где пройдено четыре скважины глубоководного бурения, в том числе через гидротермальные отложения месторождения Змеиное логово и через серпентиниты внутри рифтовой долины [8, 14–16, 18, 20]. Среди полученных новых результатов следует отметить следующие: 1) значительные вариации морфологии рифтовой долины вдоль оси хребта; 2) выделение в эволюции рифта вулканических и тектонических эпизо-

⁸ Опубликовано в журнале «Геотектоника». – 1989. – № 4, Июль–Август. – С. 99–112.

дов; 3) происхождение всех структур, находящихся в областях пересечения хребтов трансформными разломами, из оси спрединга, включая и «поднятия внутренних углов», т. е. гор, воздымающихся как раз на пересечении рифтовой долины с трансформным разломом; 4) разделение хребта по простиранию на ячейки с разной тектонической и магматической активностью.

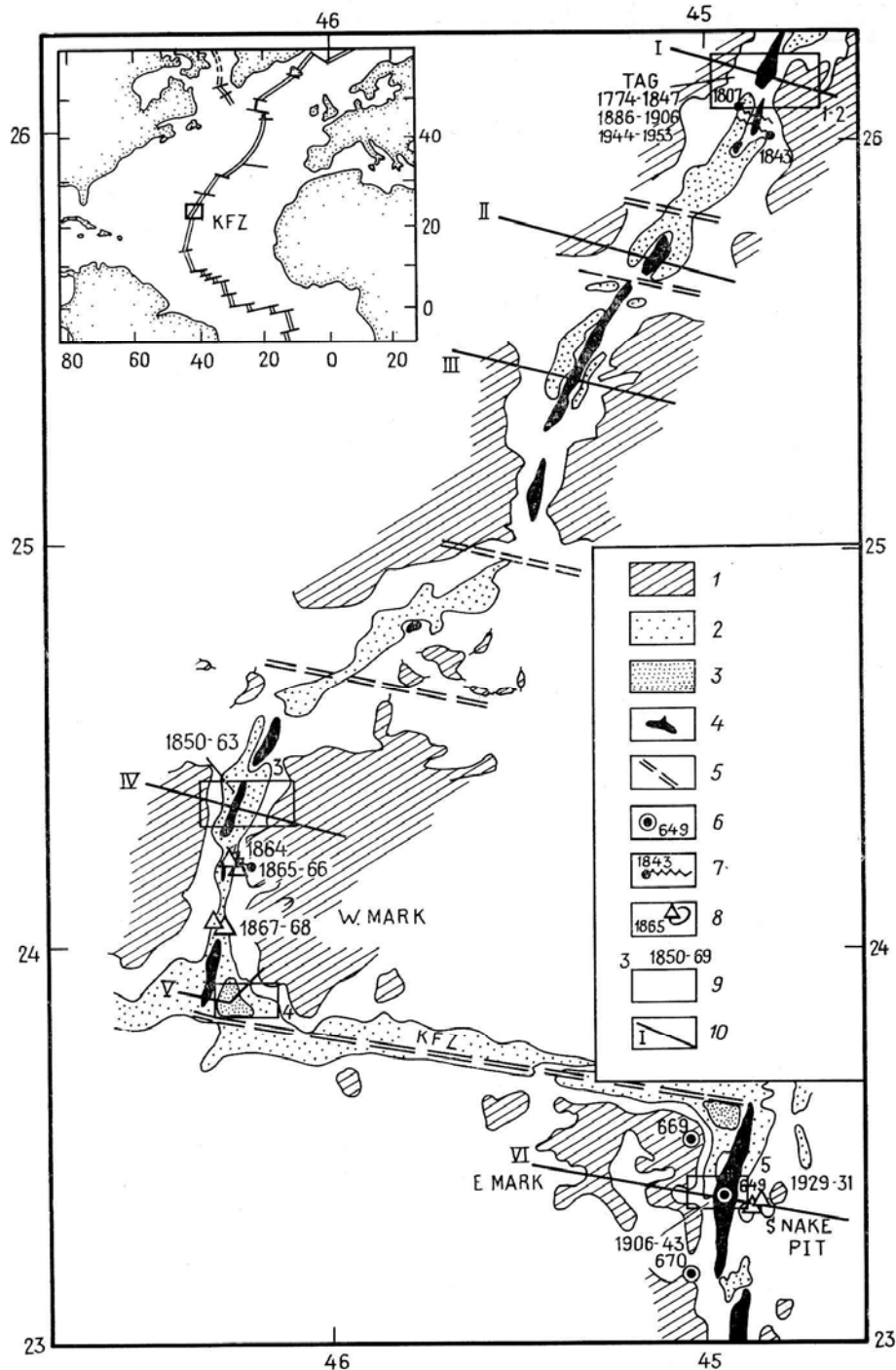


Рис. 1. Схема батиметрии Срединно-Атлантического хребта между 23 и 26° с. ш. 1–2 – глубины: 1 – <3000 м, 2 – >4000 м; 3 – нодальный бассейн; 4 – экстрезивная зона; 5 – трансформные разломы; 6 – скважины глубоководного бурения; 7 – станции «Rosette»; 8 – геологические станции вне полигонов; 9 – полигоны и номера станции на них; 10 – линии трансектов. Kfz – трансформный разлом Кейн (Кэп Фрэкчур Зон).

Район САХ между 26 и 24° с. ш. в начале 1988 г. был исследован в 15-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш». Работы проводились под руководством А.П. Лисицына с использованием двух глубоководных обитаемых аппаратов (ГОА – «Мир-1» и «Мир-2» – с глубиной погружения до 6000 м).

С разной степенью детальности было изучено пять трансектов, начиная с 26° с. ш. в районе TAG и кончая западным пересечением САХ с зоной разлома Кейн в районе 24° с. ш. (см. рис. 1). В районе TAG проведены наиболее детальные исследования, включавшие батиметрическую съемку, магнитные измерения, драгирование, опробование дна грунтовыми трубками и погружения ГОА. Батиметрическая съемка была также выполнена на трансекте IV, где она сопровождалась одним погружением подводного аппарата. Трансекты II и III представлены региональными батиметрическими пересечениями. Трансект V вблизи пересечения хребта с зоной разлома Кейн включал батиметрический профиль через рифтовую долину, подальний бассейн и «поднятие внутреннего угла», на котором было выполнено два погружения ГОА.

САХ между районами TAG и MARK имеет общее простирание СВ 30°, существенно отличное от направления ССВ 10° на полюс вращения Африканской и Северо-Американской плит. Это свидетельствует о существовании серии трансформных разломов с правосторонним смещением отрезков хребта. Наши трансекты были выбраны таким образом, чтобы они не пересекали трансформных зон и были расположены вблизи центров вулканических сводов, которые находятся на вершине магматических ячеек. Трансект V является единственным, расположенным близко к трансформному разлому.

ТРАНСЕКТ I: 26° с. ш., РАЙОН TAG

Главной морфологической особенностью рифтовой зоны этого района является его резкая асимметрия, выраженная в поднятии гор на восточном склоне рифта до глубин 2 км ниже уровня моря, в то время как западный склон имеет отметки около 3 км. Основные морфологические особенности видны на разрезе (рис. 2, I) и структурно-геологической схеме (рис. 3).

Западный «нормальный» борт имеет «обычное» для рифтов строение, будучи образован серией из 5–6 сбросовых уступов. Они имеют высоту 50–200 м и падают на восток под углом 60°. Морфология указывает, что сбросовые ступени наклонены от рифтовой долины под углами 5–10°. Уступы совпадают, вероятно, с листрическими сбросами. Разломы ориентированы в общем в направлении ССВ, но в деталях меняют простирание с ССВ 10–15° до СВ 30°. При драгировании с уступов были получены только базальты.

Внутренний рифт в пределах полигона углубляется с 3600–3700 м на севере до 4000–4100 м на юге. Рифтовая долина имеет извилистые очертания, будучи выгнута к северо-западу, как бы огибая уступ восточного склона. Она имеет расчлененный рельеф, состоящий из поднятий и впадин,

вытянутых вдоль простирания рифта. Поднятия отвечают вулканическим постройкам, сложенным исключительно трубообразными подушечными лавами (рис. 4, 5). Два вулканических поднятия выделяются наиболее четко. Их вершины находятся на глубине около 3600 м. Они образуют поперечный порог, пересекающий внутренний рифт. Восточное поднятие увенчано гидротермальным холмом в районе $26^{\circ}08,0'$ с. ш., $44^{\circ}49,2'$ з. д. Наблюдения с подводных аппаратов и драгирование показали, что по крайней мере две генерации базальтов слагают это поднятие и предшествовали современной гидротермальной активности. Более древние лавы покрыты осадками от 0,5 до 1 м мощности, что при скорости осадконакопления в среднем 2 см / 1000 лет позволяет оценить возраст базальтов в 25–50 тыс. лет. Поля развития древних вулканитов нарушены многочисленными небольшими сбросами и открытыми трещинами – гьярами. Молодые базальты, образующие вторую генерацию лав, были обнаружены на вершине поднятия и у основания гидротермального холма. Судя по мощности покрывающего их осадка (не более 10 см), эти лавы имеют возраст 5–10 тыс. лет, самые молодые лавы, возможно, не древнее 1000 лет.

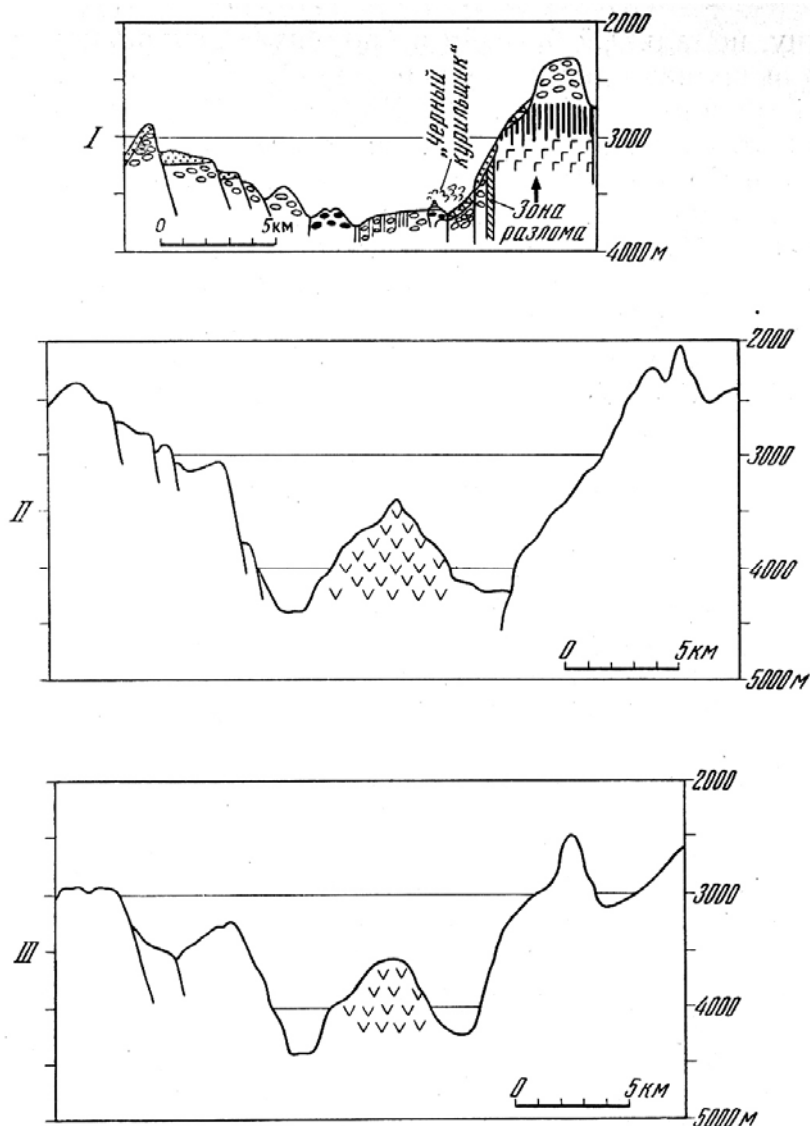


Рис. 2. (I–III).

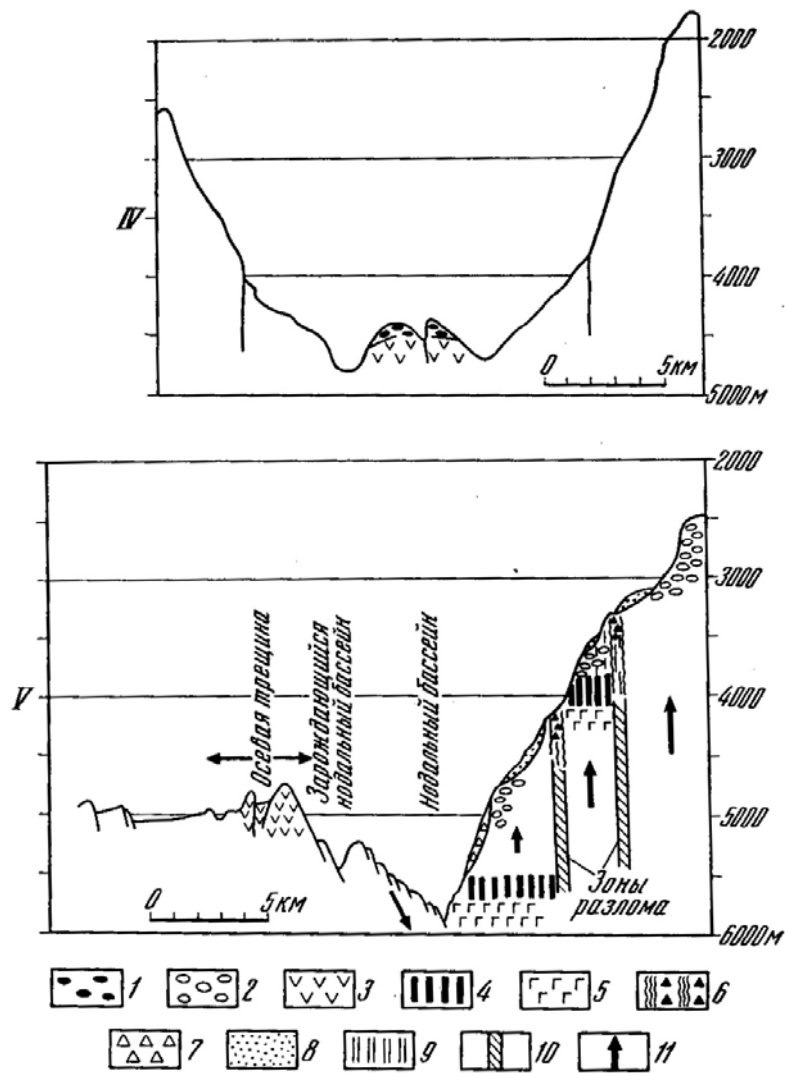


Рис. 2. (IV, V).

Рис. 2. Геологические разрезы через рифтовую долину Срединно-Атлантического хребта. Положение разрезов показано на рис. 45 – молодые подушечные лавы; 2 – древние подушечные лавы; 3 – неовулканическая зона; 4 – параллельные дайки; 5 – габбро; 6 – зеленокаменные породы; 7 – осыпи; 8 – осадки; 9 – гьяры; 10 – зоны разломы; 11 – перемещение блоков.

Лавы древней генерации представлены порфировыми базальтами с многочисленными вкрапленниками плагиоклаза, реже оливина, очень редко клинопироксена, которые часто образуют гломеропорфировые сращения, свидетельствуя о значительном фракционировании магмы. Среди базальтов молодой генерации наблюдались только афировые лавы, отмечающие быстрое излияние нефракционированных порций расплава. И порфировые, и афировые лавы были описаны ранее [7], они принадлежат к типичным базальтам СОХ. Очевидно, каждая генерация лав связана с независимым магматическим источником, возникавшим в разные периоды. Временной интервал между излияниями молодых и древних лав составляет 15 тыс. лет. В это время не было магматической активности, магматический очаг не существовал.

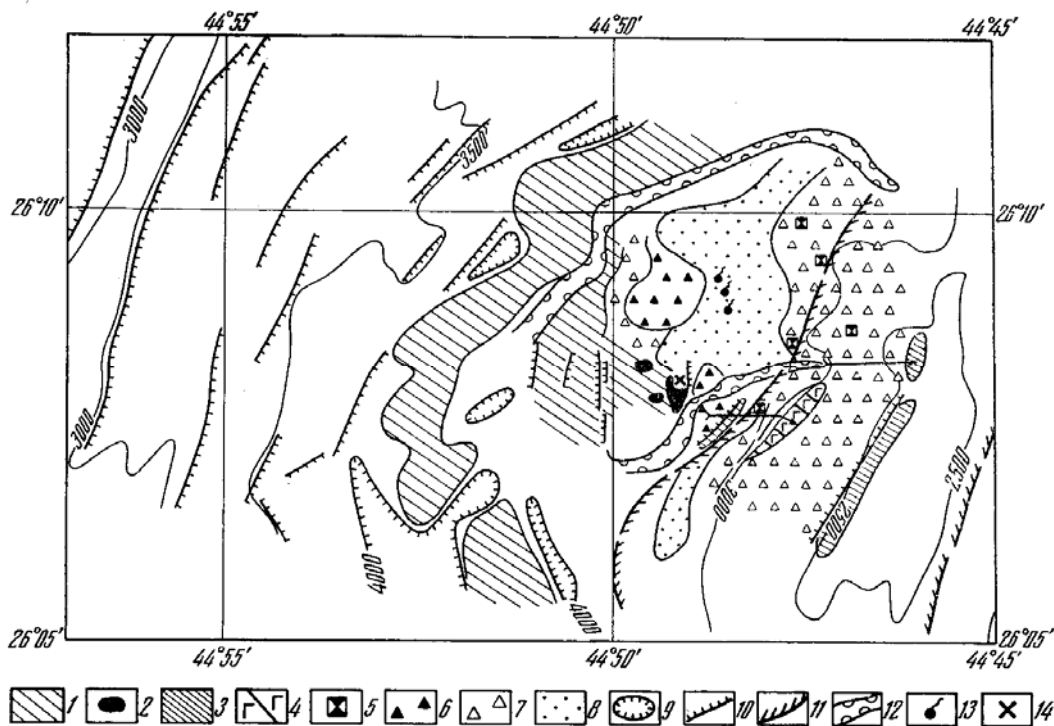


Рис. 3. Структурно-геологическая схема района TAG.

1 – неовулканическая зона; 2 – наиболее молодые лавы внутри неовулканической зоны; 3 – обнажения древних лав восточной стенки; 4 – обнажения габбро и параллельных даек на восточной стенке, 5 – места драгировок зеленокаменных пород; 6 – молодые осыпи; 7 – древние осыпи, 8 – осадочные карманы; 9 – глубокие впадины внутреннего рифта; 10 – сбросы; 11 – зоны разлома, ограничивающие поднятый блок восточного склона; 12 – подводные каньоны; 13 – древние гидротермальные отложения; 14 – активный гидротермальный источник. Стрелками показаны линии маршрутов подводных аппаратов «Мир».

Гидротермальная деятельность на полигоне проявлялась после каждого эпизода магматической активности. В осадочных карманах около восточного склона обнаружены металлоносные осадки (обогащенные Fe, Cu, Zn) с возрастом 17–11 тыс. лет, они формировались после древнего вулканического эпизода. Современная гидротермальная деятельность последовала за более молодым вулканическим эпизодом. Принимая во внимание перемежаемость вулканической и гидротермальной деятельности и поднятое положение данного трансекта относительно соседних отрезков САХ, можно полагать, что в районе TAG мы имеем дело с долго живущим магматическим сводом, продолжающим подниматься вплоть до настоящего времени.

Восточная, или «аномальная», стенка рифтовой долины имеет извилистые очертания в плане и размытые границы с ложем внутреннего рифта. Эти особенности связаны с широкомасштабными процессами массового разрушения пород, которые выражаются в рельефе появлением протяженных эрозионных каналов, врезанных в склон. Почти весь склон покрыт продуктами массового разрушения, которые сливаются у подножия в широкий шельф, сложенный обломочным материалом. Современная активная осыпь, почти лишенная осадочного налета, развита в основном в нижней

части склона между 3700 и 3500 м. На глубинах 3500–3200 м появляется осадочный карман, лежащий на более древней осыпи. Осадки имеют мощность несколько метров, их возраст до 80 тыс. лет.



Рис. 4. Обнажения трубообразных подушечных лав па вершине холма неовулканической зоны. Глубина 3650 м, район TAG. Размер кадра 5 м.



Рис. 5. Сильно раздробленные подушечные лавы неовулканической зоны вблизи небольшого сбросового уступа. Глубина 3600 м, район TAG. Размер кадра 3 м.

Обнажения коренных пород редки. В ходе погружений ГОА «Мир», проходивших примерно вдоль $26^{\circ}08'$, они были обнаружены на трех уровнях: на глубинах 3450–3500, 3100–2900 и вблизи вершины горы на глубине 2500–2400 м ниже уровня моря. Обычно это крутые уступы, сильно измененные отделением крупных блоков при оползнях и обвалах.

В сбросовом уступе на глубине 3500 м, имеющем высоту 15–20 м, обнажаются почти не нарушенные подушечные лавы, являющиеся единственным морфологическим типом подводных излияний в данном районе. Насколько можно судить по осмотру обнажения, лавовые потоки сохранили свое первичное залегание, не испытав последующего наклона.

Вертикальная стенка на глубине 3000 м имеет высоту 100–150 м. В ней обнажаются массивные, но сильнотрещиноватые породы, представленные, как выяснилось, габбро. Скальный обрыв разбит сетью ортогональных трещин. Две системы трещин являются вертикальными, простираясь соответственно субмеридионально и субширотно, а третья система следует вдоль горизонтальной плоскости. В обнажении не видно ни рассланцевания, ни других признаков пронизывающей деформации.

Массивные породы (габбро) прорваны многочисленными пластинообразными телами – дайками мощностью 0,5–1 м. Дайки ориентированы ССВ 10° – ЮЗ 190° , т. е. строго перпендикулярно направлению спрединга. Часто они собраны в пакеты по несколько (до 5) даек и в этом случае очень похожи на обнажения параллельных даек в офиолитовых комплексах. Дайки падают почти вертикально, что указывает на отсутствие даже малого вращения блока.

Габбро – тонкозернистые слабопорфировидные породы, состоящие из плагиоклаза, оливина и клинопироксена. Породы претерпели зеленокаменные изменения, причем можно выделить три фазы изменений: первую – с развитием в породах актинолита по пироксену; вторую – наиболее интенсивную, проявившуюся вдоль плоскостей трещиноватости с образованием хлорит-эпидотовых, иногда альбитовых ассоциаций минералов вдоль трещиноватости; третью – низкотемпературную с выщелачиванием ранних метаморфических минералов. Можно полагать, что трещиноватость и раздробление произошли перед метаморфизмом. Морская вода проникала вдоль трещин в твердую породу, которая была, очевидно, еще достаточно разогрета, чтобы обеспечить зеленокаменные изменения.

В верхней стенке на глубине 2500–2300 м обнажаются трубообразные подушечные лавы. Вблизи вершины много пустотелых подушек, свидетельствующих о близости к центру вулканической постройки. В обнажении опять видна картина ненарушенного залегания пород с горизонтально лежащими уплотненными подушками. Нельзя отметить никаких признаков вторичного наклона лавовых потоков.

Драгирование восточного склона, проведенное в нашей экспедиции и предыдущими экспедициями ПГО «Севморгеологии» (по данным Колосова), доставило много образцов зеленокаменных пород со средней части

склона в интервале глубин 3500–3000 м (см. рис. 3). Они локализируются вдоль узкой зоны, маркирующей, очевидно, глубокий разлом. Необходимо заметить, что ассоциация зеленокаменных минералов (хлорит, эпидот, альбит) была найдена в осадочных колонках из этой же зоны. В колонках были отмечены такие минералы, как серпентин. Драгированием были подняты также долериты и габбро, причем среди последних был образец грубозернистого двупироксенового габбро кумулятивного типа.

Таким образом, на восточном склоне срединной долины в районе TAG обнажаются относительно глубокие части океанической коры, которые в настоящее время подняты по крайней мере на 1 км выше базальтового ложа внутреннего рифта. Они были выведены на поверхность благодаря вертикальным перемещениям блоков океанической коры. Несмотря на перерывы в обнажениях, удастся восстановить почти ненарушенный разрез океанической коры от габбро через параллельные дайки до подушечных лав на восточном склоне рифтовой зоны (см. рис. 2, I). Учитывая горизонтальное залегание слоев, а также то, что переход от габбро к дайкам обнажается на глубине около 2900 м, а вершина горы на глубине 2300 м сложена подушечными лавами, мощность базальтового слоя (или 2-го слоя) равна здесь примерно 600 м, причем горизонты даек и лав имеют примерно равную мощность. Цифра 600 м является необычайно малой, так как 2-й слой в океане имеет мощность обычно в 2–3 раза большую. Тонкая кора указывает на то, что во время образования этой ее части в оси спрединга такого вулканического свода, как сегодня, еще не существовало. Крупные вертикальные перемещения на восточном склоне, очевидно, являются причиной отчетливой асимметрии в рельефе срединной долины района TAG.

ТРАНСЕКТ II: 25°43' с. ш.

Трансект расположен в 54 км южнее TAG, возможно, отделяясь от него зоной разлома 25°50' с. ш., (см. рис. 1). Рельеф склона рифтовой долины в данном сечении также обнаруживает явную асимметрию (см. рис. 2, II) с «нормальным» западным склоном, разбитым серией сбросов, и «аномальным» восточным склоном, почти полностью лишенным заметных сбросовых уступов и поднятым до отметок 2 км ниже уровня моря. С восточного склона в экспедициях Севморгеологии (по данным Колосова) были подняты оливиновые габбро и нориты.

Внутренний рифт в данном сечении имеет ширину 10 км. Экструзивная зона совпадает с вулканическим хребтом, имеющим ширину около 8 км и высоту около 800 м. Наименьшая глубина вулканического хребта составляет 3200–3400 м, т. е. на 200 м выше, чем в районе TAG. Представляется, что в данном участке САХ происходит наращивание вулканического свода, когда разделение плит и растяжение полностью компенсируются наращиванием новообразованной океанической коры.

ТРАНСЕКТ III: 25°25' с. ш.

Трансект пересекает очень длинный – до 45 км – вулканический хребет, протягивающийся по центру срединной долины. Мы имеем здесь опять асимметричную рифтовую долину с «нормальным», разбитым сбросами западным склоном и «аномально» поднятым восточным (см. рис. 2, III). Внутренний рифт имеет ширину 8 км и занят неовулканическим хребтом высотой 800–900 м. Его вершина находится на глубине 3500 м. По видимому, трансект III очень похож на трансект II, находясь сейчас скорее всего в вулканической конструктивной фазе эволюции рифтовой долины.

ТРАНСЕКТ IV: 24°23' с. ш.

Широкая зона поперечных нарушений между 25° и 25°40' с. ш. отделяет трансект III от трансекта IV, который находится в 60 км к северу от разлома Кейн (см. рис. 1). В данном трансекте обнаруживается четкая симметрия со склонами одинаковой формы по обоим бортам долины (см. рис. 2, IV), но оба склона являются «аномальными», лишенными заметных сбросовых уступов; каждый из них напоминает восточный склон долины TAG, однообразно поднимаясь от 4700–4600 до 2500–2000 м с перепадом рельефа в 2000 м.

Внутренний рифт здесь на 500 м глубже, чем в северных сечениях. Экструзивная зона прослеживается прерывисто, причем уровень вершин вулканических гор понижается с севера на юг от 4100 до 4500 м. Маршрут ГОА «Мир» пересек экструзивную зону примерно вдоль широты 24°23'. Ширина ее в этом сечении составляет 4 км с относительным превышением около 300 м – от глубин 4750 м на флангах до 4450 м на вершине. Хребет имеет симметричное строение: более древние лавы, закрытые осадками мощностью около 1 м, обнажаются по краям хребта, тогда как молодые лавы слагают вершину хребта. Но и последние прикрыты осадками мощностью до 0,5 м, что свидетельствует об окончании вулканической деятельности в этом районе не менее 10 тыс. лет назад. Лавы разбиты многочисленными трещинами, гьярями и нормальными сбросами. Вершина экструзивной зоны обрушена и занята расселиной, или осевой депрессией, глубиной 100 м. Длина депрессии не менее 3 км, ширина около 300 м. Она имеет асимметричное строение: западный борт сброшен вниз на 100 м относительно восточного. Стенка почти вертикальная, состоит из двух уступов высотой 30 и 70 м.

Таким образом, экструзивная зона в трансекте IV находится сейчас в тектонической фазе с преобладанием растяжения и разрушения вулканического сооружения. Разделение плит идет главным образом вдоль осевой трещины и происходит без соответствующего наращивания базальтовой коры. Трансект отвечает отмирающей магматической ячейке.

ТРАНСЕКТ V: 23°50' с. ш., РАЙОН ЗАПАДНЫЙ MARK

По западному пересечению САХ и трансформного разлома Кейн имеется карта SEABEAM [11, 20]. Геология района изучалась в американской

экспедиции с использованием буксируемой фотокамеры «Ангус» [14]. Интерпретационный геологический разрез (см. рис. 2, V) построен с учетом результатов предшественников.

Западная часть трансекта V включает резко асимметричное сечение экструзивного неовулканического хребта: его западный борт приподнят, тогда как восточный резко спускается в нодалный бассейн. Неовулканический хребет имеет ширину 2,5 км и высоту около 300 м. В его центре располагается осевая депрессия, имеющая ширину 500 м и глубину 100 м, которая с обеих сторон ограничена разломами. Депрессия напоминает осевую трещину трансекта IV и отражает разрушение вулканического хребта. Вершина вулканического хребта находится на глубине 4800 м. Оба трансекта – IV и V – являются, по-видимому, частями одной магматической ячейки, которая значительно опущена по сравнению с более северными ячейками.

Склон неовулканического хребта спускается к нодалному бассейну, который имеет глубину 5900 м и заполнен осадками. Отрезок склона между неовулканическим хребтом и нодалным бассейном образован лестницей сбросовых уступов, спускающихся к ложу бассейна. Эта картина в какой-то мере напоминает структуру приокеанических склонов глубоководных желобов, где океаническая пластина затягивается вниз благодаря охлаждению, т. е. под действием гравитационных сил.

Дополнительный хребет высотой 300 м появляется в 5 км к востоку от неовулканического хребта на глубине 5200 м. Она напоминает современный неовулканический хребет, и его можно рассматривать как отмершую экструзивную зону, отодвинутую от оси спрединга. Бассейн, разделяющий два хребта, имеет ширину около 1 км и глубину 5400 м. Он является, очевидно, зарождающимся нодалным бассейном, тогда как отмершая экструзивная зона является зарождающимся «поднятием внутреннего угла».

Современное «поднятие внутреннего угла» воздымается от нодалного бассейна до отметок 2000 м. Его склон в интервале глубин 4900–2900 м был исследован в двух погружениях ГОА «Мир». Большая часть склона покрыта осадками мощностью в несколько метров. Они перекрывают более древние осыпи. Современное сбросообразование и связанное с ним формирование оползней не отмечается. Современная тектоническая активность сместилась в зарождающийся нодалный бассейн.

Обнажения коренных пород разбросаны по склону. Самое нижнее обнажение встречено на глубине 4860 м, где из-под осадков обнажаются подушечные лавы. Следующие обнажения появляются на глубинах 4200–3900 м, где развиты зеленокаменные породы (рис. 6). Обнажения представляют собой прежние субмеридиональные сбросы. Наблюдаются три системы трещин: две из них вертикальные, ориентированные соответственно 150–180 и 90–110°, третья система – горизонтальная. Образцы зеленокаменных пород сложены ассоциацией эпидота, хлорита и альбита, реже отмечается актинолит. Судя по кристаллическим очертаниям первичных минералов, метаморфические минералы образовывались по плагиоклазу и пироксену, т. е. первичной породой являлось габбро. Пронизывающей де-

формации в породах не отмечается, метаморфизм в основном термальный. Есть в породах поздние прожилки, выполненные низкотемпературными кальцитом и опалом.

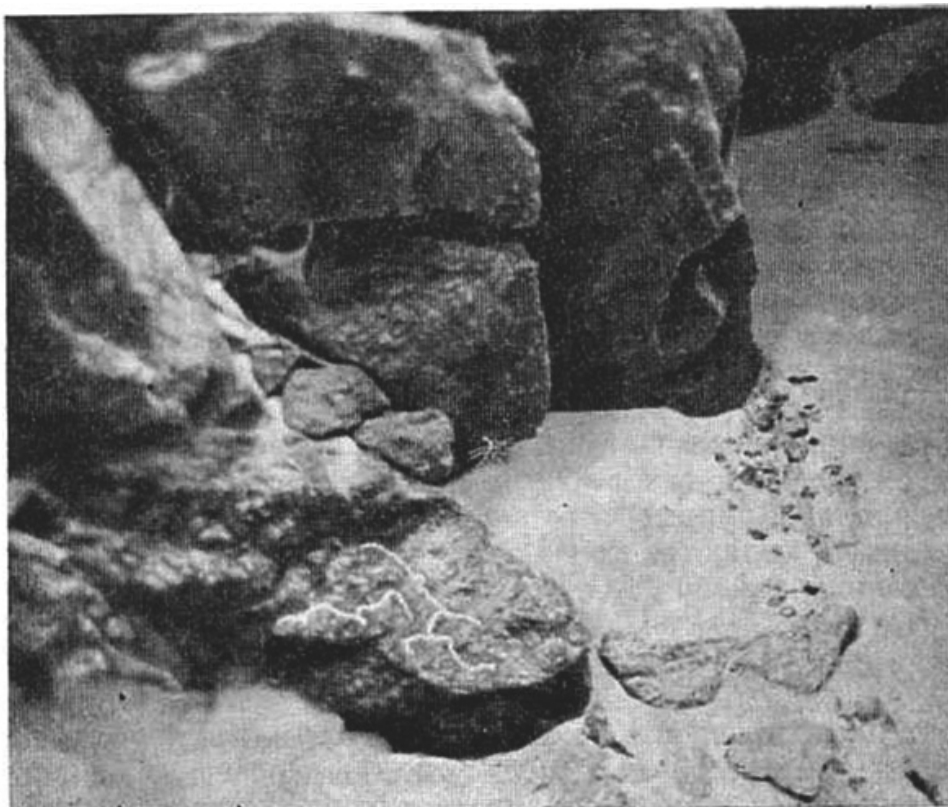


Рис. 6. Обнажение зеленокаменных пород по габбро в обрыве восточного склона рифтовой долины. Глубина 4200 м, район пересечения рифтовой долины с трансформным разломом Кейн. Размер кадра 3 м.

В интервале глубин 3900–3500 м отмечались обнажения тонкозернистого габбро, долеритов и зеленокаменно измененных базальтов. Иногда породы брекчированы с зеленокаменной матрицей, хотя изменения захватывают в основном внешнюю кайму, оставляя внутренние части неизменными. Судя по набору пород, здесь обнажаются верхние габбро, параллельные дайки и частично лавы. Более верхние части склона до глубин 3000 м заняты глыбовыми осыпями, перекрытыми молодыми осадками. Из-за осыпей периодически проступают небольшие вертикальные стенки, в которых обнажаются подушечные лавы, залегающие почти горизонтально.

Можно полагать, что зеленокаменные породы по габбро на глубине 4100 м и зеленокаменные брекчии на глубине 3500 м связаны с зонами разломов. В соответствии с вертикальным падением трещин в обнажениях наиболее вероятно вертикальное залегание зон разломов. Две зоны расположены на расстоянии 2,5 км друг от друга, но они могут принадлежать к одной более широкой зоне, которая разделяет опущенное базальтовое ложе нодального бассейна, обнажающееся в основании склона на глубине около 4900 м, и поднятый блок «внутреннего угла», где обнажаются более глубокие части океанической коры.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Вариации в рельефе неовулканической зоны по простиранию. Полученные данные по изменению морфологии неовулканического хребта в принципе согласуются с основными закономерностями, которые установлены к югу от зоны разлома Кейн [15]. Используя высоту и размеры неовулканического хребта в качестве показателя эволюции экстрезивной зоны, можно наметить семь магматических ячеек между районами TAG и MARK на расстоянии 330 км, причем каждая ячейка имеет длину от 20 до 50 км. Исследование пяти ячеек показывает, что каждая из них находится в различной стадии эволюции. Район TAG является единственным, где магматическая ячейка активна и где неовулканический хребет растет. Ячейки, отвечающие трансектам II и III, где вулканические хребты имеют минимальную глубину (3200–3400 м), очевидно, завершили свою конструктивную фазу. Неовулканический хребет, пересеченный трансектами IV и V, в настоящее время разрушается за счет сбросообразования и появления осевой трещины. Этот отрезок хребта переживает фазу тектонической активности.

Высоты вершин неовулканических хребтов в магматических ячейках исследованного отрезка хребта варьируют в пределах 4200–3200 м в зависимости от стадии эволюции. Максимальные высоты приближаются к высотам рифтовых гор на нормальных склонах рифтовой долины. Поэтому рельеф «нормальных» склонов может быть интерпретирован как простое включение неовулканического хребта в склон в результате сбросо- и грабенообразования внутреннего рифта [13]. Этот процесс сопровождается поднятием блоков на несколько сотен метров, и возможно, механизм динамического подпора [17, 23] ответствен за это маломасштабное вертикальное поднятие.

Общее погруженное положение неовулканического хребта в районе между TAG и MARK относительно среднего мирового уровня (2600–2700 м) отражает, очевидно, соответствующее понижение уровня астеносферы [2]. Это может объясняться тем, что данная область находится далеко от регионов развития горячих точек, таких, как Азорская, и расположена в пределах холодного поля мантии Земли [1, 2].

Происхождение аномальных склонов рифтовой долины. Аномальные склоны имеют одну и ту же морфологию во всех трансектах, включая «поднятие внутреннего угла» в районе западный MARK, соответственно аномальный склон может быть прослежен по всей длине рифтовой долины. Таким же аномальным является западный склон рифтовой долины к югу от разлома Кейн [14, 15].

Базальтовое ложе внутреннего рифта отделяется от более глубоких пород океанической коры, обнажающихся на аномальных склонах, зоной разлома. Разлом большей частью представляет собой полосу развития зеленокаменных пород по габбро. Существуют данные о присутствии в этих зонах ультраосновных пород, в особенности серпентинитов ([15, 18], результаты наших драгировок к югу от разлома Кейн в районе 23°21' с. ш.).

На аномальных склонах обнажаются глубинные части океанической коры, включающие дайки и габбро. Кроме районов TAG и западный MARK они описаны к югу от разлома Кейн [15] и на «поднятиях внутренних углов» других трансформных разломов [3, 24]. Полученные данные показывают, что разрез океанической коры, обнажающейся на аномальных склонах, практически не нарушен: дайки падают вертикально, лавы сохраняют первичное залегание. Заметим, что вертикально падающие дайки были описаны ранее в районе восточный MARK [14] и в районе пересечения САХ с разломом Океанографер [24]. Эти данные исключают какую-либо существенную роль вращения блоков при образовании аномальных склонов в отличие от нормальных склонов с их листрическими или иными сбросами, при которых идет вращение блоков. Образование рифтовых гор аномальных склонов рифтовой долины САХ произошло, таким образом, в результате почти чистого вертикального поднятия.

Относительное превышение рифтовых гор над гребнем неовулканического хребта, равное 1–1,5 км, может служить оценкой величины вертикального поднятия, поскольку верхние базальты, венчающие вершины рифтовых гор, отвечают гребню прежнего неовулканического хребта.

Серпентинизация как механизм вертикального поднятия. Гравитационные данные показывают [9], что рифтовые горы изостатически компенсированы на уровне коры. Это значит, что для поднятия какой-то части океанической коры необходимо добавить к ней плавучесть. Представляется, что серпентинизация – наиболее вероятный процесс, который может обеспечить дополнительную плавучесть блокам океанической коры.

Когда серпентинизированные ультраосновные породы были открыты в трансформных разломах и даже пробурены на флангах САХ [4, 6, 21, 22], многие авторы сразу предположили, что проникновение воды в мантийный перидотит и его серпентинизация могут быть главным механизмом для внедрения ультраосновных тел [6, 12, 19]. Существующие модели основаны на хорошо известном уменьшении плотности ультраосновных пород при серпентинизации от 3,1–3,2 до 2,4–2,6 г/см³, что даже меньше плотности верхней базальтовой коры (2,8 г/см³). Считалось, что главными местами серпентинитовых протрузий являются трансформные разломы. Более тонкая и более охлажденная или сильно раздробленная кора вблизи пересечения хребтов с трансформными разломами дает хорошую возможность для проникновения воды в перидотит, а соответственно и внедрению серпентинитовых протрузий. Очевидно, те же условия могут существовать внутри рифтовой долины, где появляются серпентиниты.

Мы предполагаем, что серпентинизация ведет не только к узким серпентинитовым протрузиям вдоль плоскостей сбросов, но охватывает широкие области под корой, вызывая поднятие крупных блоков коры над серпентинитовым слоем. Рифтовые горы аномальных склонов рифтовой долины являются в этом случае поверхностным выражением серпентинизации мантийного перидотита (рис. 7).

Реакция серпентинизации, т. е. взаимодействие перидотита с морской водой, идет при температурах 400–500°C и давлениях 1 кбар [19, 29]. Существование близповерхностного очага под внутренним рифтом препятствует проникновению воды в глубокие части коры. Очевидно, поэтому под быстроспрединговыми хребтами, где доказано существование такого очага, процесс серпентинизации не происходит, а на уровне базальтового слоя формируются гидротермальные ячейки с горячими источниками на дне. Пока такого рода очаг не обнаружен под низкоспрединговыми хребтами, за исключением района Снейк Пит к югу от разлома Кейн [25].

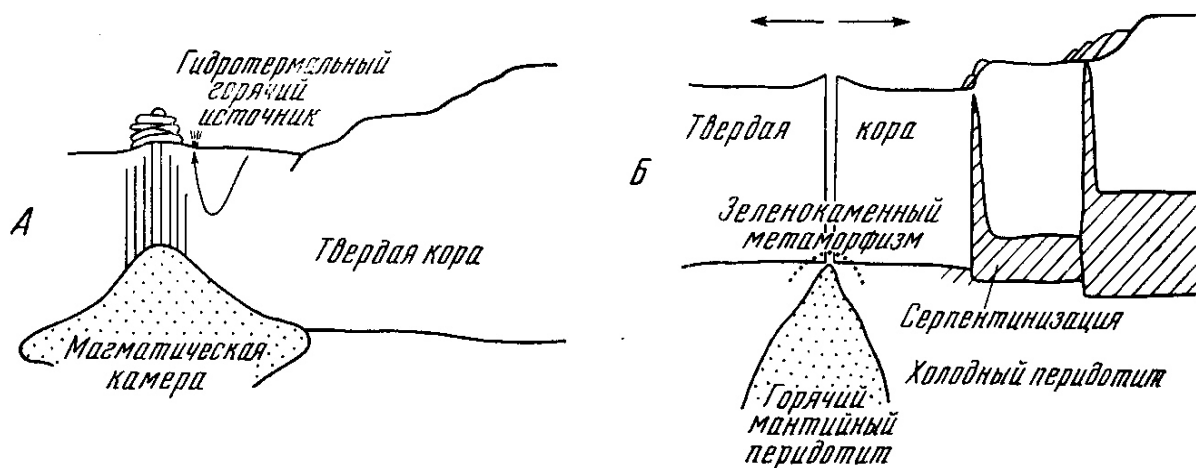


Рис. 7. Модель подъема блоков коры в результате серпентинизации мантийного перидотита. А – вулканическая фаза, Б – тектоническая фаза.

В исследованном районе САХ практически нет молодой вулканической деятельности, а длительность невулканических интервалов составляет 10–15 тыс. лет, что достаточно для затвердения коры. Эта твердая, местами аномально тонкая кора в течение тектонических фаз быстро дробится и морская вода легко проникает по трещинам в более глубокие части коры и в верхи верхней мантии, которые еще достаточно разогреты, чтобы обеспечить термальный метаморфизм. Указанием на проникновение воды глубоко в затвердевшую океаническую кору служат зеленокаменно измененные габбро, а также появление в габбро вторичного амфибола. Осевые трещины типа наблюдаемых на трансекте IV являются благоприятным местом для проникновения морской воды в кору и даже далее вниз до мантийного перидотита. Анализ распределения температур в коре медленносрединговых хребтов, проведенный П.П. Шиловским (1988 г.), показал, что в случае отсутствия магматического очага, т. е. в тектоническую фазу, область температур 400–500°C существует на глубинах около 4 км на расстоянии 7–10 км от оси хребта. В случае тонкой коры здесь можно предполагать границу между базальт-габбровыми слоями и слоем кумулятивных ультраосновных пород, где соответственно и могут протекать процессы серпентинизации.

Простые расчеты показывают, что для поднятия блока коры высотой 4 км с плотностью 2,8 г/см³ на 1 км необходимо серпентинизировать слой

перидотитов мощностью почти 2 км. В течение более коротких вулканических фаз может идти только гидротермальная циркуляция (см. рис. 7, А), питающая горячие источники, такие, как в районах TAG и Снейк Пит.

ВЫВОДЫ

1. Рифтовая долина между районами TAG и MARK погружена до 3200–4700 м по сравнению со средним уровнем 2600–2700 м. Это может быть связано с понижением уровня стояния астеносферы в этом районе.

2. По простиранию рифтовой долины намечается серия магматических ячеек. В районе TAG и, возможно, в районе $25^{\circ}43'$ с. ш. ячейки находятся в конструктивной фазе, когда растут вулканические своды. Ячейки на $24^{\circ}23'$ с. ш. и в районе западный MARK находятся в деструктивной, или тектонической, фазе, когда неовулканический хребет разрушается сбросообразованием. В центре неовулканического хребта возникает осевая трещина, отмечающая место разделения литосферных плит.

3. Склоны двух различных типов обрамляют рифтовую долину: нормальные и аномальные. Нормальные склоны включают сбросовые блоки, которые испытывают вращение в сторону от рифтовой долины. Они похожи на борта рифтовой долины в районе FAMOUS. По-видимому, они поддерживаются динамическим подпором поднимающегося астеносферного течения. Аномальные склоны, прослеживающиеся почти непрерывно вдоль восточного борта исследованного отрезка рифта, подняты на 1–1,5 км над гребнем неовулканического хребта и отмечают избыток рельефа, соответствующий вертикальному поднятию блоков океанической коры.

4. На аномальных склонах обнажается почти ненарушенный разрез океанической коры от габбро через параллельные дайки до подушечных лав. В районе TAG мощность даек и лав составляет всего 600 м. Дайки в обнажениях падают почти вертикально, а перекрывающие их лавы сохраняют свое первичное залегание. Это свидетельствует о том, что не было вращения блоков или их наклона в сторону от рифта. Блоки на аномальных склонах были подняты почти вертикально, без вращения.

5. Лучшим механизмом вертикального поднятия блоков коры на аномальных склонах является серпентинизация мантийного перидотита, которая может идти в течение длительных невулканических фаз эволюции рифтовой долины, когда не существует магматического очага и когда морская вода может свободно проникать через застывшую твердую кору вплоть до мантии. В результате серпентиниты, т. е. перидотиты + морская вода, добавляются снизу в океаническую кору.

6. Очевидно, океаническая кора, создаваемая в медленноспрединговых хребтах, должна иметь пятнистое строение и состоять из перемежающихся участков, включающих серпентиниты и лишенных их. Серпентиниты не добавляются в земную кору быстроспрединговых хребтов, за исключением областей пересечения хребта с трансформными разломами. Таким образом, должны существовать большие различия в строении земной коры, создаваемой в быстро- и медленноспрединговых хребтах. Поэтому в зоны

субдукции может попадать кора различного состава, что, вероятно, отражается в составе вулканических комплексов, формирующихся над зонами субдукции.

Литература

1. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Внутриплитовый магматизм и его значение для понимания процессов в мантии Земли // Геотектоника. 1983. № 1. С. 28–45.
2. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Рифтовые зоны Земли // Подводные геологические исследования с обитаемых аппаратов. М.: Наука, 1985. С. 146–205.
3. ARCYANA. Transform fault and rift valley from bathyscaph and diving saucer // Science. 1975. V. 190. P. 108–116.
4. Aumento F., Loubat H. The Mid-Atlantic Ridge near 45° N, Serpentinized ultramafic intrusions // Can. J. Earth Sci. 1971. V. 8. P. 631–663.
5. Ballard R., van Andel T.H. Morphology and tectonics of the inner rift valley at lat. 36°50' N on the Mid-Atlantic Ridge // Geol. Soc. Amer. Bull. 1977. V. 88. P. 507–530.
6. Bonatti E. Serpentinite protrusions in the oceanic crust // Earth and Planet Sci. Lett. 1976. V. 32. P. 107–113.
7. Bryan W.B., Thompson G., Ludden J.N. Compositional variations in normal MORB from 22–25° N: Mid-Atlantic ridge and Kane fracture zone // J. Geophys. Res. 1981. V. 86. P. 11815–11836.
8. Cannat M., Juteau T. Strongly deformed and fertile harzburgites from the MAR rift valley at 23° N (Leg ODP 109): a petrographical and structural study // Abstracts of the Symposium on Ophiolites and Oceanic Lithosphere – TROODOS 87. Nikosia, 1987. P. 123.
9. Collette B.J., Verhoe J., de Mulder A.F.G. Gravity and model of the median valley // J. Geophys. Res. 1980. V. 47. P. 91–98.
10. Crane K., Ballard R.D. Volcanism and structure of the FAMOUS Narrow-gate Rift: Evidence for cyclic evolution // J. Geophys. Res. 1981. V. 86. P. 5112–5124.
11. Detrick R.S., Fox P.J., Kastens K., Ryan W.B.F., Mayer L., Karson J.A. SEABEAN Survey of the Kane fracture zone and the adjacent Mid-Atlantic Ridge rift valley // EOS (Amer. Geophys. Union Trans.). 1984. V. 65. P. 1106.
12. Francis T.G. Serpentinization faults and their role in the tectonics of slow-spreading ridges // J. Geophys. Res. 1981. V. 86. P. 11616–11622.
13. Gente P. Etude morphostructural comparative de dorsales oceaniques a taux d'expansion varies // These de doctorat. Brest: L'Universite de Bretagne occidentale. 1987. Nouvelles serie № 21. 373 p.
14. Karson J.A., Dick H.J.K. Tectonics of ridge-transform intersections of the Kane fracture zone // Mar. Geophys. Res. 1983. V. 6. P. 51–98.
15. Karson J.A., Thompson J., Humphris S.E. Along-axis variations in seafloor spreading in the MARK area // Nature. 1987. V. 328. P. 681–685.
16. Kong L., Ryan W.B.F., Mayer L., Detrick R., Fox P.J., Manchester K. Bare-rock drill sites, ODP Legs 106 and 109: Evidence for hydrothermal activity at 23° N in the Mid-Atlantic Ridge // EOS Amer. Geoph. Trans. Union. 1985. V. 66. P. 936.
17. Lachenbruch A.H. Dynamics of a passive spreading centre // J. Geophys. Res. 1976. V. 81. P. 1883–1902.

18. Leg 106 Scientific Party. Ocean Drilling Program. Drilling the Snake Pit hydrothermal sulfide deposit in the Mid-Atlantic Ridge, 23°22' N // *Geology*. 1986. V. 14. P. 1004–1007.
19. Macdonald A.H., Fyfe W.S. Role of serpentinization in seafloor environments // *Tectonophys.* 1985. V. 116. P. 113–135.
20. Mayer L., Ryan W.B.F., Detrick R., Fox P.J., Kong L., Manchester K. Structure and tectonics of the Mid-Atlantic Ridge south of the Kane fracture zone based on SEAMARK I and SEABEAM site surveys // *EOS (Amer. Geophys. Union. Trans.)*. 1985. V. 66. P. 1092.
21. Melson W.G., Rabinowitz P.D. et al. Initial reports of the Deep Sea Drilling Project. V. 45. Wash. Govern. Press, 1978. 718 p.
22. Miyashiro A., Shido F., Ewing M. Composition and origin of serpentinites from the Mid-Atlantic Ridge near 24° and 30° north latitude // *Contr. Miner. Petrol.* 1969. V. 23. P. 117–127.
23. Morgan J.P., Parmentier E.N., Lin J. Mechanism for the origin of mid-ocean ridge axial topography: Implication for thermal and mechanical structure of accreting plate boundaries // *J. Geophys. Res.* 1987. V. 92. P. 12823–12836.
24. OTTER. The geology of the Oceanographer transform: The ridge-transform intersection // *Mar. Geophys. Res.* 1983. V. 6. P. 109–141.
25. Purdy G.M., Detrick R.S. The crustal structure of the Mid-Atlantic Ridge at 23° N from seismic refraction studies // *J. Geophys. Res.* 1986. V. 91. P. 3739–3762.
26. Rona P.A. TAG hydrothermal field: Mid-Atlantic Ridge crest at latitude 26° N. // *J. Geol. Soc. London*. 1980. V. 137. P. 385–402.
27. Rona P.A., Klinkhammer G., Nelson T.A., Trefry J.H. Black smoker, massive sulfides and vent biota at the Mid-Atlantic Ridge // *Nature*. 1986. V. 321. P. 33–37.
28. Scott R.B., Rona P.A., McGregor B.A., Scott M.R. The TAG hydrothermal field // *Nature*. 1974. V. 251. P. 301–302.
29. Seyfried Jr.W.E., Dibble Jr.W. Seawater-peridotite interaction at 300°C and 500 bars: Implications for the origin of oceanic serpentinites // *Geochim. et cosmoch. acta*. 1980. V. 44. P. 309–321.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ М.И. КУЗЬМИНА

1964

1. Поведение редких элементов при становлении гипабиссальных гранитных интрузий (на примере Шахтаминского массива, Восточное Забайкалье) / М. И. Кузьмин [и др.] // Геохимия редких элементов в изверженных горных породах. – М., 1964. – С. 5–18. – Соавт.: Е. А. Клепикова, Л. Л. Петров, О. С. Рошупкина, Л. В. Таусон, А. А. Хлебникова.

1965

2. Геохимическое значение дисперсии концентраций редких элементов в гранитоидах / Л. В. Таусон [и др.] // Вопросы геохимии изверженных горных пород и рудных месторождений Восточной Сибири. – М., 1965. – С. 12–22. – Соавт.: Р. И. Дубов, В. Д. Козлов, М. И. Кузьмин.
3. Кузьмин, М. И. Поведение рублидия и лития при становлении Соктуйского гранитного массива (Восточное Забайкалье) / М. И. Кузьмин, В. С. Антипин // Вопросы геохимии изверженных горных пород и рудных месторождений Восточной Сибири. – М., 1965. – С. 97–126.

1966

4. Кузьмин, М. И. Геохимические особенности мезозойских интрузий центральной части Восточного Забайкалья / М. И. Кузьмин // Магматические и метаморфические образования Сибири : тезис. Первого сибирского петрографического совещ. – М., 1966. – С. 77–79.
5. Таусон, Л. В. Сравнительное поведение олова в оловоносных и неоловоносных гранитах Восточного Забайкалья / Л. В. Таусон, М. И. Кузьмин, В. А. Легейдо // Геохимия. – 1966. – № 2. – С. 161–167.

1967

6. Антипин, В. С. Олово в гранитоидах Амуджикано-Сретенского комплекса (Восточное Забайкалье) / В. С. Антипин, М. И. Кузьмин, В. А. Легейдо // Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья : матер. к Четвертой науч. конф. по геологии Прибайкалья и Забайкалья, посвящ. 50-летию Советской власти. – Вып. 2 (4). – Чита, 1967. – С. 165–167.

1968

7. Кузьмин, М. И. Закономерности распределения бериллия в гранитоидах гипабиссальных интрузий Восточного Забайкалья / М. И. Кузьмин, В. С. Антипин, Л. Л. Петров // Вопросы региональной геологии и металлогении Забайкалья. – Чита, 1968. – Вып. 4. – С. 155–157.
8. Танталениобий в разновозрастных гранитоидах Восточного Забайкалья : [краткие сообщ.] / Е. Б. Знаменский [и др.] // Геохимия. – 1968. – № 1. – С. 106–109. – Соавт.: М. И. Кузьмин, П. В. Коваль, В. Д. Цыханский, И. А. Кринберг.
9. Таусон, Л. В. Геохимические критерии потенциальной рудоносности гранитоидных интрузий / Л. В. Таусон, В. Д. Козлов, М. И. Кузьмин // Проблемы геохимии и космологии. – М., 1968. – С. 166–172.
10. Kuzmin M. I. The function of the rare element distribution in granitoid and the ir parameters. – In: Origin and Distribution of the Elements. Ed. L. H. Ahrens. Pergamon Press, 1968. – P. 641–648.

1969

11. Абсолютный возраст гранитоидов Восточной Монголии / С. Б. Брандт [и др.] // Геолого-радиологическая интерпретация несходящихся значений возраста. – М., 1969. – С. 42–44. – Соавт.: В. Н. Смирнов, В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин.
12. Бериллий в мезозойских гранитоидах Восточного Забайкалья / Л. В. Таусон [и др.] // Геохимия. – 1969. – № 8. – С. 952–963. – Соавт.: М. И. Кузьмин, В. С. Антипин, Л. Л. Петров.
13. Геохимическая характеристика и возраст мезозойских гранитоидов Восточной Монголии / М. И. Кузьмин [и др.] // Ежегодник по работам 1968 года. – Иркутск, 1969. – С. 108–114. – Соавт.: В. И. Коваленко, В. Н. Смирнов, С. Б. Брандт.
14. Геохимическая характеристика и оценка потенциальной рудоносности мезозойских гипабиссальных интрузий юго-восточного Забайкалья / Л. В. Таусон [и др.] // Материалы IV Всесоюз. петрографического совещ. – Баку, 1969. – С. 369–371. – Соавт.: В. Д. Козлов, М. И. Кузьмин, В. С. Антипин, М. Н. Захаров.
15. Геохимические особенности редкометалльных гранитоидов областей мезозойской активизации Восточной Монголии / Л. В. Таусон [и др.] // Материалы IV Всесоюз. петрографического совещ. – Баку, 1969. – С. 452–454. – Соавт.: В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин, Ц. Гундсамбуу, Ц. Цеден.
16. Зональность в редкометалльных месторождениях Монголии и место в ней оруденения / В. И. Коваленко [и др.] // Критерии рудоносности метасоматитов. – Алма-Ата, 1969. – С. 88–89. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Ц. Цеден, Ц. Гундсамбуу, Н. В. Владыкин, А. В. Горегляд.
17. Зональность редкометалльных гранитов в свете геологических и физико-химических данных и критерии их рудоносности / В. И. Коваленко [и др.] // Критерии рудоносности метасоматитов. – Алма-Ата, 1969. – С. 117–119. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Ф. А. Летников, В. А. Нарсеев, Ю. А. Садовский, С. Б. Брандт.
18. Коваленко, В. И. О зональности массивов литий-фтористых редкометалльных гранитов и ее магматической интерпретации / В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин // Ежегодник по работам 1968 года. – Иркутск, 1969. – С. 119–124.
19. Коваленко, В. И. О новой провинции редкометалльных щелочных гранитов Восточной Монголии / В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин // Ежегодник по работам 1968 года. – Иркутск, 1969. – С. 115–118.
20. Кузьмин, М. И. Геохимические особенности калиевых полевых шпатов гигантопорфировидных гранитоидов Восточного Забайкалья / М. И. Кузьмин, В. С. Антипин // Геология и геофизика. – 1969. – № 4. – С. 29–37.
21. Некоторые общие черты мезозойского магматизма Монголии и Восточного Забайкалья / М. И. Кузьмин [и др.] // Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья. – Чита, 1969. – Вып. 6, ч. 1. – С. 89–94. – Соавт.: В. И. Коваленко, В. Д. Козлов, В. С. Антипин, Ц. Гундсамбуу, Ц. Цеден, Н. В. Владыкин, А. В. Горегляд.
22. О генезисе калиевых полевых шпатов в мезозойских порфировидных гранитоидах Восточного Забайкалья / В. С. Антипин [и др.] // Геохимия. – 1969. – № 6. – С. 698–708. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Э. И. Пополитов, Е. Б. Знаменский.

23. О структурном состоянии и некоторых геохимических особенностях калиевых полевых шпатов порфирированных гранитов и гранитпорфиров Восточного Забайкалья / В. С. Антипин [и др.] // Записки Всерос. минералогического об-ва. – 1969. – Ч. 98, вып. 3. – С. 356–360. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Г. Г. Афонина, Е. А. Клепикова, Л. Л. Петров.
24. Петрология, геохимия и рудоносность мезозойского гранитного магматизма Восточной Монголии. Предварительный отчет. Ч. 1-2 (1967–1969 гг.) / В. И. Коваленко [и др.]. – Иркутск, 1969. – (АН СССР. Сиб. отделение. Институт геохимии. Комплексная Советско-Монгольская геол. экспедиция АН СССР и МНР). – Соавт.: М. И. Кузьмин, Ц. Гундсамбуу, Ц. Цеден, Н. В. Владыкин, А. В. Горегляд.
25. Трошин, Ю. П. Термодинамический анализ эволюции состава газовой фазы при становлении гранитных интрузий / Ю. П. Трошин, М. И. Кузьмин, В. Д. Козлов // Рудообразование и его связь с магматизмом. – Якутск, 1969. – С. 30–31.

1970

26. Геохимическая специфика и история редких элементов при становлении массивов литий-фтористых редкометалльных гранитов Монголии / М. И. Кузьмин [и др.] // Ежегодник по работам 1969 года. – Иркутск, 1970. – С. 80–84. – Соавт.: В. И. Коваленко, В. А. Легейдо, Л. Л. Петров, Ц. Гундсамбуу, А. И. Кузнецова, Е. С. Костюкова, Д. Х. Николаева.
27. Геохимическая характеристика цвиттеров нового типа оловорудных метасоматитов Монголии (состав, зональность, парагенезисы) / В. И. Коваленко [и др.] // Докл. Акад. наук СССР. – 1970. – Т. 190, № 3. – С. 690–693. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Ц. Гундсамбуу, Ц. Цеден, Ч. Буян, А. В. Горегляд, Л. И. Черная, Н. В. Владыкин.
28. Коваленко, В. И. О магматическом генезисе литий-фтористых редкометалльных гранитов / В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин, Ф. А. Летников // Докл. Акад. наук СССР. – 1970. – Т. 190, № 2. – С. 446–449.
29. Литий-фтористый кварцевый кератофир (онгонит) – новая разновидность субвулканических жильных магматических пород / В. И. Коваленко [и др.] // Ежегодник по работам 1969 года. – Иркутск, 1970. – С. 85–88. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Ц. Цеден, Н. В. Владыкин.
30. О мезозойской щелочно-гранитной вулcano-плутонической формации Восточной Монголии на примере Дашибалбарского массива / С. Б. Брандт [и др.] // Изв. Акад. наук СССР, сер. Геол. – 1970. – № 11. – С. 27–33. – Соавт.: Л. П. Зоненшайн, В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин, М. С. Нагибина.
31. Факторы потенциальной рудоносности гипабиссальных интрузий гранитоидов / Л. В. Таусон [и др.] // Геохимические критерии потенциальной рудоносности гранитоидов. – Иркутск, 1970. – С. 216–261. – Соавт.: В. Н. Анфилов, В. И. Коваленко, В. Д. Козлов, М. И. Кузьмин, Ю. П. Трошин.

1971

32. Антипин, В. С. Особенности распределения бериллия в гранитоидах гипабиссальных интрузий : (на примере Голготайских массивов Восточного Забайкалья) / В. С. Антипин, М. И. Кузьмин, Л. Л. Петров // Геология и геофизика. – 1971. – № 6. – С. 49–56.
33. К характеристике зональности и происхождения амазонитовых и некоторых альбитовых редкометалльных гранитов Монголии / В. И. Коваленко [и др.]

др.] // Редкометалльные граниты и проблемы магматической дифференциации. – М., 1971. – С. 199–218. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Ц. Цеден, Ц. Гундсамбуу, Л. Л. Петров, В. А. Писарская.

34. Коваленко, В. И. К вопросу о классификации вольфрамового оруденения Монголии / В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин, А. И. Кузнецова // Минералогия и геохимия вольфрамовых месторождений. – Л., 1971. – С. 127–135.
35. Коваленко, В. И. О повышенных концентрациях цезия в кислых стеклах из Монгольской Народной республики / В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин, Л. И. Черная // Ежегодник Института геохимии СО АН СССР. – Иркутск, 1971. – С. 77–80.
36. Редкометалльные гранитоиды Монголии. Петрология, распределение редких элементов и генезис / Л. П. Зоненшайн [и др.]. – М., 1971. – 239 с. – Соавт.: В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин, М. С. Нагибина, А. С. Павленко, Ц. Гундсамбуу, А. В. Горегляд, Н. В. Владыкин.
37. Топазсодержащий кварцевый кератофир (онгонит) – новая разновидность субвулканических жильных магматических пород / В. И. Коваленко [и др.] // Докл. Акад. наук СССР. – 1971. – Т. 199, № 2. – С. 430–433. – Соавт.: М. И. Кузьмин, В. С. Антипин, Л. Л. Петров.
38. Южнообийский пояс щелочных пород с редкометальной минерализацией в Монгольской Народной Республике / В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин, А. В. Горегляд // Ежегодник Института геохимии СО АН СССР. – Иркутск, 1971. – С. 72–76.

1972

39. Антипин, В. С. Порфиробластические щелочные полевые шпаты вмезозойских гранитоидах Северо-Восточной Монголии / В. С. Антипин, М. И. Кузьмин, В. Н. Смирнов // Вопросы минералогии горных пород и руд Восточной Сибири. – Иркутск, 1972. – С. 139–147.
40. Зональность редкометалльных гранитов в свете геологических и физико-химических данных и критерии их рудоносности / В. И. Коваленко [и др.] // Критерии рудоносности метасоматитов : труды симпозиума. – Алма-Ата, 1972. – Ч. 1. – С. 288–296. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Ф. А. Летников, С. Б. Брандт, В. А. Нарсеев, Ю. А. Садовский.
41. К характеристике и происхождению амазонитовых и некоторых альбитовых редкометалльных гранитов Монголии / В. И. Коваленко [и др.] // Редкометалльные граниты и проблемы магматической дифференциации. – М., 1972. – С. 199–218. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Ц. Цеден и др.
42. Коваленко, В. И. Геохимические черты мезозойских гранитоидов и металлогенический облик Монгольской Народной Республики / В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин, Ю. П. Цыпуков // Ежегодник Института геохимии СО АН СССР. – Новосибирск, 1972. – С. 67–72.
43. Кузьмин, М. И. Геохимическая характеристика мезозойских гранитоидов Восточного Забайкалья / М. И. Кузьмин, В. С. Антипин // Геохимия редких элементов в магматических комплексах Восточной Сибири. – М., 1972. – С. 132–185.
44. Кузьмин, М. И. Геохимические типы мезозойских гранитоидов западной части Монголо-Охотского пояса / М. И. Кузьмин // I Международный геохимический конгресс. – М., 1972. – Т. 3, кн. 2. – С. 275–287.

45. Кузьмин, М. И. Мезозойские вулканические породы г. Типтур (Становый хребет) / М. И. Кузьмин, Л. М. Крылова // Геохимия эндогенных процессов. – Иркутск, 1972. – С. 66–70.
46. Минеральные парагенезисы, состав и номенклатура слюд редкометальных альбитсодержащих гранитоидов / П. В. Коваль [и др.] // Докл. Акад. наук СССР. – 1972. – Т. 202, № 5. – С. 1174–1177. – Соавт.: В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин и др.
47. Предварительные результаты геолого-геохимического сопоставления оловоносных гранитов рудных гор (Чехословакия) и Восточного Забайкалья (СССР) / В. Зоубек [и др.] // Ежегодник Института геохимии СО АН СССР. – Новосибирск, 1972. – С. 48–53. – Соавт.: Л. В. Таусон, В. Д. Козлов, М. И. Кузьмин.
48. Распределение фтора в дайке топазсодержащего кварцевого кератофира (онгонита) / В. И. Коваленко [и др.] // Ежегодник Института геохимии СО АН СССР. – Новосибирск, 1972. – С. 63–66. – Соавт.: П. В. Коваль, В. А. Писарская, Л. Л. Петров, М. И. Кузьмин.
49. Состав биотитов гранитоидов Восточного Забайкалья / П. В. Коваль [и др.] // Геохимия. – 1972. – № 8. – С. 957–970. – Соавт.: М. И. Кузьмин, В. С. Антипин, М. Н. Захаров, Е. Б. Знаменский, Г. С. Гормашева, С. А. Юрченко.
50. Состав, структурное состояние и генезис щелочных полевых шпатов редкометалльных “апогранитов” и их субвулканических аналогов (онгонитов) / В. С. Антипин [и др.] // Метасоматизм и рудообразование : краткие тезисы к конференции, 16-20 мая 1972 г. – Л., 1972. – С. 171–172. – Соавт.: В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин, Г. Г. Афонина.
51. Цыпуков, Ю.П. Особенности раннемезозойских гранитоидов и некоторые вопросы золотоносности Северо-Западного Хэнтея (МНР) / Ю. П. Цыпуков, М. И. Кузьмин // Ежегодник Института геохимии СО АН СССР. – Новосибирск, 1972. – С. 108–112.

1973

52. Абсолютный возраст гранитоидов Центральной и Восточной Монголии / С. Б. Брандт [и др.] // Геолого-радиологическая интерпретация несходящихся значений возраста. – М., 1973. – С. 264–271. – Соавт.: В. Н. Смирнов, В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин.
53. Геохимические типы мезозойских гранитоидов активизированных областей Монголии и их металлогения / В. И. Коваленко [и др.] // Металлогения областей тектоно-магматической активизации : тезис. докл. VII Всесоюз. металлогенического совещ. – Иркутск, 1973. – С. 71–72. – Соавт.: М. И. Кузьмин, П. В. Коваль, Ю. П. Цыпуков.
54. Зоненшайн, Л.П. Структурно-магматическая зональность, эндогенная металлогения и тектоника плит / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, В. И. Коваленко // Металлогения и новая глобальная тектоника : краткие тезисы докл. к Всесоюз. науч.-техн. совещ. «Проблемы металлогении в свете идей новой глобальной тектоники», 17-20 дек. 1973 г. – Л., 1973. – С. 26–30.
55. Общая схема мезозойской металлогении МНР / В. И. Коваленко [и др.] // Ежегодник. 1972 г. – Иркутск, 1973. – С. 109–114. – Соавт.: М. И. Кузьмин, П. В. Коваль, Ю. П. Цыпуков.
56. Поведение редких элементов в процессе кристаллизации литий-фтористых кварцевых кератофиров (онгонитов) / В. И. Коваленко [и др.] // Геохимия. –

1973. – № 8. – С. 1242–1245. – Соавт.: М. И. Кузьмин, В. С. Антипин, Л. Л. Петров, В. А. Легейдо, С. Р. Абрамова, В. Д. Цыханский, П. В. Коваль, Д. Х. Николаева.

57. Связь мезозойской металлогении, магматизма и тектоники в пределах восточной окраины Азии / Л. П. Зоненшайн [и др.] // Металлогения областей тектоно-магматической активизации : тезис. докл. VII Всесоюз. металлогенического совещ. – Иркутск, 1973. – С. 31–33. – Соавт.: В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин, М. С. Нагибина, А. Я. Салтыковский, В. С. Антипин, П. В. Коваль, Ю. П. Цыпуков.
58. Структурно-магматическая зональность и металлогения западной части Тихоокеанского пояса / Л. П. Зоненшайн [и др.] // Геотектоника. – 1973. – № 5. – С. 3–21. – Соавт.: М. И. Кузьмин, В. И. Коваленко, А. Я. Салтыковский, Л. М. Натапов, Г. А. Кудрявцев, Ю. Г. Гатинский, И. В. Виноградов, А. В. Мишина.
59. Структурно-магматическая зональность и металлогения Монголо-Охотского пояса и западной части Тихоокеанского кольца / Л. П. Зоненшайн [и др.] // Ежегодник. 1972 г. – Иркутск, 1973. – С. 103–108. – Соавт.: В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин, В. С. Антипин, П. В. Коваль, А. Я. Салтыковский, Ю. П. Цыпуков.

1974

60. Гранитоидные формации / А. С. Павленко [и др.] // Тектоника МНР. – М., 1974. – С. 210–242. – Соавт.: Г. И. Иванова, В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин, Б. Лувсанданзан, Л. П. Орлова, В. С. Павленко, Л. В. Филиппов, М. Е. Федорова.
61. Зоненшайн, Л. П. Два типа латеральной магматической и металлогенической зональности, связанной с зонами Беньюфа / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, В. М. Моралев // Ежегодник. 1973 : отчет о работе Института геохимии за 1973 г. – Новосибирск, 1974. – С. 109–114.
62. Зоненшайн, Л. П. Латеральная магматическая и металлогеническая зональность на основе палеотектонических реконструкций / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, В. М. Моралев // Геология рудных месторождений. – 1974. – Т. 16, № 4. – С. 3–17.
63. Очерк металлогении Монголии / А. С. Павленко [и др.] // Тектоника МНР. – М., 1974. – С. 243–253. – Соавт.: Г. И. Иванова, В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин, Б. Лувсанданзан, Л. П. Орлова, В. С. Павленко, Л. В. Филиппов, М. Е. Федорова.
64. Mesozoic structural-magmatic pattern and metallogeny of the Western part of the Pacific belt / Л. П. Зоненшайн [и др.] // Earth Planet Sci. Lett. 3, 1974. V. 22. № 1. P. 96–109. – Соавт.: М. И. Кузьмин, В. И. Коваленко, А. Я. Салтыковский.

1975

65. Зональность ареала мезозойских магматических и метасоматических пород западной части Монголо-Охотского пояса и некоторые вопросы их генезиса / В. И. Коваленко [и др.] // Геохимия и петрология метасоматоза. – Новосибирск, 1975. – С. 103–174. – Соавт.: М. И. Кузьмин, В. С. Антипин, П. В. Коваль.
66. Кузьмин, М. И. Новые данные по геохимии мезозойских гранитоидов Станового хребта / М. И. Кузьмин, А. Ю. Антонов // Ежегодник 1974 : отчет о работе Института геохимии за 1974 г. – Новосибирск, 1975. – С. 16–20.

67. Мезозойская структурно-магматическая и металлогеническая зональность восточной окраины Азии и ее интерпретация с позиций новой глобальной тектоники / Л. П. Зоненшайн [и др.] // Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 2. Проблемы металлогении областей тектоно-магматической активизации. – М., 1975. – С. 334–344. – Соавт.: М. И. Кузьмин, В. И. Коваленко, А. Я. Салтыковский.
68. Мезозойский магматизм / В. И. Коваленко [и др.] // Мезозойская и кайнозойская тектоника и магматизм Монголии. – М., 1975. – С. 130–220. – Соавт.: М. И. Кузьмин, В. С. Антипин, П. В. Коваль, Ю. П. Цыпуков.

1976

69. Зоненшайн, Л. П. Геодинамические условия проявления мезозойского и кайнозойского вулканизма Тихоокеанского кольца / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, В. М. Моралев // Глубинное строение, магматизм и металлогения Тихоокеанских вулканических поясов : краткие тезисы. Всесоюз. симпозиум. – Владивосток, 1976. – С. 39–40.
70. Зоненшайн, Л. П. Глобальная тектоника, магматизм и металлогения / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, В. М. Моралев. – М. 1976. – 231 с.
71. Кузьмин, М. И. Вулкано-плутоническая ассоциация мезозойских магматических пород Станового хребта / М. И. Кузьмин, А. Ю. Антонов // Ежегодник – 1975. СибГЕОХИ. – Иркутск, 1976. – С. 20–24.
72. Мезозойская тектоно-магматическая зональность Монголо-Охотского пояса и возможная интерпретация ее связи с развитием Тихоокеанского кольца / М. И. Кузьмин [и др.] // Глубинное строение, магматизм и металлогения Тихоокеанских вулканических поясов : краткие тезисы. Всесоюз. симпозиум. – Владивосток, 1976. – С. 237–239. – Соавт.: В. И. Коваленко, В. С. Антипин, П. В. Коваль.
73. Таусон, Л. В. Геохимические особенности и металлогения гранитоидов, формирующихся в различных геодинамических обстановках / Л. В. Таусон, М. И. Кузьмин // Геодинамика и полезные ископаемые : тезисы доклада к Всесоюз. науч.-техн. совещ. «Применение геодинамических моделей при изучении глубинного геологического строения рудных и нефтегазоносных провинций и выявлении новых закономерностей размещения полезных ископаемых», 16-18 нояб. 1976 г., г. Москва. – М., 1976. – С. 21–22.

1977

74. Глуховский, М. З. Тектоника и петрогенезис катархейского комплекса Алданского щита в связи с проблемой протофиолитов / М. З. Глуховской, В. М. Моралев, М. И. Кузьмин // Геотектоника. – 1977. – № 6. – С. 103–117.
75. Кузьмин, М. И. Геохимические особенности известково-щелочных серий магматических пород, проявленных в пределах континентальной коры / М. И. Кузьмин // Проблемы геохимии эндогенных процессов. – Новосибирск, 1977. – С. 215–223.
76. Мезозойские интрузии Монголии. Пространственное распределение, геохимия и рудоносность / В. И. Коваленко [и др.] // Основные проблемы геологии Монголии : труды ССМНИГЭ. – М., 1977. – Вып. 22. – С. 133–143. – Соавт.: М. И. Кузьмин, В. С. Антипин, П. В. Коваль, Ю. П. Цыпуков.

1978

77. Зоненшайн, Л. П. Хан-Тайширский офиолитовый комплекс Западной Монголии и проблема офиолитов / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин // Геотектоника. – 1978. – № 1. – С. 19–42.
78. Кузьмин, М. И. Геохимические особенности магматизма островных дуг и активных континентальных окраин и некоторые проблемы петрогенезиса / М. И. Кузьмин, Э. И. Пополитов // Геохимия. – 1978. – № 5. – С. 691–699.
79. Zonenshain, L. P. The Khan-Taishi Ophiolitic Complex of Western Mongolia, its petrology, origin and comparison with the ophiolitic complexes / L. P. Zonenshain, M. I. Kuzmin // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1978. V. 67, № 2. P. 95–109.

1979

80. Кузьмин, М. И. Геохимическое сопоставление мезозойских вулканических пород Монголо-Охотского пояса с вулканитами Тихоокеанских активных окраин / М. И. Кузьмин, В. С. Антипин // Геохимическая модель земной коры и верхней мантии в зонах перехода от континентов к Тихому океану : тезис. докл. XIV Тихоокеан. науч. конгресса (г. Хабаровск, август 1979 г.). – М., 1979. – С. 26–28.
81. Кузьмин, М. И. История развития Монголо-Охотского пояса в среднем-позднем палеозое и мезозое / М. И. Кузьмин, И. Б. Филиппова // Строение литосферных плит (взаимодействие плит и образование структур земной коры). – М., 1979. – С. 189–226.
82. Кузьмин, М. И. Карта мезозойской и кайнозойской тектоники МНР / М. И. Кузьмин. – М., 1979.
83. Кузьмин, М. И. Мезозойский габбро-плагиогранитный комплекс Восточного Забайкалья / М. И. Кузьмин, В. С. Антипин, А. В. Лызин // Геохимия эндогенных процессов. – Иркутск, 1979. – С. 34–38.
84. Кузьмин, М. И. Петрографические и геохимические особенности мезозойского габбро-плагиогранит-андезитового вулканоплутонического комплекса Восточного Забайкалья / М. И. Кузьмин, В. С. Антипин, А. В. Лызин // Проблемы петрогенезиса и рудообразования, корреляция эндогенных процессов : тезис. докл. к III Вост.-Сиб. регион. петрограф. совещ. – Иркутск, 1979. – С. 44–45.
85. Пополитов, Э. И. Особенности геохимии океанических базальтов в зависимости от геодинамической обстановки / Э. И. Пополитов, М. И. Кузьмин // Геохимическая модель земной коры и верхней мантии в зонах перехода от континентов к Тихому океану : материалы XIV Тихоокеан. науч. конгр. Секция В (VI, г. Хабаровск, 1979 г.). – Владивосток, 1982. – С. 36–41.

1980

86. Глубоководные желоба как структуры сжатия / Л. П. Зоненшайн [и др.] // Изв. АН СССР, сер. Геол. – 1980. – № 7. – С. 96–108. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Б. В. Баранов, Л. А. Савостин, Л. Р. Мерклин.
87. Кузьмин, М. И. Геохимия мезозойских гранитоидов Станового хребта / М. И. Кузьмин, А. Ю. Антонов // Геохимия. – 1980. – № 7. – С. 1018–1030.
88. Кузьмин, М. И. Распределение золота в мезозойских гранитоидах Станового хребта / М. И. Кузьмин, А. Ю. Антонов, А. А. Хлебникова // Геология и геофизика. – 1980. – № 9. – С. 18–76.

1981

89. Геологическая история хребта Брокен (по данным бурения и изучения естественных обнажений) / М. И. Кузьмин [и др.] // Геология дна океанов по данным глубоководного бурения: программа и тезис. докл. Всесоюз. школы (Звенигород, 2-6 марта 1981 г.). – М., 1981. – С. 121–122. – Соавт.: Ю.А. Богданов, В.В. Серова, А.П. Лисицын, И.В. Хворова.
90. Глуховский, М. З. Гранулит-базитовые комплексы раннего докембрия и их металлогеническое значение / М. З. Глуховский, В. М. Моралев, М. И. Кузьмин // Металлогения докембрия: тезис. докл. II Всесоюз. совещ. (Иркутск, 14-19 сент. 1981 г.). – Иркутск, 1981. – С. 36–37.
91. Корреляция мезозойских тектонических движений и магматизма в Восточной Азии / М. С. Нагибина [и др.] // Геотектоника. – 1981. – № 6. – С. 77–91. – Соавт.: В. С. Антипин, Ю. Г. Гатинский, Г. А. Гринберг, Г. С. Гусев, В. И. Коваленко, П. В. Коваль, Ю. В. Комаров, М. И. Кузьмин, А. В. Мишина.
92. Кузьмин, М. И. Особенности состава плагиогранитных серий, связанных с различными геодинамическими обстановками / М. И. Кузьмин // Вопросы петрологии и металлогении Урала. – Свердловск, 1981. – Ч. 2. – С. 7–9.

1982

93. Антипин, В. С. Распределение редкоземельных элементов в поздне-мезозойских вулканических породах Монголо-Охотского пояса / В. С. Антипин, М. И. Кузьмин, В. В. Конусова // Геохимия редкоземельных элементов в эндогенных процессах. – Новосибирск, 1982. – С. 31–43.
94. Геологическое строение зон трансформных разломов Аравийско-Индийского хребта / А. П. Лисицын [и др.] // Докл. Акад. наук СССР. – 1982. – Т. 263, № 6. – С. 1468–1472. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Ю. А. Богданов, И. В. Хворова, В. В. Серова.
95. Кашинцев, Г. Л. Состав и строение океанической коры в районе впадины Хесса (Тихий океан) / Г. Л. Кашинцев, М. И. Кузьмин, Э. И. Пополитов // Геотектоника. – 1982. – № 6. – С. 112–123.
96. Кузьмин, М. И. Геохимическое сопоставление мезозойских вулканических пород Монголо-Охотского пояса (Становик, Восточное Забайкалье) с кайнозойскими вулканитами запада США / М. И. Кузьмин, В. С. Антипин // Геохимическая модель земной коры и верхней мантии в зонах перехода от континентов к Тихому океану : материалы XIV Тихоокеан. науч. конгр. Секция В VI. Хабаровск, 1979 г. – Владивосток, 1982. – С. 87–93.
97. Кузьмин, М. И. Распределение редкоземельных элементов в магматических породах Хан-Тайширского комплекса (Западная Монголия) / М. И. Кузьмин, В. В. Конусова // Геохимия редкоземельных элементов в эндогенных процессах. – Новосибирск, 1982. – С. 43–49.
98. Пополитов, Э. И. Особенности геохимии океанических базальтов в зависимости от геодинамической обстановки / Э. И. Пополитов, М. И. Кузьмин // Геохимическая модель земной коры и верхней мантии в зонах перехода от континентов к Тихому океану : матер. XIV Тихоокеан. науч. конгр. Секция В VI. Хабаровск, 1979 г. – Владивосток, 1982. – С. 36–41.

1983

99. Альмухамедов, А. И. Магматические породы спрединговых и палеоспрединговых зон Земли / А. И. Альмухамедов, М. И. Кузьмин // Эволюция

- магматизма в главнейших структурах Земли : тезис. докл. – М., 1983. – С. 54–55.
100. Геологическое строение рифтовой зоны хр. Рейкьянес в районе 58° с.ш. / Ю. А. Богданов [и др.] // Докл. Акад. наук СССР. – 1983. – Т. 273, № 6. – С. 1478–1482. – Соавт.: А. М. Сагалевиц, М. И. Кузьмин, А. П. Кузнецов.
 101. Глуховский, М. З. Крупные гранито-гнейсовые купола в связи с проблемами металлогении и древних платформ / М. З. Глуховский, В. М. Моралев, М. И. Кузьмин // Гранито-гнейсовые купола : тезис. докл. – Иркутск, 1983. – С. 150.
 102. Зоненшайн, Л. П. Внутриплитовый вулканизм и его значение для понимания процессов в мантии Земли / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин // Геотектоника. – 1983. – № 1. – С. 28–45.
 103. Кузьмин, М. И. Магматические проявления в мезозое. Восточное Забайкалье. Мезозойская тектоника и магматизм Восточной Азии / М. И. Кузьмин, В. С. Антипин // Корреляция времени проявления тектонических движений и магматизма. – М., 1983. – С. 137–151.
 104. Положение ультраосновных-основных расслоенных пород и дайковой серии в офиолитовых разрезах Монголии / М. И. Кузьмин [и др.] // Геология и геофизика. – 1983. – № 4. – С. 15–24. – Соавт.: Л. П. Зоненшайн, О. Томуртогоо, Б. В. Баранов.
 105. Риолиты Западно-Австралийского хребта (Индийский океан) / М. И. Кузьмин [и др.]. – Докл. Акад. наук СССР. – 1983. – Т. 269, № 4. – С. 900–904. – Соавт.: А. П. Лисицын, Ю. А. Богданов, А. С. Батырмурзаев.
 106. Balla Z., Novorka D., Kuzmin M. I., Vinogradov V. Mesozoic ophiolites of the Bukk Mountains (North Hungary). *Ophioliti*, 1983. V. 8. P. 5–46.

1984

107. Альмухамедов, А. И. Переходная зона хребта Рейкьянес: особенности строения, вулканизм / А. И. Альмухамедов, Ю. А. Богданов, М. И. Кузьмин // Геология океанов и морей : тезис. докл. 6 Всесоюз. школы морской геологии. – Т. 2. – М., 1984. – С. 72–73.
108. Зоненшайн, Л. П. Внутриплитовый магматизм и тектоника / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин // Геология океанов и морей : тезис. докл. 6 Всесоюз. школы морской геологии. – Т. 2. – М., 1984. – С. 122.
109. Коваленко, В. И. Мезозойский магматизм Монголо-Охотского пояса и его возможная геодинамическая интерпретация / В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин, В. С. Антипин // Изв. АН СССР. Сер. Геол. – 1984. – № 7. – С. 93–107.
110. Коптева, В. В. Строение верхней части разреза офиолитов Баян-Хонгорской зоны Монголии / В. В. Коптева, М. И. Кузьмин, О. Томуртогоо // Геотектоника. – 1984. – № 6. – С. 39–54.
111. Кузьмин, М. И. Геохимия магматических пород и палеогеодинамические реконструкции / М. И. Кузьмин, А. И. Альмухамедов, Г. Н. Аношин // 27 Междунар. геол. конгресс : тезис. докл. Т. 9. Секция 06,07. Москва, 4-14 авг. 1984 г. – М., 1984. – С. 82–83.
112. Кузьмин, М. И. Геохимия палеозойских офиолитов и их первичная природа / М. И. Кузьмин, А. И. Альмухамедов // 27 Междунар. геол. конгресс : тезис. докл. Т. 3. Секция 06,07. Москва, 4-14 авг. 1984 г. – М., 1984. – С. 283–284.

113. Кузьмин, М. И. Редкоземельные элементы как индикаторы петрогенезиса пород дна океана / М. И. Кузьмин, Г. А. Кашинцев // Геология океанов и морей : тезис. докл. 6 Всесоюз. школы морской геологии. – Т. 2. – М., 1984. – С. 156–157.
114. Кузьмин, М. И. Химический и редкоземельный состав базальтоидов реки Шулдак (Южные Мугоджары) / М. И. Кузьмин, А. И. Альмухамедов // История развития Уральского палеоокеана. – М., 1984. – С. 126–139.
115. О природе хребта Брокен (Индийский океан) / М. И. Кузьмин [и др.] // Геохимия магматических пород океана и зон сочленения океан-континент. – Новосибирск, 1984. – С. 59–74. – Соавт.: А. П. Лисицын, Ю. А. Богданов, В. В. Серова, И. В. Хворова.
116. Палеозойские океаны: попытка абсолютных реконструкций / Л. П. Зоненшайн [и др.] // 27 Междунар. геол. конгресс. Коллоквиум 03. Доклады. Т. 3. Палеоокеанология. Москва, 4-14 авг. 1984 г. – М., 1984. – С. 35–45. – Соавт.: М. И. Кузьмин, М. В. Кононов, А. М. Городницкий.
117. Строение рифта Таджура в Аденском заливе по данным исследования с подводных обитаемых аппаратов / А. П. Лисицын [и др.] // Докл. Акад. наук СССР. – 1984. – Т. 279, № 5. – С. 1189–1193. – Соавт.: Ю. А. Богданов, Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, А. М. Сагалевич.
118. Тектоника океанических рифтов с малой скоростью спрединга по результатам подводных исследований хребта Рейкьянес и Красного моря / А. С. Монин [и др.] // 27 Междунар. геол. конгресс : тезис. Т. 3. Секция 06,07. Москва, 4-14 авг. 1984 г. – М., 1984. – С. 283–284. – Соавт.: Ю. А. Богданов, Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, А. М. Сагалевич, О. Г. Сорохтин.

1985

119. Кузьмин, М. И. Геохимия магматических пород фанерозойских подвижных поясов / М. И. Кузьмин ; отв. ред. Л. В. Таусон. – Новосибирск, 1985. – 199 с.
120. Кузьмин, М. И. Использование геохимических данных для палеорекопструкций / М. И. Кузьмин // Принципы палеогеодинамических реконструкций. – М., 1985.
121. Кузьмин, М. И. Подводные геологические исследования с обитаемых аппаратов / М. И. Кузьмин, Э. И. [и др.] ; отв. ред.: А. С. Монин, А. П. Лисицын. – М., 1985. – 230 с. – Соавт.: А. С. Монин, Ю. А. Богданов, Л. П. Зоненшайн.
122. Офиолиты Западной Монголии/ Л. П. Зоненшайн [и др.] // Рифейско-нижнепалеозойские офиолиты Северной Евразии. – Новосибирск, 1985. – С. 7–19. – Соавт.: М. И. Кузьмин, О. Томуртогоо, В. В. Коптева.
123. Сагалевич, А. М. Методика проведения подводных геологических исследований в рифтовой зоне хребта Рейкьянес / А. М. Сагалевич, М. И. Кузьмин, А. А. Аксенов // Океанология. – 1985. – Т. XXV, вып. 1. – С. 155–161.
124. Zonenshain L. P., Kuzmin M. I., Kononov V. V. Absolute reconstructions of the Paleozoic oceans Earth and Planet. Sci. Lett., 1985, v. 74, № 1. P. 103–116.

1986

125. Альмухамедов, А. И. Вулканизм хребта Рейкьянес / А. И. Альмухамедов [и др.] // Геология и геофизика. – 1986. – № 3. – С. 53–61. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Ю. А. Богданов, И. М. Сборщиков.

126. Кузьмин, М. И. Геохимия палеозойских офиолитов и их первичная природа / М. И. Кузьмин, А. И. Альмухамедов, В. С. Антипин // Геология и геофизика. – 1986. – № 1. – С. 81–88.
127. Трансформные разломы Индийского океана / М. И. Кузьмин [и др.]. – М., 1986. – 245 с. – Соавт.: А. П. Лисицын, Ю. А. Богданов, И. В. Хворова и др.

1987

128. Зоненшайн, Л. П. Абсолютные реконструкции положения континентов (включая Сибирь) в палеозое и раннем мезозое / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, М. В. Кононов // Геотектоника. – 1987. – № 3. – С. 16–27.
129. Зоненшайн, Л. П. Краткий очерк тектоники плит территории СССР / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, Л. М. Натапов // Геодинамические модели некоторых нефтегазоносных и рудных районов. – Л., 1987. – С. 10–32.
130. Зоненшайн, Л. П. Новый взгляд на геологическую историю Советского Союза / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, Л. М. Натапов // Природа. – 1987. – № 2. – С. 32–40.
131. Зоненшайн, Л. П. Очерк по тектонике плит СССР / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, Л. М. Натапов // Геотектоника. – 1987. – № 6. – С. 3–19.
132. Зоненшайн, Л. П. Тектоника плит территории СССР / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, Л. М. Натапов // Актуальные проблемы тектоники СССР и закономерности размещения полезных ископаемых: тезис. докл. XX Всесоюз. тектон. совещ. – М., 1987. – С. 23–24.
133. Зоненшайн, Л. П. Типы внутриконтинентальных горных областей / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин // Внутриконтинентальные горные области: геологические и геофизические аспекты : [тезис. междунар. симпоз.]. – Иркутск, 1987. – С. 310.
134. Кузьмин, М. И. Геохимические типы магматических пород различных геодинамических обстановок / М. И. Кузьмин, Л. П. Зоненшайн // Геохимическая типизация магматических пород и их геодинамика. – Иркутск, 1987. – С. 3–17.
135. Кузьмин, М. И. Магматизм. Геология рифта Таджура: наблюдения из подводных аппаратов / М. И. Кузьмин. – М., 1987. – С. 150–177.
136. Кузьмин, М. И. Модель магматического очага под срединно-океаническими хребтами / М. И. Кузьмин, Л. П. Зоненшайн // Геохимия магматических пород современных и древних активных зон. – Новосибирск, 1987. – С. 4–22.
137. Кузьмин, М. И. Особенности вещественного состава коры Уральского палеоокеана на примере офиолитов Южных Мугоджар / М. И. Кузьмин, А. И. Альмухамедов // Геохимия магматических пород современных и древних активных зон. – Новосибирск, 1987. – С. 148–157.
138. Кузьмин, М. И. Предисловие редактора к монографии А. Н. Иванова и Б. М. Шмакина // Эволюция пегматитообразования в регионах с многоэтапным гранитным магматизмом. – Новосибирск, 1987. – С. 3–4.
139. Кузьмин, М. И. Тектоника литосферных плит и геохимия / М. И. Кузьмин // Современные проблемы теоретической и прикладной геохимии. – Новосибирск, 1987. – С. 19–26.
140. A catastrophic event on the Juan de Fuca spreading center at axial mt (46°N) / Л. П. Зоненшайн [и др.] // XIX General Assembly, Vancouver Canada, 1987. Abstracts, v. 1. Union Iag IASPEI Canada, Energy Mines and Resources Canada. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Ю. А. Богданов, А. П. Лисицын.

141. Kuzmin M.I., Almukhamedov A.I., Anoshin G.N. The geochemistry of magmatic rocks and paleodynamic reconstructions // Compos., Struct. and Dyn. Lithosphere-Asthenosphere Syst.: Based on Symp. 26th Internat. Geol. Congr., Moscow, 1984. – Washington (D.C.); Boulder (Colo), 1987. P. 165–174.

1988

142. Магматические комплексы складчатых областей – ключ к геодинамическим реконструкциям? / М. И. Кузьмин [и др.] // Тектонические исследования в связи со средне- и крупномасштабным картированием : тезис. докл. XXI Всесоюз. тектон. совещ. – Москва, 1988. – С. 25–27. – Соавт.: Г. С. Закариадзе, Н. В. Короновский, М. Г. Ломизе, М. Б. Лордкипанидзе.

1989

143. Геология хребта Хуан де Фука в районе г. Осевой (Тихий океан) / Л. П. Зоненшайн [и др.] // Тихоокеанская геология. – 1989. – № 1. – С. 11–23. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Ю. А. Богданов, А. П. Лисицын, А. М. Подражанский.
144. Геодинамическая карта СССР и прилегающих акваторий масштаба 1 : 2 500 000 / ред.: Л. П. Зоненшайн [и др.]. – М., 1989. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Н. В. Межеловский, Л. М. Натапов.
145. Геохимия и геология базальтов и осадков рифта Таджура (Аденский залив) / М. И. Кузьмин [и др.]. – М., 1989.
146. Гидротермальные проявления Срединно-Атлантического хребта на 26° с.ш. (гидротермальное поле ТАГ) / А. П. Лисицын [и др.] // Изв. Акад. наук СССР. Сер. геол. – 1989. – № 12. – С. 3–20. – Соавт.: Ю. А. Богданов, Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, А. М. Сагалевиц.
147. Зоненшайн, Л. П. Тектоническое районирование территории СССР / Л. П. Зоненшайн, Л. Н. Натапов, М. И. Кузьмин // Геологическая история территории СССР и тектоника плит. – М., 1989. – 206 с.
148. Кузьмин, М. И. Геохимические данные : [гл. 7] / М. И. Кузьмин // Геодинамические реконструкции : метод. пособие. – Л., 1989. – С. 175–197.
149. Первая геологическая экспедиция на глубоководных обитаемых аппаратах «Мир». 15-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» / А. П. Лисицын [и др.] // Вестн. АН СССР. – 1989. – № 1. – С. 86–94. – Соавт.: А. М. Сагалевиц, Ю. А. Богданов, Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин.
150. Тектоника рифтовой долины Срединно-Атлантического хребта между 26 и 24° с.ш.: свидетельства вертикальных перемещений / Л. П. Зоненшайн [и др.] // Геотектоника. – 1989. – № 4. – С. 99–112. – Соавт.: М. И. Кузьмин, А. П. Лисицын, Ю. А. Богданов, А. М. Сагалевиц, Б. В. Баранов.
151. Filippova I., Zonenshain L. P., Kuzmin M. I., Evolution of Mongol-Okhotsk Foldbelt // Abstracts, v. 2 of 3, 28 IGC Washington 2-244-245, 1989. P. 244.
152. Lisitsin A. P., Bogdanov Yu. A. Zonenshain L. P., Kuzmin M. I., Sagalevich A. M. Soviet research from submersibles of hydrothermal Ore Occurrence in oceanic rift. // Abstracts, v.2 of 3 28 IGC Washington 2-244-245, 1989.
153. Lisitsin A. P., Kuzmin M. I., Bogdanov Yu. A., Zonenshain L. P., Sagalevich A. M. Soviet Research from Submersibles of hydrothermal ore occurrences Oceanic Rifts // CCOP/ SOPAC IOC fourth international workshop on Geology, geophysics and mineral resources of the south Pacific Canberra Australia, 1989. P. 83.

154. Hydrothermal Phenomena in the Mid-Atlantic ridge at lat. 26°n (Tag Hydrothermal Field) / A. P. Lisitsyn, Yu. A. Bogdanov, L. P. Zonenshayn, M. I. Kuz'min, A. M. Sagalevic // *International Geology Review*. – V. 31. – 1989. – P. 1183–1198.
155. Zonenshain L. P., Kuzmin M. I., Lisitsin A. P., Bogdanov Yu. A., Baranov B. V. Tectonics of the Mid-Atlantic rift valley between the TAG and MARK areas (26–24° N): evidence for vertical tectonism // *Tectonophysics*. – 1989, v. 159, N 1/2. – P. 1–23.

1990

156. Антипин, В. С. Минералогические и геохимические особенности кайнозойских щелочных базальтов на Байкале (Большой Ушканий остров) / В. С. Антипин, М. И. Кузьмин, Ю. Д. Бобров // *Докл. Акад. наук СССР*. – 1990. – Т. 314, № 4. – С. 948–951.
157. Балла, З. Кинематика раскрытия Байкала / З. Балла, М. И. Кузьмин, К. Г. Леви // *Геотектоника*. – 1990. – № 2. – С. 80–91.
158. Зоненшайн, Л. П. О геологической истории СССР: подход с разных позиций : [ответ на критику] / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, Л. М. Натапов // *Бюлл. МОИП*. – 1990. – Т. 65, № 1. – С. 130–141.
159. Зоненшайн, Л. П. Тектоника литосферных плит территории СССР / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, Л. М. Натапов. – М., 1990. – Кн. 1. – 326 с.
160. Зоненшайн, Л. П. Тектоника литосферных плит территории СССР / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, Л. М. Натапов. – М., 1990. – Кн. 2. – 334 с.
161. Зоненшайн, Л. П. Тектоника плит и тектоника горячих полей / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин // *Геодинамика и развитие тектоносферы* : [тезис. докл.]. – М., 1990. – С. 13.
162. Зоненшайн, Л. П. Тектоническое положение и магматизм горы Осевой хребта Хуан-де-Фука / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин // *Геологическое строение и гидротермальные образования хребта Хуан-де-Фука*. – М., 1990. – С. 4–25.
163. Карта магматических формаций юго-восточной Сибири и северной части МНР, М 1 : 1 500 000 / редколл. : М. И. Кузьмин [и др.] // *Министерство геологии СССР*. – М., 1990.
164. Кузьмин, М. И. Офиолиты и их геодинамическая природа / М. И. Кузьмин, А. И. Альмухамедов // *Геодинамические условия формирования, геохимические аспекты генезиса базитов и гипербазитов* : материалы Всесоюз. совещ. «Геохимия и критерии рудоносности базитов и гипербазитов». – Иркутск, 1990. – С. 4–5.
165. Рифтовая зона хребта Рейкьянес: тектоника, магматизм, условия осадконакопления / М. И. Кузьмин [и др.]. – М., 1990. – 235 с.
166. Kuzmin M. I., Dril S. I., Shudegova S. Interpretation of geodynamic nature of Mongol-Okhotsk Lineament. Report № 6 of the IGCP Project Pre-Jurassic evolution of eastern Asia. Novosibirsk. Inst. Geol. Geoph, 1990.
167. Nasialos misterios delfondo marino / А. М. Подражанский [и др.]. – М., 1990. – Соавт.: А. Н. Сагалевиц, Ю. А. Богданов, Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, А. Н. Лисицын.
168. Zonenshain L. P., Kuzmin M. I. Continent Accretion Eurasia as Example. In: book 28 IGC Abstracts v 3 of 3 Washington, 3-453, 1989. P. 453.

169. Zonenshain L. P., Kuzmin M. I., Natapov L. M. Plate reconstructions of USSR territory // In: book 28 IGC. Abstracts, v.3 of 3 Washington 3-452, 1989. P. 452.

1991

170. Балла, З. Байкальская рифтовая зона: активное или пассивное рифтообразование/ З. Балла, М. И. Кузьмин, К. Г. Леви // Тектоника и металлогения зон активизации (структур Дива) : тезис. докл. 2-го Междунар. симпоз. Ч. 1. Тектоника и магматизм. – Благовещенск, 1991. – С. 25–26.
171. Кузьмин, М. И. Бонинитовые серии Южного Урала: геолого-петрографическое описание, особенности состава, проблемы генезиса / М. И. Кузьмин, Л. Я. Кабанова // Потенциальная рудоносность, геохимические типы и формации магматических пород. – Новосибирск, 1991. – С. 156–173.
172. Разрез океанической коры трога Кинг (Центральная Атлантика) / Н. Л. Добрецов [и др.] // Изв. Акад. наук СССР. Сер. геол. – 1991. – № 8. – С. 141–146. – Соавт.: Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, Н. А. Богданов, Н. С. Сущевская, И. М. Сборщиков.
173. Kuzmin M. I., Antipin V. S. The geochemical types of granitoids of the Mongol-Okhotsk belt and their geodynamic setting // International Symposium «Granite and geodynamics», Moscow, 1992, Extended Abstracts volume. P. 53–54.
174. Zonenshain L. P., Kuzmin M. I., Vocharova N. Yu. Hot-field tectonics. Tectonophysics. 1991. V. 199. P. 165–192.

1992

175. Зоненшайн, Л. П. Палеогеодинамика / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин. – М., 1992. – 192 с.
176. Кузьмин, М. И. Геология и геохимия золота Сибири / М. И. Кузьмин // Стенограмма засед. межвед. науч. совета. Новосибирск, 1 апр. 1992 г. (в сокращ.). – Новосибирск, 1992. – С. 32–38.
177. О предложениях к концепции по инвентаризации природных ресурсов Сибири / Н. Л. Добрецов [и др.] // Стенограмма засед. межвед. науч. совета Новосибирск, 1 апр. 1992 г. (в сокращ.). – Новосибирск, 1992. – С. 86–88. – Соавт.: Н. А. Логачев, В. В. Воробьев, И. Ю. Коропачинский, Е. В. Пиннекер, Г. В. Поляков, М. И. Кузьмин, О. Ф. Васильев, Г. Р. Колонин, В. Н. Седых.
178. Kuzmin M. I., Dril S. I., Tsypukova S. S. Petrology and geochemistry of backarc and forearc basalts // Abstracts. v. 2/3 29 International Geological Congress Kyoto, Japan, 24 Aug.-3 Sept., 1992. – Kyoto, 1992, v. 2. P. 546.
179. Zonenshain L. P., Kuzmin M. I., Vocharova N. Yu. Hot fields tectonics // Abstract. v. 1/3 29 th Internat. Geolog. Congress, Kyoto, Japan, 24 Aug.-3 Sept. 1992. – Kyoto, 1992, v. 1. P. 148.
180. Zonenshain L. P., Kuzmin M. I. The Mongol-Okhotsk belt as a Mesozoic suture between the Siberian and Amur-China continents // Abstract. v. 29 th Internat. Geological Congress, Kyoto, Japan, 24 Aug.-3 Sep., Kyoto, 1992, v. 2. P. 278.
181. Zonenshain L. P., Kuzmin M. I., Kazmin V. G. New data on the Baikal rift geology; results of submarine geological observations // International Project on Paleolimnology and Cenozoic Climate. Newsletter, 1992, № 6. P. 10–20.

1993

182. Вещественный состав третьего слоя океанической коры северной Атлантики (40-51° с.ш.) / М. И. Кузьмин [идр.] // *Геохимия*. – 1992. – № 12. – С. 1415–1435. – Соавт.: С. А. Силантьев, Б. А. Базылев, К. Д. Клитгорд, Дж. Ф. Кэйси, И. Э. Ломакин, И. Д. Сборщиков.
183. Геологическое строение фундамента средней части оз. Байкал (по данным глубоководных исследований на ПОА «Пайсис») / А. А. Бухаров [и др.] // *Геология и геофизика*. – 1993. – Т. 34, № 9. – С. 9–30. – Соавт.: Н. Л. Добрецов, Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, В. А. Фиалков.
184. Геология дна Байкала, изученная с подводных аппаратов «Пайсис» / Л. П. Зоненшайн [и др.] // *Докл. Акад. наук*. – 1993. – Т. 330, № 1. – С. 84–88. – Соавт.: В. Г. Казьмин, М. И. Кузьмин, Н. Л. Добрецов, Б. В. Баранов, М. В. Кононов, В. Д. Мац, З. Балла, В. А. Фиалков, В. В. Харченко.
185. Геохимия современной седиментации озера Байкал / М. И. Кузьмин [и др.] // *Геология и геофизика*. – 1993. – № 10-11. – С. 50–66. – Соавт.: В. Д. Пампура, А. Н. Гвоздков, В. С. Антипин, И. С. Ломоносов, А. П. Хаустов.
186. Зоненшайн, Л. П. Глубинная геодинамика Земли / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин // *Геология и геофизика*. – 1993. – Т. 34, № 4. – С. 3–12.
187. К тайнам дна (от глубин Байкала до дна океана) (на англ. яз.) / У. Богданов [и др.] // *Mysteries of the Deeps (from the depth of lake Baikal to the oceanfloor)*. – Moscow: Progress Publishers, 1989. – 384 pp. – Соавт.: Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, А. П. Лисицын, А. М. Подражанский, А. М. Сагалевич.
188. Кузьмин, М. И. Дно Байкала – летопись Земли / М. И. Кузьмин // *Наука в Сибири*. – 1993. – № 34. – С. 5.
189. Кузьмин, М. И. Летописец Земли / М. И. Кузьмин // *Вост.-Сиб. правда*. – 1993. – 23 дек.
190. Моралев, В. М. Геодинамические обстановки формирования гранитоидов в литосфере / В. М. Моралев, М. З. Глуховский, М. И. Кузьмин // *Геохимическая эволюция гранитоидов в истории литосферы*. – М., 1993. – С. 11–36.
191. Проект «Байкал – бурение»: научные и технические задачи и первые результаты / М. И. Кузьмин [и др.] // *Геология и геофизика*. – 1993. – № 10/11. – С. 5–15. – Соавт.: Д. Ф. Вильямс, Н. А. Логачев, М. Колман, Б. Н. Хахаев, Т. Кавай, П. Херн, Ш. Хорие, Л. А. Певзнер, А. А. Бухаров, В. А. Фиалков.
192. Gordienko I. V., Kuzmin M. I., Bayanov V. D., Al'mukhamedov A. I., Antipin V. S. Paleoeceanic complexes of the Dzhida caledonide zone // *Abstracts., Report N 4 of the IGCP Project 283, Novosibirsk, 1993*. P. 70–72.
193. Kuzmin M. I., Antipin V. S. The geochemical types of granitoids of the Mongol-Okhotsk belt and their geodynamic setting // *Chinese Journal of Geochemistry*, 1993, v. 12, № 2. P. 110–117.
194. Kuzmin M. I., Dril S. I., Tsypukova S. S., Pakholchenko Yu., Al'mukhamedov E. A. Geochemistry of late Paleozoic volcanics of Ingoda depression (Western segment of the Mongol-Okhotsk suture) // *Report 4 th of the IGCP Project Fourth International Symposium on Geodynamic Evolution of Paleasian Ocean, Abstracts, Novosibirsk, Russia, 1993*. P. 195–196.
195. Logachev N. A., Grachev M. A., Kuzmin M. I., Hearn P. P., Williams D. F., Horie Sh., Kawai T. Baikal drilling project first results and prospects for future studies // *Koptyug, Klerx (eds.). Science Policy: New Mechanism for Scientific*

1994

196. Байкальский буровой проект: ключевая программа в решении геологических, палеоклиматических и экологических проблем байкальского региона / М. И. Кузьмин [и др.] // IV Объединенный междунар. симпоз. по проблемам прикладной геохимии, посвящ. памяти акад. Л. В. Таусона, 7-10 сент. 1994 г., г. Иркутск, Россия. – Т. 2. – Иркутск, 1994. – С. 121. – Соавт.: В. Д. Пампура, В. С. Антипин, А. В. Горегляд, Б. В. Томилов.
197. Горячий пояс ранней Земли и его эволюция / М. З. Глуховский, Н. З. Моралев, М. И. Кузьмин // Геотектоника. – 1994. – № 5. – С. 3–15.
198. Кузьмин, М. И. Геохимическая типизация горных пород / М. И. Кузьмин, В. А. Макрыгина, З. И. Петрова // IV Объединенный междунар. симпоз. по проблемам прикладной геохимии, посвящ. памяти акад. Л. В. Таусона, 7-10 сент. 1994 г., г. Иркутск, Россия. – Т. 1. – Иркутск, 1994. – С. 29–30.
199. Кузьмин, М. И. Дно Байкала – летопись Земли / М. И. Кузьмин // Наука в России. – 1994. – № 6. – С. 53–57.
200. Кузьмин, М. И. Задачи проекта «Байкал – бурение» и перспективы развития проекта в будущем / М. И. Кузьмин // Байкал – природная лаборатория для исследования изменений окружающей среды и климата. – Иркутск, 1994. – Т. 1. – С. 36.
201. Кузьмин, М. И. Летучие компоненты в магмах задуговых бассейнов Тихого океана / М. И. Кузьмин, В. А. Симонов, С. И. Дриль // Термобарогеохимия минералообразующих процессов. – Новосибирск, 1997. – С. 51–66.
202. Кузьмин, М. И. Многоцелевое геохимическое картирование масштаба 1 : 1 000 000 (МГХК -1000) – основа фундаментальных и прикладных региональных геохимических работ (Байкальский геоэкологический полигон) / М. И. Кузьмин, П. В. Коваль // IV Объединенный междунар. симпоз. по проблемам прикладной геохимии, посвящ. памяти акад. Л. В. Таусона, 7-10 сент. 1994 г., г. Иркутск, Россия. – Т. 2. – Иркутск, 1994. – С. 117–118.
203. Кузьмин, М. И. Офиолиты Джидинской зоны каледонид (Юго-Западное Забайкалье) / М. И. Кузьмин, И. В. Гордиенко, А. И. Альмухамедов // Докл. РАН. – 1994. – Т. 337, № 5. – С. 637–641.

1995

204. Геохимия базальтов задуговых бассейнов юга-западного обрамления Тихого океана / М. И. Кузьмин [и др.] // РФФИ в Сибирском регионе (земная кора и мантия). Т. 2, Петрология, геохимия, металлогения. – Иркутск, 1995. – С. 69–70. – Соавт.: С. И. Дриль, В. А. Симонов, В. А. Бобров.
205. Геохимия позднекайнозойских отложений дна оз. Байкал / М. И. Кузьмин [и др.] // Докл. РАН. – 1995. – Т. 344, № 3. – С. 381–384. – Соавт.: В. Д. Пампура, Т. Н. Гуничева, В. Д. Цыханский, В. А. Бобров, Л. Л. Петров и др.
206. Зоненшайн, Л. П. Новые данные по истории Байкала: результаты наблюдений с подводных обитаемых аппаратов / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, В. Г. Казьмин // Геотектоника. – 1995. – № 3. – С. 46–58.
207. Исследование климатических вариаций в голоцене - плейстоцене методом геохимических корреляций IPRCSE (англ. яз.) / М. И. Кузьмин [и др.] // Newsletters, № 8, 1995. P. 67-71. – Соавт.: В. Д. Пампура, Б. В. Томилов и др.

208. Коллектив исполнителей Байкальского бурового проекта. Результаты бурения первой скважины на озере Байкал в районе Бугульдейской перемычки / М. И. Кузьмин [и др.] // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36, № 2. – С. 3–32.
209. Палеоокеанические комплексы Джидинской зоны каледонид (Юго-Западное Забайкалье) / М. И. Кузьмин [и др.] // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36, № 1. – С. 3–18. – Соавт.: И. В. Гордиенко, А. И. Альмухамедов, В. С. Антипин и др.
210. Три геохимических типа базальтов задуговых бассейнов Западный Вудларк, Лау и Манус / Л. П. Зоненшайн [и др.] // Докл. РАН. – 1995. – Т. 341, № 4. – С. 532–535. – Соавт.: С. И. Дриль, М. И. Кузьмин, В. А. Симонов, В. А. Бобров.
211. Kuzmin M. I., Antipin V. S. Soktuy plumasitic rare-metal granite pluton // Rare metal and palingenetic granitoids of Transbaikalia and related mineralization. Irkutsk – Ulan-Ude – Moscow, 1995. P. 36–42.
212. Litvinovsky B., Kovalenko V. I., Kuzmin M. I., Antipin V. S. Overview of the Phanerozoic magmatism in Transbaikalia // In: rare metal and palingenetic granitoids of Transbaikalia and related mineralization. Irkutsk – Ulan-Ude – Moscow, 1995. P. 7–18.
213. Litvinovsky B., Kuzmin M. I., Kovalenko V. I., Antipin V. S. Overview of the Phanerozoic magmatism in Transbaikalia // Rare metal and palingenetic granitoids of Transbaikalia and related mineralization. Irkutsk – Ulan-Ude – Moscow, 1995. P. 7–16.
214. Logachev N. A., Grachev M. A., Kuzmin M. I., Hearn P. P., Williams D. F., Horie Sh., Kawai T. Baikal Drilling Project: First Results and Prospects for Future Studies // Science Policy: New Mechanism for Scientific Collaboration between East and West.-Dordrecht-Boston-London: Kluwer Acad. Publ., published in coop. with NATO Sci. Affairs. Division, 1995. P. 107–116.

1996

215. Кузьмин, М. И. Первые палеомагнитные данные по Монголо-Охотскому поясу / М. И. Кузьмин, В. А. Кравчинский // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37, № 1. – С. 54–62.
216. Монголо-Охотская сутура: ее роль в истории формирования юго-восточного складчатого обрамления Сибирской платформы и в размещении различных геохимических типов магматических пород: отчет о НИР № 96-05-64818 // Информационный бюллетень РФФИ. Науки о Земле. – 1996. – № 4. – Соавт.: М. И. Кузьмин, С. И. Дриль, В. А. Кравчинский, Л. А. Чувашева.
217. Радиоэкологический мониторинг Байкальского региона / А. И. Непомнящих [и др.] // «О создании единой региональной системы мониторинга окружающей природной среды и здоровья населения Сибири»: тезис. докл. науч.-практ. конф., 17-19 сент. 1996 г., г. Новосибирск. – Новосибирск, 1996. – С. 22–23. – Соавт.: М. И. Кузьмин, П. В. Коваль, Ю. Н. Удодов, И. В. Шивторов, В. И. Медведев, Б. П. Черняго, Л. В. Малевич.
218. Распределение ^{137}Cs в почвах Прибайкалья / В. И. Медведев [и др.] // Докл. Акад. наук. – 1996. – Т. 349, № 1. – С. 93. – Соавт.: Н. А. Китаев, А. А. Мясников, М. И. Кузьмин, П. В. Коваль, А. Н. Фалилеев.
219. Русско-американское научно-образовательное сотрудничество в области окружающей среды при изучении бассейна реки Ангары / М. Колган [и др.]

// «Вода: экология и технология» : сб. тезис. докл. междунар. конгресса ЭКВАТЭК-96 (Москва, 17-21 сент. 1996 г.). – М., 1996. – С. 53–54. – Соавт.: Ю. А. Давыденко, П. В. Коваль, М. И. Кузьмин, Д. Вильямс.

220. Сорокин, А. А. Геохимия пород и палеогеодинамическое положение Янканского офиолитового комплекса Монголо-Охотского складчатого пояса / А. А. Сорокин, С. И. Дриль, М. И. Кузьмин // Тр. совещ. «Геодинамика и эволюция Земли». – Новосибирск, 1996. – С. 67–70.
221. Simonov V. A., Kuzmin M. I., Dril S. I. Evolution of magmatic processes in the Pacific marginal sea basins. 30th International Geological Congress. Abstracts, Beijing, China, 1996, v. 2. – P. 225.
222. Konnikov E. G., Kuzmin M. I., Lbov V. A., Mitrtofanov G. L., Shagzhiev K. Sh. Mineral resources of the Lake Baikal Region and sustainable development // Sustainable Development of the Lake Baikal Region: a model territory for the world; Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop “Sustainable Development of the Lake Baikal as a Model Territory for the World” held in Ulan-Ude, republic of Buryatia, Sept. 12-17, 1994 / ed/ by V. A., Koptuyug, M. Uppenbrink. Publ. in cooperation with NATO Scientific Affairs Division.-Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verlag, 1996. – P.147-154.– (NATO Asi series: Sub. ser. 2. Environment, Vol. 6).

1997

223. Кузьмин, М. И. Долговременные непрерывные климатические записи из озера Байкал: исследования по программе «Байкал – бурение» / М. И. Кузьмин, Д. Вильямс, Т. Каваи // Государственная научно-техническая программа России «Глобальные изменения природной среды». – М., 1997. – С. 255–280.
224. Непрерывная летопись палеоклиматов последних 4,5 миллионов лет из озера Байкал (первая информация) / М. И. Кузьмин [и др.] // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38, № 5. – С. 1021–1023. – Соавт.: М. А. Грачев, Д. Вильямс, Т. Каваи, Ш. Хорие, Х. Оберхенсли.
225. Kuzmin M. I., Williams D. F., Kawai T., Khakhaev B. N., Karabanov E. V., King J., Peck J., Kravchinsky V. A., Prokopenko A. A., Geletti W. F., Kalmychkov G. V., Gvozdokov A. N. Et al. Continuous continental paleoclimate record for the last 5 million years revealed by leg II of lake Baikal scientific drilling. EOS, Transaction of the American Geophysical Union, US, 1997. P. 327–346.
226. Williams D. F., Peck J., Karabanov E. B., Prokopenko A. A., Kravchinsky V. A., King J., Kuzmin M. I. Lake Baikal record of continental climate response to orbital insolation during the past 5 million years. Science, 1997, v. 278. P. 1114–1117.
227. Zonenshain L. P., Kuzmin M. I. Paleogeodynamics. Editor Benyamin M. P. Washington: Amer. Geoph. Union, 1997.

1998

228. Анализ металлогении Восточной Сибири с позиций тектоники литосферных плит // Металлогения, нефтегазоносность и геодинамика Северо-Азиатского кратона и орогенных поясов его обрамления : материалы II Всерос. металлоген. совещ. с участием иностр. специалистов. Иркутск, 25-28 авг. 1998 г. – Иркутск, 1998. – С. 25–26. – Соавт.: М. И. Кузьмин.
229. Гордиенко, И. В. Геодинамика и магматизм Монголо-Байкальского региона в применении к задачам металлогенических исследований / И. В. Гордиен-

- ко, М. И. Кузьмин // *Металлогения, нефтегазоносность и геодинамика Северо-Азиатского кратона и орогенных поясов его обрамления.* – Иркутск, 1998. – С. 42–44.
230. Дриль, С. И. Геохимия пород Берейнской палеоостровной дуги в центральном секторе Монголо-Охотского складчатого пояса / С. И. Дриль, М. И. Кузьмин // *Докл. РАН.* – 1998. – Т. 360, № 2. – С. 241–245.
231. Непрерывная запись изменений климата Центральной Азии в донных осадках оз. Байкал за последние пять миллионов лет / М. И. Кузьмин [и др.] // *Глобальные изменения природной среды.* – Новосибирск, 1998. – С. 58–72. – Соавт.: Е. Б. Карабанов, В. Ф. Гелетий, В. С. Антипин, А. В. Горегляд, Г. В. Калмычков, А. Н. Гвоздков, В. А. Кравчинский, А. А. Прокопенко.
232. Непрерывная запись климатических изменений в отложениях оз. Байкал за последние 5 миллионов лет / В. Качуков [и др.] // *Геология и геофизика.* – 1998. – Т. 39, № 2. – С. 139–156. – Соавт.: Д. Лыков, Л. Певзнер, В. Хахаев, Г. Воробьева, В. Антипин, А. Гвоздков, В. Гелетий, А. Горегляд, Г. Калмычков, В. Кравчинский, М. Кузьмин, Л. Кухарь и др.
233. Первая находка газогидратов в осадочной толще озера Байкал / М. И. Кузьмин [и др.] // *Докл. РАН.* – 1998. – Т. 362, № 4. – С. 541–543. – Соавт.: Г. В. Калмычков, В. Ф. Гелетий, В. А. Гнилуша, Б. Н. Хахаев, Л. А. Певзнер, Т. Каваи, Н. Йошида, А. Д. Дучков, В. А. Пономарчук, А. Э. Канторович, Н. М. Бажин, Ю. А. Дядин, Ф. А. Кузнецов, Э. Г. Ларионов, А. Ю. Манакон, Б. С. Смоляков, М. М. Мандельбаум, Н. К. Железников.
234. Проблемы металлогении, нефтегазоносности и геодинамики Северо-Азиатского кратона и орогенных поясов его обрамления (итоги II Всероссийского металлогенического совещ.) / М. И. Кузьмин [и др.] // *Геология и геофизика.* – 1998. – Т. 39, № 11. – С. 1629–1632. – Соавт.: А. Э. Конторович, Э. Г. Дистанов, А. А. Оболенский, А. М. Спиридонов.
235. Ситуация с диоксинами в некоторых городах Иркутской области: состояние проблемы и некоторые пути решения / Галазий, Г. И. [и др.] // *Город: прошлое, настоящее и будущее.* – Иркутск, 1998. – С. 128–130. – Соавт.: М. И. Кузьмин, А. А. Мамонтов, Е. А. Мамонтова, Е. Н. Тарасова.
236. Kuzmin M. I., Gvozdkov A. N., Antipin V. S., Geletyi V. F., Guncheva T. N. Rock-forming elements in Baikal bottom sediments as the possible indicators of climatic changes. *IPPCSE Newsletter*, 1998, № 11. С. 26–34.

1999

237. Воронцов, А. А. Позднемезозойская бимодальная щелочная вулканическая ассоциация Западного Забайкалья и возраст ее формирования: геологические и геохронологические (Rb-Sr и K-Ar) данные / А. А. Воронцов [и др.] // *Докл. РАН.* – 1999. – Т. 369, № 2. – С. 220–224. – Соавт.: В. Г. Иванов, В. В. Ярмолюк, М. И. Кузьмин, Г. П. Сандиминова, В. Н. Смирнов.
238. Галазий, Г. И. О возрасте впадины Байкала (на основе оценки поступающего в нее взвешенного и растворенного вещества) / Г. И. Галазий, М. И. Кузьмин, Б. Ф. Лут // *География и природные ресурсы.* – 1999. – № 1. – С. 10–16.
239. Геодинамические обстановки, магматизм и металлогения докембрия юга Восточной Сибири // *Геология и металлогения юга Сибири : материалы Науч. чтений, посвящ. памяти А. И. Сезько.* – Иркутск, 1999. – С. 9–11. – Соавт.: М. И. Кузьмин.

240. Гордиенко, И. В. Геодинамика и металлогения Монголо-Забайкальского региона / И. В. Гордиенко, М. И. Кузьмин // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, № 11. – С. 1545–1562.
241. Кузьмин, М. И. Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН вчера, сегодня, завтра / М. И. Кузьмин [и др.] // Академическая наука в Восточной Сибири (к 50-летию Иркутского научного центра). – Новосибирск, 1999. – С. 183–207. – Соавт.: А. И. Альмухамедов, П. В. Коваль, А. И. Непомнящих, Л. Л. Петров, И. К. Карпов, В. Л. Таусон, М. А. Михайлов.
242. Конторович, А. Э. Северо-Азиатский кратон, его металлогения и нефтегазоносность (предисловие) / А. Э. Конторович, М. И. Кузьмин // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, № 11. – С. 1521–1523.
243. Кузьмин, М. И. Проблемы металлогении, нефтегазоносности и геодинамика Северо-Азиатского кратона и орогенных поясов его обрамления / М. И. Кузьмин, Л. Д. Зорина, А. М. Спиридонов // Геология рудных месторождений. – 1999. – Т. 41, № 2. – С. 183–187.
244. Кузьмин, М. И. Проект глубоководного бурения на Байкале / М. И. Кузьмин // Байкал как участок мирового наследия: результаты и перспективы международного сотрудничества. – Новосибирск, 1999. – С. 149–158.
245. О потерях верхнего слоя осадков в буровых ядрах ВДР-96-1 и ВДР-96-2 из озера Байкал / Е. Н. Карабанов [и др.] // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, № 8. – С. 1269–1271. – Соавт.: М. И. Кузьмин, В. Ф. Гелетий, Г. В. Калмычков, А. Н. Гвоздков.
246. Симонов, В. А. Особенности эволюции глубинных базальтовых расплавов задугового бассейна Вудларк (Тихий океан) / В. А. Симонов, С. И. Дриль, М. И. Кузьмин // Докл. РАН. – 1999. – Т. 368, № 3. – С. 388–391.
247. Kravchinsky V. A., Peck J. A., Sakai H., King J. W., Nomura S., Tanaka A., Kuzmin M. I., Williams D. and Kawai T. Paleomagnetism of Lake Baikal sediments; Implacation on magnetostratigraphy, paleoclimate and magneticfield brhavior. Abstracts, 1999, European Union of Geosciences. P. 196.
248. Kuzmin M. I. Project of deep water drilling on lake Baikal. In book: Baikal as a world natural heritage site: results and prospects of international cooperation. Novosibirsk, 1999.P. 151-158.
249. Kuzmin M. I., Karabanov E. B., Prokopenko A. A., Williams D. F., Gvozdokov A. N., Gelety V. F. Climatic events in Siberia during upper Brunhes according to the Lake Baikal sedimentary record. Berlinergerowiss. Abh., 1999, E 30. P. 315–323.

2000

250. Баланс ртути в озере Байкал и окружающей среде Сибири / В. И. Белеванцев [и др.] // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, № 4. – С. 578–582. – Соавт.: А. А. Оболенский, Г. Н. Аношин, М. И. Кузьмин, П. В. Коваль.
251. Бониниты Северной Монголии / А. И. Альмухамедов [и др.] // «Петрография на рубеже XXI века (итоги и перспективы)»: материалы II Всерос. петрограф. совещ. Сыктывкар, 27-30 июня 2000 г. – Сыктывкар, 2000. – Т. 1. – С. 7–8. – Соавт.: И. В. Гордиенко, М. И. Кузьмин, О. Томуртоого, М. А. Горнова, А. Я. Медведев, Г. П. Сандимирова, Е. В. Смирнова.
252. Глинистые минералы донных осадков озера Байкал как индикатор палеоклимата / М. И. Кузьмин [и др.] // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, № 10. – С. 1347–1359. – Соавт.: Э. П. Солотчина, А. Н. Василевский,

- В. Н. Столповская, Е. Б. Карабанов, В. Ф. Гелетий, В. А. Бычинский, Г. Н. Аношин, С. Г. Шульженко.
253. Глобальные похолодания Центральной Азии в позднем кайнозое согласно осадочной записи из озера Байкал / Е. Б. Карабанов [и др.] // Докл. РАН. – 2000. – Т. 370, № 1. – С. 61–66. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Д. Ф. Вильямс, Г. К. Хурсевич, Е. В. Безрукова, А. А. Прокопенко, Е. В. Кербер, А. Н. Гвоздков, В. Ф. Гелетий, Д. Вейль, М. Шваб.
 254. Кузьмин, М. И. Байкальский проект: основные результаты реализации / М. И. Кузьмин // Вестник Рос. Акад. Наук. – 2000. – Т. 70, № 2. – С. 109–116.
 255. Кузьмин, М. И. Гидраты метана в осадках озера Байкал / М. И. Кузьмин [и др.] // Геология рудных месторождений. – 2000. – Т. 42, № 1. – С. 25–37. – Соавт.: Г. В. Калмычков, А. Д. Дучков, В. Ф. Гелетий, А. Я. Гольмшток, Е. Б. Карабанов, Б. Н. Хахаев и др.
 256. Кузьмин, М. И. Историческая геология с основами тектоники плит и металлогении / М. И. Кузьмин [и др.]. – Иркутск, 2000. – 288 с. – Соавт.: А. Т. Корольков, С. И. Дриль, С. Н. Коваленко.
 257. Кузьмин, М. И. Месторождения металлических полезных ископаемых – учебник нового поколения / М. И. Кузьмин, Л. Д. Зорина, А. М. Спиридонов // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, № 3. – С. 454–455.
 258. Кузьмин, М. И. Парагенезисы железистых аутигенных минералов в донных отложениях озера Байкал (физико-химическая модель геохимических процессов в системе донные отложения/вода) / М. И. Кузьмин, В. А. Бычинский, В. Ф. Гелетий // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия : матер. Междунар. науч. конф. 3-7 сент. 2000 г. – Томск, 2000. – С. 425–427.
 259. Основные типы золоторудных месторождений Сибири (состав, генезис, проблемы освоения) / М. И. Кузьмин [и др.] // Цветные металлы. – 2000. – № 8. – С. 4–9. – Соавт.: Л. Д. Зорина, А. М. Спиридонов, В. А. Амузинский, А. С. Борисенко, Г. Л. Митрофанов, Г. В. Поляков, В. И. Сотников.
 260. Первые результаты исследования разрывов в осадках оз. Байкал на основе материалов глубоководного бурения / К. Ж. Семинский // Докл. РАН. – 2000. – Т. 371, № 1. – С. 75–78. – Соавт.: Е. Б. Карабанов, М. И. Кузьмин, Т. В. Скуденко.
 261. Позднекайнозойская палеоклиматическая запись в осадках озера Байкал (по результатам исследования 600-метрового керна глубокого бурения). Геология и геофизика, 2000, № 1, т. 41. С. 3–32.
 262. Ярмолюк, В. В. Северо-Азиатский суперплюм в фанерозое: магматизм и глубинная геодинамика / В. В. Ярмолюк, В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин // Геотектоника. – 2000. – № 5. – С. 3–29.
 263. Dobretsov N. L Unique ecosystem of Lake Baikal and paleoclimate of Central Asia / N. L. Dobretsov, M.A. Grachev, M. I. Kuzmin // Terra Nostra. – 2000. – № 9. – P. 12–25.
 264. Karabanov E.B., Kuzmin M.I., Prokopenko A.A., Williams D.F., Khursevich G.K., Bezrukova E.V., Gvozdokov A.N., Geletiy V.F., Weil D., Schwab M. Glaciations of central Asia in the late cenozoic according to the sedimentary record from Lake Baikal. Lake Baikal (A Mirror in Time and Space for Understanding Global Change Processes. Ed. K. Minoura, Elsevier, 2000. P. 71–84.

265. Kawamuro K., Shchi K., Hase Y., Iwauchi A., Minoura K., Oda T., Takahara H., Sakai H., Morita Y., Miyoshi N., Kuzmin M.I. Forest-desert alternation history revealed by pollen-recod in Lake Baikal over the past 5 million years. *Lake Baikal (A Mirror in Time and Space for Understanding Global Change Processes)*. Ed. K. Minoura, Elsevier, 2000. P. 101-107.
266. Khursevich G. K., Fedenya S. A., Karabanov E. B., Williams D. F., Kuzmin M. I. *Stephanopsis* Khursevich Fedenya – new genus of class Cetrophyceae (Bacillariophyta) from the Pliocene deposits of Lake Baikal (Russia). *Algologia*, 2000, v. 10, № 1. P. 106–109.
267. Khursevich G. K., Karabanov E. B., Williams D. F., Kuzmin M. I., Prokopenko A. A. Evolution of freshwater centric diatoms with the Baikal rift zone during the late Cenozoic. *Lake Baikal (A Mirror in Time and Space for Understanding Global Change Processes)*. Ed. K. Minoura, Elsevier, 2000. P. 146–154.
268. Kuzmin M. I., Gelety V. F., Kalmychkov G. V., Kuznetsov F. A., Larionov E. G., Manakov A. Yu., Mironov Yu. I., Smoljakov B. S., Dyadin Yu. A., Duchov A. D., Basin N. M. and Mahov G. M. The first discovery of the gashydrates in the sediments of the Lake Baikal Gashydrates Challenges for the future. *New York: Annals of the New York Academy of Sciences*, 2000, v. 912. P. 112–115.
269. Kuzmin M. I., Karabanov E., Gelety V., Kerber E., Prokopenko A., Bychinskyi V., Kravchinskyi V., Seminskyi K., Gvozdkov A., Tkachenko L., Antipin V., Kalmychkov G., Soshina N. Lake Baikal Depression Development and Paleoclimate of Eastern Siberia in late Cenozoic Based on the Study of 600 m core from Lake Baikal. *IPPCCE, Newsletter*, 2000, № 13. P. 2–35.
270. Kuzmin M. I., Karabanov E. B., Prokopenko A. A., Gelety V. F., Antipin V. S., Williams D. F., Gvozdkov A. N. Sedimentation processes and new age constraints on rifting stages in Lake Baikal: results of deep-water drilling. *Int. Journ. EarthSciences*, 2000, v. 89(2). P. 183-192.
271. Kuzmin M. I., Williams D. F., Kawai T. Baikal drilling project. *Lake Baikal (A Mirror in Time and Space for Understanding Global Change Processes)*. Ed. K. Minoura, Elsevier, 2000. P. 1–14.

2001

272. Бониниты Джидинской зоны каледонид, Северная Монголия / А. И. Альмухамедов [и др.] // Докл. РАН. – 2001. – Т. 377, № 4. – С. 526–529. – Соавт.: И. В. Гордиенко, М. И. Кузьмин, О. Томуртогоо, Д. Томурхуу.
273. Геологические и астрономические факторы изменения климата в Центральной Азии по данным глубоководного бурения на Байкале / М. И. Кузьмин [и др.] // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та. – 2001. – № 10. – С. 22–23. – Соавт.: М. Ю. Хомутова, М. А. Крайнов, Н. М. Сошина, Е. В. Иванов.
274. Глубоководное бурение на Байкале – основные результаты / М. И. Кузьмин [и др.] // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 1-2. – С. 8–34. – Соавт.: Е. Б. Карабанов, Т. Каваи, Д. Вильямс, В. А. Бычинский, Е. В. Кербер, В. А. Кравчинский, Е. В. Безрукова, А. В. Горегляд, А. А. Прокопенко, В. Ф. Гелетий, Г. К. Хурсевич, Э. П. Солотчина, Н. Йошида, А. Н. Гвоздков и др.
275. Детальная диатомовая биостратиграфия осадков озера Байкал в эпоху Брюнес и климатические факторы видообразования / Г. К. Хурсевич [и др.] // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 1-2. – С. 108–129. – Соавт.:

- Е. Б. Карабанов, А. А. Прокопенко, Д. Ф. Вильямс, М. И. Кузьмин, С. А. Феденя, А. Н. Гвоздков, Е. В. Кербер.
276. Диоксины в целлюлозно-бумажной промышленности Байкальского региона / Е. Н. Тарасова [и др.] // Диоксины и родственные соединения: экологические проблемы, методы контроля. – Уфа, 2001. – С. 92–97. – Соавт.: А. А. Мамонтов, М. И. Кузьмин, Е. А. Мамонтова, М. Ю. Хомутова, З. К. Амирова, Э. А. Круглов.
277. Комплексные исследования позднемиоцен-плейстоценовых донных отложений озера Байкал – основа палеоклиматических реконструкций и диатомовой биостратиграфии / Д. Ф. Вильямс [и др.] // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 1-2. – С. 35–47. – Соавт.: Е. Б. Карабанов, А. А. Прокопенко, М. И. Кузьмин, Г. К. Хурсевич, А. Н. Гвоздков, Е. В. Безрукова, Э. П. Солотчина.
278. Кузьмин, М. И. Во льдах Байкала / М. И. Кузьмин. – Новосибирск, 2001. – 140 с.
279. Оледенения и межледниковья Сибири – палеоклиматическая запись из озера Байкал и ее корреляция с западно-сибирской стратиграфией (эпоха прямой полярности Брюнес) / Е. Б. Карабанов [и др.] // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 1-2. – С. 48–63. – Соавт.: А. А. Прокопенко, М. И. Кузьмин, Д. Ф. Вильямс, А. Н. Гвоздков, Е. В. Кербер.
280. Отклик осадочной записи озера Байкал на катастрофические события «Хайнрик» в Северной Атлантике за последние 80000 лет / А. А. Прокопенко [и др.] // Докл. РАН. – 2001. – Т. 379, № 3. – С. 391–397. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Е. Б. Карабанов, Д. Ф. Вильямс.
281. Оценка риска здоровью населения Иркутской области от воздействия диоксинов и родственных соединений / Е. А. Мамонтова [и др.] // Диоксины и родственные соединения: экологические проблемы, методы контроля. – Уфа, 2001. – С. 190–196. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Е. Н. Тарасова, Е. А. Мамонтова, М. Ю. Хомутова.
282. Палеоклиматическая запись осадков озера Байкал по данным магнитной восприимчивости / М. А. Крайнов [и др.] // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 1-2. – С. 87–97. – Соавт.: В. А. Кравчинский, Дж. Пек, Х. Сакаи, Дж. Кинг, М. И. Кузьмин.
283. Пирамида концентрирования CO₂ в пелагиали Байкала / А. А. Мамонтов [и др.] // Диоксины и родственные соединения: экологические проблемы, методы контроля. – Уфа, 2001. – С. 46–50. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Е. Н. Тарасова, Е. А. Мамонтова, М. Ю. Хомутова.
284. Причины раннего оледенения Сибири при переходе от казанцевского климатического оптимума к зырянскому ледниковому периоду: результаты изучения донных осадков озера Байкал / А. А. Прокопенко [и др.] // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 1-2. – С. 64–75. – Соавт.: Е. Б. Карабанов, М. И. Кузьмин, Д. Ф. Вильямс.
285. Различия ледниковых и межледниковых ассоциаций глинистых минералов осадков озера Байкал в кернах глубокого бурения VDP-93-2 и VDP-96 / Э. П. Солотчина [и др.] // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 1–2. – С. 146–156. – Соавт.: А. А. Прокопенко, М. И. Кузьмин, А. Н. Василевский, С. Г. Шульженко.

286. Репин, В. Е. Биоразнообразие микроорганизмов глубинных донных осадков озера Байкал / В. Е. Репин, Т. Торок, М. И. Кузьмин // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 1–2. – С. 231–234.
287. Ритмы позднего кайнозоя и климатические вариации Азии по данным глубоководного бурения дна озера Байкал / Е. Б. Карабанов [и др.] // Глобальные изменения природной среды. – Новосибирск, 2001. – С. 146–159. – Совавт.: А. А. Прокопенко, Е. В. Безрукова, Г. К. Хурсевич, В. Ф. Гелетий, М. Ю. Хомутова, Е. В. Кербер, В. А. Бычинский.
288. Семинский, К. Ж. Тектонические нарушения осадков озера Байкал (по материалам исследования бурового керна BDP-98) / К. Ж. Семинский, Е. Б. Карабанов, М. И. Кузьмин // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 1–2. – С. 308–318.
289. Antipin V., Afonina T., Badalov O., Bezrukova E., Bukharov A., Bychinsky V., Dmitriev A., Dorofeeva R., Duchkov A., Esipko O., Fileva T., Gelety V., Golubev V., Goreglyad A., Gorokhov I., Gvozdkov A., Hase Y., Ioshida N., Ivanov E., Kalashnikova I., Kalmychkov G., Karabanov E., Kashik S., Kawai T., Kerber E., Khakhaev B., Khlystov O., Khursevich G., Khuzin M., King J., Konstantinov K., Kochukov V., Krainov M., Kravchinsky V., Kudryashov N., Kukhar L., Kuzmin M., Nakamura K., Nomura Sh., Oksenoid E., Peck J., Pevzner L., Prokopenko A., Romashov V., Sakai H., Sandimirov I., Sapozhnikov A., Seminsky K., Soshina N., Tanaka A., Tkachenko L., Ushakovskaya M. and Williams D. The new BDP-98 600-mdrillcore from Lake Baikal: a key late Cenozoic sedimentary section in continental Asia. *Quaternary International*, 2001, v. 80–81, In English. P. 19–36.
290. Karabanov E. B., Williams D. F., Sideleva V. G., Prokopenko A. A., Khursevich G. K., Kuzmin M. I., Gvozdkov A. N., Soshina N. M., Afonina T. E. Glacial ecological catastrophes of Lake Baikal (Siberia) and Lake Hovsgol (Mongolia) during the Pleistocene and late Pliocene. In Jacoby, G. J. and N. Pederson (eds.), *Proceedings of the Conference on Mongolian Paleoclimatology and Environmental Research*, Lamont-Doherty Earth Observatory, Palisades, New York, 2001. P. 21–32.
291. Khursevich G. K., Karabanov E. B., Prokopenko A. A., Williams D. F., Kuzmin M. I., Fedenya S. Biostratigraphic significance of new fossil species of the diatom genera *Stephanodiscus* and *Cyclotella* from Upper Cenozoic deposits of Lake Baikal, Siberia. *Micropaleontology*, 2001, v. 47. P. 47–71.
292. Khursevich G. K., Karabanov E. B., Prokopenko A. A., Williams D. F., Kuzmin M. I., Fedenya S. A., Gvozdkov A. N. Insolation regime in Siberia as a major factor controlling diatom production in Lake Baikal during the past 800,000 years. *Quaternary International*, 2001, v. 80–81. P. 47–58.
293. Krainov, M. A., Kravchinsky V. A., Peck J. A., Sakai H., King J. W., Kuzmin M. I. Paleoclimate record of the Lake Baikal sediments with magnetic susceptibility studying result. *Russian Geology and Geophysics*, 2001, v. 42, № 1–2, [in Russian]. P. 87–97.
294. Kravchinsky V. A., Cogne J.-P., Harbert W., Kuzmin M. I. Evolution of the Mongol-Okhotsk ocean with paleomagnetic data from the suture zone. *Geophysical Journal International*, 2001.
295. Kuzmin M. I., Yarmolyuk V. V., Kovalenko V. I., Ivanov V. G. Evolution of the Central Asian "hot" field in the phanerozoic and some problems of plume tecton-

- ics. Alkaline magmatism and the problems of mantle sources. Irkutsk, 2001. P. 242–256.
296. Mamontov A. A., Kuzmin M. I., Tarasova E. N., Mamontova E. A., Khomutova M. Y. Pyramid of concentrating of PCDD / Fs in pelagic ecosystem of Lake Baikal. Dioxins and related compounds: Environmental problems and methods of control, Ufa, 2001. P. 35–39.
297. Mamontov A. A., Kuzmin M. I., Tarasova E. N., Mamontova E. A., Khomutova M. Y. The concentrating of PCDD / Fs in pelagic ecosystem of Lake Baikal. Organohalogen compounds, 2001, v. 52. P. 479–482.
298. Mamontova E. A., Kuzmin M. I., Tarasova E. N., Mamontov A. A., Khomutova M. Risk assessment for dioxin and related compounds exposure of the Irkutsk Region population. Dioxins and related compounds: Environmental problems and methods of control, Ufa, 2001. P. 151–156.
299. Prokopenko A. A., Karabanov E. B., Williams D. F., Kuzmin M. I., Khursevich G. K., Gvozdkov A. N. The link between tectonic and paleoclimatic events at 2.8-2.5 MaBP in the Lake Baikal region. Quaternary International, 2001, v. 80–81. P. 37–46.
300. Prokopenko, A. A., Kuzmin M. I., Karabanov, E. B., Williams D. F. The response of Lake Baikal sedimentary record to catastrophic Heinrich events in the North Atlantic during the past 80,000 years. Doklady RAN, 2001, v. 379, № 3, [in Russian]. P. 391–397.
301. Tarasova E. N., Mamontov A. A., Kuzmin M. I., Mamontova E. A., Khomutova M. Y., Amirova Z. K., Kruglov E. A. Dioxins in pulp and paper mills of the Lake Baikal Region. Dioxins and related compounds: environmental problems and methods of control, Ufa, 2001. P. 73–77.
302. Williams D. F., Prokopenko A. A., Karabanov E. B., Kuzmin M. I. et al. The Lake Baikal drilling project in the context of a global lake drilling initiative. Quaternary International, 2001, v. 80–81. P. 3–18.

2002

303. Вариации климата позднего кайнозоя, установленные по осадкам озера Байкал / М. И. Кузьмин [и др.] // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 3. Природные и социальные сферы как части окружающей среды и как объекты воздействий. – М., 2002. – С. 304–309. – Соавт.: Е. В. Кербер, Е. Б. Карабанов, В. Ф. Гелетий.
304. Источники диоксинов и родственных соединений, распределение в почвах и оценка степени опасности их содержания для жителей Иркутской области / Е. А. Мамонтова [и др.] // Сибирь-Восток. – 2002. – № 6. – С. 6–15. – Соавт.: А. А. Мамонтов, Е. Н. Тарасова, М. И. Кузьмин.
305. Крайнов, М.А. Сравнительный анализ палеоклиматических событий на Байкале за 500 тыс. лет на основе изучения вертикальных профилей магнитной восприимчивости / М. А. Крайнов, В. А. Кравчинский, М. И. Кузьмин // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. – Новосибирск, 2002. – Вып. 1. – С. 286–289.
306. Сигнал позднеледникового роста парциального давления атмосферной углекислоты в изотопном составе углерода донных осадков озера Байкал / А. А. Прокопенко [и др.] // Геохимия. – 2002. – № 7. – С. 786–793. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Д. Ф. Вильямс, Е. Б. Карабанов.

307. Khursevich G. K., Fedenya S. A., Kuzmin M. I., Karabanov E. B., Williams D. F., Prokopenko A. A. Morphology of new species of concentrodicus and mesodictyon (bacillariophyta) from the upper Miocene deposits of lake Baikal. *Al-gologia*, 2002, v. 12, № 3. P. 361–370.
308. Kravchinsky V. A., Cogné J.-P., Harbert W., Kuzmin M. I. Evolution of the Mongol-Okhotsk ocean with paleomagnetic data from the suture zone. *Geophysical Journal International*, 2002, v. 148. P. 34–57.
309. Prokopenko, A. A., Williams, D. F., Kuzmin M. I., Karabanov, E. B., Khursevich, G. K., Peck, J. A. Muted climate variations in continental Siberia during the mid-Pleistocene epoch. *Nature*, 2002, v. 418. P. 65–68.
310. Solotchina E. P., Prokopenko A. A., Kuzmin M. I., Vasilevsky A. N., Gavshin V. M., Williams D. F. Simulation of XRD patterns as an optimal technique for studying glacial and interglacial clay mineral associations in bottom sediments of Lake Baikal. *Clay Minerals*, 2002, v. 37. P. 105–119.

2003

311. Изменение состава донных осадков озера Хубсугул как показатель изменений климата в Байкальском регионе на рубеже 15–14 тыс. лет назад / А. А. Прокопенко [и др.] // Докл. РАН. – 2003. – Т. 390, № 1. – С. 109–112. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Г. В. Калмычков, В. Ф. Гелетий, А. Н. Гвоздков, П. А. Солотчин.
312. Кратковременные климатические события 130–70 тыс. лет назад в осадочной записи озера Байкал / А. А. Прокопенко [и др.] // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44, № 7. – С. 623–637. – Соавт.: Е. Б. Карабанов, М. И. Кузьмин, Д. Ф. Вильямс, Г. К. Хурсевич.
313. Кузьмин, М. И. Рифтогенез и рифтогенный магматизм – особенности проявления в спрединговых зонах и в областях над «горячими» и «холодными» полями мантии / М. И. Кузьмин [и др.] // Проблемы глобальной геодинамики. Вып. 2. – М., 2003. – С. 7–31. – Соавт.: А. И. Альмухамедов, В. В. Ярмолюк, В. А. Кравчинский.
314. Минералогические и кристаллохимические индикаторы изменений окружающей среды и климата в голоцен-плейстоценовых осадках озера Хубсугул (Монголия) / Э. П. Солотчина [и др.] // Докл. РАН. – 2003. – Т. 391, № 4. – С. 527–531. – Соавт.: М. И. Кузьмин, В. Н. Столповская, Е. Б. Карабанов, А. А. Прокопенко, Л. Л. Ткаченко.
315. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии / Л. М. Парфенов [и др.] // Тихоокеанская геология. – 2003. – Т. 22, № 6. – С. 7–41. – Соавт.: Н. А. Берзин, А. И. Ханчук, Г. Бадарч, В. Г. Беличенко, А. Н. Булгатов, С. И. Дриль, Г. Л. Кириллова, М. И. Кузьмин, У. Ноклеберг, А. В. Прокопьев, В. Ф. Тимофеев, О. Томуртоого, Х. Янь.
316. Рифтогенный и внутриплитовый магматизм, соотношение с «горячими» и «холодными» полями мантии / М. И. Кузьмин [и др.] // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44, № 12. – С. 1270–1279. – Соавт.: А. И. Альмухамедов, В. В. Ярмолюк, В. А. Кравчинский.
317. Сверхчистые кварциты Восточного Саяна (Республика Бурятия, Россия) / Е. И. Воробьев [и др.] // Докл. РАН. – 2003. – Т. 390, № 2. – С. 219–223. – Соавт.: А. М. Спиридонов, А. И. Непомнящих, М. И. Кузьмин.
318. Формационный геодинамический анализ как основа металлогенического районирования // Современные проблемы формационного анализа, петро-

логии и рудоносность магматических образований : тезис. докл. Всерос. совещ., посвящ. 100-летию со дня рожд. Ю. А. Кузнецова. Новосибирск, 16-19 апр. 2003 г. – Новосибирск, 2003. – С. 10–11. – Соавт.: М. И. Кузьмин.

319. Bezrukova E. V., Kulagina N. V., Letunova P. P., Karabanov E. B., Williams D. F., Kuzmin M. I., Krapivina S. M., Vershinin K. E., Shestakova O. N. Pliocene-Quaternary Vegetation and Climate History of the Lake Baikal Area, Eastern Siberia. Long continental records from Lake Baikal / Kenji Kashiwaya (ed). Springer-Verlag Tokyo, 2003. P. 111–122.
320. Karabanov E., Prokopenko A., Williams D., Khursevich G., Kuzmin M. I., Bezrukova E., Gvozdkov A. High-resolution MIS11 record from the continental sedimentary archive of Lake Baikal, Siberia. In: Earth's Climate and orbital Eccentricity: The Marine isotope Stage 11 Question (A. Droxler, R. Z. Poore, L. H. Burckle, Eds.). American Geophysical Union: Geophysical Monograph, Washington, 2003, № 137. P. 223–229.
321. Khursevich G. K., Karabanov E. B., Kuzmin M. I., Williams D. F., Prokopenko A. A., Fedenya S. A. Diatom succession in Upper Miocene sediments of Lake Baikal from the BDP-98 drill core. Long continental records from Lake Baikal / Kenji Kashiwaya (ed). Springer-Verlag Tokyo, 2003. P. 271–282.
322. Khursevich G. K., Fedenya S. A., Karabanov E. B., Williams D. F., Prokopenko A. A., Kuzmin M. I. Morphology of new taxa of the class *Centrophyceae* (*Bacillariophyta*) from the Pliocene and Pleistocene deposits of Lake Baikal, Siberia. *Algologia*, 2003, v. 13, № 3. P. 305–321.
323. Kravchinsky V. A., Krainov M. A., Evans M. E., Peck J. A., King J. W., Kuzmin M. I., Sakai H., Kawai T., Williams D. F. Magnetic record of Lake Baikal sediments: chronological and paleoclimatic implication for the last 6.7 Myr. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2003, v. 195. P. 281–298.
324. Kuzmin M. I., Yarmolyuk V. V., Karabanov E. B., Kawai T., Prokopenko A. A., Bychinskyi V. A., Khomutova M. Y., Geletyi V. F., Kerber E. V. Paleoclimate-Records from the Lake Baikal Sediments and Lava Formations of the South Baikal Volcanic Area. Long continental records from Lake Baikal / Kenji Kashiwaya (ed). Springer-Verlag Tokyo, 2003. P. 23–41.
325. Tarasova E. N., Kuzmin M. I., Gvozdkov A. N., Mamontova E. A., Mamontov A. A., Khomutova M. Y., Chernyaeva G. P. Suspended and Dissolved Forms of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in Lakes Baikal and Hovsgol (Snow, Tributaries, Water, Sediments). Long continental records from Lake Baikal / Kenji Kashiwaya (ed). Springer-Verlag Tokyo, 2003. P. 329–347.
326. Kuzmin M. I., Yarmolyuk V. V., Karabanov E. B., Prokopenko A. A., Bychinskyi V. A., Khomoutova M. Yu., Geletyi V. F., Kerber E. V. Stages of evolution of the Baikal Mountain System from Lake Baikal Sediments and Volcanic Occurrences. International Symposium – Speciation in Ancient Lakes, SIAL III – Irkutsk, September 2-7, 2002. *Berliner Palaobiologische Abhandlungen*, 2003, Berlin, № 4. P. 15–31.

2004

327. Адацагский офиолитовый комплекс (Северное Гоби, Монголия) – фрагмент палеоостроводужной системы / М. А. Горнова [и др.] // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). – Иркутск, 2004. – Вып. 2, т. 1. – С. 98–101. – Соавт.: А. И. Альмухамедов, И. В. Гордиенко, А. Я. Медведев, О. Томуртогоо.

328. Высокоразрешающая осадочная запись по керну глубоководного бурения на Посольской банке в озере Байкал (BDP-99) / Е. Безрукова [и др.] // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45, № 2. – С. 163–193. – Соавт.: А. Бухаров, В. Бычинский, Д. Вильямс, А. Гвоздков, В. Гелетий, А. Горегляд, И. Горохов, Е. Иванов, Т. Каваи, Г. Калмычков, Е. Карабанов, Е. Кербер, С. Колман, В. Качуков, В. Кравчинский, М. Кузьмин и др.
329. Глинистые минералы и палеоклиматические сигналы в голоцен-плейстоценовых осадках озера Байкал / Э. П. Солотчина // Докл. РАН. – 2004. – Т. 398, № 3. – С. 390–395. – Соавт.: М. И. Кузьмин, А. А. Прокопенко, В. Н. Столповская, П. А. Солотчин, С. Г. Шульженко.
330. Кузьмин, М. И. Обручевский сброс в Байкальской впадине как объект исследований науки Земле / М. И. Кузьмин, Б. Ф. Лут, П. П. Шерстянкин // География и природные ресурсы. – 2004. – № 2. – С. 35–40.
331. Природные явления и вещество абляционного следа Витимского метеорита (25 сентября 2002 г) / В. С. Антипин [и др.] // Докл. РАН. – 2004. – Т. 398, № 4. – С. 482–486. – Соавт.: С. А. Язев, М. И. Кузьмин, А. Б. Перепелов, М. А. Митичкин, А. В. Иванов.
332. Ярмолюк, В. В. О взаимодействии эндогенных и экзогенных факторов в новейшей геологической истории юго-западной части Байкальской рифтовой зоны / В. В. Ярмолюк, М. И. Кузьмин // Геотектоника. – 2004. – № 3. – С. 55–78.
333. Karabanov E., Williams D., Kuzmin M.I., Sideleva S., Khursevich G., Prokopenko A., Solotchina E., Tkachenko L., Fedenya S., Kerber E., Gvozdokov A., Klustov O., Bezrukova E., Letunova P., Krapivina S. Ecological collapse of Lake Baikal and Lake Hovsgol ecosystems during the Last Glacial and consequences for aquatic species diversity. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2004, v. 209. P. 227–243.
334. Kuzmin M. I., Khomutova M. Role of tectonic movements on climatic changes in the Late Cenozoic. *International Symposium for the Regional Cooperation of the Geosciences and Georesources in NE Asia. November 7-9, 2004, Seoul, Republic of Korea*. P. 167–185.
335. Kuzmin M. I., Mamontov A. A., Mamontova E. A., Tarasova E. N., MacLachlan M. S. Persistent organic pollutants in soils and now from the Lake Baikal Region. *Organohalogen compounds*, 2004, v. 66. P. 2004–2010.
336. Mamontova E. A., Tarasova E. N., Mamontov A. A., Kuzmin M. I., Chuvashov U. A., McLachlan M. S. PCBs, HCHs and DDTs in cow's milk and soil of pasture from the Irkutsk Region, Russia. *Organohalogen compounds*, 2004, v. 66. P. 1350–1355.
337. Sapota T., Aldahan A., Possnert G., Peck J., King J., Prokopenko A., Kuzmin M. A late Cenozoic Earth's crust and climate dynamics record from Lake Baikal. *Journal of Paleolimnology*, 2004, v. 32. P. 341–349.

2005

338. Bezrukova E., Bychinskiy V., Bukharov A., Fedenya S., Gelety V., Goreglyad A., Gvozdokov A., Ivanov E., Kalmychkov G., Kawai T., Khursevich G., Khochujov V., Krainov V., Kravchinsky V., Kudryashov N., Kulagina N., Kuzmin M. I., Letunova P., Levina O., Pevzner L., Prokopenko A., Solotchin P., Tanaka A., Tkachenko L., Williams D., Yamaguchi J. A new Quaternary record of regional

tectonic, sedimentation and paleoclimate changes from drill core BDP-99 at Posolskaya Bank, Lake Baikal. *Quaternary International*, 2005, v. 136. P. 105–121.

339. Prokopenko A. A., Kuzmin M. I., Williams D. F., Gelety V. F., Kalmychkov G. V., Gvozdkov A. N., Solotchin P. A. Basin-wide sedimentation changes and deglacial lake-level rise in the Hovsgol basin, NW Mongolia. *Quaternary International*, 2005, v. 136. P. 59–69.

2006

340. Генетические типы метана озера Байкал / Г. В. Калмычков [и др.] // Докл. РАН. – 2006. – Т. 411, № 5. – С. 672–675. – Соавт.: А. В. Егоров, М. И. Кузьмин, О. М. Хлыстов.
341. Геодинамические условия формирования золоторудных месторождений Бодайбинского неопротерозойского прогиба / М. И. Кузьмин [и др.] // Докл. РАН. – 2006. – Т. 407, № 6. – С. 793–797. – Соавт.: В. В. Ярмолук, А. М. Спиридонов, В. К. Немеров, А. И. Иванов.
342. Кузьмин, М. И. Горообразующие процессы и вариации климата в истории Земли / М. И. Кузьмин, В. В. Ярмолук // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 1. – С. 7–25.
343. Магматизм Хамбинского грабена и ранняя история формирования поздне-мезозойской рифтовой системы Западного Забайкалья / А. А. Воронцов [и др.] // Докл. РАН. – 2006. – Т. 411, № 1. – С. 100–105. – Соавт.: В. В. Ярмолук, С. В. Андрущенко, С. И. Дриль, М. И. Кузьмин.
344. Некоторые параметры состояния экологической системы озера Байкал на основе анализа многолетних наблюдений / Е. Н. Тарасова [и др.] // Докл. РАН. – 2006. – Т. 409, № 5. – С. 683–687. – Соавт.: А. А. Мамонтов, Е. А. Мамонтова, М. И. Кузьмин.
345. Ярмолук, В. В. Корреляция эндогенных событий и вариаций климата в позднем кайнозое Центральной Азии / В. В. Ярмолук, М. И. Кузьмин // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2006. – Т. 14, № 2. – С. 3–25.
346. Prokopenko A. A., Hinnov L. A., Williams D. F., Kuzmin M. I. Orbital forcing of continental climate during the Pleistocene: a complete astronomically tuned climatic record from Lake Baikal, SE Siberia. *Quaternary Science Reviews*, 2006, v. 25. P. 3431–3457.
347. Rivera J., Karabanov E. B., Williams D. F., Buchinsky V., Kuzmin M. Lena River discharge events in sediments of Laptev Sea, Russian Arctic // *Estuaries, Coastal and Shelf Science*, 2006, N 66. P. 185–196.

2007

348. Вариации изотопного состава Sr в осадочном разрезе оз. Байкал / М. И. Кузьмин [и др.] // Докл. Акад. наук. – 2007. – Т. 412, № 4. – С. 530–534. – Соавт.: М. И. Кузьмин, С. И. Дриль, И. В. Сандимиров, Г. П. Сандимирова, В. Ф. Гелетий, В. С. Чуканова, Г. В. Калмычков, В. А. Бычинский.
349. Глобальные и региональные природные катастрофы Центральной Азии и их отражение в осадочных записях из оз. Байкал и Хубсугул / М. И. Кузьмин [и др.] // *Изменения окружающей среды*. – М., 2007. – С. 96–103. – Соавт.: В. В. Ярмолук, Е. В. Безрукова, В. А. Бычинский.
350. Изотопный состав кислорода створок диатомовых водорослей из осадков оз. Байкал: изменения среднегодовых температур в Центральной Азии за последние 40 тыс. лет / Г. В. Калмычков [и др.] // Докл. Акад. наук. – 2007.

- Т. 412, № 5. – С. 675–678. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Б. Г. Покровский, С. С. Кострова.
351. Осадконакопление в заливе Провал (озеро Байкал) после катастрофического затопления Срибрежной равнины в 1862 г. / Е. Г. Вологина // Докл. Акад. наук. – 2007. – Т. 417, № 4. – С. 511–515. – Соавт.: И. А. Калугина, Ю. Н. Осуховская, М. Штурм, Н. В. Игнатова, Я. Б. Радзиминович, А. В. Дарьин, М. И. Кузьмин.
352. Строение донных осадков озера Хубсугул: его связь с геологическими и климатическими факторами / А. А. Абзаева [и др.] // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48, № 11. – С. 1117–1143. – Соавт.: Е. В. Безрукова, В. А. Бычинский, В. Ф. Гелетий, А. В. Горегляд, Е. В. Иванов, Г. Иноуйе, Т. Каваи, Г. В. Калмычков, М. И. Кузьмин и др.
353. Kravchinsky Vadim A., Evans Michael E., Peck John A., Sakai Hideo, Krainov Mikhail A., King John W. and Kuzmin Mikhail I.. A 640 kyr geomagnetic and palaeoclimatic record from Lake Baikal sediments // Geophysical Journal International. July 2007. – Vol. 170 Issue 1. P. 101–116.
354. Prokopenko A. A., Khursevich G. K., Bezrukova E. V., Kuzmin M. I., Boes X., Williams D. F., Fedenya S. A., Kulagina N. V., Letunova P. P., Abzaeva A. A. Paleoenvironmental proxy records from Lake Hovsgol, Mongolia, and a synthesis of Holocene climate in Lake Baikal watershed. Quaternary Research, 2007, v. 68. P. 2–17.
355. Sm-Nd- и U-Pb-возраст даек метабазитов гранулитогнейсовой области Алданского щита (к проблеме длительности процессов палеопротерозойского термотектогенеза) / М. З. Глуховский [и др.] // Докл. Акад. наук. – 2007. – Т. 412, № 6. – С. 788–793. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Т. Б. Баянова, П. А. Серов.
- 2008**
356. Изменение климата и природной среды Центральной Азии в позднем кайнозое на основе изучения глубоководных скважин из озера Байкал / М. И. Кузьмин [и др.] // Глобальные и региональные изменения климата и природной среды позднего кайнозоя в Сибири. – Новосибирск, 2008. – С. 11–105. – (Интеграционные проекты СО РАН; вып. 16). – Соавт.: Е. Б. Карабанов, Е. В. Безрукова, В. А. Бычинский, А. А. Прокопенко, В. А. Кравчинский, В. Ф. Гелетий, Э. П. Солотчина, Г. К. Хурсевич, А. В. Горегляд, М. А. Крайнов.
357. Кузьмин, М. И. Гранты РФФИ как инструмент решения проблем Байкальского региона / М. И. Кузьмин, А. Н. Кузнецова // РФФИ и фундаментальные исследования в регионах Российской Федерации. – Калуга, 2008. – С. 34–41.
358. Минералогия карбонатов в осадках озера Хубсугул: водный баланс и палеоклиматические обстановки / Э. П. Солотчина [и др.] // Докл. Акад. наук. – 2008. – Т. 419, № 3. – С. 387–392. – Соавт.: М. И. Кузьмин, В. Н. Столповская, А. А. Прокопенко, П. А. Солотчин.
359. Особенности состава надсубдукционных перидотитов на примере Эгийгольского массива / М. А. Горнова [и др.] // Докл. Акад. наук. – 2008. – Т. 420, № 5. – С. 669–673. – Соавт.: М. И. Кузьмин, И. В. Гордиенко, А. Я. Медведев, А. И. Альмухамедов.

360. Предложения по эколого-экономическому обоснованию нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан (варианты вне водосборной площади озера Байкал / М. И. Кузьмин [и др.] // Проблемы национальной безопасности : экспертные заключения, аналитические материалы, предложения. – М., 2008. – С. 9–50.

2009

361. Докембрийская и раннепалеозойская металлогения южной части Восточной Сибири // Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири : сб. науч. тр. – Иркутск, 2009. – С. 61–69. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Ю. А. Александровский, Т. Ф. Галимова.
362. Составляющие гидрохимического режима вод р. Лены / М. И. Кузьмин [и др.] // Водные ресурсы. – 2009. – Т. 36, № 4. – С. 440–451. – Соавт.: Е. Н. Тарасова, В. А. Бычинский, В. В. Карабанов, А. А. Мамонтов, Е. А. Мамонтова.
363. Центрические диатомовые водоросли позднего кайнозоя озера Байкал: морфология, систематика, стратиграфическое распространение, этапность развития (по материалам глубоководного бурения) / М. И. Кузьмин [и др.]. – Новосибирск, 2009. – 374 с. – Соавт.: Г. К. Хурсевич, А. А. Прокопенко, С. А. Феденя, Е. Б. Карабанов.
364. Sm-Nd- и Rb-Sr-возраст и возможная природа псевдотахилитов Анабарского щита / М. З. Глуховский [и др.] // Докл. Акад. наук. – 2009. – Т. 425, № 4. – С. 513–518. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Г. Н. Баженова, Т. Б. Баянова, Д. В. Елизаров, П. А. Серов.
365. Kuzmin M. I., Mamontova E. A., Tarasova E. N., Khomutova M. Yu., Borisov B. Z., Bulban A. P., Yurchenko S. G., Ivanov G., Lepskaya E. V., Levshina S. I., Tregubov O. D. PCBs and OCPs in soil sampled in some urban and rural areas of east Siberia, Far East and Yakutia, Russia // *Organohalogen Compounds*. – 2009. – Vol. 71. – P. 1744–1749.
366. Kuzmin M. I., Mamontova E. A., Tarasova E. N., Mamontov A. A., Khomutova M. Yu. PCBs and OCPs in soil sampled along the Lena River valley, Russia // *Organohalogen Compounds*. – 2009. – Vol. 71. – P. 1729–1734.
367. Kuzmin M. I., Mamontova E. A., Tarasova E. N., Khomutova M. Iu. PCBs and OCPs in fish from Lake Baikal, delta of the Lena River and Baunt lakes, Russia // *Organohalogen Compounds*. – 2009. – Vol. 71. – P. 1766–1771.
368. Mamontova E. A., Kuzmin M. I., Tarasova E. N., Goreglyad A. V., Tkachenko L., Khomutova M. Iu. PCBs and OCPs in some media from Lake Hovsgol and surrounding area, Mongolia // *Organohalogen Compounds*. – 2009. – Vol. 71. – P. 2969–2973.
369. Mamontova E. A., Kuzmin M. I., Tarasova E. N., Khomutova M. Yu. Distribution of PCBs and OCPs in air in the Irkutsk region, Russia // *Organohalogen Compounds*. – 2009. – Vol. 71. – P. 2869–2873.
370. Hovsgol Drilling Project Members (Abzaeva A. A., Bezrukova E. V., Bychinskiy V. A., Fedenya S. A., Fukishi K., Gelety V. F., Goreglyad A. V., Ivanov E. V., Kalmychkov G. V., Kashiwaya K., Kawai T., Kerber E. V., Khomutova M. Yu., Khursevich G. K., Kim J.-Y., Krainov M. A., Kulagina N. V., Kuzmin M. I., Letunova P. P., Minoura K., Nahm W.-H., Narantsetseg Ts., Oyunchimeg Ts., Prokopenko A. A., Sakai H., Solotchina E. P., Tani Y., Tkachenko L. L., Tomurhuu D., Watanabe T.). Sedimentary record from Lake Hovsgol, NW Mongolia: Re-

- sults from the HDP-04 and HDP-06 drill cores // *Quaternary International*, V. 205, № 1-2, 15 August 2009. P. 21–37.
371. Prokopenko Alexander A., Kuzmin Mikhail I., Hong-Chun Li, Kyung-Sik Woo, Catto Norm R. Lake Hovsgol basin as a new study site for long continental paleoclimate records in continental interior Asia: General context and current status // *Quaternary International*, V. 205, № 1–2, 15 August 2009. P. 1–11.
372. Prokopenko A. A., Khursevich G. K., Kuzmin M. I., Kawai T. Productivity cycles in Lake Hovsgol, NW Mongolia, during the last 1 Ma and the age model of the HDP-04 drill core record // *Quaternary International*, V. 205, № 1-2, 15 August 2009. P. 111–125.
373. Solotchina E. P., Prokopenko A. A., Kuzmin Mikhail I., Solotchin P. A., Zhdanova A. N. Climate signals in sediment mineralogy of Lake Baikal and Lake Hovsgol during the LGM-Holocene transition and the 1-Ma carbonate record from the HDP-04 drill core // *Quaternary International*, V. 205, № 1–2, 15 August 2009. P. 38–52.

2010

374. Геохимия и петрология Эгийнгольского перидотитового массива: реставрация условий плавления и взаимодействия с бонинитовыми расплавами / М. А. Горнова [и др.] // *Литосфера*. – 2010. – № 5. – С. 20–36. – Соавт.: М. И. Кузьмин, И. В. Гордиенко, А. Я. Медведев, А. И. Альмухамедов.
375. Глуховский, М. З. Геохимия палеопротерозойских псевдотахилитов Анабарского щита и механизм их образования / М. З. Глуховский, М. И. Кузьмин // *Докл. Акад. наук*. – 2010. – Т. 431, № 5. – С. 662–667.
376. О распределении стойких органических загрязнителей в атмосферном воздухе и почвах Монголии / Е. А. Мамонтова [и др.] // *Вестник КазНУ*. – 2010. – Сер. химическая, № 4 (60). – С. 258–262. – Соавт.: Е. Н. Тарасова, М. И. Кузьмин, Д. Ганчимэг.
377. Осадконакопления в заливе Провал (озеро Байкал) после сейсмогенного опускания участка дельты Селенги / Е. Г. Вологина [и др.] // *Геология и геофизика*. – 2010. – Т. 51, № 12. – С. 1275–1284. – Соавт.: И. А. Калугин, Ю. Н. Осуховская, М. Штурм, Н. В. Игнатова, Ю. Б. Радзиминович, А. В. Дарьин, М. И. Кузьмин.
378. Содержание стойких органических загрязнителей в грудном молоке жительниц Иркутской области / Е. А. Мамонтова // *Гигиена и санитария*. – 2010. – № 1. – С. 35–38. – Соавт.: Е. Н. Тарасова, М. И. Кузьмин, М. С. Маклахлан, О. Папке, А. А. Мамонтов.
379. Углеродистое вещество сульфидно-кварцевых жил Курултыкенского полиметаллического месторождения (Восточное Забайкалье, Россия) / М. И. Кузьмин [и др.] // *Геология рудных месторождений*. – 2010. – Т. 52, № 3. – С. 280–288. – Соавт.: Ю. П. Трошин, С. М. Бойко, Э. А. Развозжаева, Л. Д. Зорина, Д. Х. Мартихаева.
380. Эндогенная металлогения среднего-позднего палеозоя, мезозоя и кайнозоя южной части Восточной Сибири и северных районов Монголии // *Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири* : сб. науч. тр., посвящ. 60-летию геол. фак. – Иркутск, 2010. – С. 99–105. – Соавт.: М. И. Кузьмин и др.
381. Юбилей выдающегося ученого-геолога академика Николая Павловича Лаврова / Н. С. Бортников [и др.] // *Геология рудных месторождений*. – 2010.

- Т. 52, № 1. – С. 3–7. – Соавт.: Л. С. Бородин, Л. З. Быховский, Д. В. Гричук, В. И. Казанский, В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин и др.
382. Appendix B: Description of Map Units for Northeast Asia Summary Geodynamics Map / Parfenov L. M., Badarch G., Berzin N. A., Hwang D. H., Khanchuk A. I., Kuzmin M. I., et al. // *Metallogenesis and Tectonics of Northeast Asia* / Edited by W. J. Nokleberg [Электронный ресурс]. – Professional Paper 1765. – U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 2010, Alternate ID: 16-1765, ISBN: 978-1-4113-2624-8., 629 p. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
383. Appendix A: Description of the Northeast Asia Project and Associated Products / Nokleberg W. J., Parfenov L. M., Khanchuk A. I., Kuzmin M. I., et al. // *Metallogenesis and Tectonics of Northeast Asia* / Edited by W. J. Nokleberg [Электронный ресурс]. – Professional Paper 1765. – U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 2010, Alternate ID: 16-1765, ISBN: 978-1-4113-2624-8., 629 p. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
384. Chapter 1: Introduction / Parfenov L. M., Badarch G., Berzin N. A., Hwang D. H., Khanchuk A. I., Kuzmin M. I., et al. // *Metallogenesis and Tectonics of Northeast Asia* / Edited by W. J. Nokleberg [Электронный ресурс]. – Professional Paper 1765. – U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 2010, Alternate ID: 16-1765, ISBN: 978-1-4113-2624-8., 629 p. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
385. Chapter 9: Tectonic and Metallogenic Model for Northeast Asia / Parfenov L. M., Berzin N. A., Badarch G., Belichenko V. G., Bulgatov A. N., Dril S. I., Khanchuk A. I., Kirillova G. L., Kuz'min M. I., et al. // *Metallogenesis and Tectonics of Northeast Asia* / Edited by W. J. Nokleberg [Электронный ресурс]. – Professional Paper 1765. – U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 2010, Alternate ID: 16-1765, ISBN: 978-1-4113-2624-8., 629 p. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
386. Kuzmin M. I., Yarmolyuk V. V., Kravchinsky V. A. Phanerozoic hot spot traces and paleogeographic reconstructions of the Siberian continent based on interaction with the African large low shear velocity province // *Earth-Science Reviews*, 2010, V. 102, № 1–2. P. 29–59.
387. Mamontova E. A., Kuzmin M. I., Tarasova E. N., Khomutova M. Yu. The investigation of PCBs and OCPs in air in the Irkutsk Region (Russia) using passive air sampling // *Вестник КазНУ. – 2010, Серия химическая. – № 4 (60). – С. 209–213.*
388. Mamontova E. A., Tarasova E. N., Ganchimeg D., Kuzmin M. I., Mamontov A. A., Khomutova M. Yu., Burmaa G., Odontuya G., Erdenebayasgalan G. Persistent organic pollutants (PCB and OCP) in air and soil from Ulaanbaatar and the Lake Hovsgol region, Mongolia // *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*, 2010, Vol. 198. № 4.
389. Prokopenko A. A., Bezrukova E. V., Khursevich G. K., Solotchina E. P., Kuzmin M. I. and Tarasov P. E. Climate in continental interior Asia during the longest interglacial of the past 500 000 years: the new MIS 11 records from Lake Baikal, SE Siberia // *Climate of the Past*, 2010, V. 6, № 1. P. 31–48.

2011

390. Автономные анортозиты Алданского щита и связанные с ними породы: возраст, геохимия и механизм образования (на примере Каларского массива) / М. З. Глуховский [и др.] // *Докл. Акад. наук. – 2011. – Т. 439, № 5. –*

- С. 651–659. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Т. Б. Баянова, Г. Н. Баженова, Д. В. Елизаров, П. А. Серов.
391. Кузьмин, М. И. Абсолютные палеогеографические реконструкции Сибирского континента в фанерозое: к проблеме оценки времени существования суперплюмов / М. И. Кузьмин, В. В. Ярмолюк В. А. Кравчинский // Докл. Акад. наук. – 2011. – Т. 437, № 1. – С. 68–73.
392. Кузьмин, М. И. Глубинная геодинамика или как работает мантия Земли / М. И. Кузьмин, В. В. Ярмолюк // Наука из первых рук. – 2011. – № 6. – С. 18–35.
393. Кузьмин, М. И. Фанерозойский внутриплитный магматизм Северной Азии: абсолютные палеогеографические реконструкции африканской низкоскоростной мантийной провинцией / М. И. Кузьмин, В. В. Ярмолюк, В. А. Кравчинский // Геотектоника. – 2011. – Т. 45, № 6. – С. 3–23.
394. Первые результаты реконструкции природной среды голоцена Ленно-Ангарского плато (Восточная Сибирь) / Е. В. Безрукова [и др.] // Докл. Акад. наук. – 2011. – Т. 440, № 5. – С. 686–690. – Соавт.: А. В. Белов, М. И. Кузьмин, П. П. Летунова, А. А. Абзаева, Л. А. Орлова, Н. В. Кулагина.
395. Kuzmin M. I., Mamontova E. A., Mamontov A. A., Tarasova E. N., McLachlan M. S. Persistent organic pollutants in the Lake Baikal Region: results of international collaboration in 1990-2000s // *Organohalogen compounds*, 2011, V. 73. P. 13–16.
396. Kuzmin M. I., Mamontova E. A., Tarasova E. N., Khomutova M. Yu., Borisov B. Z., Bulban A. P., Yurchenko S. G., Ivanov G., Lepskaya E. V., Levshina S. I., Tregubov O.D. POPs in air of some settlements of Asiatic Territory of Russia // *Organohalogen compounds*, 2011, V. 73. P. 1050–1053.

2012

397. Глуховский, М. З. Очково-порфиробластические гранитоиды западной части Алданского щита: геохимия, возраст и механизм образования // Докл. Акад. наук. – 2012. – Т. 443, № 4. – С. 473–481. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Т. Б. Баянова, П. А. Серов.
398. Кузьмин, М. И. Диатомовая летопись Байкала и изменение климата / М. И. Кузьмин, Г. Хурсевич // Наука в России. – 2012. – № 3. – С. 56–64.
399. Кузьмин, М. И. Ученые о Байкале / М. И. Кузьмин, А. Н. Кузнецова // ЭКО. – 2012. – № 2. – С. 39–57.
400. Стойкие органические загрязнители в атмосферном воздухе некоторых территорий Сибири и Дальнего Востока России / Е. А. Мамонтова [и др.] // География и природные ресурсы. – 2012. – № 4. – С. 40–47. – Соавт.: Е. Н. Тарасова, А. А. Мамонтов, М. И. Кузьмин, Б. З. Борисов, А. П. Бульбан, С. Г. Юрченко, Е. В. Лепская, С. И. Левшина, О. Д. Трегубов.
401. Ярмолюк, В. В. Позднепалеозойский и раннемезозойский редкометальный магматизм Центральной Азии: этапы, области и обстановки формирования / В. В. Ярмолюк, М. И. Кузьмин // Геология рудных месторождений. – 2012. – Т. 54, № 5. – С. 375–399.

2013

402. Вариации состава спрединговых базальтов Трога Кинг (Центральная Атлантика) и их возможные причины / Е. А. Чернышева [и др.] // Докл. Акад.

- наук. – 2013. – Т. 448, № 4. – С. 446–451. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Г. С. Харин, А. Я. Медведев.
403. Глуховский, М. З. Котуйканская кольцевая структура: возможное свидетельство масштабного импактного события на севере Сибирского кратона / М. З. Глуховской, М. И. Кузьмин // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 1. – С. 3–26.
404. Запись поведения геомагнитного поля в осадках озера Байкал (скважина BDP-99) / М. А. Крайнов [и др.] // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 11. – С. 1795–1802. – Соавт.: А. Ю. Песков, А. В. Косынкин, М. И. Кузьмин.
405. Ощепкова, А. В. Реконструкция минерального состава глубоководных Байкальских осадков на основе их химического состава / А. В. Ощепкова, М. И. Кузьмин, В. А. Бычинский // Изв. Иркутского гос. ун-та. Серия: Науки о Земле. – 2013. – Т. 6, № 1. – С. 122–132.
406. Реконструкция климата Забайкалья в голоцене на основе изотопно-кислородного анализа створок ископаемых диатомовых водорослей оз. Котокель / С. С. Кострова [и др.] // Докл. Акад. наук. – 2013. – Т. 451, № 1. – С. 76–80. – Соавт.: Х. Майер, Б. Чаплыгин, Е. В. Безрукова, П. Е. Тарасов, М. И. Кузьмин.
407. Самородное железо в осадках озера Байкал (скважина BDP-98): результаты термомагнитного анализа / Д. М. Печерский [и др.] // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 9. – С. 1336–1347. – Соавт.: Д. М. Гильманова, Е. В. Иванов, М. И. Кузьмин, Г. П. Марков, Д. К. Нурғалиев, В. А. Цельмович.
408. Ярмолюк, В. В. Конвергентные границы западно-тихоокеанского типа и их роль в формировании Центрально-Азиатского складчатого пояса / В. В. Ярмолюк, М. И. Кузьмин, А. А. Воронцов // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 12. – С. 1831–1850.
409. Ярмолюк, В. В. Позднепалеозойский-раннемезозойский внутриплитный магматизм Северной Азии: траппы, рифты, батолиты-гиганты и геодинамика их формирования / В. В. Ярмолюк, М. И. Кузьмин, А. М. Козловский // Петрология. – 2013. – Т. 21, № 2. – С. 115–142.
410. Wang K.-L., O'Reilly S. Y., Kovach V., Griffin W. L., Pearson N. J., Yarmolyuk V., Kuzmin M. I., Chieh C.-J., Gregory Shellnutt J., Iizuka Y. Microcontinents among the accretionary complexes of the Central Asia Orogenic Belt: In situ Re-Os evidence // *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, V. 62. P. 37-50.
411. Yarmolyuk V. V., Kuzmin M. I., Vorontsov A. A., Khomutova M. Yu. West Pacific-type convergent boundaries: Role in the crust growth history of the Central-Asian orogen // *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, V. 62. P. 67–78.

2014

412. Вещество метеорита «Челябинск»: результаты геохимических и термомагнитных исследований / В. С. Антипин [и др.] // Докл. Акад. наук. – 2014. – Т. 458, № 1. – С. 57–60. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Д. М. Печерский, В. А. Цельмович, С. А. Язев.
413. Кузьмин, М. И. К новой парадигме геологии / М. И. Кузьмин // Природа. – 2014. – № 7. – С. 49–58.
414. Кузьмин, М. И. Мантийные плюмы Северо-Восточной Азии и их роль в формировании эндогенных месторождений / М. И. Кузьмин, В. В. Ярмолюк // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 2. – С. 153–184.

415. Кузьмин, М. И. Наука, геологоразведка, промышленность / М. И. Кузьмин // ЭКО. – 2014. – № 11. – С. 105–113.
416. Кузьмин, М. И. Ранние стадии формирования Земли / М. И. Кузьмин // Наука в России. – 2014. – № 6. – С. 13–19.
417. Особенности изучения элементного состава (неорганических компонентов) створок диатомовых водорослей методом РСМА / Л. А. Павлова [и др.] // Методы и объекты химического анализа. – 2014. – Т. 9, № 2. – С. 65–72. – Соавт.: Л. Л. Ткаченко, А. В. Горегляд, М. И. Кузьмин.
418. Особенности сезонной и межгодовой изменчивости химического состава истока реки Ангары (Байкал) с 1950 по 2010 гг. / М. И. Кузьмин [и др.] // Геохимия. – 2014. – № 7. – С. 579–589. – Соавт.: Е. Н. Тарасова, Е. А. Мамонтова, А. А. Мамонтов, Е. В. Кербер.
419. Плюмовые магматогенно-рудные системы юга Восточной Сибири // Геология и полезные ископаемые юга Восточной Сибири : науч. тр. ВостСибНИИГГиМС. – Иркутск, 2014. – Вып. 3: к 50-летию образования. – С. 18–24. – Соавт.: М. И. Кузьмин, В. В. Ярмолук.
420. Распределение стойких органических загрязнителей в системе почва – атмосферный воздух в Сибири и на Дальнем Востоке / Е. А. Мамонтова [и др.] // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2014. – № 5. – С. 418–428. – Соавт.: Е. Н. Тарасова, М. И. Кузьмин, Б. З. Борисов, А. П. Бульбан, С. И. Левшина, Е. В. Лепская, О. Д. Трегубов, С. Г. Юрченко, А. А. Мамонтов.
421. Химический состав осадков глубоководных байкальских скважин как основа реконструкции изменений климата и окружающей среды / М. И. Кузьмин [и др.] // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 1. – С. 3–22. – Соавт.: В. А. Бычинский, Е. В. Кербер, А. В. Ощепкова, А. В. Горегляд, Е. В. Иванов.
422. Kuz'min M. I. The Precambrian history of the origin and evolution of the Solar System and Earth. Part 1. Geodynamics & Tectonophysics 2014, 5 (3). P. 625–640.
423. Yarmolyuk V. V., Kuzmin M. I., Ernst R. E. Intra plate geodynamics and magmatism in the evolution of the Central Asian Orogenic Belt // Journal of Asian Earth Sciences, 2014, v. 93. P. 158–179.

2015

424. Автономные анортозиты Анабарского щита: возраст, геохимия и механизм образования / М. З. Глуховский [и др.] // Докл. Акад. наук. – 2015. – Т. 464, № 4. – С. 457–463. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Т. Б. Баянова, Г. Н. Баженова, Л. М. Лялина, П. А. Серов.
425. Глуховский, М. З. Внеземные факторы и их роль в тектонической эволюции Земли в раннем докембрии / М. З. Глуховский, М. И. Кузьмин // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56, № 7. – С. 1225–1249.
426. Модели твердых растворов для расчета минерального состава донных осадков озера Байкал: новый подход к палеоклиматическим реконструкциям / А. В. Ощепкова [и др.] // Докл. Акад. наук. – 2015. – Т. 461, № 4. – С. 447–450. – Соавт.: М. И. Кузьмин, В. А. Бычинский, Э. П. Солотчина, К. В. Чудненко.
427. Полихлорированные бифенилы и хлорорганические пестициды в атмосферном воздухе северного Прихубсугулья в 2008-2013 гг. / Е. А. Мамонто-

ва [и др.] // Докл. Акад. наук. – 2015. – Т. 464, № 5. – С. 608–610. – Соавт.: Е. Н. Тарасова, А. В. Горегляд, Л. Л. Ткаченко, А. А. Мамонтов, М. И. Кузьмин.

2016

428. Влияние дальнего атмосферного переноса хлорорганических соединений в исследовании почв от Монголии до Арктики / Е. А. Мамонтова [и др.] // Докл. Акад. наук. – 2016. – Т. 466, № 5. – С. 583–586. – Соавт.: Е. Н. Тарасова, А. А. Мамонтов, М. И. Кузьмин.
429. Изотопный состав кислорода створок диатомовых водорослей из донных отложений озера Котокель (Бурятия) / С. С. Кострова [и др.] // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 8. – С. 1571–1580. – Соавт.: Х. Майер, П. Е. Тарасов, Е. В. Безрукова, Б. Чаплыгин, А. Косслер, Л. А. Павлова, М. И. Кузьмин.
430. Кузьмин, М. И. Изменение стиля тектонических движений в процессе эволюции Земли / М. И. Кузьмин, В. В. Ярмолук // Докл. Акад. наук. – 2016. – Т. 469, № 6. – С. 706–710.
431. Кузьмин, М. И. Роль минерально-сырьевого комплекса в реализации стратегии устойчивого развития Байкальского региона / М. И. Кузьмин, А. Н. Кузнецова // География и природные ресурсы. – 2016. – № 6. – С. 123–127.
432. Кузьмин, М. И. Тектоника плит и мантийные плюмы – основа эндогенной тектонической активности Земли последние 2 млрд лет / М. И. Кузьмин, В. В. Ярмолук // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 1. – С. 11–30.
433. Кузьмин, М. И. Тектоническая активность Земли на ранних этапах (4.56–3.4 (2.7?)) ее эволюции / М. И. Кузьмин, В. В. Ярмолук, Р. Е. Эрнст // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 5. – С. 815–832.
434. О возможности фазовых переходов с образованием пероксидных форм SiO_2 в мантии Земли и их влиянии на мантийную конвекцию / Р. Г. Хлебопрос [и др.] // Журнал структурной химии. – 2016. – Т. 57. – № 2. – С. 430–434. – Соавт.: В. Е. Захватаев, В. А. Слепков, М. И. Кузьмин.
435. Озеро Байкал / М. И. Кузьмин [и др.] ; отв. ред. М. И. Кузьмин. – М., 2016. – 110 с. – (Вестник РФФИ; Спец. вып. № 1). – Соавт.: Н. М. Буднев, Ю. М. Зверева, В. А. Короткоручко и др.
436. Первые данные об изменении природной среды и климата Жомболокского вулканического района (Восточный Саян) в среднем–позднем голоцене / Е. В. Безрукова [и др.] // Докл. Акад. наук. – 2016. – Т. 468, № 3. – С. 323–327. – Соавт.: А. А. Щетников, М. И. Кузьмин, О. Г. Шарова, Н. В. Кулагина, П. П. Летунова, Е. В. Иванов, М. А. Крайнов, Е. В. Кербер, И. А. Филинов, О. В. Левина.
437. Элементный состав органического вещества торфа как показатель трофического состояния болотных экосистем юга Байкальского региона / Е. Н. Тарасова [и др.] // Докл. Академии наук. – 2016. – Т. 470. № 1. – С. 91–94. – Соавт.: Е. В. Безрукова, Е. А. Мамонтова, А. А. Мамонтов, М. И. Кузьмин.
438. Ярмолук, В. В. Зональные магматические ареалы и анорогенное батолитообразование в Центрально-Азиатском складчатом поясе: на примере позднепалеозойской Хангайской магматической области / В. В. Ярмолук, А. М. Козловский, М. И. Кузьмин // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 3. – С. 457–475.

439. Возникновение вторичных зон локального загрязнения в юго-восточной части Байкальской природной территории / А. А. Мамонтов [и др.] // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2017. – № 3. – С. 41–46. – Соавт.: Е. Н. Тарасова, Е. В. Безрукова, А. А. Щетников, Е. В. Иванов, Е. А. Мамонтова, М. И. Кузьмин.
440. Гранатовые гранулиты среднего течения р. Сутам (Алданский щит) как возможное свидетельство метаморфизованной и тектонически перемещенной постгадейской коры выветривания / М. З. Глуховский [и др.] // Литосфера. – 2017. – Т. 17, № 6. – С. 5–22. – Соавт.: Т. Б. Баянова, М. И. Кузьмин, Л. М. Лялина, Т. Ф. Щербакова.
441. Кузьмин, М. И. Биография Земли: основные этапы геологической истории / М. И. Кузьмин, В. В. Ярмолук // Природа. – 2017. – № 6. – С. 12–25.
442. Кузьмин, М. И. О роли государства в развитии геологической отрасли / М. И. Кузьмин, А. Н. Кузнецова // ЭКО. – 2017. – № 6. – С. 64–82.
443. О первой находке циркона гадея в гранатовых гранулитах на р. Сутам (Алданский щит) / М. З. Глуховский [и др.] // Докл. Академии наук. – 2017. – Т. 476, № 1. – С. 76–82. – Соавт.: М. И. Кузьмин, Т. Б. Баянова, Л. М. Лялина, В. А. Макрыгина, Т. Ф. Щербакова.
444. Терромагнитный анализ самородного железа верхних осадочных горизонтов озера Байкал, разрез GC-99 (Посольская банка) / Д. М. Печерский [и др.] // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 12. – С. 1964–1974. – Соавт.: Д. М. Кузина, Е. В. Иванов, М. И. Кузьмин, Д. К. Нургалиев.
445. Эклогитовый след в эволюции позднекайнозойского щелочно-базальтового вулканизма юго-западного фланга Байкальской рифтовой зоны – геохимические признаки и геодинамические следствия / А. Б. Перепелов [и др.] // Докл. Академии наук. – 2017. – Т. 476, № 5. – Соавт.: М. И. Кузьмин, С. С. Цыпукова, Е. И. Демонтерова, А. В. Иванов, Ю. Д. Щербаков, М. Ю. Пузанков, Д. Одгэрэл, Д. Бат-Улзий.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Автобиография Михаила Ивановича Кузьмина.....	5
Основные даты жизни и деятельности М.И. Кузьмина	11
Литература о М.И. Кузьмине	37
Защита Байкала от трубы.....	40
Научное наследие М.И. Кузьмина.....	48
<i>М.И. Кузьмин, В.В. Ярмолюк</i> Биография Земли: основные этапы геологической истории	48
<i>Л.П. Зоненшайн, М.И. Кузьмин</i> Внутриплитовый вулканизм и его значение для понимания процессов в мантии Земли	
<i>Л.П. Зоненшайн, М.И. Кузьмин, А.П. Лисицын, Ю.А. Богданов, А.М. Сагалевич, Б.В. Баранов</i> Тектоника рифтовой долины Срединно-Атлантического хребта между 26 и 24° с. ш.: свидетельства вертикальных перемещений	93
Список опубликованных научных работ М.И. Кузьмина.....	111

Научное издание

МИХАИЛ ИВАНОВИЧ КУЗЬМИН: Я ЛЮБЛЮ ТЕБЯ, ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ!

Авторы-составители

Русинек Ольга Тимофеевна, Безрукова Елена Вячеславовна

Технический редактор *А.И. Шеховцов*

Дизайнер *И.М. Батова*

Подписано в печать 20.09.2018 г. Формат 60×90/16.
Гарнитура Times New Roman. Бумага Ballet. Уч.-изд. л. 11,3. Усл. печ. л. 8,7.
Тираж 500 экз. Заказ № 826.

Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН.
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1