

Литературные обзоры

УДК 550.1

<https://doi.org/10.26516/2541-9641.2022.4.161>

Аналитические обзоры основных проблем геологии 2003–2007 гг. Виктора Ефимовича Хаина и их значение для понимания современных достижений в геологических изысканиях

С.В. Рассказов^{1,2}, И.С. Чувашова^{1,2}¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия²Иркутский государственный университет, геологический факультет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Представлен обзор основных проблем геологии, сделанный В.Е. Хаиным в 2003 и 2007 гг. В обзоре показана разная степень обоснованности гипотез с акцентом на прорывные работы и явно сомнительные построения, которые нуждались в то время в дополнительной аргументации. Этот обзор необходим для понимания прогрессивного и дегенеративного развития геологии последних 20 лет.

Ключевые слова: теория Земли, проблемы геологии, эволюция, магматизм, геодинамика.

Analytical reviews of the main geological problems in 2003–2007 by Viktor Efimovich Khain and their significance for understanding modern achievements in geological surveys

S.V. Rasskazov^{1,2}, I.S. Chuvashova^{1,2}¹Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia²Irkutsk State University, Faculty of Geology, Irkutsk, Russia

Abstract. A review of the main problems of geology by V.E. Khain in 2003 and 2007. This shows different degrees of validity of hypotheses with an emphasis on breakthrough work and clearly doubtful constructions that required additional argumentation at that time. This review is necessary to understand the progressive and degenerative development of geology in the last 20 years.

Keywords: theory of the Earth, problems of geology, evolution, magmatism, geodynamics.

Введение

Уже более десяти лет на геологическом факультете Иркутского госуниверситета проводятся семинарские занятия со студентами магистерской подготовки по курсу «Современные проблемы геологии». Основные вопросы семинара по части, касающейся динамической геологии, выстраивались в основном по четырем публикациям: монографии В.Е. Хаина «Основные проблемы современной геологии. М.: Научный мир, 2003. 348

с.», провокационной статьи двух японских и одного китайского исследователей (Maruyama et al., 2007), монографии о новой теории Земли (Anderson, 2007) и учебника по полемике вокруг гипотез о тектонике литосферных плит и плюмов, который был подготовлен для студентов Университета Дарэма, Великобритания (Foulger, 2010). В контексте идей этих четырех публикаций освещались заметные статьи 2010–2022 гг., несущие новые геологические знания.

Значение актуальных исследований может быть воспринято только в сопоставлении с результатами, достигнутыми по геологическим направлениям, считавшимся современными в предшествующие годы. Настоящая работа подготовлена для преодоления возникшего диссонанса между устоявшимися представлениями динамической геологии 2003 г. и новыми исследованиями, которые можно отнести к категории актуальных последующих 20 лет. В настоящей работе приводится анализ состояния геологии 2003–2007 гг., представленный В.Е. Хаиным, с тем чтобы в будущей статье осветить наиболее актуальные вопросы, выступившие на первый план в геологии 20 лет спустя.

Перечень геологических проблем 2003 г.

Примерный перечень актуальных исследований геологии, обозначенный в первом

издании книги В.Е. Хаина 1995 г. и частично дополненный в издании 2003 г., приводится далее в форме конспекта.

1. Рождение планеты Земля:
 - космогенические гипотезы,
 - механизм образования планет земной группы,
 - механизм образования ядра,
 - происхождение Луны (рис. 1),
 - гипотезы холодной и горячей Земли.

Из обзора следует, что проблема рождения Земли относится в большей степени к сугубо гипотетическим, предполагающим неоднозначное толкование немногочисленных имеющих фактов, но новые данные, полученные на основе современных технологий способствуют быстрому развитию представлений о закономерностях образования Земли как одного из космических тел.

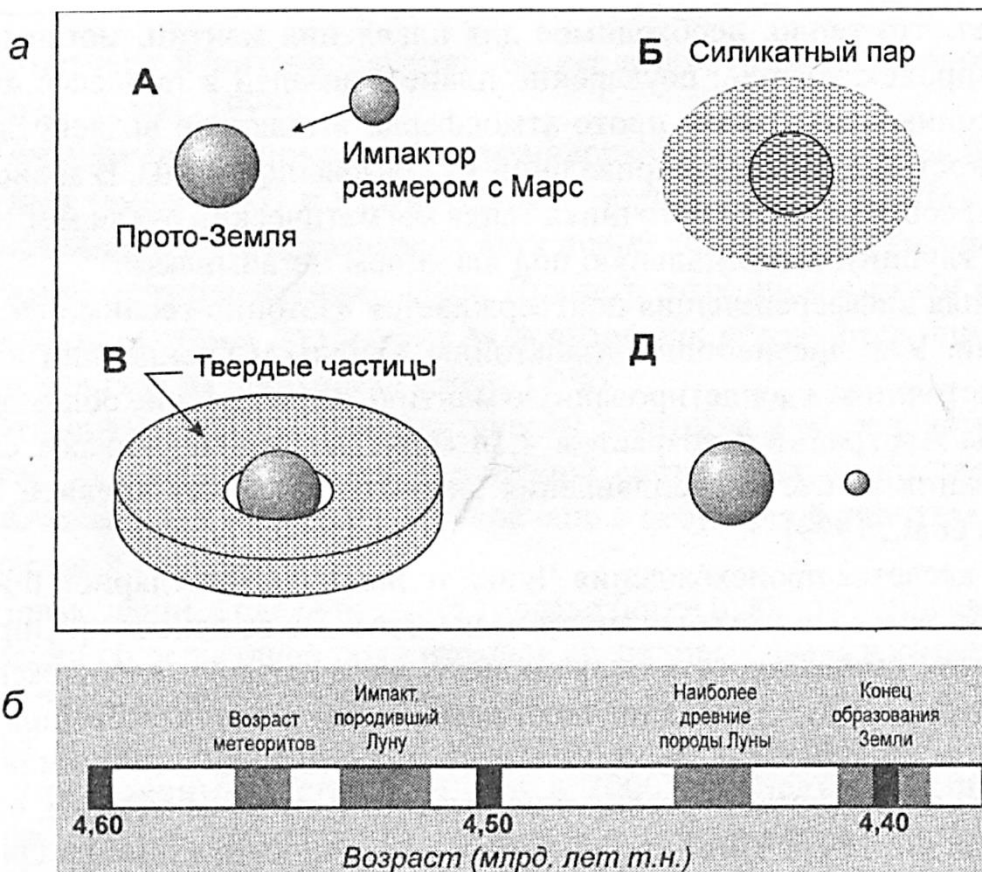


Рис. 1. Образование Луны (Ida et al., 1997) и ее возраст (De Paolo, 1994).

Fig. 1. Formation of the Moon (Ida et al., 1997) and its age (De Paolo, 1994).

2. Первая кора Земли. Возможный состав и способ образования:

- раннее выплавление коры,
- время образования атмосферы,

- комплекс Исуа в Гренландии возрастом 3.9–3.8 млн лет с признаками существования жидкой воды,

- древнейшие на Земле серые гнейсы Акаста кратона Слэйв на Канадском щите,

- обломочные цирконы из отложений Джек Хиллз в Западной Австралии возрастом до 4.4 млрд лет,

- образование гранитного вещества на стадии аккреции.

из обзора следует, что проблема первой коры Земли находится на стадии поисков объектов, которые были бы показательны для оценки ее состава и способа образования.

3. Серые гнейсы и зарождение континентов:

- «серогнейсовая» кора – единственный представитель коры континентального типа в раннем-среднем архее (до 3 млрд лет назад),

- начало образования зрелой континентальной коры в позднем архее (с 3.5 млрд лет назад),

- начало образования зеленокаменных поясов, способы образования серых гнейсов – сагдукцией (прогибанием), субдукцией и обдукцией,

- сходство и отличие адакитов молодых дуг от похожих пород тоналит-трондьемит-гранодиоритовых (ТТГ) комплексов зеленокаменных поясов,

- два типа адакитов – с высоким и низким MgO.

Из обзора следует, что проблема серых гнейсов тесно связана с проблемой зарождения континентов.

4. Происхождение жизни на Земле:

- существование органического мира – главное отличие Земли от остальных планет Солнечной системы,

- гипотеза С. Аррениуса о первоначальном внеземном зарождении жизни и привнесении ее на Землю космическими телами,

- гипотеза земного происхождения органического мира,

- синтез организмов из рибонуклеиновой кислоты (РНК),

- влияние состава примитивной атмосферы,

- зарождение жизни в гидротермах дна океана,

- первые морфологически различимые остатки микроорганизмов Южной Африки возрастом 3.5 млрд лет,

- железистые кварциты возрастом >3.85 млрд лет на о-ве Акилья (ЮЗ Гренландия) с соотношением $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, характерным для живых организмов,

- находки цианобактерий в метеоритах (Розанов, 2000),

- концепция Э.М. Галимова (2001).

Из обзора следует, что проблема происхождения жизни на Земле, по-прежнему занимает умы геологов и палеонтологов.

5. Становление первой Пангеи и происхождение Панталассы, причины диссимметрии Земли:

- острова сиалической коры в раннем архее,

- заложение зеленокаменных поясов (ЗКП) на протоконтинентальной коре, между островами сиалия и над восходящими ветвями мантийных течений или мантийными струями,

- ЗКП с сериями, бимодальными (рифтогенными, среднеархейскими) и последовательно дифференцированными (спредингово-субдукционными, позднеархейскими) (по А. Крёнеру),

- обзор ЗКП,

- к началу протерозоя поверхность Земли разделилась на суперконтинент Пангею и Мировой океан – Панталассу с образованием коренной диссимметрии Земли,

- вариант происхождения диссимметрии Земли в результате дефлюидизации при импактном событии, сопровождавшемся образованием Луны,

- смена хаотической конвекции гадея (или хадия, Hadean) многоячейистой верхнемантийной архее с дальнейшим переходом к общемантийной одноячейистой,

- история суперконтинентов.

Из обзора следует, что проблема становления первой Пангеи и происхождения Панталассы с образованием диссимметрии Земли важна для понимания динамики Земли.

6. Тектоника плит: когда и как она началась?

- относительные перемещения литосферных плит: раздвиг, поддвиг одних под другие, сдвиг,
- расшифровка кинематики плит по линейным магнитным аномалиям океанского ложа начиная со 160 млн лет назад,
- с 1 млрд до 160 млн лет назад линейные аномалии не сохранились, поэтому точность реконструкций ниже, ведущий метод реконструкций для этого временного интервала – палеомагнитный с привлечением данных палеоклиматологии и палеобиогеографии,
- наименее достоверна информация по среднепротерозойскому этапу (1.65–0.85 млрд лет назад),
- для этапа раннего протерозоя (2.5–1.65 млрд лет назад) установлены типичные офиолиты, начинают обнаруживать глаукофановые сланцы, например, в Китае, роль метаморфических пород высокого давления играют эклогиты,
- гипотеза о «тектонике малых плит» этого времени как отражения мелкочаеистой астеносферной конвекции Рэлея–Бенара,
- в архее основание ЗКП сложено лавами толеитовых базальтов и коматиитов с силами и дайками тех же пород, эти комплексы отличаются от более поздних офиолитов,
- вулканические породы средней и верхней частей разреза ЗКП подобны известково-щелочным сериям молодых вулканических дуг,
- развитие ЗКП заканчивается в условиях интенсивного сжатия, до 3.5 млрд лет назад,
- Земля переживала доплитно-тектонический этап своего развития, когда ее геодинамика определялась мантийными струями, сравнение этого этапа с Венерой, развитие которой остановилось на этой стадии, в интервале 4.2–3.9 млрд лет назад, существенную роль играла бомбардировка Земли космическими телами,
- переход от плюм-тектоники к плейт-тектонике в середине архея связан с охлаждением литосферы и появлением в ней устойчивой сети регматических трещин,
- находки полных офиолитовых комплексов в Северной Корелии и Северо-Восточном Китае,
- аналоги офиолитового комплекса и аккреционной призмы в поясе Исуа ЮЗ Гренландии.

Из обзора следует, что проблема начала тектоники литосферных плит разрабатывается в терминах гипотетических построений, нуждающихся в серьезной аргументации.

7. Происхождение гранитов:

- присутствие гранитов – основное отличие континентальной коры от океанической и вместе с тем земной коры от коры всех других планет земной группы и нашего спутника – Луны,
- пик гранитообразования приходится на конец архея, около 2.5 млрд лет назад, когда произошло становление уже вполне зрелой континентальной коры и первого, более или менее достоверно установленного суперконтинента Пангеи-0,
- закономерная смена типов гранитов в истории Земли,
- наиболее древним типом гранитов должны быть океанические плагиограниты – конечный продукт дифференциации толеит-базальтовой магмы,
- тонолит-трондьемит-гранодиоритовая (ТТГ) ассоциация, продукт вторичного плавления мафических образований протоокеанической коры (метабазальтов, амфиболитов),
- в конце архея появляются и далее играют основную роль калиевые гранитоиды островодужного происхождения,
- калиевые гранитоиды встречаются в энсиматических дугах, если в разрезе присутствует более древняя континентальная кора,
- калиевые гранитоиды энсиалических дуг и краевых вулcano-плутонических поясов – выплавки нижней коры за счет летучих из зоны субдукции,
- калиевые гранитоиды обстановки коллизии континент–континент (или континент – микроконтинент, континент – вулканическая дуга), плаваются мощные толщи осадков и вулканитов в условиях анатексиса и палингенеза, пример – лейкогранитовые плутоны Гималаев, образовавшихся за счет переплавления докембрийских парагнейсов основания надвинутой плиты,
- калиевые постколлизийные гранитоиды образуют плутоны небольших размеров, нередко кольцевой формы, диапиры или кальдеры,

- калиевые внутриплитные гранитоиды, анорогенные (А-типа), подразделяющиеся на А1 и А2 по Y/Nb и Yb/Ta,

- граниты рапакиви обозначают время формирования суперконтинента Пангеи-1 в конце раннего и в среднем протерозое,

- три основные категории гранитоидов: 1) мантийная (плагиограниты осей спрединга, щелочные гранитоиды океанических островов, гранитоиды энсиматических островных дуг), 2) мантийно-коровая (гранитоиды энсиалических островных дуг, постколлизийные, внутриплитные рифтовых зон и горячих точек), 3) коровая, анатектического происхождения,

- типизация гранитоидов в цикле Вилсона, предложенная Б. Барбареном (Barbarin, 1999).

Из обзора следует, что, несмотря на 200-летнюю историю изучения гранитов, проблема их происхождения остается

важной в связи с определением типов геодинамических обстановок.

8. Происхождение и возраст Мирового океана:

- уже в раннем протерозое на Земле существовали морские бассейны, сравнимые по ширине с современными океанами,

- полемика со сторонниками расширяющейся Земли, отрицающими существование домезозойских океанов,

- сценарий развития поверхностной гидросферы, начиная со стадии аккреции Земли,

- сборка и распад суперконтинентов (рис. 2),

- распад суперконтинента Родинии сопровождался образованием Тихого океана, возникшего не позднее позднего протерозоя.

Из обзора следует, что проблема происхождения и возраста Мирового океана требует более серьезной проработки.

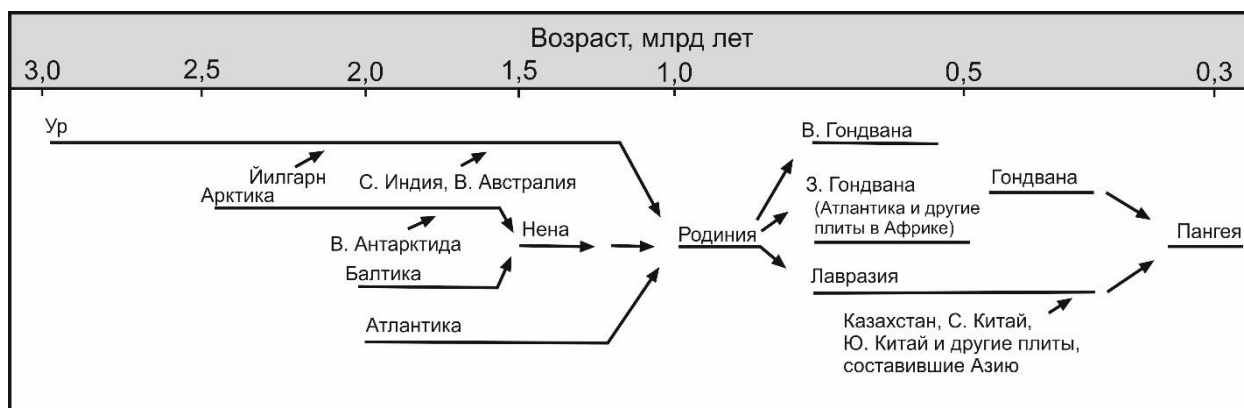


Рис. 2. Диаграмма истории главных континентов (Rogers, 1996).

Fig. 2. Diagram of the history of the major continents (Rogers, 1996).

9. Великие оледенения, их число и причины:

- современное покровное оледенение Антарктиды и Гренландии – реликт гораздо более обширного оледенения, охватившего нашу планету 18 тыс. лет назад,

- оледенение в Северном полушарии началось уже в позднем миоцене, около 10 млн лет назад (по уточненным данным, 2.7 млн лет назад), а оледенение Антарктиды – гораздо раньше, в олигоцене, не позднее 38 млн лет назад,

- циклы М. Миланковича и их подтверждение данными по составу изотопов кислорода в карбонатах Мирового океана,

- начало оледенения Антарктиды совпало с началом на Земле альпийского горообразования, а начало оледенения Антарктики – с одним из наиболее крупных его параксизмов,

- позднепалеозойское оледенение Гондваны,

- позднеордовикско-раннесилурийское оледенение,

- оледенение конца рифея – начала венда (варангерийское или лапландское)) в интервале 610–590 млн лет назад (по уточненным

данным, позднерифейское – 740–720 млн лет назад, ранневендское – 620–600 млн лет назад, поздневендское – 580–570 млн лет назад и границы венда – кембрия – 454 млн лет назад), основное тектоническое событие – байкальский орогенез, известный в Европе как кадомский, в Африке как панафриканский, в Южной Америке как бразильский. Этот орогенез привел к становлению суперконтинента Гондвана,

- позднерифейское покровное оледенение 850–800 млн лет назад соответствовало ранней фазе байкальского орогенеза,

- покровное оледенение в конце среднего рифея 1.1–1.0 млн лет назад соответствовало гренвилевскому орогенезу,

- наиболее раннее оледенение имело место в раннем протерозое 2.4–2.2 млн лет назад,

- имеются данные о позднеархейских оледенениях 2.9 и 2.53 млн лет назад,

- уточненные временные интервалы оледенений в палеозое: 445–429 млн лет назад (поздний ордовик – ранний силур), 363–353 млн лет назад (поздний девон – начало каменноугольного периода), 338–256 млн лет назад (поздний палеозой),

- гипотеза «Snowball Earth» в неопротерозое (Kirshvink, 1992), полное затухание биопродуктивности океанских вод в эту эпоху по изотопным данным (Hoffman et al., 1998),

- эдиакарская фауна бесскелетных беспозвоночных,

- периодичность оледенений неопротерозоя и фанерозоя примерно через каждые 150 млн лет (Чумаков, 2001а,б), совпадающая с циклами Бертрана.

Из обзора следует, что проблема великих оледенений дискутируется, и разработки по этой теме несут новое понимание динамики Земли в историческом аспекте.

10. Расцвет органической жизни на рубеже докембрия и фанерозоя, возможные причины:

- примерно 600 млн лет назад был большой взрыв в развитии органического мира, состоявший из двух крупных событий: 1) внезапного появления довольно разнообразных мягкотелых беспозвоночных (эдиакарской фауны) в начале венда, сразу после

варангерийского (лапландского) оледенения и 2) почти столь же внезапное появление еще более разнообразной фауны, из которой в начале кембрия, около 540 млн лет назад, возникли почти все известные группы беспозвоночных,

- еще до 1940-х годов существовало представление об огромном пробеле в геологической летописи, предшествовавшей кембрию и названном Ч. Уолкоттом «липальийским интервалом» между гуронской системой (нижний протерозой) и подошвой кембрия, т. е. в современном летоисчислении около 1 млрд лет, после этого интервала и появилась кембрийская фауна,

- находки губок на эдиакарском уровне в Юго-Западной Монголии и Южном Китае,

- переходный период 15–25 млн лет в томмотском и атдабанском веках раннего кембрия Сибири,

- богатая фауна скелетных и бесскелетных организмов в местности Ченцзян провинции Юньань Южного Китая, к началу кембрия эдиакарская фауна полностью не исчезла,

- причина кембрийской «вспышки» – распространение апвеллинга глубинных вод океанов, способствовавшего накоплению богатых залежей фосфоритов на границе венда и кембрия и изменение состава растворенных солей,

- другой фактор – резкое возрастание численности гетеротрофных организмов – хищников,

- гипотеза А.В. Сачавы о влиянии на эволюцию биосферы значительных, и притом циклических, колебаний содержания свободного кислорода в системе атмосфера – гидросфера, в позднем рифее наблюдалось повышенное содержание свободного кислорода в атмосфере в связи с существованием в то время Пангеи I и низким уровнем тектоно-вулканической активности на Земле, деструкция Пангеи I – Родинии, усиление вулканических и тектонических процессов должны были повлечь за собой падение содержания свободного кислорода и возрастание содержания углекислого газа в атмосфере, потепление климата и другие следствия.

Из обзора следует, что «главные стимуляторы» эдиакарской и кембрийской

«вспышек» органического мира еще не обнаружены.

11. Великие вымирания и великие обновления органического мира: земные или космические причины?

- в фанерозое насчитывается большое число эпизодов обновления органического мира, но только семь из них привлекают повышенное внимание: 1) конец ордовика, 2) поздний девон (граница франкского и фаменского веков), 3) граница перми и триаса (P–T), 4) конец триаса, 5) граница мела и палеогена (K–T), 6) конец эоцена и, наконец, 7) рубеж плейстоцена и голоцена,

- *гипотеза 1* – импактная, предложена для границы K–T в 1979 г. (Alvarez et al., 1980). Погребенный кратер Чиксулуб на пове Юкотан в Мексике, 180 км в диаметре и глубиной, предположительно, в 15 км, по локализации в карбонатных породах он мог обеспечить поступление в атмосферу углекислого газа в объеме, достаточном для потепления примерно на 10° в течение 10–100 тыс. лет (Hildebrand et al., 1991), Кроме карбонатов, в разрезе Юкотана присутствуют мощные ангидриты, которые при импакте могли продуцировать сернистый газ. Последний в сочетании с водяным паром мог образовывать серную кислоту и вызывать кислотные дожди. Возраст события 65 млн лет определен $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и трековым методами (Sharpton et al., 1992; Назаров и др., 1993; Назаров, 1995),

- *гипотеза 2* – вулканическая, основной конкурент импактной гипотезы, пример – граница P–T, обусловленная мощной вспышкой вулканизма в Сибири, вулканизм мог провоцироваться падением метеоритов (Rampino, 1987), гипотеза о связи границы K–T с извержениями деканских траппов подтверждается развитием предшествовавшего интенсивного кислого вулканизма (работы группы К. Куртийо),

- *гипотеза 3* – резкое падение уровня океана в конце мела и крупная трансгрессия в начале палеогена с резким возрастанием вулканической активности (Э. Хэллем),

- *гипотеза 4* – возросшие масштабы рифтогенеза и связанного с ним вулканизма, послужившие причиной интенсивного накопления урана в планктоне на рубежах

позднего девона – раннего карбона, поздней юры – раннего мела, в позднем мелу, среднем-позднем эоцене. С одной стороны, радиоактивность привела к гибели наименее устойчивых к ней организмов, с другой – к повышенному мутагенезу с появлением новых видов (Неручев, 1982).

Из обзора следует, что к проблеме великих вымираний постоянно обращались и обращаются многие геологи, проблема интересна и многогранна.

12. Непрерывность, постепенность (градуализм) или прерывистость, скачкообразность (пунктуализм) в развитии геологических процессов и органического мира:

- «градуализм» и «пунктуализм» – органическое сочетание,

- катастрофы,
- угловые стратиграфические несогласия,
- формирование аккреционного клина,
- формирование батолита.

Из обзора следует, что дискуссия по соотношениям непрерывности и прерывистости геологических процессов продолжается.

13. Направленность и цикличность в эволюции Земли:

- смена эпох в течение 4.6 млрд. лет,
- метеоритная бомбардировка Земли 4.2–3.9 млрд. лет назад,
- мегацикличность,
- периодические изменения более высоких порядков (циклы Штилле 40–45 млн лет, циклы порядка 3–5 млн лет в ярусности стратиграфической шкалы фанерозоя, циклы М. Миланковича 400 тыс. лет и менее),
- циклы 30 млн лет,
- цикл Вилсона,
- суперконтинентальная цикличность.

Из обзора следует, что иерархическая цикличность не вызывает сомнений и требует конкретизации.

14. Фрактальность земной коры и литосферы. Линеаменты и глобальная регматическая сеть. Существует ли упорядоченность в структурном плане Земли?

- крупные разломы (глубинные разломы), линеаменты, регматическая сеть,
- роль ротационного движения Земли,
- внутренние гравитационные волны,

- устойчивость структурного плана Земли,
- геометрическая упорядоченность литосферных плит.

Из обзора следует, что проблема упорядоченности структурного плана Земли явно заслуживает внимания.

15. Загадки кольцевых структур:

- магматогенные кольцевые структуры,
- гранито-гнейсовые купола,
- тектонические структуры,
- космогенные структуры.

Из обзора следует, что полемика «импактистов» и «вулканистов» продолжается.

16. Проблемы рифтогенеза:

• гипотеза рифтогенеза предложена в самом конце XIX века на примере Рейнского грабена и Восточно-Африканской рифтовой системы, получила развитие при изучении подобных кайнозойских структур на континентах, а затем и в океанах. В дальнейшем процессы рифтогенеза стали выявляться на протяжении двух третей всей истории Земли начиная с позднего архея, когда на Каапвальском эократоне в Южной Африке появились рифты, создавшие бассейны Понгола, а затем Витватерсранд,

• особенности внутренней структуры рифтов и их архитектуры, модели симметричного рифта или чистого сдвига (pure shear) (McKenzie, 1978) и асимметричного рифта или простого сдвига (simple shear) на примере области Бассейнов и Хребтов на западе США (Wernicke, 1985), во многих случаях при образовании рифта участвует сдвиговая компонента, такой рифт относится к структуре pull-apart,

• глубинное строение рифтов на уровне нижней части коры и литосферной мантии,

• механизмы пассивного и активного рифтогенеза приведены в работе (Sengör, Burke, 1978), в концепции пассивного рифтогенеза предполагается начало рифтового процесса сверху, с раскалывания коры и литосферы под влиянием внутриплитного растяжения, в концепции активного рифтогенеза его первопричиной считается подъем мантийного материала, в модели пассивного механизма самым главным аргументом служит

«существование протяженных и нередко длительно развивающихся рифтовых систем, часто закономерно ориентированных относительно границ литосферных плит, а именно – параллельно им или перпендикулярно этим границам» (стр. 264),

• рифтогенез, магматизм и метаморфизм, • важные полезные ископаемые, связанные с рифтогенезом: нефть, уголь, газ, соли, алмазы, золото и уран, с проявлениями мантийного магматизма в континентальных рифтах связано образование крупных расслоенных плутонов основного-ультраосновного состава, вмещающих руды платиноидов, хрома, меди, ванадия, титана, а также тела щелочных и щелочно-ультраосновных пород с апатитовой и редкометальной минерализацией,

• на протяжении 1990-х годов «поток публикаций по рифтовой тематике не иссякал» (стр. 261).

Из обзора следует, что рифтовая тематика активно развивается.

17. Источники энергии глубинных геологических процессов:

• «Земля – это тепловая машина», • современный тепловой поток Земли 4.2×10^{13} Вт,

• радиогенное тепло обеспечивает только около одной четверти наблюдаемого теплового потока,

• разогрев при планетарной аккреции с образованием «магматического океана»,

• энергия глубинной гравитационной дифференциации Земли,

• лунно-солнечные приливы,

• различные формы диапиризма,

• гравитационные деформации на периферии орогена.

Из обзора следует, что энергетический баланс Земли складывается из нескольких источников.

18. Как работает машина Земля?

• ответ дан в самой общей форме – перемещение плит вызывается конвекцией в мантии Земли. Механизм волочения (drag), возможно не эффективен из-за большого различия вязкостей литосферы,

• С. Уеда и У. Форсайт (Forsyth, Uyeda, 1975) предложили механизм затягивания литосферной плиты в зону субдукции

вследствие ее утяжеления с возрастом, вызванного охлаждением и залечиванием пор новообразованными минералами. Погружение ускоряется вследствие перехода базальтов и габбро океанической коры на глубине приблизительно 60 км в эклогит,

- механизм расталкивания “Ridge push”. Верхнемантийная конвекция и плавучесть континентов. Конвекция общемантийная и двухъярусная в нижней и верхней мантии.

- сейсмическая разгрузка от Камчатки до Тонга (Fisher et al. 1991),

- смена общемантийной конвекции двухъярусной с периодом обращения 500 млн. лет – мегациклов Вильсона,

- гравитационная неустойчивость на границе 670 км. Конвекция тепловая или термохимическая вынужденная конвекция. “Без понятия о мантийных струях – горячих точках, невозможно объяснить феномен внутриплитного магматизма...” (с. 288). От 37 до 117 горячих точек на современной поверхности Земли. “Основная часть горячих точек либо непосредственно находится на осях

спрединга срединных хребтов, либо близко тяготеют к этим осям”. “Другие горячие точки находятся на трансформных разломах...” (там же),

- глубина плюмовых источников “...должна превышать 60 км. Это, очевидно, относится к океанам, а на континентах первичные магматические очаги должны находиться на глубине не менее 150–200 км, а возможно, глубже... косвенные данные, данные сейсмотомографии убеждают большинство исследователей в том, что плюмы зарождаются гораздо глубже, на границе мантии и ядра” (стр. 290),

- плюм-тектоника сменилась плейт-тектоникой около 500 млн лет назад,

- особый интерес к построениям японских ученых, опубликованных в юбилейном номере журнала Японского геологического общества (рис. 3).

Из обзора следует, что представления о движущих силах, действующих на Земле, неоднозначны и нуждаются в аргументации.

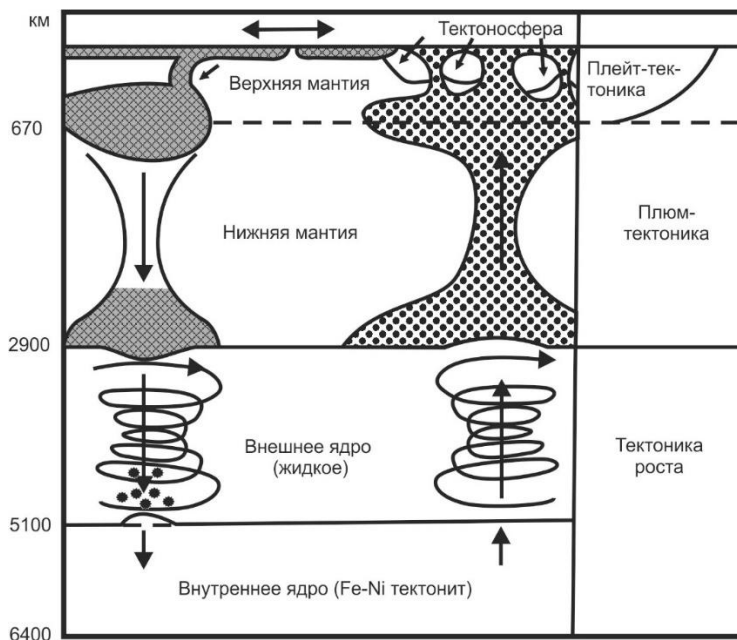


Рис. 3. Схематичное изображение глобальной тектоники Земли (Maruyama et al., 1994). Плейт-тектоника поставляет холодный материал в область плюм-тектоники. Катастрофический коллапс субдуцируемых пластин, задерживающихся на глубине 670 км, вызывает не только супервосходящее мантийное течение, которое влияет на плейт-тектонику, но и изменение рисунка конвекции во внешнем ядре, контролирующее тектонику роста (growth tectonics) в центральном ядре.

Fig. 3. Schematic representation of the global tectonics of the Earth (Maruyama et al., 1994). Plate tectonics supplies cold material to the plume tectonics. The catastrophic collapse of subducting plates lingering at a depth of 670 km causes not only a super-updraft mantle current that affects plate tectonics, but also a change in a convection pattern in the outer core that controls growth tectonics in the central core.

19. Расширяется или сжимается наша планета?

- четыре точки зрения на изменение объёма Земли в течение ее геологической истории: 1) сокращение объёма Земли при остывании (Лю Эли де Бомон), 2) пульсации радиуса Земли, 3) расширение Земли (новообразование океанов), 4) неизменность объёма Земли (постулат тектоники литосферных плит),

- несостоятельность гипотезы расширяющейся Земли,

- «некоторая доля истины» в пульсационной гипотезе.

Из обзора следует, что фанерозойское расширение Земли «более чем маловероятно», остаются возможными пульсации объёма планеты в размере первых процентов радиуса.

20. Земля и космос: влияние космических процессов на развитие Земли:

- Земля развивается в космическом окружении.

Существуют три основных аспекта взаимодействия Земли: 1) с ближайшим космосом (Лунной), 2) влияние процессов, происходящих на Солнце, 3) влияние газопылевых скоплений на пути по галактической орбите.

21. Земля – уникальная планета:

- уникальность заключается в том, что на Земле расцвела органическая жизнь и появился Человек разумный,

- природная (геологическая) среда,

- факторы развития: расстояние от Солнца и размер планеты,

- динамика двойной планеты.

«... если в дальнейшем будет установлено существование других обитаемых планет в иных планетных системах, вряд ли они явятся копией нашей Земли».

22. Ноогеология – геология будущего:

- проблема происхождения человека,

- геоэкология,

- ноогеология решает обратную задачу геоэкологии и является ее высшей ступенью,

- необходимость учёта специфики природных зон строительства,

- тематические карты,

- В.И. Вернадский о ноосфере.

Роль науки велика и ответственна.

Дополнения к перечню геологических проблем в 2007 г.

На юбилейном (XL) Тектоническом совещании В.Е. Хаин (2007) сделал акцент в своем выступлении на четырех главных противоречиях современной геотектоники и геодинамики:

1. Главенство внутренних или внешних источников энергии в динамике Земли?

- ротационный фактор,

- дифференциальное вращение оболочек,

- гравитационные волны и т.д.

2. Стационарная регматическая сеть и перемещения литосферных плит:

- не следует преувеличивать масштабы движений плит при интерпретации геологических и палеомагнитных данных.

3. Соотношение между плейт- и плюм-тектоникой, т.е. между мантийной конвекцией и мантийной же адвекцией:

- несостоятельность в изящной концепции Дж. Моргана представлений о стационарности глубинных корней плюмов и об их приуроченности к границе мантии и ядра,

- на Земле в настоящее время, предположительно, относятся к плюмам только 9 объектов (Courtillet et al., 2003).

4. Эвстатические колебания уровня Мирового океана:

- максимальному повышению уровня океана в среднем мелу не соответствует увеличение скорости спрединга, как считалось ранее – его оценка оказалась неточной.

Обсуждение

Условия развития современной российской науки

Особенность современной российской науки заключается в переводе ее управления на количественные показатели статей, изданных в журналах, которые индексируются в Web of Science и Scopus. Предполагается, что такие журналы публикуют только высококачественные исследования. Действительно, существуют журналы мирового уровня, такие как “Nature” и “Science”, в которых обозначаются новые прорывные результаты по разным научным направлениям. На практике,

в публикационной активности многих журналов преуспевают персоны, для которых не важно, о чем писать, важно только иметь статус, поддерживаемый требуемым количеством статей. Такие публикации организуют «основной поток геологии». В недавних публикациях, содержащих критический анализ созданной системы оценки научных исследований, делается вывод о переходе лидерства к китайским ученым, которые имеют более массовую ссылочную аудиторию. В этих условиях особенно важно противопоставить механическому воспроизводству ссылок на авторов, организующих «основной поток геологии», понятие «актуальность» исследований, действительно несущих новое геологическое знание.

В современном обществе технологии меняются в среднем каждые 7 лет. Со сменой технологий наука получает новые возможности для развития. Востребованные монографические исследования по актуальным направлениям науки переиздаются в ведущих редакциях Мира (Springer и др.) через 10 лет. При огромном потоке публикаций, затрагивающих тематику динамической геологии, монографические работы по критическому анализу достоинств или недостатков новых идей пока не появились. Это объясняется естественным ходом накопления информации, не достигшей критического уровня осмысления фактов.

Для понимания значения новых геологических идей мы принимаем социальное понятие «актуальность», имеющее в геологии либо теоретическую, либо практическую направленность. Общество потребления требует отдачу «здесь и сейчас». Теория часто кажется не нужной обществу, поскольку сулит только туманные перспективы. Использование же слова «проблемы» в название семинарских занятий по новейшим геологическим разработкам отрицательно сказывается на восприятии предмета. Под «проблемой» в науке понимался нерешенный вопрос. В современном обществе это слово приобрело иное значение. В регулярных передачах нетребовательных каналов с телеэкрана насаждается искаженное представление о науке. «Если гипотеза подтверждается фактами, она становится научной истиной, если же не подтверждается – она становится

проблемой». Наука воспринимается как некое произвольное утверждение по любому поводу. Если такое утверждение выходит за рамки здравого смысла, оно, с точки зрения журналистов, кажется перспективным и должно подчеркивать оригинальность рассуждающей персоны, претендующей на ареол учености.

Определение прогрессивного или дегенеративного развития в научном направлении

Будет правильнее прислушаться к исследователям, определившим современный уровень геологических знаний. Истоки представлений о Байкальской рифтовой зоне восходят к базовым исследованиям Н.А. Флоренсова (1960). В конце 1950-х гг. он путем глубокого анализа молодой геологии юга Сибири разделил мезозойские впадины Забайкалья и кайнозойскую цепочку впадин, которую выделил в единую структуру. В работе «Очерки структурной геоморфологии», говоря о палеосейсмогеологическом методе, предложенном В.П. Солоненко, Н.А. Флоренсов (1978) писал о том, что эффективность его подхода к определению сейсмической опасности территорий покажет время.

Подобные определения значения науки и знаний, которыми располагает современное общество, звучали неоднократно. К примеру, во введении к монографии, дающей теоретические основы современной геодинамической парадигмы (Davies, 1999), читаем: «Является ли мое решение правильным настолько, что основные идеи, представленные здесь, станут общепринятыми – покажет время. Научный консенсус по основным идеям возникает только после длительного наблюдения и тестирования. Простого «доказательства» их правильности не может быть... Часто встречается фраза «научно доказано». Это – совершенно неправильное представление о науке. Доказательства приводят математики. Ученые разрабатывают модели, поведение которых они сравнивают с наблюдениями реального мира. Если соответствия нет (при условии, что наблюдения точны), модель бесполезна для представления реального мира и отбрасывается. Если поведение модели соответствует наблюдениям, то можно сказать, что она работает, и мы

придерживаемся ее, называя это теорией. Не исключается возможность того, что другая модель также будет работать хорошо или лучше (по соответствию с наблюдениями или в более широком контексте). В этом случае, мы говорим, что новая модель лучше, и обычно мы отказываемся от старой модели.»¹¹.

Исторические наблюдения за научной практикой, проведенные Имре Лакатосом, привели к выводу о том, что основная научная парадигма состоит из ряда конкурирующих исследовательских программ. Различается «жесткое ядро» – центральные постулаты гипотезы, эффективно защищенные от фальсификации, и «защитный пояс» – набор вспомогательных гипотез, которые вводятся в разное время для компенсации прогностических ошибок. Имре Лакатос различал «прогрессивные» и «дегенеративные» программы научных исследований. Исследовательская программа обеспечивает прогресс, если вспомогательные гипотезы, введенные в защитный пояс, используются для успешных прогнозов, поскольку эти прогнозы подтверждают как вспомогательную гипотезу, так и основное ядро программы (рис. 4). Такая методология защищает гипотетические построения от ложноотрицательных результатов и открывает перспективу анализа развития научных направлений, в том числе в геологии (Рассказов и др., 2022).

В аналитических обзорах В.Е. Хаина фактически определено «жесткое ядро» геологии и выведено содержание гипотез «защитного пояса» в виде перечня проблем: 22 основных (2003 г.) и 4 дополнительных (2007 г.) (рис. 5). Обозначенные гипотезы защитного пояса могли получить развитие в последующие 20 лет по прогрессивному или регрессивному пути. Прогрессивный путь означает генерацию успешных прогнозов и

обоснование новых выводов в геологии. Дегенеративный путь определяется отрицательными результатами, а также, что немало важно, повторениями в печати известных истин, которые образуют «основной поток геологии». Разумеется, имеются положительные примеры развития геологических направлений, но и отрицательных результатов также достаточно.

Например, в разделе 2 обзора В.Е. Хаина «Первая кора Земли. Возможный состав и способ образования» приводится информация о гадейских цирконах Джек Хиллз (Австралия), в которых определены широкие вариации $\delta^{18}\text{O}$, от значений, этого параметра, свойственных мантийным породам (5.0–5.6 ‰), до значений в интервале 7.0–7.6 ‰, соответствующих породам коры гранитного состава. По диапазону этого параметра обломочные цирконы, кристаллизовавшиеся в гаде, не отличаются от цирконов из архейских комплексов. Позже, при более тщательном анализе изотопного состава кислорода ядер обломочных цирконов, повышенные значения $\delta^{18}\text{O}$ не подтвердились (Бибикова, 2012). Таким образом, вывод о гадейском формировании сиалической коры оказался ошибочным.

В разделе 6 обзора В.Е. Хаина «Тектоника плит: когда и как она началась?» в качестве последних достижений геологии упоминается определение древнейших офиолитов в возрастном интервале 2.5–1.65 млрд лет назад. Датирование образований этого типа в провинции Донгванци (Китай) основывалось на их залегании вблизи амфиболитов и гнейсов, имеющих возраст 2.5 млрд лет. Офиолит считался верхнеархейским (Kuski et al., 2001). Однако заключение о таком возрасте оказалось ошибочным, поскольку были получены геологические данные,

¹¹ Whether my judgment is correct, that the main ideas presented here will become and broadly accepted, is something only the passage of time will reveal. Scientific consensus on major ideas only arises from a prolonged period of examination and testing. There can be no simple ‘proof’ on their correctness... One often encounters the phrase ‘scientifically proven’. This betrays a fundamental misconception about science. Mathematicians prove things. Scientists, on the other hand, develop models whose behavior they compare with observations of the real world.

If they do not correspond (and assuming observations are accurate), the model is not a useful representation of the real world, and it is abandoned. If the model behavior does correspond with observations, then we can say that it works, and we keep it and call it a theory. This does not preclude the possibility that another model will work as well or better (by corresponding with observations more accurately or in a broader context). In this case, we say that the new model is better, and usually we drop the old one.

свидетельствующие о мезозойском возрасте офиолитов (Zhai et al., 2002).



Рис. 4. Модель программ научных исследований Имре Лакатоса. Модифицированная схема жесткого ядра гипотезы и защитного пояса из работы (Foulger, Rossetter, 2019).

Fig. 4. Model of research programs by Imre Lakatos. Modified scheme of the rigid core of the hypothesis and the protective belt from (Foulger and Rossetter, 2019).



Рис. 5. Модель программ геологических исследований в 2003–2007 гг.

Fig. 5. Model of programs for geological research in 2003–2007.

Заключение

Из обзора основных проблем геологии, существовавших в 2003–2007 гг., следует разная степень обоснованности

геологических гипотез, которые нуждались в то время в дополнительной аргументации. Для чтения курса «Современные проблемы геологии» этот обзор необходим как фундамент, позволяющий, во-первых, избежать повторения существовавших тематик и выбора для обсуждений действительно актуальных вопросов геологии, которые потребовали своего решения в течение последующих 20 лет, и, во-вторых, сосредоточиться на обсуждении тем, впервые обозначенных в геологических науках в эти годы. Таким темам будут посвящены наши последующие статьи по курсу «Современные проблемы геологии».

Литература

Бибикова Е.В. Ранняя кора Земли: современные подходы к установлению времени формирования и изотопно-геохимической природе / Геохронометрические изотопные системы, методы их изучения, хронология геологических процессов. Материалы V Российской конференции по изотопной геохронологии. М.: ИГЕМ РАН, 2012. С. 60–63.

Галимов Э.М. Феномен жизни. М.: УРСС, 2001. 254 с.

Назаров М.А. Геохимические свидетельства крупных ударных событий в геологической истории Земли. Автореф. дисс. д-ра геол.-мин. наук. М.: ГЕОХИ РАН, 1995. 48 с.

Назаров М.А., Бадюков Д.Д., Алексеев А.С. и др. Карская ударная структура и ее связь с мел-палеогеновым событием // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1993. Вып. 3. С. 13–32.

Неручев С.Г. Уран и жизнь в истории Земли. Л.: Недра, 1982. 208 с.

Расказов С.В., Примина С.П., Чувашова И.С. История и методология геологических наук в Иркутском Госуниверситете: развитие гипотез о кайнозойском рифтогенезе, вулканизме и землетрясениях в Байкало-Монгольском регионе // Геология и окружающая среда. 2022. Т. 2, № 2. С. 139–157. DOI 10.26516/2541-9641.2022.2.139.

Розанов А.Л. Бактериально-палеонтологический подход к изучению метеоритов // Вестник РАН. 2000. Т. 70. № 3. С. 214–226.

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

Флоренсов Н.А. Очерки структурной геоморфологии. М.: Наука, 1978. 238 с.

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

Хаин В.Е. Главные противоречия современной геотектоники и геодинамики и возможные пути их преодоления // Фундаментальные проблемы геотектоники. Мат-лы XL Тектонического совещания. Т. II. М.: ГЕОС, 2007. С. 324–329.

Чумаков Н.М. Периодичность главных ледниковых событий и их корреляция с эндогенной активностью Земли // Докл. РАН. 2001а. Т. 378. № 5. С. 656–659.

Чумаков Н.М. Общая направленность климатических изменений на Земле за последние 3 миллиарда лет // Докл. РАН. 2001б. Т. 381. № 5. С. 652–655.

Alvarez L. W., Alvarez W., Asaro F., Michel H. V. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction // Science. 1980. Vol. 208. P. 1095–1108.

Anderson D.L. New theory of the Earth. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 384 p.

Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments // Lithos. 1999. Vol. 46. No. 3. P. 605–626.

Courtillot V., Davaille A., Bess J. et al. Three types of hotspots in the Earth's mantle // Earth Planet Sci. Letters. 2003. V. 205. P. 295–308.

Davies G. F. Dynamic Earth: Plates, Plumes and Mantle Convection. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 458 p.

De Paolo D.J. Strange bedfellows // Nature. 1994. Vol. 372. P. 331.

Fisher K.M., Creager K.C., Jordan T.N. Mapping the Tonga slab // J. Geophys. Res. 1990. Vol. 96. B. 9. P. 14403–14427.

Forsyth D., Uyeda S. On the relative importance of the driving forces of plate motion // Geophys. J. Int. 1975. V. 43. P. 163–200.

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

Halliday A.N. Terrestrial accretion rates and the origin of the Moon // Earth Planet. Sci. Lett. 2000. Vol. 176. P. 17–30.

Hildebrand A.R., Penfield G.T., Kring D.A. et al. Chicxulub Crater: A possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatan Peninsula Mexico // Geology. 1991. Vol. 19. P. 867–871.

Hoffman A. Mass extinctions: The view of a sceptic // J. Geol. Soc. 1998. Vol. 146. P. 21–35.

Ida S.; Canup R.M., Stewart G.R. Lunar accretion from an impact-generated disk // Nature. 1997. Vol. 389. P. 353–357.

Kirshvink J.L. Late Proterozoic low-latitude global glaciation: the Snowball Earth // The Proterozoic biosphere / J.W. Schopf C. Klein (eds.). Cambridge Univ. Press. 1992. P. 51.

Kuski T.M., Li J.-H., Tucker R.D. The Archean Dongwanzi Ophiolite Complex, North China Craton: 2.505-Billion-Year-Old Oceanic Crust and Mantle // Science. 2001. V. 292. P. 1142–1145.

Maruyama S. Plume tectonics // J. Geol. Soc. Japan. 1994. V. 100. P. 24–49.

Maruyama S., Santosh M., Zhao D. Superplume, supercontinent, and postperovskite: Mantle dynamics and anti-plate tectonics on the core–mantle boundary // Gondwana Research. 2007. V. 11. P. 7–37.

McKenzie D.P. Some remarks on the development of sedimentary basins // Earth Planet. Sci. Letters. 1978. V. 40. P. 25–32.

Rampino M.R. Impact cratering and flood basalt volcanism // Nature. 1987. Vol. 327. P. 468.

Rogers J. J. W. A history of the continents in the past three billion years / J.J.W. Rogers // J. Geol. – 1996. – V. 104. – P. 91–107.

Sengör A.M.C., Burke K. Relative timing of rifting and volcanism on earth and its tectonic implications // Geophys. Res. Letters. 1978. V. 5. P. 419–421.

Sharpton V.L., Dalrymple G.B., Marin L.E. et al. New links between the Chicxulub impact

structure and the Cretaceous/Tertiary boundary
// Nature. 1992. Vol. 359. P. 819-821.

Wernicke B. Uniform-sense normal simple
shear of the continental lithosphere // Can. J.
Earth Sci. 1985. V. 22. P. 108–125.

Zhai M., Zhao G., Zhang Q. Is the Dong-
wanzi complex an Archean ophiolite? // Science.
2002. V. 295. P. 923a.

Рассказов Сергей Васильевич,

доктор геолого-минералогических наук, профессор,

664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,

Иркутский государственный университет, геологический факультет,

заведующий кафедрой динамической геологии,

664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,

Институт земной коры СО РАН,

заведующий лабораторией изотопии и геохронологии,

тел.: (3952) 51–16–59,

email: rassk@crust.irk.ru.

Rasskazov Sergei Vasilievich,

doctor of geological and mineralogical sciences, professor,

664003 Irkutsk, st. Lenina, 3,

Irkutsk State University, Faculty of Geology,

Head of Dynamic Geology Char,

664033 Irkutsk, st. Lermontova, 128,

Institute of the Earth's Crust SB RAS,

Head of the Laboratory for Isotopic and Geochronological Studies,

tel.: (3952) 51–16–59,

email: rassk@crust.irk.ru.

Чувашова Ирина Сергеевна,

кандидат геолого-минералогических наук,

664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,

Иркутский государственный университет, геологический факультет,

доцент,

664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,

Институт земной коры СО РАН,

старший научный сотрудник,

тел.: (3952) 51–16–59,

email: chuvashova@crust.irk.ru.

Chuvashova Irina Sergeevna,

candidate of geological and mineralogical sciences,

664003 Irkutsk, st. Lenina, 3,

Irkutsk State University, Faculty of Geology,

assistant professor,

664033 Irkutsk, st. Lermontova, 128,

Institute of the Earth's Crust SB RAS,

Senior Researcher,

tel.: (3952) 51–16–59,

email: chuvashova@crust.irk.ru.