

Сибирское отделение Российской академии наук
Институт земной коры

Иркутский государственный университет

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Institute of the Earth's Crust

Irkutsk State University

**КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ РИФТОГЕНЕЗ,
СОПУТСТВУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ**

Материалы Второго Всероссийского симпозиума
с международным участием и молодежной научной школы,
посвященных памяти академиков Н.А. Логачева и Е.Е. Милановского
Иркутск, 20–23 августа 2013 г.

Том 1

**CONTINENTAL RIFTING,
ACCOMPANYING PROCESSES**

Proceedings of the Second All-Russia symposium with international
participation and training school for young scientists,
dedicated to the memory of academicians N.A. Logatchev and E.E. Milanovsky
Irkutsk, August, 20–23, 2013

Volume 1

Иркутск
2013

УДК 551.244.3+551.77+551.21+550.34.032
ББК 26.3+26.323
К 65

Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы: Материалы Второго Всероссийского симпозиума с международным участием и молодежной научной школы, посвященных памяти академиков Н.А. Логачева и Е.Е. Милановского / Под редакцией С.В. Рассказова, А.М. Никишина, С.П. Приминной. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2013. – В 2-х томах. – Т. 1. – 250 с.

Continental rifting, accompanying processes: Proceedings of the Second All-Russia symposium with international participation and training school for young scientists, dedicated to the memory of academicians N.A. Logatchev and E.E. Milanovsky / Editors-in-Chief: S.V. Rasskazov, A.M. Nikishin, S.P. Primina. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust SB RAS, 2013. – In 2 volumes. – V. 1. – 250 p.

В сборнике рассматриваются вопросы эволюции процессов, сопутствующих континентальному рифтогенезу в истории Земли, результаты мониторинга современных процессов в областях континентального рифтогенеза для целей прогноза геологических катастроф, обсуждаются проблемы стратиграфии, литологии и геохронологии осадочных и вулканогенно-осадочных толщ континентальных рифтов, выделяются структурные, геофизические и магматические критерии рифтогенеза, закономерности строения мантии и коры рифтовых зон, приводятся геодинамические реконструкции, выявляются особенности формирования месторождений углеводородов и других полезных ископаемых в рифтовых структурах.

Материалы сборника могут быть использованы в дальнейшем развитии общей теории континентального рифтогенеза и ее отдельных аспектов, при чтении специализированных курсов в вузах и при разработке научных основ оценки опасности современных геологических процессов.

Симпозиум и молодежная школа проводятся при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-05-06106) и Программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «ИГУ» на 2012–2016 гг. (проект Р132–ОУ–002)

Текст материалов конференции на английском языке публикуется в авторской редакции.
На обложке использованы рисунки из работ Н.А. Логачева (1974) и Е.Е. Милановского (1999)

Утверждено к печати Ученым советом ИЗК СО РАН (протокол № 7 от 03.06.2013 г.)

ISBN 978-5-902754-82-4 (т. 1)
ISBN 978-5-902754-81-7

© Институт земной коры СО РАН, 2013
© Коллектив авторов, 2013

Саньков В.А., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И., Бызов Л.М., Ашурков С.В., Ефимова И.М., Саньков А.В., Башкуев Ю.Б., Дембелов М.Г., Гацуцев А.В. Изучение кинематики разломов центральной части Байкальского рифта с применением комплекса радиогеодезических и геолого-геофизических методов. // Российская научная конференция «Зондирование земных покровов радарми с синтезированной апертурой», Улан-Удэ, 2010: Электронный сборник докладов. М.: JRE–ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, 2010. С. 531–538.

Jolivet M., De Boisgrollier T., Petit C., Fournier M., Sankov V.A., Ringenbach J.-C., Byzov L.M., Miroshnichenko A.I., Kovalenko S.N., Anisimova S.V. How old is the Baikal Rift Zone? Insight from apatite fission track thermochronology // *Tectonics*. 2009. V. 28. TC3008.

Tucker G.E. CHILD Users Guide for version R9.4.1 // Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (CIRES) and Department of Geological Sciences University of Colorado, Boulder, 2010. 52 p.

RECONSTRUCTION OF RELIEF FORMATION ON FAULT SHELVES IN THE BAIKAL RIFT WITH METHODS OF MATHEMATIC MODELING

L.M. Byzov, V.A. Sankov

Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia, *leo212002@yandex.ru*

ДИНАМИКА БЛОКОВОЙ ГЕОСРЕДЫ

А.В. Викулин

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

Концепция блоковой геосреды и ее тривиальные следствия. Блоковое строение определяет моментный характер упругих напряжений геосреды (Викулин, 2009, 2011) и ее энергонасыщенность (Пономарев, 2008). Геодинамическая активность нашей планеты в рамках таких представлений может рассматриваться как волновое движение, включая и реидное течение (Леонов, 2008), которое представляет собой «суперпозицию» сейсмического, вулканического и тектонического процессов и их взаимодействий, передающихся с характерными скоростями

$$c_0 = \gamma \sqrt{V_R V_S}, c_0 \approx (1 - 10) \text{ см/с}, \quad (1)$$

где $\gamma = k^{-1}$, $k \approx 10^4$ – коэффициент нелинейности геосреды (Николаев, 1987, с. 5–20), $V_R = \Omega R_0$ – ротационная скорость, Ω – угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси, R_0 – характерный размер блока ($R_0 \approx 100$ км – в случае очагов сильнейших ($M \approx 8$) землетрясений), V_S – скорость поперечных сейсмических волн.

Разработанные физические и математические модели блоковой геосреды (Vikulin et al., 2012) позволили сформулировать следующие положения, имеющие для геодинамики фундаментальное значение (Викулин и др., 2012).

1. Механизм «зацепления» блоков и плит друг за друга и «выделения» тепла за счет трения их границ, широко распространенный в настоящее время в геодинамике, становится «ненужным» (маловероятным). Достаточно быстрое уменьшение ротационных напряжений с удалением от границ блоков и экспоненциальная зависимость скорости деформации от напряжения и температуры создают условия для формирования в земной коре «твердотельных» перегретых (нагретых выше точки плавления) областей, в пределах которых при снятии давления могут реализоваться фазовые переходы: твердое тело – жидкость с выделением газовой фазы в свободное состояние.

2. При ротационном блоковом подходе к задачам геодинамики не требуется привлекать широко распространенные в настоящее время модели подъема магмы с глубин мантии и ядра.

3. К проблемам термики Земли и «горячих точек» возможен подход с принципиально новых позиций. Во-первых, такие «тепловые» объекты можно моделировать с помощью достаточно универсального механизма, в безразмерном виде не содержащего никаких параметров рассматриваемой задачи (Франк-Каменецкий, 1987), во-вторых, указанные точки могут быть не результатом выхода на поверхность земной коры глубинного тепла, как принято считать, а зонами повышенной геодинамической активности земной коры и мантии. В пределах таких зон кинетическая энергия вращения отдельных блоков и плит земной коры и всей Земли в целом выделяется не только при землетрясениях, извержениях вулканов и движениях тектонических плит. Такая энергия выделяется и при генерации тепла, перераспределяемого внутри Земли и выносимого на ее поверхность, в том числе и с помощью механизма медленных ротационных геодинамических волн с характерной скоростью c_0 .

Рассмотрим нетривиальные следствия концепции блоковой геосреды.

Сверхпластичные (рейдные) свойства геосреды. Имеется много свидетельств движения земной поверхности в направлении от очагов землетрясений в виде «горбов Земли» (Викулин, 2008, с. 222). Например, «по поверхности террасы прошла волна высотой 20–30 см – совершенно бесшумно, и земная твердь на мгновение превратилась в пластическую субстанцию, ... а еще через мгновение поверхность террасы опять стала плоской и абсолютно ровной. И никаких следов деформации!» (Леонов, 2008, с. 5). Или: «во время землетрясения ... по бетонному шоссе и тротуарам шли волны высотой 1.2–1.8 м и длиной 3 м, но на бетоне не появилось ни одной трещины» (Каррыев, 2009, с. 77). Анализ инструментально зарегистрированных движений вблизи очага сильного Паркфилдского (Калифорния) 1966 г. землетрясения позволил сделать вывод, что движение грунта с характерной продолжительностью 10–100 с вблизи образовавшегося разлома, скорее, характерно для жидкости (Кузнецов, 2009). Породы, слагающие вихревые структуры, возможно, в течение сотен тысяч (10^{12} с) – миллионов (10^{13} с) лет формировались «в твердом состоянии на месте и за счет вещества верхней мантии» и «с самого начала формировались как дугообразные, а не механически изгибались из первоначально прямолинейных структур» (Слензак, 1972, с. 73, 92).

Анализ позволил «бухтообразные» предвестники землетрясений связать с вероятными пульсациями отдельных участков поверхности Земли с характерными периодами ~ 100 дней (10^5 с). К числу таких пульсаций можно отнести «куполообразное вспучивание (Сан-Андреас, США), охватившее территорию с поперечником $\sim 2 \cdot 10^4$ м и высотой ~ 0.5 м. Наделав много шума и не оправдав опасений сейсмологов, вспучивание «благополучно» исчезло» (Бороздич, 2008). Такого же рода движения, относимые к 1601 г. на Валдае, отмечены летописцем: «И с того озера Бросна выходила их воды гора песчаная, а ото дна воды в верх с сажень и стояла так двенадцать дней. И по двенадцать дней опустилась и над него глубины стало семь сажен, как и прежде». Медленные высокоамплитудные движения берега Волги в течение трех дней в июне 1838 г. испытали на себе жители села Федоровка Саратовской губернии. И совсем «свежий» пример: поднятие до 3.4 м в течение одного-двух месяцев участка побережья Таманского полуострова шириной 50 м и протяженностью 435 м имело место летом 2011 г. (Попков и др., 2013). Анализ такого рода медленных движений показал (Бороздич, 2008), что их «разнознаковость при наблюдаемой быстротечности, свидетельствует о процессе в жидкой фазе».

Все геофизические и геологические данные о таких «медленных» движениях геосреды с характерной длительностью $10\text{--}10^{13}$ с, рассматриваемые в совокупности, и позволили геологам в 1930-х гг. ввести в рассмотрение реидные или сверхпластичные деформации Земли «как течение материала в твердом состоянии» (Леонов, 2008). Покажем, что такое состояние геосреды является прямым следствием ее ротационного движения.

Согласно обзору развития представлений о реологических свойствах вещества Земли (Викулин, 2009, с. 243–264), температура Дебая θ_d для геосреды может быть записана в виде (Жарков, 1983, с. 199):

$$\theta_d \approx 10^{-3} \bar{V}(H) \sqrt[3]{\rho(H)}. \quad (2)$$

Здесь \bar{V} [см/с] – средняя скорость возбуждений в геосреде, ρ [г/см³] – плотность среды, H – глубина. При средней скорости, определяемой продольной и поперечной сейсмическими скоростями, для литосферы и верхней мантии изменяющимися в пределах 1–10 км/с, температура Дебая достаточно высока; для глубины $H = 100$ км она составляет $\theta_d \approx 660 \text{ К} \approx 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ и соответствует широко распространенной модели физики Земли (Жарков, 1983, с. 199–207).

Ситуация кардинальным образом меняется при переходе к ротационной моде c_0 (1), определяемой коллективным движением совокупности геофизических блоков, тектонических плит и геологических структур. Характерное для такой моды значение c_0 , как видно из (1), на пять порядков по величине меньше поперечной и продольной сейсмических скоростей, и температура Дебая для нее в соответствии с (2) составляет ничтожно малую величину: $\theta_d \approx 10^{-2} \text{ К}$, которая и определяет возможность, по сути, квантового, без трения, сверхтекучего движения геосреды – ее реидность и/или сверхпластичное течение в твердом состоянии (Леонов, 2008).

Температура Дебая пропорциональна максимально возможной частоте колебаний слагающих среду частиц или мезообъемов для твердого тела или геофизических блоков, тектонических плит и других геологических структур для Земли. Для Земли такой частотой, как показано нами (Викулин, Кролевец, 2001), является частота Чандлера.

О регистрации гравитационных волн. Большое количество геологических и физических данных указывает на существование тесной взаимосвязи между процессами, происходящими на Земле и в Космосе. Связующим «космическим» звеном при этом может быть только гравитация, которая объединяет все части Вселенной. Связующее «земное» звено – ротационные волны c_0 (1), являющиеся для геосреды такими же характерными, как сейсмические (упругие) волны (Викулин, 2012).

Отмеченные в работе «совпадения» и «пересечения» геодинамического и гравитационного процессов позволяют на новом качественном уровне рассмотреть задачу регистрации гравитационных волн, в основе которой заложена «геодинамическая», по сути, идея о взаимодействии блоков земной коры с гравитационными волнами (Брагинский и др., 1985).

Эффективное сечение детектора, регистрирующего гравитационную волну, имеет следующий вид:

$$\sigma \approx m|r|^2, \quad (3)$$

где $m|r|^2$ – квадрупольный момент антенны. Эффективное сечение достигает максимума, когда расстояние между двумя массами $|r|$ приближается к акустической длине волны. Под акустическими волнами здесь, очевидно, понимаются упругие волны, в случае Земли – продольная и/или поперечная сейсмические волны. Скорости

таких волн лежат в пределах 1–10 км/с, и чувствительность такого метода при регистрации коротких гравитационных волн при их взаимодействии с блоками земной коры и/или Землей в целом оказывается недостаточной. По оценкам, проведенным в (Брагинский и др., 1985), для уверенной регистрации гравитационных волн таким методом чувствительность антенны необходимо повысить как минимум на один – два порядка по величине.

Ситуация коренным образом меняется при использовании в качестве «рабочего инструмента» не упругих сейсмических волн, а ротационных геодинамических возмущений c_0 (1), характерная скорость которых меньше сейсмических на пять порядков по величине, поэтому использование при регистрации гравитационных волн ротационных геодинамических возмущений при прочих равных условиях в соответствии с (3) приведет к повышению чувствительности антенны как минимум на десять порядков и, следовательно, сделает задачу регистрации гравитационных волн методом (Брагинский и др., 1985) вполне решаемой. Видимо, использование именно ротационных возмущений и позволило авторам работы (Крылов, Соболев, 1998) полагать, что ими зарегистрированы гравитационные волны.

Список литературы

Бороздич Э.В. Короткоживущие подкорковые локальные возмущения (КПЛВ). Их природа и проявления // Исследования в России. Электронный журнал. 2008. <http://zhurnal.apl.relarn.ru/articles/2008/049.pdf>.

Брагинский В.Б., Митрофанов В.П., Руденко В.Н., Якимов В.Н. О поисках низкочастотных всплесков гравитационного излучения // Успехи физических наук. 1985. Т. 147. С. 422–424.

Викулин А.В. Мир вихревых движений. Петропавловск-Камчатский: КГТУ, 2008. 230 с.

Викулин А.В. Физика Земли и геодинамика: Учебное пособие. Петропавловск-Камчатский: КамГУ, 2009. 463 с.

Викулин А.В. Сейсмичность. Вулканизм. Геодинамика. Сборник трудов. Петропавловск-Камчатский: КамГУ, 2011. 407 с.

Викулин А.В. Геодинамика и гравитация // Современная геодинамика и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе: Материалы Всероссийского совещания и молодежной школы. Т. 1. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2012. С. 23–26.

Викулин А.В., Кролевец А.Н. Чандлеровское колебание полюса и сеймотектонический процесс // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 6. С. 996–1009.

Викулин А.В., Мелекесцев И.В., Акманова Д.Р., Иванчин А.Г., Водинчар Г.М., Долгая А.А., Гусяков В.К. Информационно-вычислительная система моделирования сейсмического и вулканического процессов как основа изучения волновых геодинамических явлений // Вычислительные технологии. 2012. Т. 17, № 3. С. 34–54.

Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 416 с.

Карьев Б.С. Вот произошло землетрясение. SIBIS. 2009. <http://www.publication.ru>.

Крылов С.М., Соболев Г.А. О вихревых гравитационных полях естественного и искусственного происхождения и их волновых свойствах // Вулканология и сейсмология. 1998. № 3. С. 78–92.

Кузнецов В.В. Ударно-волновая модель землетрясения. I. Сильные движения землетрясения как выход ударной волны на поверхность // Физическая мезомеханика. 2009. Т. 12, № 6. С. 87–96.

Леонов М.Г. Тектоника консолидированной коры. М.: Наука, 2008. 457 с.

Николаев А.В. Проблемы геофизики XXI века. Кн. 1. М.: Наука, 2003. 311 с.

Пономарев В.С. Энергонасыщенность геологической среды. М.: Наука, 2008. 379 с.

Попков В.И., Фоменко В.А., Глазырин Е.А., Попков И.В. Катастрофическое тектоническое событие лета 2011 г. на Таманском полуострове // Доклады Академии наук. 2013. Т. 448, № 6. С. 1–4.

Слензак О.И. Вихревые системы литосферы и структуры докембрия. Киев: Наукова Думка, 1972. 182 с.

Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1987. 491 с.

Vikulin A.V., Akmanova D.P., Vikulina S.A., Dolgaya A.A. Migration of seismic and volcanic activity as display of wave geodynamic process // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2012. V. 3 (1). P. 1–18.

THE DYNAMICS OF BLOCK GEOMEDIUM

A.V. Vikulin

Institute of Volcanology and Seismology, SB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОТОКИ СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ РАЗЛОМОВ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ В АСПЕКТЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИРАЗЛОМНОГО ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА

Н.В. Вилор¹, Б.С. Данилов², О.В. Рязанцева¹

¹Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия, vilor@igc.irk.ru

²Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, boris@crust.irk.ru

Крупнейшие сейсмоактивные разломы БРЗ характеризуются высокими эндогенными тепловыми потоками, которые экспонируются на поверхности в виде аномальной повышенной интенсивности уходящего ИК излучения, обусловленного конвективным приразломным теплообменом (табл. 1) и изучаемого с помощью методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Таблица 1. Тепловой поток приразломных аномалий ИК излучения, трассирующих крупные региональные разломы БРЗ

Разлом, кинематика	Размеры аномалий ИК-излучения			Глубинный поток, мВт/м ² *	Мощность поверхностного потока, Вт	Интегральное теплосодержание по площади ИК-аномалий, ГДж·10 ⁶
	длина, км	ширина, км	площадь, км ²			
Тункинский, сдв-сбр	130	5–7	780	60 / 146	0.8	19.678 / 624
Баргузинский, сбр	200	4	800	80 / 120	0.6	15.137 / 488
Приморский, сдв-сбр	200	2–5	700	50 / 60	0.8	17.66 / 560
Краевой шов, сдв-сбр	400	5–15	4000	40 / 55	0.7	88.3 / 2800
Южно-Байкальск., сбр	170	3–5	595	70	0.4	7.505 / 238

Примечание: * кондуктивный поток по С.В. Лысак (2000), в знаменателе – аномальные значения, в столбце «интегральное теплосодержание...» знаменатель соответствует тепловой мощности ИК излучения общей поверхности разлома, МВт, сбр – сброс, сдв-сдвиг.