Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Географический факультет
Кафедра геоморфологии и палеогеографии

VIII Щукинские чтения: рельеф и природопользование

Материалы Всероссийской конференции с международным участием

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Географический факультет
Москва, 28 сентября – 1 октября 2020 г.

Москва
2020

УДК 910.1+911+502/504+511.4
ББК 26+Д823+Д87

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ:
Кафедра геоморфологии и палеогеографии
Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Редакционная коллегия:
Бредихин А.В., профессор, д.г.н.
Болысов С.И., профессор, д.г.н.
Лукашов А.А., профессор, д.г.н.
Панин А.В., профессор, д.г.н.
Бадюкова Е.Н., к.г.н.
Беляев В.Р., к.г.н.
Беляев Ю.Р., к.г.н.
Гаранкина Е.В., к.г.н.
Еременко Е.А., к.г.н.
Мысливец В.И., к.г.н.
Репкина Т.Ю., к.г.н.
Романенко Ф.А., к.г.н.
Фузеина Ю.Н., к.г.н.
Харченко С.В., к.г.н.
Шеремецкая Е.Д.

VIII Щукинские чтения: рельеф и природопользование. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, Москва, 28 сентября-1 октября 2020 г. [Электронное издание] — М.: Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2020 — 783 с.

В сборнике представлены материалы Всероссийской конференции с международным участием «VIII Щукинские чтения: РЕЛЬЕФ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ» Конференция организована кафедрой геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и посвящена 135-летию со дня рождения выдающегося отечественного геоморфолога, профессора Ивана Семеновича Щукина. Конференция стала символической вехой, отметившей 100-летие официальной отечественной геоморфологии (с момента открытия кафедры физической географии и геоморфологии в Петроградском университете в 1918 г.), а также 100-летие со дня рождения выдающегося геоморфолога, заведующего кафедрой геоморфологии МГУ с 1961 по 1986 гг., Олега Константиновича Леонтьева. Основные темы, затронутые на конференции, — геоморфологические аспекты решения актуальных инженерных, экономических и социальных проблем; глобальные и региональные проблемы геоморфологии; рельеф в исторической и палеогеографической ретроспективе; природопользование и прогноз развития рельефа в районах проявления экстремальных и катастрофических процессов; береговая зона, дно Мирового океана и деятельность человека; рельеф в рекреации: условие и ресурс; современные методы и технологии в геоморфологических исследованиях; прикладная геоморфология в высшей и средней школе.

ISBN 978-5-89575-251-7

УДК 910.1+911+502/504+511.4
ББК 26+Д823+Д87

© Текст. Авторы, 2020
© Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

морского побережья Кавказа – М.: Владивосток. Дальнаука, 2009. – 352 с.

Дикарёв, В.А. Проблема фанагорийской регрессии Черного моря // Вестн. Моск. Ун-та. Серия 5. География. – 2011. – №1. – С. 35-40.

Масленников, А.А. Эллинская хора на краю Ойкумены – М.: Индрик, 1998. – 304 с.

Федоров, П.В. Плейстоцен Понто-Каспия – М.: Наука, 1978. – 163 с.

Fouache, E. et al. The Late Holocene evolution of the Black Sea — a critical view on the so-called Phanagorian regression // Quaternary International. – 2012. – 266. – P. 162-174. DOI: 10.1016/j.quaint.2011.04.008.

Kelterbaum, D. et al. Palaeogeographic Changes at Lake Chokrak on the Kerch Peninsula, Ukraine, during the Mid- and Late-Holocene // Geoarchaeology. – 2012. – Vol. 27. – №3. – P. 206-219. DOI: 10.1002/gea.21408.

ГЕОМОРФОДИНАМИКА КАЙНОЗОЙСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛАТО КЕРГЕЛЕН И ЮГО-ВОСТОЧНОГО ИНДИЙСКОГО ХРЕБТА

Дубинин Е.П.[1], Агранов Г.Д.[1,2], Грохольский А.Л.[1]

[1]Музей Землеведения МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, edubinin08@rambler.ru

[2]Геологический институт РАН, Москва, Россия, agranovgr@gmail.com

Аннотация. В работе проведено изучение геоморфодинамики взаимодействия спредингового Юго-восточного Индийского хребта (ЮВИХ) с крупной магматической провинцией Кергелен. Выявлены особенности строения рельефа, отражающие разные этапы развития ЮВИХ. Проведено физическое моделирование формирования основных морфоструктур в процессе продвижения рифтовой зоны спредингового хребта к западу и разделению плато Кергелен на две части: Кергелен и Броукен. Результаты экспериментов хорошо коррелируются с основными чертами рельефа дна и геолого-геофизическими данными и с геодинамической моделью развития изучаемых структур.

Ключевые слова: физическое моделирование, магматическая провинция, горячая точка, Юго-восточный Индийский хребет, Кергелен

Проблема взаимодействия спрединговых хребтов с крупными магматическими провинциями, связанными с деятельностью мантийных плюмов и горячих точек в настоящее время особенно актуальна, так как именно здесь происходит наглядное проявление плюм-плейт тектоники, приводящее к формированию сложных форм рельефа, требующих объяснения своей геодинамической природы. В пределах дна Мирового океана есть немало примеров взаимодействия горячих точек и спрединговых хребтов (например, Азорская, Галапагос, Амстердам — Сен-Поль, Буве и др.). Однако имеется немного примеров, когда спрединговый хребет взаимодействует (пересекается) с магматической провинцией, морфологически представляющей собой крупное поднятие (плато). Современным примером такой уникальной геодинамической обстановки является Исландия, через которую проходит рифтовая зона Срединно-Атлантического хребта. А примером из геологического прошлого служит плато Кергелен, которое в

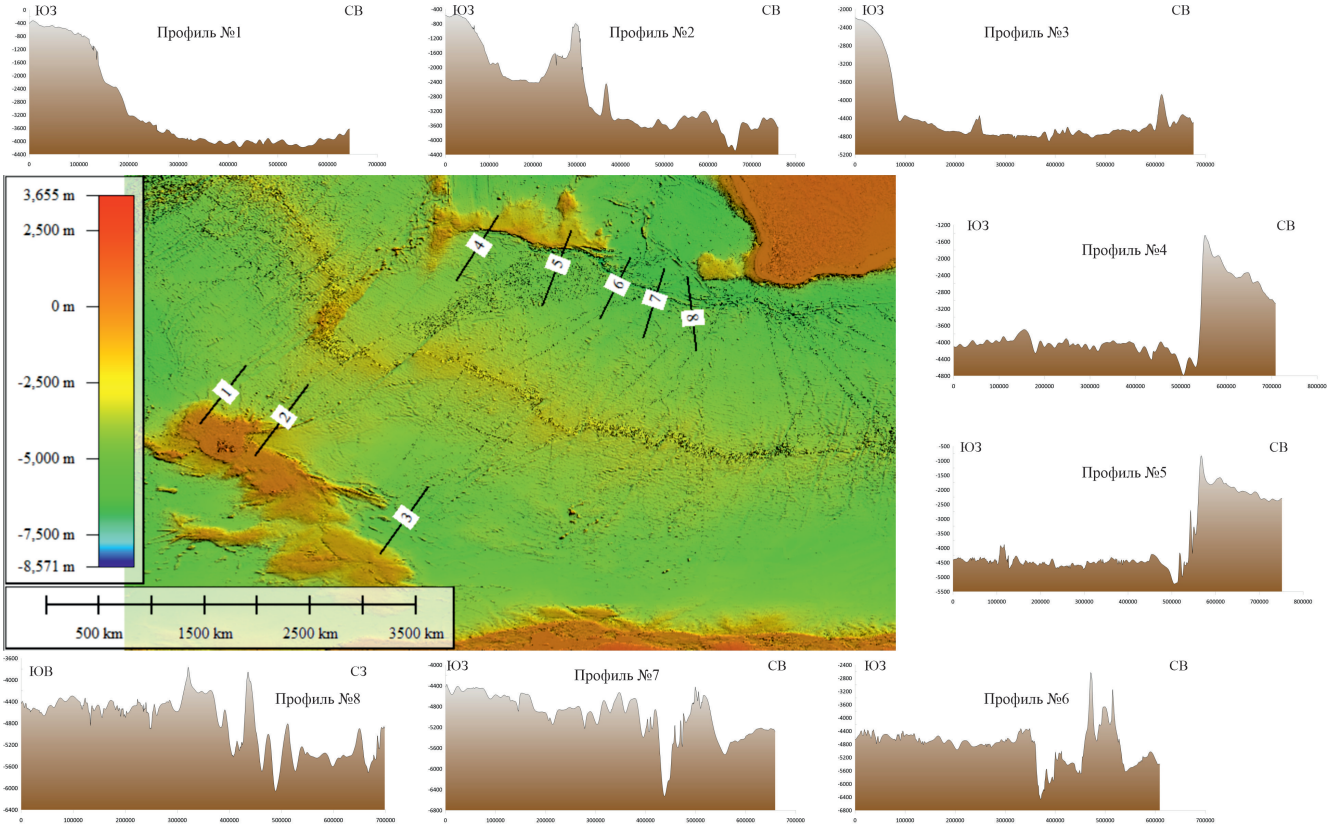

Рисунок 1. Батиметрическая карта региона. Черными линиями показаны профили через обозначенные в работе морфоструктуры. Подписи у линий соответствуют номерам профилей по периметру карты.

основном было сформировано в результате интенсивных магматических процессов, в период между 120 и 110 млн лет назад. (Coffin et al, 2002). В позднем эоцене (≈ 43 млн лет назад) рифтовая зона Юго-восточного Индийского хребта прошла через плато Кергелен (Müller et al, 2006) и разделила его на две части: собственно плато Кергелен и хребет Броукен.

Раскрытие между Австралией и Антарктидой началось 83 миллиона лет назад после длительного (~60 млн лет) периода континентального рифтогенеза, характеризующегося гиперрастяжением континентальной коры и эксгумацией серпентинизированной верхней мантии (Лейченков и др., 2018). Начало формирования здесь океанической коры, привело к реорганизации границ плит, следствием чего стало продвижение к западу рифтовой трещины в пределы древней океанической коры котловины Перт. Этот процесс сопровождался рифтогенным разрушением древней океанической литосферы и последующим спредингом на молодом развивающимся Юго-восточном Индийском хребте. Вначале спрединг проходил с ультрамедленными скоростями (<2 см/год), формируя кору с резко контрастным высокоамплитудным рельефом, а затем по мере увеличения скорости спрединга до современных значений более 7 см/год морфоструктурный план молодой океанической коры постепенно выполаживался. Место первоначального раскола старой океанической литосферы четко фиксируется в настоящее время шовной зоной

Диамантина, отчетливо выраженной в рельефе в виде чередования впадин и поднятий с амплитудой более 3000 м (рис. 1, профили 6,7,8).Шовная зона Диамантина представляет собой глубинный разлом, фиксирующий место заложения рифта на старой океанической литосфере и разделяющий в настоящее время разновозрастные блоки литосферы. Последнее обстоятельство четко фиксируется в линейных магнитных аномалиях и в различии региональных глубин дна между молодой и старой океанической литосферой. При дальнейшем продвижении рифтовой трещины ЮВИХ к западу на ее пути оказалось плато Кергелен (современный геодинамический аналог Исландии). В результате сложных процессов рифтогенного разрушения единое плато Кергелен разделилось на две части — южную, современное плато Кергелен и северную — хребет Броукен.

Современное плато Кергелен простирается в северо-западном направлении более чем на 2000 км, а по ширине изменяется от 500 до 1000 км. Оно возвышается над окружающим океаническим дном на 2-4 км, и местами выходит выше уровня моря в виде вулканических островов Кергелен, Макдональд и Хьорт.

Амагматичный в настоящее время хребет Броукен протягивается примерно на 1200 км в широтном направлении от южного окончания Восточно-Индийского хребта к юго-западной части Австралии (рис. 1). Хребет достигает ширины 400 км. Он полностью погружен ниже уровня моря, а его гребень находится на глубине ~1000 м.

На юге хребет ограничен крутым 3000-метровым эскарпом с желобом Обь в основании, имеющим широтное простирание, а далее на восток переходящий в разлом Диамантина. Полная амплитуда рельефа южного уступа достигает почти 4000 м (рис. 1, профили 4 и 5).

Сопряженная окраина плато Кергелен в месте раскола также выражена резким уступом с перепадом высот до 2 200 м (рис. 1, профили 1, 2,3).

В лаборатории физического моделирования геодинамических процессов Музея землеведения МГУ было проведено моделирование процесса развития Юго-восточного Индийского спредингового хребта и его «столкновения» с крупной магматической провинцией Кергелен. Эксперименты проводились в соответствии с условиями подобия и методиками, описанными в работе (Шеменда, 1983). Модельное вещество представляет собой сложную коллоидную систему, основой которой являются жидкие (минеральное масло) и твердые (церезин, парафин) углеводороды с различными поверхностно-активными добавками. Установка для моделирования включает текстолитовую ванну с поршнем, движущимся с помощью электромеханического привода. Равномерное температурное поле модельного вещества обеспечивают обогреватели, расположенные внутри установки. Электромеханический привод позволяет варьировать скорости деформации модельной плиты. Применяемые методики дают возможность создавать обстановки ортогонального, или косого растяжения. Изменение длительности охлаждения при подготовке модельной плиты обеспечивает различное соотношение толщины ее хрупкого и пластичного слоев (Грохольский, Дубинин, 2006). При подготовке эксперимента вещество нагревается в установке до определенной температуры (43°С), при условии поддержания фиксированного температур-

ного режима в лаборатории (22,5-25,5°С). Затем начинается процесс охлаждения равномерно расплавленного модельного вещества — образуется корка (модельная литосфера), которая приваривается к поршню и противоположной стенке ванны. После того как модельная плита достигает необходимой для данного эксперимента толщины (H в описании экспериментов), начинается ее горизонтальное растяжение. При необходимости создания ослабленной зоны с более тонкой литосферой в области рифта вырезалась часть плиты. При дальнейшем охлаждении литосфера в этой области модели имела меньшую толщину за счет меньшего времени охлаждения соответственно (Грохольский, Дубинин, 2006).

Эксперименты проводились по 2-м основным направлениям. Первая серия экспериментов была посвящена зарождению трещины и последующему её развитию в пределах океанической литосферы с образованием шовной зоны Диамантина, плато Натуралист и поднятия Брюса. В данной серии задавалась неровная граница континент-океан, благодаря чему при растяжении и развитии трещины образовывались погруженные континентальные выступы (краевые плато). Вторая серия экспериментов посвящена расколу крупной магматической провинции Кергелен и отделению от него хребта Броукен. В этой серии в эксперименте задавалась горячая точка и при растяжении новообразованная магматическая провинция раскалывалась. Включение в экспериментальную модель деятельности горячей точки потребовало дополнительной технологической и методологической проработки.

По итогам этих двух серий была проведена комбинированная серия экспериментов, в которой присутствовала как неровная граница между континентальной и древней океанической литосферами, так и горячая точка с магматической провинцией. Один из экспериментов №2211 продемонстрирован на рисунке 2.

Первоначально в модельной литосфере задается неровная граница между континентальной и древней океанической литосферой, различающейся разной толщиной хрупкого слоя, и ослабленная зона утоненной литосферы в пределах континентального рифта, которая необходима для локализации зоны растяжения и соответствует зоне гипперрастяжения Австрало-антарктической литосферы. Перед началом растяжения в пределах океанической литосферы включается локальный источник нагрева, имитирующий горячую точку. Далее задается небольшой вырез между горячей точкой и границей континент-океан, который необходим для создания зоны перекрытия в пределах неровности границы, что впоследствии создаст необходимые условия для образования погруженного плато, соответствующего в природе плато Натуралист. После этого запускается электродвигатель и начинается растяжение.

На снимке 1 можно увидеть, что первоначально трещина начинает развиваться из выреза, сделанного перед запуском двигателя. Трещина быстро доходит до горячей точки и параллельно преодолевает границу континент-океан, почти одновременно в пределах ослабленной зоны зарождается вторая трещина, которая продвигается на встречу первой, так, что на выступающем участке ослабленной зоны образуется область перекрытия рифтовых трещин.

На снимке 2 область перекрытия перестала деформироваться, т.к. верхняя трещи-

на соединилась с нижней правее области перекрытия. Можно видеть, что трещина, которая вышла из разреза, прошла через горячую точку, но практически сразу же остановилась, т.к. ей на встречу развилась другая трещина, которая дошла до горячей точки и сформировала единую ось растяжения. Затем скорость растяжении была увеличена, до значений, соответствующих быстрому спредингу. Подобные события происходили и в реальности, что подтверждается распределением линейных магнитных аномалий.

На снимке 3 растяжение продолжалось, а в области влияния горячей точки размеры магматической провинции увеличивались.

На снимке 4 в пределах горячей точки сформировалась ось спрединга и началась аккреция новой океанической коры в пределах магматической провинции. Вследствие высокой степени прогретости модельной литосферы и малой толщины ее хрупкого слоя аккреционные валы в пределах действия горячей очки оказались более высокочастотными и с меньшей амплитудой рельефа поверхности. На рисунке 2 видно, что правее горячей точки произошел перескок оси спрединга и началась аккреция новой коры. Хорошо виден контраст между

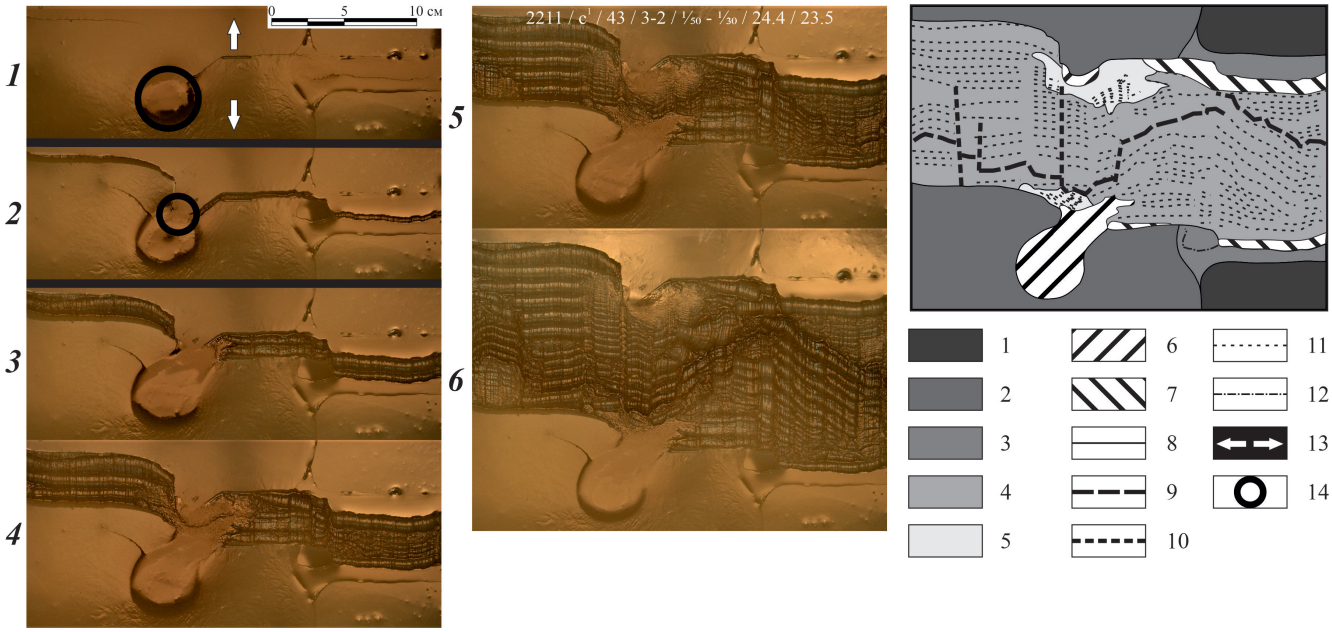

Рисунок 2. Эксперимент №2211. Развитие трещины с континента в древнюю океаническую литосферу при действие горячей точки с дальнейшим расколом магматической провинции и отделением магматического хребта. 1 — 6 — последовательные стадии эксперимента (вид сверху). 7 — структурная схема по результатам моделирования. Условные обозначения: (1) — континентальная литосфера; (2) — древняя океаническая литосфера; (3) — ослабленная зона растяжения в пределах континентальной литосферы; (4) — новообразованная океаническая литосфера; (5) — зона интенсивного влияния горячей точки при аккреции; (6) — излияние под воздействием горячей точки; (7) — зона эксгумациимантии; (8) — границы между зонами; (9) — действующая ось спрединга; (10) — зоны поперечных смещений; (11) — границы между аккреционными валами; (12) — ось палеоспрединга; (13) — направление растяжения; (14) — зона действия горячей точки

новообразованной корой на этой оси и первыми аккреционными валами, которые образовывались на контакте с более холодной литосферой и при более низких скоростях растяжения.

На снимке 5 произошло полное отделение хребта Броукен от плато Кергелен. Так же хорошо заметно, что новообразованный рельеф в более прогретой литосфере в пределах даже слабого воздействия горячей точки будет малоамплитудный и высокочастотный. Это хорошо видно на структурной схеме (рис. 2).

Таким образом, экспериментальная модель эоценового взаимодействия формирующегося Юго-восточного Индийского спредингового хребта с крупной магматической провинцией Кергелен отражает четыре эволюционных стадии, которые запечатлены в современном морфоструктурном плане этого района. Первая стадия включает продвижение ритфовой трещины из единого Австрало-Антарктического блока континентальной литосферы в сторону океана. Причем при наличии не прямолинейной границы «континент-океан» могут формироваться краевые плато, такие, как плато Натуралист. Вторая стадия характеризуется рифтогенным разрушением старой океанической литосферы и формированием нового Юго-восточного Индийского спредингового хребта. Место первоначального заложения этого хребта фиксируется в сложной системе поднятий и впадин, характеризующих шовную зону Диамантина, а время начала спрединга запечатлено в картине линейных магнитных аномалий. Третья стадия эволюции определяется непосредственным пересечением спредингового хребта и крупной магматической провинции Кергелен, в результате чего эта провинция была разбита на две части морфологически выраженные в виде современного магматически активного плато Кергелен и хребта Броукен. Места раскола плато Кергелен фиксируются системой шовной зоны Обь, ограничивающей с юга хребет Броукен и сопряженной ей системой морфоструктур Вильямс-Лабуан на северо-восточной окраине плато Кергелен. И, наконец, четвертый этап эволюции связан с аккрецией коры на Юго-восточном Индийском хребте и удалении друг от друга частей некогда единой магматической провинции.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №16-17-10139).

Литература

Грохольский, А.Л., Дубинин, Е.П. Аналоговое моделирование структурообразующих деформаций литосферы в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов // Геотектоника. – 2006. – Т. 1. – С. 76-94.

Лейченков, Г.Л., Дубинин, Е.П., Грохольский, А.Л., Агранов, Г.Д. Формирование и эволюция микроконтинентов плато Кергелен, южная часть Индийского океана // Геотектоника. – 2018. – №5. – С. 3-21.

Шеменда, А.И. Критерии подобия при механическом моделировании тектонических процессов // Геология и геофизика. – 1983. – Т. 10. – С. 10-19.

Coffin, M.F., Pringle, M.S., Duncan, R.A., Gladczenko, T.P., Storey, M., Muller, R.D., Gahagan, L.A. Kerguelen Hotspot magma output since 130 Ma // J. Petrology. – 2002. – Vol. 43. – №7. – P. 1121-1139.

Müller, R.D., Gaina, C., Clark, S. Seafloor spreading around Australia In: Billion-year earth history of Australia and neighbours in Gondwanaland (2000) — BYEHA. Ed. J. Veevers / School of Geosciences Building F05. The University of Sydney NSW. Australia, 2006.