

Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова

Геологический факультет



НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

***ЛОМОНОСОВСКИЕ  
ЧТЕНИЯ***

***СЕКЦИЯ ГЕОЛОГИИ***

***Подсекция  
динамической геологии***

Руководитель – зам. зав. кафедрой, доцент Зайцев В.А.

СБОРНИК  
ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Москва  
2023

## Содержание:

1. Геодинамика суперконтинентального цикла Н.А. Божко . . . . .	2
2. Новейший структурный план территории размещения ПО «Маяк» (восточный склон Среднего Урала) и условия захоронения промышленных отходов Т.В. Суханова, Н.В. Макарова, А.Н. Стафеев . . . . .	5
3. Модель зонального метаморфизма Северо-Западного Таймыра В.С. Захаров, Л.И. Демина, М.Ю. Промыслова . . . . .	7
4. Выходы пород офиолитовой ассоциации в рельефе северо-восточной части Таймыра Г.В. Брянцева, Н.И. Косевич, М.С. Мышенкова . . . . .	10
5. Новейшая геодинамика зоны сочленения Восточно-Европейской платформы и Западно-Сибирской плиты Л.В. Панина, В.А. Зайцев . . . . .	12
6. Новейшее поле напряжений и сейсмичность Большого Кавказа и Предкавказья В.А. Зайцев, Л.В. Панина, К.В. Фадеева . . . . .	15
7. Предварительный тектонический анализ землетрясения в Турции 6 февраля 2023 года Д.А. Симонов, В.С. Захаров . . . . .	17
8. Основные черты мегатрещиноватости Малко-Петропавловской зоны поперечных дислокаций (юго-восток Камчатки) А.О. Агибалов, А.А. Сенцов . . . . .	20
9. Сейсмогенные разломы и их геодинамическое значение А.И. Полетаев . . . . .	23
10. Потенциальные очаги землетрясений Горного Крыма А.В. Спиридонов . . . . .	25
11. Магнитостратиграфия пермо-триасовых осадочных толщ долины р. Ветлуга (Нижегородская область) А.М. Фетисова, Р.В. Веселовский . . . . .	28
12. Изучение склоновых процессов ЮБК с помощью электрической томографии И.Н. Модин, М.А. Романовская, А.Д. Скобелев . . . . .	30
13. Проблема выбора эквивалентного материала при аналоговом моделировании: пример зон сдвига Н.С. Фролова, А.Н. Корбутяк, А.С. Циглер, Н.А. Арешин . . . . .	32

## ГЕОДИНАМИКА СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНОГО ЦИКЛА

Н.А. Божко

Современная геотектоника характеризуется признанием того, что в истории Земли, начиная с позднего архея существовало несколько суперконтинентов, составляющих – непрерывную последовательность в виде суперконтинентальной цикличности. Вместе с тем, остается до конца не ясным наше понимание глубинных механизмов, ответственных за ход этого процесса.

Суперконтинентальный цикл (СЦ) включает объединение всех существовавших на Земле разобщенных континентальных масс в единый суперконтинент, его распад и последующую сборку в новый. В структуре СЦ выделяются собственно суперконтинентальная и межсуперконтинентальная стадии, отражающие смену двух состояний Земли: 1) один континент - один океан и 2) несколько континентов - несколько океанов. Каждая из этих стадий состоит соответственно из двух фаз: интеграции-деструкции и фрагментации-конвергенции [1].

*Фаза аггломерации* в новообразованном суперконтиненте еще характеризуется интеграционной обстановкой «слипанием» фрагментов, общим уплотнением, завершением развития недавно возникших складчатых поясов. Кульминация этого процесса выражается в виде достижения суперконтинентом полной зрелости и слитности, за которой следует *фаза деструкции* с развитием континентального рифтогенеза как пролог к его распаду.

Важно отметить, что в течение этих двух фаз, составляющих время существования суперконтинента, господствует механизм тектоники мантийных плюмов, возникающих вследствие теплоизоляционного действия новообразованного суперконтинента.

Д. Андерсон [3] впервые предположил, что термоизоляция, создаваемая суперконтинентом, оказывает значительное влияние на нижележащую мантию, повышая ее температуру и вызывая термальные апвеллинги, приводящие к распаду суперконтинента. Континентальная литосфера препятствует потере тепла из недр Земли по сравнению с океанической литосферой из-за ее большей мощности. Образование суперконтинента значительной площади вызывает появление термального «одеяла», что вызывает нагревание мантии. Первые численные модели подтвердили роль суперконтинента как препятствия охлаждению мантии. В течение длительного времени суперконтинент улавливает избыточное тепло и вызывает за счет теплового расширения поднятия в мантии и возникновение мантийных плюмов и суперплюмов. что в свою очередь, создает напряжение растяжения в суперконтиненте, приводящее к его деструкции в виде рифтогенеза и последующему распаду. Плюмы начинают образовываться под суперконтинентом через 50- 100 лет после его формирования [4], то есть, в фазу деструкции СЦ, отмеченной широким проявлением континентального рифтогенеза [1].

Кульминация плюмового процесса, вызванного термоизоляционной природой суперконтинента, повидимому, приходится на начало фазы его распада и новообразования океанов.

Другая модель связывает формирование нижнемантийных суперплюмов с зонами субдукции, в которых происходит лавинообразное поступление слэбов и накоплении их вдоль границы ядро-мантия [5, 6, 7 и др.]. Возможно такой процесс имеет место особенно в зонах субдукции, окаймляющих новообразованный суперконтинент в качестве дополняющего фактора плюмообразования, вызванного термоизоляционным эффектом. Распад суперконтинента связывается, таким образом с мантийными плюмами, природа которых указывает на то, что, в самом образовании суперконтинента уже содержится предрасположенность к его распаду.

В течение непосредственно *фазы фрагментации* второй стадии СЦ еще имеет место формирование мантийных плюмов, но основную роль играет самоорганизующийся режим мантийной конвекции и механизм тектоники литосферных плит с преобладанием спрединга над субдукцией. При этом в локализации и развитии новых океанов проявляется тектоническая унаследованность [2], свидетельствующая о существовании глубоких ослабленных зон литосферной мантии, контролирующих процессы формирования и распада суперконтинентов.

В *фазу конвергенции*, при достижении в новообразованных океанах состояния литосферы достаточно плотной и подготовленной для процесса субдукции в них поглощение океанской литосферы в мантию, приводящие к закрытию океанов. континентальным коллизиям и созданию нового суперконтинента, завершающее СЦ.

Обсуждаются два варианта механизма формирования суперконтинентов: “экстрверсия” (закрытие внешнего, окружающего суперконтинент океана) и “интроверсия” (закрытие внутренних океанов). При этом, отмечается несоответствие, требующее объяснения, между результатами большинства геодинамических моделирований, приводящими к экстрверсии и хорошо изученной и задокументированной сборкой Пангеи, происходившей в стиле интроверсии (6, 7). Автору представляется, что замыкание внутренних океанов является единственным механизмом при формировании суперконтинентов в течение этой фазы СЦ. Внешний океан, возможно, никогда не закрывался, но сужался и расширялся в зависимости от процессов во внутренних океанах.

В фазу конвергенции преобладающие процессы субдукции приводят к замыканию океанов, разделяющих континенты, столкновению последних между собой с развитием орогенических поясов. Серия континентальных коллизий завершается образованием нового суперконтинента.

Несмотря на существующие проблемы в понимании геодинамики суперконтинентального цикла, можно сделать вывод, что в нем имеет место равноправное взаимодействие двух геодинамических процессов – тектоники литосферных плит и тектоники мантийных плюмов.

## Список литературы

1. *Божко Н.А.* Тектоническая унаследованность и предопределенность в ходе суперконтинентальной цикличности // Вестн. Моск. Ун-та. 2019. Сер. 4, Геология, № 6. С. 11-16.
2. *Божко Н. А.* Суперконтинентальная цикличность в истории Земли // Вестн. Моск. Ун-та. 2009. Сер. 4, Геология, № 2. С.13-27.
3. *Anderson, D.L.*, 1982. Hotspots, polar wander, Mesozoic convection and the geoid. *Nature* 297, 391-393.
4. *Li, Z.X., Li, X.H., Kinny, P.D., Wang, J., Zhang, S. & Zhou, H.* 2003. Geochronology of Neoproterozoic synrift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. *Precambrian Research*, 122, 85–109.
5. *Maruyama, S., Santosh, M., Zhao, D.*, 2007. Superplume, supercontinent, and post-perovskite: mantle dynamics and anti-plate tectonics on the core–mantle boundary. *Gondwana Research* 11, 7–37.
6. *Murphy J. B., Nance R. D.* Speculations on the mechanisms for the formation and breakup of supercontinents. *Geoscience Frontiers* 4 (2012) 185-194.
7. *Nance R. D., Murphy J. B., Santosh M.* The supercontinent cycle: A retrospective essay. *Gondwana Research* 25 (2014) 4–29.

НОВЕЙШИЙ СТРУКТУРНЫЙ ПЛАН ТЕРРИТОРИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПО «МАЯК»  
(ВОСТОЧНЫЙ СКЛОН СРЕДНЕГО УРАЛА)  
И УСЛОВИЯ ЗАХОРОНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Т.В. Суханова, Н.В. Макарова, А.Н. Стафеев

Район исследования расположен в Зауралье в Челябинской области. На территории ПО «Маяк», являющейся объектом исследования, находятся захоронения радиоактивных и химических отходов. В результате крупной катастрофы 1957 года произошло заражение опасными веществами воздуха, почвы, рек, подземных вод. Озера Карачай и Старое Болото, являвшиеся вместилищами больших объемов радиоактивных и химических отходов, уже заполнены. В связи с этим необходимы новые места захоронения. Цель работы – определить условия безопасного захоронения опасных веществ на новых участках и выяснить причины распространения загрязнения подземными потоками на некоторых других участках. Исследования основывались на применении комплекса методов, среди которых структурно-геоморфологический и анализ данных нескольких сотен скважин.

Район исследования находится в области сочленения Уральского орогена и Западно-Сибирской плиты. Региональная новейшая структура сформировалась под влиянием двух основных источников тектонических напряжений – южного, действующего от границ Евразийской и Индостанской литосферных плит, и западного, Уральского. Под влиянием южного источника образовалась система субширотных широких поднятий, разделенных относительно узкими прогибами, к которым приурочены долины современных рек - притоков Тобола. Поднятия и прогибы, подходя к долине Тобола, образуют левосдвиговой кулисный ряд. Давление с юга вызывает общее перемещение Западно-Сибирского сегмента Евразийской плиты к северу относительно Восточно-Европейского сегмента (данные В.И. Макарова, М.Л. Коппа, В.Г. Трифонова).

Влияние западного Уральского источника проявлено субмеридиональной полосой Зауральской ступени, отражено в преобладающем сжатии с запада-северо-запада, установленном в западной (приуральской) части исследуемого района, куда относится район ПО «Маяк». Зауральская ступень разделена на серию широтных поперечных ступеней, к одной из которых приурочен район исследования.

В геологическом строении территории принимают участие преимущественно палеозойские породы - порфириды, метаморфизованные сланцы, смятые в субмеридиональные складки в герцинскую эпоху. Породы в течение мезозоя и начала кайнозоя были разрушены с образованием площадной и линейной коры выветривания, мощность которой, по данным

бурения, составляет 10-20 м и до 100 м соответственно. В рельефе – это Зауральский пенеплен, с остаточными возвышенными и пониженными участками с абс. отметками от 270 до 200-180 м, с долинами рек Течи, Мишеляка, Зюзелги и многочисленными озерами.

Выделенные новейшие структуры разного ранга образуют два структурных плана. Основной структурой является субширотное Тече-Зюзелгинское поднятие, снижающееся к востоку, не соответствующее герцинской субмеридиональной структуре. Оно осложнено субмеридионально ориентированными структурами чередующихся поднятий и прогибов, состоящих, в свою очередь, из локальных структур блоковой и изгибной формы. В центральной и восточной частях территории развиты грабены и горсты. Характерно значительное количество разрывных нарушений герцинского возраста разного простирания и типа. Большая часть их выражена в рельефе и в новейшей структуре. Диагональные являются сдвигами, субмеридиональные – возможно, сбросами. Амплитуда по некоторым из них, по данным бурения, составляет порядка 10 м.

Информацию о современном развитии разрывов дает анализ миграции радиоактивных веществ подземными водами, распространяющимися от основных захоронений в озерах Карачай и Старое Болото. Повышенная концентрация трития, цезия и др. веществ связана с субмеридиональными разрывами. Это свидетельствует о их раскрытости и лучшей проницаемости, т.е., они являются структурами растяжения, что можно объяснить влиянием давления с юга от южного геодинамического источника.

Анализ геолого-геоморфологических разрезов, построенных с учетом данных бурения и гидрогеологии для выяснения геологического строения территории будущих захоронений, показал характер распространения грунтовых вод, приуроченных к коре выветривания или к отложениям конуса выноса неоген-четвертичного возраста. Щебнистые суглинки конуса выноса мощностью почти 40 м могут быть использованы для захоронения промтехоборудования. Кроме того, конус выноса «запирается» новейшим поднятием, которое подпруживает подземные воды, не давая им растекаться в сторону Метлинского водохранилища. При определенных тектонических условиях кора выветривания также может служить вместилищем захоронений.

Таким образом, выделенные новейшие структуры образуют два структурных плана. В настоящее время большее значение имеет южный источник. С ним связаны и субмеридионально ориентированные открытые разрывы (структуры растяжения) с хорошей проводимостью. Именно они являются наиболее опасными для утечки радиоактивных веществ. Поэтому участки захоронения не должны выбираться рядом с ними. Наиболее благоприятными для захоронения опасных отходов по составу, мощности и положению в новейшей структуре являются отложения конуса выноса.

## МОДЕЛЬ ЗОНАЛЬНОГО МЕТАМОРФИЗМА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ТАЙМЫРА

В.С. Захаров, Л.И. Демина, М.Ю. Промыслова

Численное геодинамическое моделирование с построением P–T–t-трендов метаморфизма конкретных метаморфических комплексов играют очень важную роль для реконструкции геодинамических обстановок их формирования. Особое место занимает изучение зональных комплексов, поскольку при сопоставлении их параметров с результатами моделирования можно судить об эволюции термальной структуры земной коры на определенной геодинамической стадии ее развития.

В пределах Северо-Таймырской тектонической зоны, сложенной преимущественно ритмично чередующимися метапесчаниками, метаалевролитами и метапелитами, относящимися к образованиям континентального склона и подножия пассивной окраины Карского континента, широко проявлен зональный метаморфизм [1, 2, 3, 5, 6, 8, 9]. В районе Берега Харитона Лаптева, бухты Воскресенского и бассейнов рек Ленивой, Медвежьей, Гранатовой границы метаморфических зон проведены по изоградам биотита, граната, ставролита, кианита, силлиманита и ортоклаза. Термодинамические параметры метаморфизма оцениваются в интервалах температур от 300 до 720°C, а давления – от 0,35 до 0,72 ГПа, геотермический градиент – 28 °C/км [2, 3, 5, 8]. Метаморфизм относится к кианит-силлиманитовому типу умеренных давлений и характеризуется секущим положением границ метаморфических зон относительно стратиграфических. Это свидетельствует о том, что метаморфизм наложился на сформированную ранее в ходе тектонических движений складчатую структуру. Кроме того, наблюдается соответствие конфигурации метаморфических границ с конфигурацией области распространения крупных линзовидных тел автохтонных гранитоидов с возрастом 306–258 млн лет, относящемуся ко времени коллизии Карского и Сибирского континентов [1]. Для породообразующих гранатов характерна регрессивная зональность с возрастанием железистости от центральных частей зерен к краевым, при этом содержания магния и кальция практически не изменяются [1, 8]. Подобная зональность свидетельствует о том, что рост граната происходил при понижении P–T-условий кристаллизации.

Для объяснения особенностей метаморфизма региона проводилось численное моделирование континентальной коллизии с использованием оригинального кода, предоставленного Т.В. Герей [10]. В модели рассмотрено два блока континентальной литосферы (мощность варьировалась в пределах 100–200 км), разделенные океаническим бассейном. В ходе конвергенции, скорость которой варьировалась в пределах 2–10 см/год, происходит субдукция океанической литосферы под активную окраину правого континента, после закрытия



океанического бассейна начинается континентальная коллизия. Более подробно характеристики и особенности модели описаны в работах [7, 11].

Результаты моделирования показывают, что в процессе коллизии происходит формирование коллизионного орогена высотой до 4–5 км, которое сопровождается образованием складок, надвигов, скупиванием коры, перемещениями и деформацией ее блоков. На ранних стадиях коллизии происходит частичное погружение континентальной литосферы левого континента, которая увлекает за собой пассивную окраину, создавая условия для магматизма [4]. Породы верхней континентальной коры погружаются на глубины до 40–50 км, затем происходит их быстрый (порядка 1 млн лет) подъем (экзгумация). При этом блоки коры претерпевают значительные взаимные перемещения, вращения и деформацию. Затем следует их продолжительное (порядка 10 млн лет и более) пребывание в поле температурного градиента, что приводит к формированию метаморфической зональности на нисходящей ветви P–T–t-тренда метаморфизма, протекающего на завершающей стадии коллизии. Представляется вполне вероятным, что именно на данной стадии развития коллизионного процесса могла сформироваться метаморфическая зональность флишеидных толщ Северо-Западного Таймыра. Последующие процессы эрозии приводят к выходу метаморфических комплексов на поверхность. Подобные характеристики модельных P–T–t-трендов получаются в моделях при мощности континентальной литосферы 140–180 км и скорости конвергенции 3–5 см/год.

Модельные P–T-условия в целом достаточно хорошо соответствуют термодинамическим параметрам наблюдаемой метаморфической зональности Северо-Западного Таймыра.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № АААА-А16-116033010119-4) и с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.

#### Литература

1. *Верниковский В.А.* Геодинамическая эволюция Таймырской складчатой области. Новосибирск: СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1996. 201 с.
2. *Демина Л.И., Белов В.П.* Метаморфическая зональность Северо-Западного Таймыра // Бюл. МОИП. Отд. Геол. Т. 54. Вып. 5. 1979. С. 55–66.
3. *Демина Л.И., Захаров В.С., Промылова М.Ю., Завьялов С.П.* Коллизионный метаморфизм Таймыра // Геодинамические обстановки и термодинамические условия регионального метаморфизма в докембрии и фанерозое. Материалы V Российской конференция по проблемам геологии и геодинамики докембрия, Санкт-Петербург, ИГГД РАН. СПб.: Springer. 2017. С. 57–59.

4. Демина Л.И., Захаров В.С., Промыслова М.Ю., Завьялов С.П. Соотношение коллизионного и траппового магматизма Таймыра: геологические данные и результаты суперкомпьютерного моделирования // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2018. № 1. С. 15–24.

5. Демина Л.И., Захаров В.С., Промыслова М.Ю. и др. Зональный метаморфизм Северного Таймыра по геолого-петрологическим данным и результатам компьютерного моделирования // Проблемы тектоники континентов и океанов. Материалы LI Тектонического совещания. Т. 1. М.: ГЕОС. 2019. С. 177–181.

6. Забияка А.И. Стратиграфия и осадочные формации докембрия Северо-Западного Таймыра. Красноярск: ККИ. 1974. 128 с.

7. Захаров В.С., Перчук А.Л., Завьялов С.П. и др. Суперкомпьютерное моделирование континентальной коллизии в докембрии: эффект мощности литосферы // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2015. № 2. С. 3–9.

8. Захаров В.С., Демина Л.И., Промыслова М.Ю. Зональный метаморфизм на нисходящей ветви Р–Т–t-тренда палеозойской коллизии Таймыра: результаты численного моделирования и геолого-петрологические данные // Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы – 2023. Материалы LIV Тектонического совещания. Т. 1. М.: ГЕОС. 2023. С. 184–187.

9. Шулятин О.Г., Захаров Ю.И. Метаморфические пояса Таймырской складчатой области // Метаморфические пояса СССР. Л.: Наука, 1971. С. 182–195.

10. Gerya T.V., Yuen D.A. Characteristics-based marker-in-cell method with conservative finite-differences schemes for modeling geological flows with strongly variable transport properties // Phys. Earth Planet. Interiors. 2003. Vol. 140. P. 293–318.

11. Perchuk A.L., Safonov O.G., Smit C.A. et al. Precambrian ultra-hot orogenic factory: making and reworking of continental crust // Tectonophysics. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2016.11.041>.

## ВЫХОДЫ ПОРОД ОФИОЛИТОВОЙ АССОЦИАЦИИ В РЕЛЬЕФЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТАЙМЫРА

Г.В. Брянцева, Н.И. Косевич, М.С. Мышенкова

Центрально-Таймырский аккреционный пояс, расположенный между Сибирским кратоном и Карским микроконтинентом, состоит из различных по своей геодинамической природе террейнов и блоков пассивной континентальной окраины, амальгамированных и аккретированных к Сибирскому кратону в неопротерозое (Верниковский и др., 1996). В пределах Центрально-Таймырского пояса на северо-востоке Таймыра выделяется два рифейских офиолитовых пояса – Челюскинский и Становской, магматические образования которых формировались в островодужной и спрединговой зонах окраинного моря (Верниковский и др., 1996; Демина и др., 2022). Незначительные выходы офиолитов наблюдаются также в центральной и западной частях Таймыра (Верниковский и др., 1996).

В новейшей структуре Северо-Таймырского горного сооружения, южная часть которого в тектоническом плане соответствует Центрально-Таймырскому аккреционному поясу (Брянцева и др., 2021), можно выделить хребты Фаддеевские и Лодочникова, ограниченные унаследовано развивающимися разрывными нарушениями.

Становской офиолитовый пояс прослеживается в северо-восточном направлении от верховьев р. Становая вдоль западного берега залива Фаддея до бухты Зимовочной, под острым углом к Пясино-Фаддеевскому надвигу (Верниковский и др., 1996). В своей южной части – в нижнем течении рек Становая и Городкова – пояс расположен на границе одного из хребтов Фаддеевского поднятия и впадины Городкова, контакт которых приурочен к системе разрывных нарушений субмеридионального и северо-восточного простираний, в настоящее время разрабатываемой рекой Становая. На основе цифровой модели рельефа SRTM30 (ЦМР; Глобальные..., 2015) была построена карта изолинии рельефа с сечением 5 м, по которой хорошо дешифрируются места выходов серпентинитов, развитых по перидотитам. Они проявляются в рельефе на правом борту р. Становая в виде отдельных протяженных узких уступов длиной до 6 км и шириной до нескольких сотен метров, ориентированных субпараллельно вышеупомянутой системе разрывов. Восточнее, в междуречье Становой и Городкова, а также на правом борту последней, в районе развития гранатовых амфиболитов располагаются тела метагабброидов (Верниковский и др., 1996), однако на карте изолиний рельефа они не выделяются.

Челюскинский офиолитовый пояс, протягивающийся от верховьев р. Клязьма до залива Мод примерно параллельно Главному Таймырскому надвигу, расположен в пределах поднятия Лодочникова. Данное поднятие выделяется на севере Северо-Таймырского горного сооружения

(Брянцева и др., 2022), имеет север-северо-восточное простирание и представляет собой протяженные, хорошо выраженные в рельефе пологие и относительно широкие хребты, разделенные впадинами. Для Челюскинского пояса, в отличие от Становского, характерно тесное пространственное расположение метапериidotитов и метагабброидов и их ассоциация с зелеными сланцами, образованными по вулканитам преимущественно среднего–основного состава (Верниковский и др., 1996). Согласно геологическим данным, породы этого комплекса приурочены к границе новейших структур – хребту Берга и впадине Ханневича (Брянцева и др., 2022). На карте изолиний рельефа с сечением 5 м выходы пород офиолитовой ассоциации в этом районе практически не дешифрируются.

При помощи структурно-геоморфологического анализа рельефа в новейшей структуре северо-восточной части Таймыра были выявлены неотектонические поднятия блокового и складчато-блокового типа, имеющие север-восточное простирание. Метапериidotиты Становского пояса в его южной части на карте изолиний рельефа с сечением 5 м дешифрируются хорошо, что связано с суммарными конэрозионными поднятиями хребтов на высоту более 200 м и значительными относительными превышениями рельефа, что обусловило увеличение глубины эрозионного вреза на данном участке. Комплекс офиолитов разбит системой разрывных нарушений, поэтому в рельефе он проявляется в виде отдельных протяженных узких фрагментов, иногда смещенных относительно друг друга. Офиолиты Челюскинского пояса на карте изолиний рельефа практически не дешифрируются, что связано, по-видимому, с малоамплитудными неотектоническими поднятиями, редко превышающими 100 м, небольшой амплитудой относительных превышений, что определяет незначительную глубину эрозионного вреза в этом районе, а также наличием в южной части пояса в междуречье Ханневича и Серебрянки четвертичных отложений значительной мощности (до 35 м).

#### Литература

1. *Брянцева Г.В., Демина Л.И., Промылова М.Ю., Косевич Н.И.* Новейшие структуры Северо-Восточного Таймыра // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4: Геология. 2021. № 4. С. 60–69.
2. *Брянцева Г.В., Косевич Н.И., Мышенкова М.С.* Новейшие структуры полуострова Челюскин // Научная конф. «Ломоносовские чтения». Секция геологии, подсекция динамической геологии. Тезисы. М.: МГУ, 2022. С. 2–3.
3. *Верниковский В.А., Верниковская А.Е., Черных А.И., Мельгунов А.С.* Петрология и геохимия рифейских офиолитов Таймыра // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 1. С. 113–129.
4. Глобальные цифровые модели рельефа // ГЕОМАТИКА. 2015. № 3. С. 78–82.
5. *Демина Л.И., Захаров В.С., Промылова М.Ю.* Внедрение Становских офиолитов Фаддеевского блока Северо-Восточного Таймыра по геологическим данным и результатам численного моделирования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 1. С. 24–34.

# НОВЕЙШАЯ ГЕОДИНАМИКА ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ

Л.В. Панина, В.А. Зайцев

В геоморфологическом отношении территория исследования охватывает морфоструктуры Уральского горного сооружения (Северный Урал), Предуральского прогиба, Русской равнины, юго-востока Тиманского кряжа, Печорской низменности, и сопредельные районы Западно-Сибирской плиты. В тектоническом отношении район исследования охватывает такие разные с точки зрения возраста, строения фундамента и осадочного чехла структурные элементы, как древняя Восточно-Европейская эпикарельская платформы (Русская плита), Тимано-Печорская эпибайкальская платформа (Печорская плита), молодая Западно-Сибирская эпигерцинская плита и эпигерцинское омоложенное Уральское горно-складчатое сооружение, становление которого в рельефе происходило в позднемезозойское(?)–раннекайнозойское (позднемеловое(?)-миоценовое) время. Доминантой района исследования является Уральское горное сооружение, вытянутое в меридиональном направлении шириной от 100 до 180 км. Структурно-геоморфологическое дешифрирование выявило здесь серию поднятий разного ранга, часто выраженных хребтами, составляющих в целом линейно вытянутые субмеридиональные зоны. Границы этих зон хорошо выражены в рельефе, разрабатываются речными долинами, наследуют разломы, установленные геолого-геофизическими данными и, как правило, являются надвигами. Среди них Главный Западно-Уральский, Присалатимский, Главный Уральский, Осевой и другие надвиги, которые прослеживаются фрагментарно. Зоны поднятий разделены узкими впадинами-долинами. Наиболее выражена в рельефе центральная зона поднятий, для которой характерны амплитуды более 1000 м (г. Тельпос-Из – 1617 м, г. Денежкин Камень – 1492 м, г. Ишерим – 1331 м и др.) и глубоко врезаемых долин. Характерна тесная связь выявленных дислокаций с геологическими структурами. Наряду с преобладающими субмеридиональными дислокациями выявлены и слабые зоны северо-западного простирания, пересекающие ороген Урала, разделяя его на отдельные сегменты. На западе Уральское горное сооружение по надвигу граничит с Предуральским прогибом. В современном рельефе прогиб зарос субмеридионально вытянутыми поднятиями, так называемыми пармами с амплитудами 500– 900 м. На севере его границей с Тимано-Печорскими структурами служит Вуктыльско-Полюдовский надвиг. Западнее, в юго-восточной части Тиманского кряжа и ижемской части Печорской низменности выявлены сравнительно малоамплитудные по-разному ориентированные поднятия с амплитудами до 290 - 245 м. Они разделены впадинами, к которым приурочены речные долины крупных рек Сев. Мылва, Печора, Сойва, Нибель, Кылым и др. Структуры нарушены слабыми зонами преимущественно северо-западного простирания, некоторые из них наследуют разломы

фундамента, как, например, Верхнеижемский разлом, который частично разрабатывается долиной р. Ижма. Границей Тимано-Печорского складчато-глыбового сооружения с Восточно-Европейской платформой служит Западно-Тиманский надвиг. Южнее его в рельефе Русской равнины развиты сравнительно малоамплитудные (245 м на своде) пологие поднятия, разделенные узкими впадинами-долинами. Это Камское изометричное поднятие, граничащее с ним на юго-востоке субмеридионально вытянутое Кречевское и ориентированное в северо-восточном направлении Северо-Коммунарское. По мере приближения к горному сооружению Урала поднятия вытягиваются в субмеридиональном направлении, согласным с уральским. На востоке, где к Уралу примыкает Западно-Сибирская плита, выявлены малоамплитудные пологие поднятия с абсолютными отметками 160 - 220 м и впадины, к которым приурочены долины рек. Поднятия нарушены слабыми зонами, а неровный, причудливый характер их границ обусловлен, как правило, сдвиговыми дислокациями северо-западного и северо-восточного простирания. Преобладает северо-западная ориентировка слабых зон, которые контролируют границы поднятий. Важно отметить, что эта ориентировка контрастирует с субмеридионально вытянутыми структурами Урала, граничащими с Западно-Сибирской плитой по разлому, скорее всего сбросу.

Таким образом, структурно-геоморфологический анализ позволил выявить серию новейших поднятий и впадин, нарушенных слабыми зонами. Каждый из региональных структурных элементов характеризуется своим рисунком, который отличается амплитудами конэрозионных поднятий разного ранга, разделенными впадинами, морфологией, ориентировкой, взаимоотношением со слабыми зонами и их простираниями. Выявлена унаследованность новейших структур от древних дислокаций, особенно это проявляется в Уральском орогене.

Автоматизированная обработка радарных изображений с использованием программы Lessa позволила построить карты линий вытянутости, на которой отражены основные ориентировки и плотности эрозионной сети. Также на данную карту нанесены эпицентры землетрясений. Установлена хорошая корреляция выявленных дислокаций с этими параметрами. Рисунок роз-диаграмм эрозионной сети индивидуален для разных региональных структур. Так, в области, прилегающей к Уральскому орогену на западе он имеет субмеридиональное простирание, чем резко отличается от роз-диаграмм Западно-Сибирской плиты. Эпицентры редких землетрясений приурочены к Уральскому горному сооружению. Максимальные значения плотности эрозионной сети локализуются в областях новейших поднятий Уральского орогена, Предуральского прогиба, Тимано-Печорской и Русской платформ, что указывает на более активный характер проявления новейших движений в результате воздействия Уральского горного сооружения. В области Западно-Сибирской равнины эта корреляция существенно ниже.

Проведенные комплексные исследования позволили выявить существенные различия в рисунках новейших дислокаций в областях, примыкающих к орогену Урала. На полученных материалах видно, что новейшие структуры Русской равнины и Предуралья находятся под влиянием деформаций Уральского орогена и формируются в едином с ним поле напряжения, т.е. субширотном сжатии. В тоже время новейшие дислокации Западно-Сибирской равнины не согласуются с уральскими. Здесь господствуют другие геодинамические условия, связанные с обстановкой субмеридионального сжатия, которое испытывает Западно-Сибирская плита на новейшем этапе.

# НОВЕЙШЕЕ ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ И СЕЙСМИЧНОСТЬ БОЛЬШОГО КАВКАЗА И ПРЕДКАВКАЗЬЯ

В.А. Зайцев, Л.В. Панина, К.В. Фадеева

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 1199991,  
Москва, ГСП-1, Ленинские горы*

Данная работа посвящена моделированию механизма формирования неотектонических структур и оценке влияния новейшей геодинамики на сейсмичность Большого Кавказа и Предкавказья. Структурно-геоморфологический и морфометрический анализы изучаемой территории, дополненные компьютерным моделированием новейшего напряженного состояния и статистической обработкой полевых замеров трещиноватости, позволили выявить продольную и поперечную зональность новейших дислокаций, как правило, унаследованную от древних этапов развития. Этой же зональности подчинено распределение землетрясений.

Горно-складчатое сооружение Большого Кавказа возникло на месте альпийских бассейнов, развивавшихся с конца палеозоя или ранней юры. Становление новейшей структуры альпийского горно-складчатого сооружения Большого Кавказа датируется поздним сарматом. С этого времени начинается активный рост Кавказского орогена, а в пред- и межгорных впадинах, испытывающих интенсивное погружение, накапливаются грубые молассовые отложения, что соответствует позднеорогенной (или конэрозионной) стадии развития. Дальнейшее развитие орогенного процесса привело к разрастанию положительных структурных форм за счет сопредельных отрицательных и к вовлечению в поднятие структур предгорных впадин. В современном рельефе ороген Большого Кавказа выражен асимметричным сводово-глыбовым поднятием, северный склон которого полого спускается в область Предкавказских прогибов и Ставропольского поднятия. Крутой южный склон соседствует со структурами Закавказья и Черноморской впадины. Характерна поперечная и продольная зональность орогена, благодаря которой в рельефе выделяется ряд ступеней — сегментов. Так, с запада на восток нами были выделены следующие поднятия: Абинское, Мзымтинское, Эльбрусское, Казбекское, Аргунское, Самурское и Ахтычайское. В Предкавказье были выделены сегменты, соответствующие тектоническому делению территории, с запада на восток: Западное Предкавказье, Центральное Предкавказье и Восточное Предкавказье.

По результатам проделанной работы, были сделаны следующие выводы:

1. Массовые замеры трещиноватости, независимо от возраста горных пород в которых они были сделаны, прекрасно коррелируются с простирающими линиями вытянутости эрозионной сети, определяя главные направления «слабых зон», тем самым, внося существенный



вклад в характер унаследованности развития современного рельефа от геологического прошлого изучаемого региона.

2. Местоположение и ориентировка линий вытянутости речных долин тесно связана с кинематическим типом и направлениями осей напряженного состояния, установленным с помощью кинематического анализа борозд скольжения, что позволяет использовать данный параметр, как индикатор новейшего поля напряжений.

3. Компьютерное моделирование напряженного состояния Большого Кавказа и Предкавказья позволило установить, что наибольшие величины новейшего напряженного состояния наблюдаются в местах пересечения двух и более разрывных нарушений: по правому берегу р. Терек, северо-восточнее городов Цхинвал, Сочи и Кисловодска. Для Предкавказья характерны более низкие значения напряженного состояния, которые прослеживаются параллельно Кавказу: вдоль Манычской впадины и параллельно ей от севера Тихорецка в сторону Нефтекумска и Кизляра. Также есть участки повышенных значений напряженного состояния, которые имеют ориентировку поперечную Кавказу: Сухум-Кисловодск, Цхинвал – Владикавказ и от Сочи к северо-востоку.

4. Геодинамический анализ современной сейсмичности, выполненный с помощью решения фокальных механизмов (141 событие) показал, что в целом на Кавказе отсутствуют преимущественные типы напряженного состояния. Вместе с тем, на западе преобладает компрессионное сжатие и сдвиги, а на востоке – растяжение.

5. Среди рассчитанных направлений сжатия преобладает субкавказское СВ 20-30°. Также к восточной части Кавказа и Предкавказья проявляется и увеличивается число осей сжатия с направлением СЗ 340-350°. В Казбекском, Ахтычайском и Восточно-Предкавказском сегментах можно выделить еще одно направление – СВ 70-80°. В Черноморской впадине, Западном и Центральном Предкавказье преобладает субкавказское СВ 20-30° сжатие, хотя между ними, в Абинском и Мзымтинском поднятии, ситуация более сложная. Здесь преобладает субширотное сжатие, а в осевой (наиболее приподнятой) зоне Кавказского хребта сбросовое поле напряжения с растяжением поперек хребта.

6. В результате сравнения было установлено, что направление главных осей напряжений, полученных с помощью компьютерной геологической модели на 69,2% совпадает с современным полем напряжений, выявленным с использованием решений фокальных механизмов. То есть сейсмичность имеет явно унаследованный характер, причем наиболее сопоставимы оказались именно восточные сегменты (Аргунский, Самурский, Ахтычайский, Центрально- и Восточно-Предкавказские).

# ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ТЕКТОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ТУРЦИИ

6 ФЕВРАЛЯ 2023 ГОДА.

Д.А. Симонов, В.С. Захаров

6 февраля 2023 года на юго-востоке Турции, в Восточно-Анатолийской разломной зоне в районе г. Газеантеп произошло катастрофическое землетрясение с  $M7.8$ . Через 9 часов на расстоянии около 90 км на северо-восток от этого события в районе разлома Чардак-Улуова произошло второе сильное землетрясение с  $M7.5$ . Оба события сопровождались значительным афтершоковым процессом, который продолжается до сих пор. Предварительный сеймотектонический анализ этих сейсмических событий проводился на основании данных о скоростях смещения опорных ГНСС станций постоянного наблюдения (CORS) сети RTK Турции (CORS-TR) [3], анализа каталогов сейсмичности USGS [5] и EMSC-CSEM [4], данных непосредственно о катастрофическом событии, размещенных EMSC-CSEM и других данных открытого доступа.

На основании анализа данных ГНСС (смещения станций CORS-TR в период времени с 2008 по 2018 годы [2]) по оригинальной методике авторов [1] в регионе, где произошли землетрясения, были выделены кинематически однородные кластеры, а также была проанализирована их кинематика. Установлено, что границы кинематически однородных кластеров могут быть проведены по известным активным разломам, что позволяет интерпретировать данные блоки как относительно жесткие блоки земной коры. На основании проведенного кинематического анализа выявлено, что за период наблюдения вдоль Восточно-Анатолийской разломной зоны происходило смещение Аравийской плиты относительно Анатолийской, соответствующее левому сдвигу (без нормальной компоненты) с амплитудой от 1 см/год в восточной части до 0.8 см/год в западной. Вдоль разлома Чардак-Улуова происходили смещения, соответствующие левому сдвигу-взбросу, с амплитудой менее 1 см/год. Выявленная кинематика четко коррелирует с механизмами очагов основного события  $M7.8$  и события на разломе Чардак-Улуова  $M7.5$ .

Важно, что данные о косейсмических смещениях станций CORS-TR, опубликованные EMSC-CSEM [4] позволяют говорить о высокоамплитудном левосдвиговом смещении непосредственно вдоль Восточно-Анатолийской разломной зоны при смещении Аравийской плиты относительно Анатолийской на восток, и даже на юго-восток.

Кроме того, на основании сети триангуляции, построенной по станциям CORS-TR было определено поле скоростей относительных деформаций, как линейных, так и площадных.

Установлено, что деформации вдоль Северо-Анатолийского и Восточно-Анатолийского разломов распределялись в виде последовательных зон относительного сжатия и растяжения, что скорее всего отражает механизм реализации прерывистого смещения по разломам. Интересно, что в полученном поле скоростей деформации основное событие произошло в области относительного растяжения в то время, как событие на разломе Чардак-Улуова в области относительного сжатия.

Анализ сейсмической активности, предшествующей и последующей основному событию проводился по каталогу NEIC USGS [5] (рассматривались события с  $M \geq 4$ ), выявлена весьма интересная динамика форшоков и афтершоков.

Согласно каталогу, в районе за историю наблюдений фиксировалась повышенная сейсмичность (это подтверждается и историческими данными). Однако в последнее время сейсмичность тут была незначительной: так, на протяжении года, предшествующего сильным землетрясениям 6.02.2023, зафиксировано только 17 событий с  $M$  4–5.3. При этом на временной последовательности (в целом хаотической) наблюдается некоторый тренд вдоль общего простирания Восточно-Анатолийской разломной зоны в направлении с СВ на ЮЗ, т.е. к области происшедшего сильного землетрясения.

Анализ афтершоковой последовательности показывает, что сразу после события  $M7.8$  и в течении 9 часов до последующего сильного события  $M7.5$  эпицентры афтершоков (76 событий с  $M \geq 4$ ) достаточно хаотично мигрировали исключительно вдоль простирания Восточно-Анатолийской разломной зоны. При этом в первые 3 часа после события  $M7.8$  в миграции эпицентров афтершоков можно выделить некоторый тренд с ЮЗ на СВ (обратный тренду форшоков), а в дальнейшем подобные тренды не выделяются. Событие  $M7.5$ , произошедшее на разломе Чардак, имеющем простирание З-В. не предварялось сейсмичностью по этому разлому, но резко изменяет динамику афтершоков. Распространение очагов землетрясений дальше на СВ прекращается. Сразу после события  $M7.5$  вдоль разлома Чардак наблюдается большое количество афтершоков – за 9 часов после события  $M7.5$  из 85 афтершоков 74 располагались именно вдоль этого разлома, больше тяготая к его концам. Таким образом, можно говорить об определенном переносе сейсмической активности с Восточно-Анатолийской разломной зоны на разлом Чардак в этот период. Однако затем активность обоих разломов примерно выравнивается, при этом миграции сейсмичности дальше на СВ не наблюдается. Общее количество афтершоков убывает приблизительно по степенному закону (закон Омори). При этом землетрясение  $M7.5$  по всей видимости не является афтершоком

землетрясения М7.8, а представляет собой относительно независимое событие (обусловленное общей сейсמודинамикой региона).

Выявленные закономерности кинематики блоков Земной коры и сейсмической активности позволяют сделать следующие выводы:

- после начального этапа развития афтершоков землетрясения М7.8 происходит перенос сейсмической активности на разлом Чардак, и далее на СВ она не развивается; - для кинематики микроплит региона более значимым является не смещение Аравийской плиты на север с выжиманием Анатолийской плиты на восток, а разворот Анатолийской плиты против часовой стрелки, связанный с раскрытием Красноморского рифта.

#### Список литературы:

1. Захаров В.С., Симонов Д.А. Анализ современных дискретных движений блоков земной коры геодинамически активных областей по данным GPS // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4 Геология. 2010. № 3. С. 25–31.
2. Özdemir S., Karşlıoğlu M. Soft clustering of GPS velocities from a homogeneous permanent network in Turkey// Journal of Geodesy. 2019. Vol. 93. P. 1171–1195. <https://doi.org/10.1007/s00190-019-01235-z>.
3. CORS-TR. <http://cors-tr.iku.edu.tr>.
4. European-Mediterranean Seismological Centre (EMSC). <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/271/>.
5. USGS Earthquake Hazards Program. <https://earthquake.usgs.gov/>.

# ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ МЕГАТРЕЩИНОВАТОСТИ МАЛКО-ПЕТРОПАВЛОВСКОЙ ЗОНЫ ПОПЕРЕЧНЫХ ДИСЛОКАЦИЙ (ЮГО-ВОСТОК КАМЧАТКИ)

А.О. Агибалов<sup>1</sup>, А.А. Сенцов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (ИФЗ РАН, [agibalo@yandex.ru](mailto:agibalo@yandex.ru)), <sup>2</sup> (ИФЗ РАН, [alekssencov@yandex.ru](mailto:alekssencov@yandex.ru))

Анализ трещиноватости Малко-Петропавловской зоны (МПЗ) юго-востока Камчатки — актуальная и интересная задача, поскольку конфигурация выраженных в рельефе мегатрещин служит одним из значимых факторов, определяющих гидротермально-магматическую деятельность. К ее проявлениям относятся многочисленные вулканические постройки (от крупных действующих стратовулканов — Авачинского, Корякского, Вилючинского и Бакенинг, до отдельных моногенных шлаковых конусов), а также горячие источники — р. Паратунки, Малкинские, Тимоновские и др. Источником информации о мегатрещиноватости послужила цифровая модель рельефа, отдешифрованная нами по методике Н.П. Костенко [1]. Установлено, что выделенные "слабые" зоны простираются в 3-х главных направлениях по азимутам 0°–20°, 80° и 130°. Схожие направления проявлены на розе-диаграмме простираний региональных разломов, составленной с учетом их протяженности [2]: 0°, 20°, 50°, 130°–140°. Средние круговые значения, рассчитанные по формулам [3], составляют 76° и 75°, соответственно. Кроме того, нами построена роза-диаграмма простирания даек и жил, показанных на геологических картах масштаба 1 : 200 000. На ней преобладают ориентировки 0°, 40°, 130°–140° при среднем круговом значении 66° (рис. 1). По нашему мнению, статистическая значимость субмеридиональных и северо-западных направлений на 3-х розах диаграммах объяснима геологическим строением: МПЗ ограничена 2-мя региональными разломами северо-западного простирания — Петропавловским и Вилючинским, и север-северо-восточным разрывным нарушением, расположенном вдоль р. Быстрой (Малкинской) [4].

Другим значимым параметром, характеризующим мегатрещиноватость, служит плотность "слабых" зон. На рис. 2 показано, что его повышенные приурочены к северо-восточной и юго-западной частям изучаемого района, где расположено большинство вулканических построек и термальных источников.

Таким образом, выделены основные направления мегатрещиноватости и показана их взаимосвязь с геологическим строением территории, а также установлена приуроченность гидротермально-магматических проявлений к областям повышенной плотности линейных элементов дешифрирования, что позволяет рассматривать их как флюидопроницаемые зоны.

Исследование выполнено в рамках Государственного задания ИФЗ РАН.

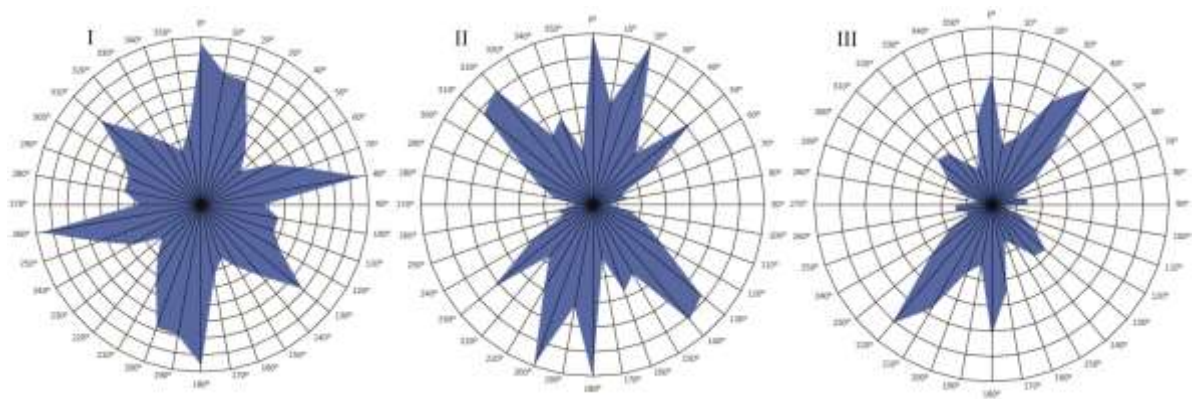


Рис. 1. Розы-диаграммы простираний линеаментов (I), разломов (II), даек и жил (III)

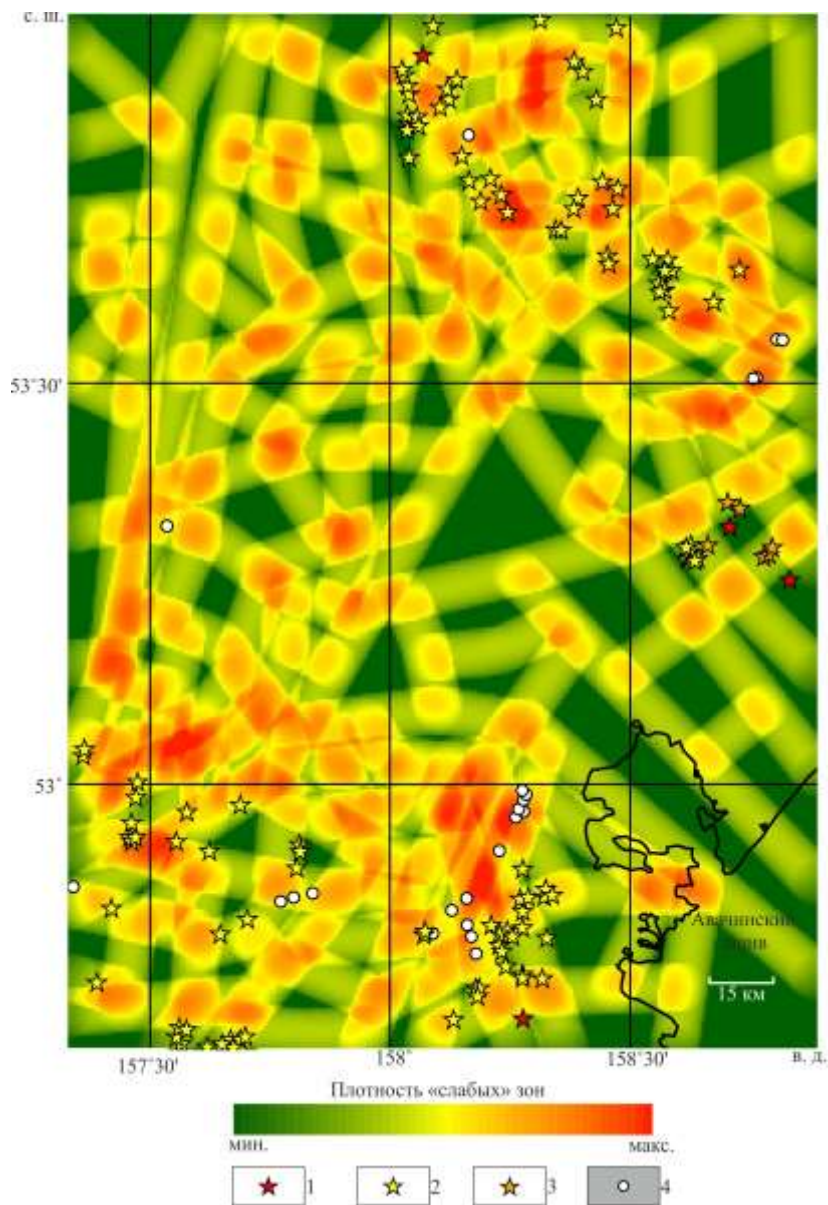


Рис. 2. Схема плотности "слабых" зон: 1 – кратеры стратовулканов, 2 – моногенные шлаковые конусы, 3 - побочные конусы, расположенные на склонах стратовулканов; 4 – горячие источники

#### Список литературы:

1. Костенко Н.П. Геоморфология. М.: МГУ, 1999. 398 с.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Корякско-Курильская серия. Лист N-57. СПб: ВСЕГЕИ, 2006.
3. Каждан А.Б., Гуськов О.И. Математические методы в геологии. М.: Недра, 1980. 251 с.
4. Гонтовая Л.И., Попруженко С.В., Низкоус И.В., Апрельков С.Е. Верхняя мантия Камчатки: глубинная модель и связь с тектоникой // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27. № 2. С. 80–91.

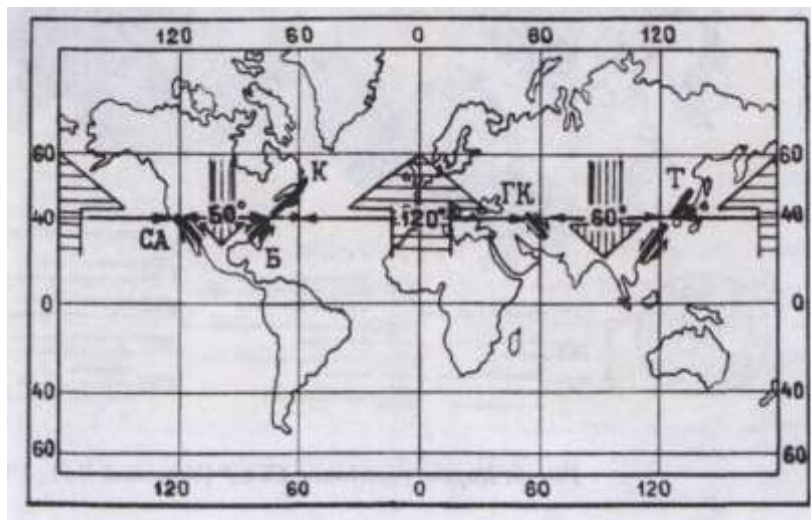


# СЕЙСМОГЕННЫЕ РАЗЛОМЫ И ИХ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

А.И. Полетаев

Традиционно, как и среди других геологических структур, среди сейсмогенных разломов можно выделить планетарные и региональные.

К *планетарным сейсмогенным разломам* можно отнести широко известный и наиболее изученный разломы Сан-Андреас (СА – Западное побережье США), а также разломы Бревард и Кабот (Б и К – Восточное побережье США) и Танлу (Т – Китай) (*рис.1*):



*Рис. 1. Сейсмогенные разломы Земли, их кинематика и геодинамика [по схеме: Сдвиговый пояс Лавразии. Полетаев, 1997].*

К *региональным сейсмогенным разломам* можно отнести Главный Копетдагский (К – см. *рис.1*) и Таласо-Ферганский разломы (Центральная Азия), а также разломы Северо-Анатолийский и Восточно-Анатолийский (Турция), ставший широко известным после сейсмических событий февраля 2023 года.

Геодинамическое же значение Восточно-Анатолийского разлома, как и других региональных разломов, существенно меньше по сравнению с аналогичным значением планетарных сейсмогенных разломов.

Планетарные сейсмогенные разлома (ПСР) Бревард, Кабот, Сан-Андреас, Танлу расположены между 20 и 50 градусами северной широты, где они образуют закономерно развитый пояс левосторонних сдвигов СВ-го простирания и правосторонних сдвигов СЗ-го простирания (см. *рис.1*). В этот пояс планетарных эпокеанических разломов вписывается и



региональный внутриконтинентальный Копетдагский разлом, который может оказаться фрагментом несостоявшегося планетарного разлома.

Благодаря кинематическим особенностям названных разломов возникает специфическая *клиновидная структура сочленения платформ Лавразии и Гондваны*, геодинамика которой характеризуется тем, что океанические блоки «стремятся» двигаться с юга на север, а континентальные, наоборот, с севера на юг.

При этом Атлантический блок движется на север более прямолинейно, чем Тихоокеанский, который в результате возможного изменения в неоген-четвертичное время левосдвиговой компоненты на правостороннюю [Тян Сяочжо, 1995], может испытывать *элементы вращения против часовой стрелки*, о чём сообщал ещё в 1965 году шотландский геолог Артур Холмс [Фурмарье, 1971, с. 72].

#### Список литературы:

*Богданович К.* Землетрясения в Мессине и Калабрии. С.-Пб.: Изд-во О.Н.Поповой, 1909. 160с.

*Кинг Ф.* Вопросы тектоники Северной Америки. Перевод с англ. Н.А. Богданова и Н.В. Короновского. Под ред. А.А. Богданова и Н.В. Короновского. – М.: Издательство Московского университета, 1969. 179с.

*Мушкетов И.В., Мушкетов Д.И.* Физическая геология. Т.1. – М.–Л.: ОНТИ НКПТ СССР, 1935. 908с.

*Полетаев А.И.* Сеймотектоника зоны Главного Копетдагского разлома. – М.: «Наука», 1986.136с.

*Полетаев А.И.* Сдвиговый пояс Лавразии и его геодинамическое значение / Тектоника Азии. Программа и тезисы совещания.– М.: ГЕОС, 1997, с. 170 – 173.

*Сейсмогенные структуры и сейсмодислокации (материалы конференции).* Москва, 1972. – М., 1973. 123с.

*Тянь Сяочжо* Геологическая эволюция и современная геодинамика зоны разлома Танлу (Северо - восточный Китай) /Автореферат диссертации на соискание учёной степени к. г.-м. н. – М.: 1995. М.: 22с.

*Фурмарье П.* Проблемы дрейфа континентов / Пер. с фр. Н.А. Титовой. Под ред. и с предисловием чл.- корр. АН СССР В.Е. Хаина. – М.: «Мир», 1971, 256с.

## ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ОЧАГИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ГОРНОГО КРЫМА

А.В. Спиридонов

Крымский полуостров является не только популярным местом отдыха, но и важным военно-промышленным центром РФ. В последнее время в Крыму редко происходят ощутимые землетрясения, и создается впечатление, что сейсмичность региона незначительна. В то же время, мы помним про катастрофу 1927 года, вошедшую, в т.ч., и в художественную литературу. Поэтому сейсмологические исследования, особенно на прибрежной и горной территории, очень важны для полуострова. Работа выполнена в рамках НИР «Моделирование новейших геодинамических процессов, влияющих на сейсмичность и флюидную проницаемость осадочных толщ»

Территория Крымского полуострова в основном является асейсмичной. На равнинной части Крыма встречаются лишь несколько слабых землетрясений. Более активна горная часть полуострова – юго-восточный берег, особенно побережье от Ялты до Алушты. Но наиболее сейсмически активной областью является Черное море. На него приходится практически 90% всех землетрясений, выявленных за период инструментальных наблюдений. На территории Крыма расположено семь сеймостанций, наиболее старые из которых ведут наблюдение с начала XX века. Поэтому данные о ранних землетрясениях в сейсмических каталогах менее точны.

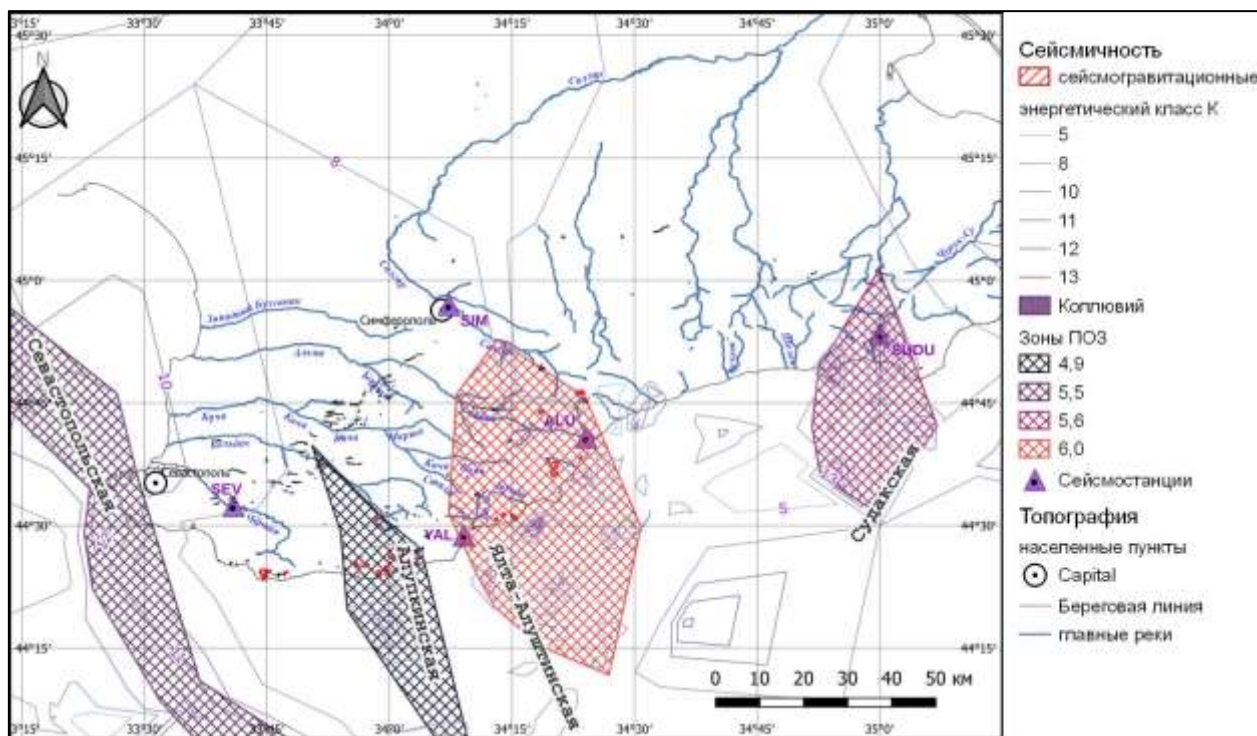
В работе [5] использованы каталоги землетрясений Крыма, взятые с сайта международного центра данных в Обнинске [3], а также из Базы данных «Землетрясения России» [1]. Рассматриваемые каталоги включают в себя такие параметры, как дата, время, географические координаты (широта и долгота, измеренные в десятичных долях градуса, с точностью до 2 знака после запятой), глубина (в км), магнитуда и погрешности измерений. К сожалению, точность определения координат эпицентров оставляет желать лучшего и может косвенно повлиять на точность приводимых далее расчетов.

Землетрясения были объединены в сводный каталог и приведены к единым форматам данных. В нем содержатся данные о 840 событиях, происходивших с 63 года до н.э. по 2019 год н.э. Глубины гипоцентров приведенных землетрясений располагаются в диапазоне от 0,01 км до 70 км, а магнитуды – от 0,1 до 6,8. Для каждого землетрясения был вычислен энергетический класс по формулам, предложенным Н.В. Шебалиным [7].

К визуализированному на карте сводному каталогу применен метод скользящего круглого окна диаметром 3 км с шагом 2 км по гексагональной сетке. Таким образом территория Крымского полуострова и ближайших окрестностей была разделена на круглые ячейки, которые перекрывают друг друга, что позволяет сделать расчеты более точными. Кроме того, гексагональное расположение центров окна позволяет сгладить погрешность определения

координат. Для каждой круглой ячейки было подсчитано количество входящих в нее землетрясений, а также сумма выделившейся в них сейсмической энергии ( $E = 3 \cdot 10^K$ ), пересчитанная после в суммарный энергетический класс (K). В дальнейшем точечное покрытие было пересчитано в изолинии суммарного энергетического класса (рис. 1).

Рис. 1. Сейсмоактивные зоны и распределение суммарной сейсмической энергии



При анализе изолиний энергетического класса на территории Горного Крыма выделяются четыре ярко выраженные зоны сейсмической активности (рис. 1): Севастопольская, Алуштинская, Ялта-Алуштинская и Судакская. Эти зоны совпадают с простираем разломов, выделенных на карте домеловых образований 1983 г [4], и также включают большое количество выделенных сейсмогравитационных дислокаций. Известные из других источников палеосейсмодислокации [6, 2 и т.д.] также попадают в эти же зоны.

Осевые части этих зон отстоят друг от друга на расстоянии примерно 40-50 км. Исключением является Ялта-Алуштинская зона, имеющая скорее изометричные очертания и наибольшее количество выделившейся сейсмической энергии. Внутри выделенных зон распределение землетрясений неравномерно, имеются локальные отдельные максимумы. В Ялта-Алуштинской зоне они расположены скорее субширотно.

Максимальные магнитуды (согласно максимальным зафиксированным магнитудам и расчетам максимальной выделенной сейсмической энергии) могут достигать 4,9 (Алуштинская) – 5,5 (Севастопольская) ( $K=14$ ), а для Ялта-Алуштинской зоны – до 6,0 ( $K=16$ ).

Глубина гипоцентров землетрясений в основном составляет 10-20 км. В Ялта-Алуштинской зоне также распространены глубины в диапазоне от 20 до 45 км. Для Алуштинской зоны характерны наибольшие глубины гипоцентров, достигающие 48 км.

#### Список литературы:

1. База данных «Землетрясения России» // сайт Федерального исследовательского центра Единой геофизической службы Российской академии наук (<http://eqru.gsras.ru/events/run/index.php>) Copyright 2002—2022 by GS RAS
2. Борисенко Л.С., Пустовитенко Б.Г., Дублянский В.Н., Вахрушев Б.А., Клюкин А.А., Ена А.В., Китин М.А. Сейсмодислокации и палеосейсмичность Крыма. // Сейсмический бюллетень Украины за 1997 год. – Симферополь, 1999, с. 101-132.
3. Глобальная база данных о гипоцентрах землетрясений -2100 – 1992 © МЦД по ФТЗ, ГЦ РАН, 1995–2018 // URL : [http://www.wdcb.ru/sep/seismology/global\\_hypoc.ru.html](http://www.wdcb.ru/sep/seismology/global_hypoc.ru.html)
4. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:1 000 000, лист I-36,37, Карта домеловых образований, 1983 г., ред. Н.П. Щербак
5. Спиридонов А.В., Калинина Н.С. Зоны вероятных очагов землетрясений Горного Крыма. // Материалы всероссийской научной конференции Геотектоника и геодинамика сейсмоактивных районов, посвященной 75-летию со дня рождения Е.А. Рогожина(1947–2021) и 115-летию со дня рождения В.В. Белоусова (1907–1990) (Москва, 2022), ред. А. О. Агибалов, Москва, с. 103–107.
6. Хапаев В.В., Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Мараханов А.В. Археосейсмологические исследования в древнем городе Херсонесе (Севастополь, Крым) // Геология и геофизика Юга России, № 3, 2016, с. 119–128
7. Шебалин Н.В. Сейсмология – наука о землетрясениях. Москва: Знание, 1974. 64 с.

# МАГНИТОСТРАТИГРАФИЯ ПЕРМО-ТРИАСОВЫХ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ ДОЛИНЫ Р. ВЕТЛУГА (НИЖЕГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А.М. Фетисова, Р.В. Веселовский

Разработка глобальной шкалы геомагнитной полярности является одной из актуальных задач палеомагнитологии. Компиляция глобальной шкалы магнитной полярности перми и триаса выполняется путём сопоставления частных магнитостратиграфических шкал, составленных по результатам изучения наиболее полных и хорошо охарактеризованных разрезов осадочных и вулканических пород соответствующего возраста.

Недавно благодаря комплексным биостратиграфическим и детальным палеомагнитным исследованиям в бассейнах рек Клязьма и Ока - разрезы Жуков овраг, Слукино, Старое Слукино и Окский съезд, была составлена новая уточненная региональная магнитостратиграфическая шкала для пограничного пермо-триасового интервала Русской плиты. Согласно этой шкале низы быковского горизонта отвечают ортозоне  $R_2P$ , его верхняя часть соотносится с зоной  $N_2P$ . Нефедовский и жуковский горизонты верхневятского яруса выделяются в ортозону  $RnP$ , которая имеет достаточно сложное строение и в ней выделяются пять субзон –  $r_1RnP$ ,  $n_1RnP$ ,  $r_2RnP$ ,  $n_2RnP$ ,  $r_3RnP$ . В свою очередь зона  $r_3RnP$  имеет уникальное строение, имея в средней части, соответствующей основанию жуковского горизонта, зону аномальных палеомагнитных направлений  $a_1r_3RnP$ . Породы самой верхней части жуковского горизонта и нижней части вохминского образуют зону  $N_3P-T$ , которая сменяется зоной обратной полярности  $R_1T$  [1, 2].

Для подтверждения строения региональной магнитостратиграфической шкалы проведено переизучение разрезов долины р.Ветлуга. Опробовано шесть разрезов, которые были в последние годы детализированы биостратиграфическими методами и имеют более надежную привязку к современной стратиграфической шкале: Сосновка, Сухоборка, Воскресенское, Знаменское, Асташиха, Прудовка. Разрезы сложены континентальными пестроцветными, по большей своей части аллювиальными отложениями, в составе которых преобладают глины, алевролиты, пески и песчаники; в подчиненном количестве в виде тонких прослоев присутствуют известняки и мергели.

Отбор образцов в полевых условиях производился с четкой привязкой к слоям изучаемых разрезов, описанных ранее в работах [3, 4] и уточненных в ходе четырех проведенных экспедиций 2018-2022 гг. Лабораторные исследования выполнялись по общепринятой методике [5].

Сводный разрез долины р.Ветлуга соответствует ортозоне  $RnP$  и магнитозоне  $N_3P-T$ . Разрез Сосновка накапливался в эпоху обратной полярности и соответствует магнитной зоне  $r_1RnP$ , разрез Сухоборка - в эпоху прямой магнитной полярности  $n_1RnP$ . Низы разреза

Воскресенское соотносятся с зоной  $n_2RnP$ , середина отвечает магнитной зоне  $r_3RnP$ , в центральной части которой выделяется интервал с аномальной палеомагнитной записью  $a_1r_3RnP$ , верхняя часть разреза соответствует магнитозоне  $N_3P-T$ . Породы разрезов Знаменское, Асташиха и Прудовка намагничены в эпоху прямой полярности и также соответствуют магнитозоне  $N_3P-T$ . Показано, что смена знака магнитной полярности не приурочена к границе перми и триаса, и эпоха прямой магнитной полярности началась в самых верхах пермского периода.

Исследования проведены при поддержке гранта РФФ №22-27-00597.

#### Список литературы:

1. Фетисова А.М., Голубев В.К., Веселовский Р.В., Балабанов Ю.П. Палеомагнетизм и магнитостратиграфия опорных пермо-триасовых разрезов центральной части Русской плиты: Жуков овраг, Слукино и Окский съезд // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 10. С. 1401—1419. <https://doi.org/10.15372/GiG2021157>
2. Фетисова А.М., Веселовский Р.В., Сиротин К.А., Голубев В.К. Палеомагнетизм и циклостратиграфия пограничного интервала перми-триаса разреза Старое Слукино (Владимирская область) // Физика Земли. 2023. №2. С. 162–175. <https://doi.org/10.31857/S0002333723020060>
3. Арефьев М.П., Голубев В.К., Наумчева М.А. Предварительная корреляция пограничных отложений перми и триаса бассейнов рек Юга и Ветлуги // ПАЛЕОСТРАТ-2017. Годичное собрание (науч. конф.) секции палеонтологии МОИП и Моск. отд-ния Палеонтологического о-ва при РАН: Тез. докл. / Ред. А.С. Алексеев. – М.: Палеонтол. ин-т им. А.А. Борисяка РАН, 2017 — С. 6–7.
4. Голубев В.А., Арефьев М.П., Наумчева М.А., Бакаев А.С., Ульяхин А.В., Давыдов В.И., Силантьев В.В. О возрасте пермских отложений нижнего течения р. Ветлуга, Нижегородская область // ПАЛЕОСТРАТ-2019. Годичное собрание (науч. конф.) секции палеонтологии МОИП и Моск. отд-ния Палеонтологического о-ва при РАН: Тез. докл. / Ред. А.С. Алексеев. И Назарова В.М. – М.: Палеонтол. ин-т им. А.А. Борисяка РАН, 2019 — С. 21–22.
5. Tauxe L, Banerjee S.K., Butler R.F., Van der Voo R. Essentials of Paleomagnetism // 4th Web Edition. 2016.

## ИЗУЧЕНИЕ СКЛОНОВЫХ ПРОЦЕССОВ ЮБК С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ

И.Н. Модин, М.А. Романовская, А.Д. Скобелев

Предпосылки развития склоновых процессов на ЮБК: крутые склоны, значительные абсолютные отметки, расчлененность рельефа; обильные осадки; наличие глинистого материала в основании склонов, близость базиса эрозии; высокая трещиноватость пород, широкое распространение рыхлых отложений; абразионные процессы; сейсмичность; подрезка склонов, утечки из коммуникаций, строительство.

Катастрофические проявления оползней в Крыму с подвижками до 150 м на ЮБК происходят примерно раз в 100 лет. Самый крупный оползень сошел в 1786, ширина - 1 км, длина - 2 км (с. Оползневое). На ЮБК известно большое количество крупных блоковых оползневых тел: Адалары, Кошка, скала Шалапина, дача А.П. Чехова и т.д. Крупные обвальноподолзневые тела Крыма ряд исследователей относят к олистолитам [3]. Помимо склоновых процессов береговая линия Крыма подвергается постоянному воздействию абразии, скорость абразионных процессов достигает 2,5 м/год [2].

Нами были проведены полевые геологические и инструментальные геофизические исследования методом электротомографии на одном из объектов лагеря Артек - лагерь Кипарисное, с целью оценки оползневой опасности в связи с реконструкцией. Маршрутное изучение участка выявило большое количество отложений склонового ряда. Установлено несколько генераций склоновых отложений разного генезиса. Выявлены нарушения стен зданий, опорных стен автодороги, переполнение водосборных колодцев, наклон и изогнутость стволов деревьев на склоне, все это свидетельствует о проявлениях оползневых процессов и благоприятных условиях для их дальнейшего развития.

Электротомография со станцией Омега-48 [1] выполнена по системе из 13 профилей с максимальной длиной до 300 м с шагом 2.5 м. Использовалась двухсегментная коса с длиной одной расстановки 117.5 м. Переход с одной расстановки на другую проводился по технологии «Role-Along» с перекрытием на один сегмент (половина косы). Переходные сопротивления на электродах составили не более 3-5 кОм, что позволило использовать токи от 100 до 500 мА. Это обеспечило сравнительно высокий уровень принимаемых полезных сигналов и соответственно хорошую качество съемки. При измерениях использовалась комбинированная трехэлектродная установка  $A_{mn}+mnB$ , поэтому глубинность исследования составила около 45 м. Обработка и интерпретация данных проводилась по стандартному протоколу [4], который включал предварительный просмотр данных с оценкой точности повторяемости измерений, редакцию данных и удаление случайных отскоков и двумерную математическую инверсию

зарегистрированных электрических полей  $r_k(x,r)$  в геоэлектрический разрез  $r(x,z)$ . В нескольких местах были выполнены круговые электропрофилирования с симметричной установкой Шлюмберже.

Полученные данные инверсии были сведены в единый трехмерный геоэлектрический разрез. В результате было установлено, что аномальные зоны сгруппировались в отдельные блоки, которые имеют повышенное сопротивление. Горизонтальные размеры блоков составляют от 10-20 до 80 м, глубина до 30-40 м. Подавляющая часть блоков расположена в пределах минимума потенциальной гравитационной энергии, т.е. они занимают устойчивое положение в пределах прибрежной части. Их нижняя кромка расположена на глубинах примерно 0-10 м относительно уровня моря. Таким образом, олистолиты образуют прочный каркас, который сдерживает абразионно-оползневую динамику деградации береговой линии.

### **Выводы**

1. Проведенные исследования показали, что стабилизация берега на исследуемом участке ЮБК обеспечивается крупными оползневыми блоками скальных пород, состоящими из известняков. Олистоилиты, подобно гигантским зубьям, внедрены в породы таврической серии на глубину до 10 – 15 м.

2. Пластичные оползневые тела в значительной мере сдерживаются этими олистолитами, обтекая их в нескольких местах. На исследуемом участке основные массивы олистолитов сосредоточены в западной части и выходят на поверхность в виде скал у дачи А.П. Чехова. В восточном направлении количество олистолитовых глыб убывает, поэтому здесь могут протекать более интенсивные современные оползневые процессы.

3. Крупные блоки оползневых известняковых тел препятствуют не только развитию оползневых процессов, но и в значительной мере снижают абразионное воздействие волн, тем самым сохраняя пляжи и от размыва, а клифы от возникновения абразионных ниш и последующего обрушения.

### **Список литературы:**

1. Модин И.Н., Марченко М.Н., Комаров О.И., Семейкин Н.П. Электротомография — инновационный геофизический метод для эффективного решения инженерно-геологических задач // Трубопроводный транспорт. 2010. № 1(17). С. 33–37.
2. Суханова Т.В., Макарова Н.В. Новейшая тектоника равнинного Крыма как основа для гидрогеологических и экологических изысканий. Мат. конф. Ломоносовские чтения, МГУ, 2023.
3. Юдин В.В. Классификация олистостром. Труды Крымской Акад. наук, Симферополь, 2012. С.150-162.
4. Loke M.H., Barker R.D. Rapid least-square inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method // Geophysical Prospecting. 1996. V. 44. P. 131–152.



## ПРОБЛЕМА ВЫБОРА ЭКВИВАЛЕНТНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ АНАЛОГОВОМ МОДЕЛИРОВАНИИ: ПРИМЕР ЗОН СДВИГА

Н.С. Фролова, А.Н. Корбутяк, А.С. Циглер, Н.А. Арешин

Начало аналогового моделирования зон сдвига с использованием влажной глины было положено работами Г. Клооса и В. Риделя в 30-х годах прошлого века; этот материал применялся вплоть до 80-х годов. Позже за рубежом получили преимущество модели из сухого песка. Свойства и физические параметры этих материалов описаны во многих публикациях, при этом исследователи до сих пор спорят, какой же материал лучше использовать для воспроизведения структур верхней части земной коры. Следует заметить, что сравнительный анализ структурных парагенезов в моделях, изготовленных из влажной глины и сухого песка, был проведен лишь для зон сдвига Риделя [1], но и он является неполным. Для геологов, однако, важно знать, какие же модели лучше всего соответствуют тем или иным природным структурам. Это нужно и для интерпретации данных, полученных дистанционными методами, и для выбора материала для моделирования конкретных структур, с которыми связаны полезные ископаемые, и для анализа сейсмодислокаций.

Настоящая работа посвящена сравнению структурообразования в аналоговых моделях из глины разной влажности, сухого песка, а также песка с небольшими связующими добавками. Были воспроизведены, прежде всего, зоны сдвига Риделя (система «фундамент-чехол»); для их анализа были привлечены также материалы Лаборатории тектонофизики и геотектоники МГУ предыдущих лет. Кроме того, было проведено моделирование сложных сдвиговых зон транспрессии и транстенсии. Последние воспроизводились ранее (за редким исключением) лишь с помощью сухого песка. Для анализа структурообразования во времени проводилась непрерывная фотосъемка поверхности моделей с интервалами 30-60 сек. Ее результаты использовались для визуального дешифрирования и метода цифровой трассерной визуализации (PIV). Для изучения структуры на глубине делались вертикальные разрезы моделей из сухого песка после смачивания их водой или раствором желатина.

Сравнение экспериментов показало, что модели из влажной глины и песка в основных чертах сходны: в тех и других формируются синтетические R-сколы, Y-сколы и валообразные поднятия между концами сколов Риделя. Однако различия весьма существенны. Сколы Риделя в моделях из глины формируются путем объединения мельчайших кулисообразно расположенных трещинок скалывания, а в моделях из песка те же сколы представляют собой результат объединения мелких трещинок отрыва. В песчаных моделях развиваются лишь R-сколы, в то время как R'-сколы отсутствуют, также не обнаруживаются и P-сколы, которые нередки в глиняных моделях. Упомянутые валообразные поднятия во влажной глине нередко ограничены субгоризонтальными надвигами, в то время как в песке это всегда крутые взбросы. Кроме того,

если в модель из влажной глины ввести неоднородности, имитирующие слоистость, то на начальной стадии структурообразования формируются складки продольного изгиба, перпендикулярные оси максимального сжатия, что не свойственно моделям из песка. В моделях трансенсии и транспрессии из влажной глины и песка также имеется ряд отличий.

Предварительное сравнение моделей с природными структурами показывает, что крупные структуры, сформированные в неметаморфизованном осадочном чехле над разломом фундамента, чаще сходны с аналоговыми моделями из песка. В менее податливых толщах и телах просматриваются аналогии с моделями из влажной глины. Что касается сдвиговых сейсмодислокаций, то, как и следовало ожидать, их структура в рыхлых молодых отложениях соответствует таковой в песке, а в глинистых отложениях – во влажной глине.

#### Список литературы:

1. Dooley T.P., Schreurs G. Analogue modelling of intraplate strike-slip tectonics: A review and new experimental results // *Tectonophysics*. 2012. № 574–575. P. 1–71.