

Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова

Геологический факультет



НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

***ЛОМОНОСОВСКИЕ  
ЧТЕНИЯ***

***СЕКЦИЯ ГЕОЛОГИИ***

***Подсекция  
динамической геологии***

Руководитель – зав. кафедрой, профессор Короновский Н.В.

СБОРНИК  
ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Москва  
2021

## Содержание:

1.	Структурно-геоморфологический анализ и сейсмичность Северо-Западного сегмента Большого Кавказа и связь с сейсмичностью Л.В. Панина, В.А. Зайцев . . . . .	2
2.	Цикличность развития рельефа западной части Северо-Гвинейской возвышенности и ее обрамления (Западная Африка) В.А. Зайцев, Л.В. Панина . . . . .	4
3.	Структурные особенности и флюидопроницаемость земной коры Российского сектора Евразии (вариант прогноза) А.И.Полетаев . . . . .	6
4.	Метаморфизм офиолитовой ассоциации района мыса Фиолент (Юго-Западный Крым) М.Ю. Промыслова, Л.И. Демина, В.Л. Косоруков, А.В. Валл . . . . .	8
5.	Возможные механизмы внедрения офиолитов в земную кору Таймырского орогена В.С. Захаров, Л.И. Демина, М.Ю. Промыслова . . . . .	11
6.	Суперконтинентальная цикличность на фоне проявления антисимметрии северного и южного полушарий Земли Н.А. Божко . . . . .	14
7.	Выделение сейсмически активных участков Воронежской антеклизы по данным кластерного анализа морфометрических параметров рельефа А.О. Агибалов, А.И. Полетаев, А.А. Сенцов . . . . .	17
8.	Современная кинематика южной части разломной системы Сан-Андреас (сегмент Коачелла) по данным GPS Д.А. Симонова, М.В. Маркевич . . . . .	20
9.	Новейшие структуры Северо-восточной части Таймыра и их связь с гравитационными аномалиями В.С. Захаров, Г.В. Брянцева, Н.И. Косевич . . . . .	22
10.	Особенности палеогеографических условий формирования фанерозойских черных сланцев Северной Евразии А.Н. Стафеев, А.А. Сусллова, А.В. Ступакова . . . . .	25
11.	Структурно-геоморфологические и геодинамические исследования территорий размещения атомных станций на Восточно-Европейской платформе Т.В. Суханова, Н.В. Макарова . . . . .	27
12.	Формирование трещин в интрузиях при сдвиге: первые результаты аналогового моделирования Н.С. Фролова, Н.А. Арешин . . . . .	29

# СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО СЕГМЕНТА БОЛЬШОГО КАВКАЗА И СВЯЗЬ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ

Л.В. Панина, В.А. Зайцев

В основу структурно-геоморфологического анализа, направленного на выявление новейших дислокаций Северо-Западного Кавказа и прилегающей территории восточной части Центрального Кавказа (до меридиана р. Чегем), положено дешифрирование топографической карты 1:200 000 масштаба с использованием ГИС-технологий. Полученные результаты сопоставлены с геолого-геофизическими материалами, включая данные предыдущих исследований авторов, а также с проявлением сейсмичности.

Цель настоящих исследований — установление связей новейших дислокаций с сейсмичностью и выявление наиболее активных в геодинамическом отношении районов. Как известно, этой проблеме посвящено много работ. Среди них особого внимания заслуживают обобщающие монографии, появившиеся, начиная с 60-х годов прошлого столетия, В.Е. Хаина, В.М. Муратова (1962), Е.Е. Милановского (1968), Л.П. Полканова (1971), Н.И. Николаева (1979), А.И. Летавина и В.М. Перервы (1987), С.А. Несмеянова (1992, 1999), Е.А. Рогожина, А.Н. Овсяченко и др.(2006;2014;2019).

Составленная нами структурно-геоморфологическая карта, отражает сводово-блоковый стиль новейших дислокаций альпийского горно-складчатого сооружения Большого Кавказа. В рельефе — это асимметричное сводово-глыбовое поднятие с пологим широким северным и крутым узким южным склонами, разбитое на блоки. На периферии Северо-Западного Кавказа (Новороссийское поднятие) и на севере Центрального сегмента (район Кавказских Минеральных Вод) выявлены пликативные структуры — развивающиеся поднятия. Разноамплитудные и разноранговые блоки рельефа отделяются друг от друга слабыми зонами, которые часто являются разрывными нарушениями (сбросами, взбросами, надвигами, сбросо-сдвигами). Для слабых зон характерны субширотное, субмеридиональное и диагональное простирания. Комбинация слабых зон разного простирания, ограничивающих блоки, создает структурный рисунок орогена. Блоками с максимальными амплитудами конэрозионных поднятий выражено субширотное центральное сводовое поднятие Большого Кавказа, которое с севера и юга обрамляются системами понижающихся блоков кавказского простирания, формирующих его склоны. Помимо продольной, ярко читается и поперечная к орогену зональность, выраженная ступенчатым характером блоков рельефа, амплитуды поднятий которых уменьшаются в направлении от Центрального сегмента Кавказа к Северо-Западному. Субмеридиональные дислокации фрагментарно разрабатывают долины крупных рек Белая, Малая и Большая Лаба, Большой Зеленчук, Теберда, Подкумок и др. в пределах Центрального сегмента и Усть-Кубанская (Анапско-Темрюкская), Новороссийская, Дивноморская,

Краснодарская, Новомихайловская, Туапсинская зоны и др. в области Северо-Западного Кавказа. Эти протяженные зоны служат границами крупных блоков рельефа. Отчетливо выражена в рельефе Пшехско-Адлерская зона разломов, которая подчеркивает резкий переход от Центрального сегмента с более высокими абсолютными отметками блоков к Северо-Западному, где амплитуды блоков значительно ниже.

Конфигурация блоков, их альтитуды, простираение слабых зон отражают рисунок новейших структур [1] с той лишь разницей, что на структурно-геоморфологической карте новейшие дислокации показаны более детально. Ранее авторами для ряда обнажений Центрального и Северо-Западного Кавказа было установлено, что трещиноватость горных пород, независимо от их возраста, определяет характер ориентировки современной эрозионной сети [2], которая является основным признаком дешифрирования слабых зон. Этот факт позволяет говорить о том, что выявленные слабые зоны, скорее всего, являются тектоническими дислокациями (разрывами, трещинами), что подтверждает корреляция их с землетрясениями. Для каждого блока было рассчитано суммарное количество выделившейся сейсмической энергии. Установлено, что наибольшее количество землетрясений приурочено к высокоамплитудным блокам западной части Центрального сегмента (район Теберды, Домбая, Архыза); растущим поднятиям, приуроченным к западной периферии Пастбищного хребта (юго-восточнее Чекеска); району Кавказских Минеральных Вод; к пограничному с Северо-Западным Кавказом району Красная Поляна. В пределах Северо-Западного сегмента выделяются два района с высокой сейсмической энергией – это блоки сводового поднятия орогена и его склонов между Пшехско-Адлерской зоной на востоке и р. Пшиш на западе, а также область Новороссийского поднятия (район Анапы) на северо-западной периферии Кавказа. Таким образом, прослеживается тесная связь выявленных структурно-геоморфологическим методом новейших дислокаций с сейсмичностью, что указывает на их активизацию на современном этапе.

#### Литература

1. Панина Л.В., Зайцев В.А., Агибалов А.О., Мануилова Е.А., Бардышев Г.П. Основные черты новейшей геодинамики Северо-Западного и Центрального Кавказа // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология, 2021. №1. С. 3-14.
2. Зайцев В.А., Панина Л.В., Мануилова Е.А. Влияние ориентировки трещиноватости горных пород на характер новейших дислокаций Северо-Западного Кавказа // Матлы Всеросс. научн.конф «Прикладные аспекты динамической геологии», посвященной 110 годовщине со дня рождения Г.П. Горшкова (1909-1984). М.: Перо, 2019. С. 85-89. <http://www.geodisaster.ru/uploads/images/konferencea/Gorchkov.pdf>.

## ЦИКЛИЧНОСТЬ РАЗВИТИЯ РЕЛЬЕФА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРО-ГВИНЕЙСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ И ЕЕ ОБРАМЛЕНИЯ (ЗАПАДНАЯ АФРИКА).

В.А. Зайцев, Л.В. Панина.

Рассматриваемая территория охватывает западную часть Гвинейского плоскогорья. В северо-западной части этой геоморфологической области располагается крупнейшая бокситоносная провинция, получившая название Фута Джалон-Мандинго (ФДМ). В ее пределах, на сравнительно небольшой (130503 км<sup>2</sup>) площади, сосредоточено более 47 млрд. тонн бокситов (половина мировых ресурсов), в основном более высокого качества относительно других бокситоносных провинций Мира. Для рассматриваемой территории, находящейся длительное время в условиях жаркого тропического климата муссонного типа с широким развитием кор выветривания, геоморфологический фактор является весьма важным в различных аспектах влияния на условия образования и сохранности месторождений полезных ископаемых, связанных с процессами латеритного выветривания.

Выполненное геоморфологическое районирование данной территории показало, что основная часть бокситоносных кор выветривания приурочена к плоскоступенчатой ассиметричной морфоструктуре Фута Джалон-Мандинго, сформировавшейся преимущественно по субгоризонтально залегающим породам платформенного чехла позднепротерозойского и палеозойского возраста. Для выявления средне-позднемиоценовой поверхности выравнивания, наряду с сохранившимися в редких случаях остатками бокситизированных отложений серии Сангареди, были широко использованы геохимические и минералого-петрографические особенности бокситов. Картирование прежде всего этого геоморфологического цикла рельефа позволило более точно выявить этапность формирования рельефа. Было установлено, что гондванская и постгондванская поверхности выравнивания к настоящему времени не сохранились.

Наиболее древней на данной территории является Африканская поверхность выравнивания, сформировавшаяся в маастрихте – среднем эоцене (K<sub>2</sub><sup>6</sup>m - P<sub>2</sub><sup>2</sup>). Косвенно о том, что на континентальной части Западной Африки существовал домаастрихтский рельеф свидетельствует мощная толща маастрихтских песков в сопряженной периокеанической впадине. Более того, судя по преимущественно кварцевому составу этих песков, размыву на суше подвергались коры выветривания глубокой химической проработки. Морфометрический анализ данной территории, выполненный по методу В.П. Философова (1960), позволил установить, что именно к этому этапу приурочено формирование речных долин 7 порядка. Морфоструктура, сформировавшаяся за данный интервал времени, представляет собой крупное сводовое поднятие, купол которого располагался в верховьях современной долины реки Нигер.

С периодом формирования долин 6-го порядка связано начало воздымания плато Фута Джалон-Мандинго и Гвинейской возвышенности. Именно на этом этапе рассматриваемая территория приобрела основные черты современного геоморфологического районирования. Помимо поднятий обособились равнинные территории – Приморская и Межгорная. Отметим, что возраст формирования речных долин данного порядка ассоциируется с позднеэоцен – раннемиоценовой ( $P_2^3 - N_1^1$ ) стадией новейшего этапа.

Анализ речных долин 5-го порядка позволил уточнить историю формирования рельефа за вторую средне-позднемиоценовую ( $N_1^2 - N_1^3$ ) фазу неотектонических движений. На этой стадии сформировалась большая часть морфоструктур по периферии крупных поднятий, существовавших ранее на предыдущем этапе развития. Изометричные поднятия стали более вытянутыми. Кардинальные изменения коснулись плато Фута Джалон-Мандинго, которое начало приобретать современные очертания. Именно на этом этапе наблюдается приуроченность к сводам подавляющего большинства известных месторождений бокситов, что позволило присвоить данному этапу название «главного бокситоносного».

Следующий этап становления рельефа, по-видимому, следует ассоциировать с пьедестальным уровнем поверхностей выравнивания, датированным плиоцен – раннеплейстоценовым ( $N_2 - Q_1$ ) возрастом. В это время формируются речные долины 3-го и 4-го порядков.

И, наконец, наиболее молодой этап рельефообразования соответствует геоморфологическому циклу формирования нижней денудационной поверхности, имеющей среднеплейстоценовый ( $Q_{II}$ ) возраст образования. Рельеф становится более дифференцированным, что свидетельствует о наиболее высокой степени неотектонической активности.

Таким образом, наблюдается полное соответствие между выявленными эрозионными этапами и геоморфологическими циклами, установленными при помощи анализа поверхностей выравнивания. Надежное датирование рельефа и знание этапов геоморфологического развития региона позволяет прогнозировать выявление полезных ископаемых (особенно связанных с латеритными корами выветривания) и более результативно планировать и проводить поисково-разведочные работы.

## СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ФЛЮИДОПРОНИЦАЕМОСТЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ (ВАРИАНТ ПРОГНОЗА)

А.И.Полетаев

В результате исследований по кафедральной программе: «*Новейшая геодинамика и её влияние на фильтрационные свойства геологической среды*» (руководитель В.А. Зайцев), проведённых в 2017 – 2020 годах, получены данные, которые позволяют сделать вывод о взаимосвязи структурных особенностей земной коры и её флюидопроницаемости на разных масштабных уровнях: от локального – Московский регион до регионального – Восточно-Европейская платформа.

Эти выводы, опубликованные в трёх статьях [Полетаев, 2019; Полетаев, 2020; Полетаев, 2021) и сводящиеся к следующим положениям:

– линейные структуры – **линеаменты**, тотально пронизывающие структуру земной коры Восточно-Европейской платформы, могут, с одной стороны, рассматриваться, «...как результат фильтрации высоконапорных флюидов вдоль пассивных разломов фундамента» [Гончаров, 2002], с другой – могут быть путями, если можно так сказать, **рассеянной** фильтрации и дегазации;

– **узловые структуры**, характеризующиеся «аномальной тектонической раздробленностью, геодинамической подвижностью и флюидопроницаемостью» [Полетаев, 1992, с. 44], могут считаться участками максимальной фильтрации и дегазации, о чём свидетельствуют месторождения различных полезных ископаемых, приуроченных именно к этим структурам;

– **клиновидные структуры** обладают **площадной** фильтрацией;

– **кольцевые структуры**, широко развитые в земной коре Восточно-Европейской платформы, также обладают площадной, но уже специфической, можно предположить, **кольцевой** же флюидизацией, а участки концентрированной фильтрации тяготеют, как это не покажется странным, не к центру кольцевых структур, а к их периферии, что ярко «иллюстрируется» периферийным расположением месторождений различных полезных ископаемых;

– предполагаемые **ротационные** (вращательные) процессы, намеченные в «теле» ВЕП, способствуют появлению структур «*расклинки*», обладающих повышенной фильтрационностью и флюидопроницаемостью,

могут быть, вероятно, распространены и на территорию всего Российского сектора Евразии, что частично, на примере узловых структур, уже показано [Перцов и др., 2002].

## Литература

1. Гончаров М.А. Не выраженные в рельефе природные линеаменты платформенного чехла как результат фильтрации высоконапорных флюидов вдоль пассивных разломов фундамента / Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Материалы Всероссийского совещания «Современная геодинамика и сейсмичность Центральной Азии: фундаментальный и прикладной аспекты» (Иркутск, Институт земной коры СО РАН, 20 – 23 сентября 2005г.). Вып.3. – Иркутск. 2005.С. 23 – 25.
2. Перцов А.В., Антипов В.С., Гальперов Г.В., Турченко С.И. Линеаментная сеть, контролирующая размещение суперкрупных месторождений России // Докл. РАН, 2002. Т.383. №1. – С. 87 – 89.
3. Полетаев А.И. Узловые структуры земной коры. – М.: МГП «Геоинформмарк», 1992. – 51с.
4. Полетаев А.И. Особые структурные формы (ОСФ) (линейные, клиновидные, узловые, кольцевые и ротационные) и их влияние на фильтрационные свойства геологической среды. Статья первая. Линейные (линеаменты) и клиновидные и структурные формы и их влияние на фильтрационные свойства геологической среды Восточно-Европейской платформы // Электронный научно - образовательный журнал «Динамическая геология». – Москва: МГУ, 2019г., №1. С. 48 – 78.
5. Полетаев А.И. Особые структурные формы (ОСФ) земной коры. Статья вторая: Ротационные структурные формы и их влияние на фильтрационные свойства геологической среды Восточно-Европейской платформы // [Электронный научно-образовательный журнал «Динамическая геология»](http://www.geodisaster.ru). <http://www.geodisaster.ru>, 2020, № 2, с. 107-124
6. Полетаев А.И. Особые структурные формы (ОСФ) земной коры и их влияние на фильтрационные свойства геологической среды Восточно-Европейской платформы. Статья третья: заключительная // Электронный научно-образовательный журнал «Динамическая геология», 2021, № 1, с. 52-92.



# МЕТАМОРФИЗМ ОФИОЛИТОВОЙ АССОЦИАЦИИ РАЙОНА МЫСА ФИОЛЕНТ (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ КРЫМ)

М.Ю. Промыслова, Л.И. Демина, В.Л. Косоруков, А.В. Валл

Магматические породы Горного Крыма традиционно делились на палеотипные и кайнотипные. Первые относились к спилит-кератофировой формации [4, 6, 10], что подразумевало высокую степень их измененности. По сути, это уже метаморфические породы, хотя первичные магматические структуры и текстуры довольно часто хорошо сохранились, в то время как первичный минеральный состав претерпел существенные изменения, а в некоторых случаях полностью замещен вторичными метаморфическими и метасоматическими парагенезисами. Согласно Э.М. Спиридонову [11], степень метаморфизма магматических пород киммерид Горного Крыма соответствует цеолитовой и пренит-пумпеллиитовой фациям.

Нами изучались измененные магматиты офиолитовой ассоциации, развитой в береговых обрывах Фиолента от Мраморной балки до северо-западного окончания бухты Александры. Здесь встречаются метаперидотиты и серпентиниты, метагаббро, метагаббро-долериты, метадолериты, метабазальты и метариолиты. Метаперидотиты и серпентиниты обнажаются на северо-западном окончании выходов офиолитовой ассоциации, а также присутствуют в брекчиях основания мыса Львенок. Метагаббро слагают скалу Утюг, мыс Крокодил, часть клифа бухты Александры. Метагаббро-долериты встречены в юго-восточной части мыса Виноградный и в основании мыса Лермонтова. Метабазальты слагают скальные обрывы Мраморной, Виноградской, Царской бухт и протягиваются сплошной стеной от мыса Лермонтова до мыса Фиолент, занимая также его восточную часть. Метариолиты и их брекчии распространены преимущественно к востоку от мыса Фиолент.

В метамагматитах западной и центральной частей Фиолента установлены парагенезисы эпидот-хлоритовой и актинолит-альбитовой минеральных ступеней зеленосланцевой фации [9]. Температура метаморфизма, рассчитанная по хлоритовому геотермометру [2] для серпентинитов, метаперидотитов, метагаббро, метадолеритов и метабазальтов находится в интервале 300-390° С, что соответствует зеленосланцевой фации [13].

В метабазальтах, слагающих обрывы Царской бухты, развиты прожилки пренита как в лавах, так и в межподушечных брекчиях. В последних были встречены обломки серпентинитов. Как показал рентгенофазовый анализ, серпентин представлен антигоритом, который является более высокотемпературной фазой по сравнению с хризотилом и

характерен для пород зеленосланцевой фации метаморфизма. Этот факт свидетельствует о том, что в межподушечных брекчиях присутствуют породы, метаморфизованные до момента их захоронения в лавах. Пренит устойчив в условиях как пренит-пумпеллиитовой, так и цеолитовой фации [5]. Таким образом можно сделать вывод о двух разновозрастных и разнофациальных стадиях метаморфизма. Более ранний метаморфизм являлся также и более высокотемпературным.

В целом степень метаморфизма офиолитов возрастает с юго-востока на северо-запад. Отметим, что наращивание разреза офиолитовой ассоциации происходит в обратном направлении. В клифе западной части Яшмовой бухты тектонически совмещены подушечные лавы, существенно различающиеся по степени метаморфизма от зеленосланцевой до цеолитовой фаций. Вполне вероятно, что они представляют собой различные части лавовых разрезов. Аналогичная ситуация наблюдается и в клифе Мраморной бухты, где также обнажаются подушечные лавы с разной степенью метаморфизма, разделенные толщей брекчий [8].

Метаморфизм офиолитовой ассоциации относится к особому океаническому типу, который проявляется в зонах спрединга океанов и задуговых бассейнов. Метаморфические породы в подобных зонах чрезвычайно широко распространены [1, 3, 5]. Набор горных пород (метаперидотиты, метагаббро, метадолериты и метабазальты), характер изменений (присутствие пород зеленосланцевой и цеолитовой фаций), широкое развитие смектитов, в том числе и вторичных по серпентинам, хорошая сохранность первичных магматических структур и текстур аналогичны офиолитам района мыса Фиолент. Их принадлежность к зоне спрединга задугового бассейна была показана в работе [7].

Метамагматиты офиолитовой ассоциации разбиты многочисленными разрывами различных простираний и падений, где они брекчированы, катаклазированы, милонитизированы, рассланцованы и сильно изменены. Эти, существенно более поздние процессы, связаны с формированием выделенной В.В. Юдиным [12] позднеюрско-раннемеловой Предгорной коллизионной сутуры.

### Литература

1. Гричук Д.В. Термодинамические модели субмаринных гидротермальных систем. М.: Научный мир, 2000. 304 с.
2. Котельников А.Р., Н.И. Сук, Котельникова З.А., Щекина Т.И., Калинин Г.М. Минеральные геотермометры для низкотемпературных парагенезисов ВЕСТНИК ОНЗ РАН, ТОМ 4, NZ9001, doi:10.2205/2012NZ\_ASEMPG, 2012.

3. Курносков В.Б. Гидротермальные изменения базальтов в Тихом океане и металлоносные отложения (по материалам глубоководного бурения). М.: Наука, 1986. 251 с.
4. Лебединский В. И., Макаров Н. Н. Вулканизм Горного Крыма. Киев: АН Укр. ССР, 1962. 202 с.
5. Миясиро А., Сидо Ф., Юинг М. Метаморфизм в пределах Срединно-Атлантического хребта близ 24 и 30° с. ш. // Петрология изверженных и метаморфических пород дна океана. М.: Мир. 1973. С. 140–153.
6. Муратов М. В. (ред.) Геология СССР. Крым. Том 8. Часть 1. Геологическое описание. М.: Недра. 1969. 575 с.
7. Промыслова М.Ю., Демина Л.И., Бычков А.Ю., Гушин А.И., Короновский Н.В., Царев В.В. Офиолитовая ассоциация района мыса Фиолент (Юго-Западный Крым) // Геотектоника. 2016. № 1. С. 25–40.
8. Промыслова М.Ю., Демина Л.И., Гушин А.И., Короновский Н.В. Типы брекчий офиолитовой ассоциации Юго-Западного Крыма и их значение для палеогеодинамики региона // Вестник МГУ. Серия 4, геология. 2017. № 2. С. 35–40.
9. Промыслова М.Ю., Демина Л.И., Косоруков В.Л., Царев В.В. Метаморфизм офиолитов района мыса Фиолент (Юго-Западный Крым) // Геодинамические обстановки и термодинамические условия регионального метаморфизма в докембрии и фанерозое. Материалы V Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия. СПб.: Springer, ИГГД РАН, 2017. С. 151–153.
10. Спиридонов Э.М., Федоров Т.О., Ряховский В.М. Магматические образования Горного Крыма // Бюл. Моск. об-ва испытателей природы. Отд. Геол. 1990. Т. 65. Вып. 4. С. 119–133.
11. Спиридонов Э.М. Метаморфические образования киммерид Горного Крыма // Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии. Материалы I Тектонического совещания «Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии». Т. 2. М.: ГЕОС, 2018. С. 223–227.
12. Юдин В.В. Геодинамика Крыма. Симферополь: ДИАЙПИ. 2011. 333 с.
13. Philpotts A.R., Ague JAY J. Principles of Igneous and Metamorphic Petrology. Cambridge University Press. Second edition, 8th printing, 2009. 645 p.

## ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВНЕДРЕНИЯ ОФИОЛИТОВ В ЗЕМНУЮ КОРУ ТАЙМЫРСКОГО ОРОГЕНА

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

Основным механизмом поступления офиолитов в континентальную кору в настоящее время считается обдукция – надвигание тектонических пластин, сложенных фрагментами океанической коры, на континентальную окраину [4]. При этом образуется один тектонический контакт, метаморфическая подошва и интровертированная зональность в породах автохтона. Существенно реже для понимания геологического положения офиолитов используется интродукция – внедрение фрагментов океанической коры в континентальную [5]. В этом случае имеется два тектонических контакта, а метаморфическим преобразованиям подвергаются как офиолиты, так и вмещающие толщи вблизи обоих контактов. Именно такой механизм мы предполагаем для Становских офиолитов Фаддеевского блока Северо-Восточного Таймыра.

В составе Фаддеевского блока (выступа, террейна) Центрально-Таймырской тектонической зоны Северо-Восточного Таймыра распространены наиболее сильнодислоцированные и глубокометаморфизованные породы полуострова. Метаморфические толщи, развитые в бассейне р. Становой непосредственно к югу от залива Фаддея были разделены нами на три отличающихся по составу и степени метаморфизма комплекса: Западный, Восточный и Становской [2]. Становской позднерифейский комплекс офиолитов разграничивает различающиеся как по составу, так и по степени метаморфизма толщи мезопротерозойского возраста и образовался в результате интродукции офиолитов в континентальную кору во время вендской коллизии [3].

Признаками интродукции являются морфология серпентинитовых тел, ограниченность разрывными нарушениями, наличие фрагментов вмещающих толщ окружающих метаморфитов внутри Становского комплекса, характер метаморфизма, высокая деформированность пород как офиолитов, так и толщ контактовых зон вмещающих пород, минеральные парагенезисы вторичных преобразований.

Результаты численного моделирования конвергенции (субдукции – коллизии) [1], проведенного с использованием кода, предоставленного Т.В.Герей [6], позволяют предложить сценарий, объясняющий наличие фрагментов океанической коры в составе Таймырского орогена. В ходе субдукции океанической коры под континентальную на активной окраине континента формируется аккреционная призма. На финальных этапах субдукции происходит срыв части погружающейся океанической коры, которая внедряется в

аккреционную призму. В ходе конвергенции фрагменты океанической коры подвергаются деформации, фрагментации, и затем входят во фронтальную зону формирующегося аккреционного комплекса.

В процессе конвергенции происходит деляминация и откат погружающегося литосферного слэба, что приводит к подъему под ороген горячей частично расплавленной астеносферной мантии, в которой происходит генерации базальтового расплава в значительном объеме. Вследствие этого формируется задуговой бассейн шириной до 150-200 км с вновь образованной корой океанического типа. После окончания субдукции и закрытия океанического бассейна начинается стадия континентальной коллизии. Формируются и развиваются разрывные нарушения, надвиги и скучивание континентальной коры. В процессе коллизии формируется коллизионный ороген (до 4–5 км в высоту).

В ходе продолжающейся конвергенции в условиях значительных сжимающих горизонтальных напряжений в задуговой области происходит инверсия: задуговой бассейн подвергается сжатию и в итоге закрывается, при этом вновь сформированная кора океанического типа также внедряется в центральную часть коллизионного орогена.

Таким образом, результаты моделирования показывают, что фрагменты океанической коры (офиолиты), внедренные в метаморфизованные комплексы континентальной коры в ходе коллизии, могут иметь двойное происхождение: из первичной океанической коры, внедрившейся в аккреционный комплекс; из вновь образованной коры задугового бассейна, вошедшей при конвергенции в структуру коллизионного орогена.

Детальный анализ химического состава Становских офиолитов указывает на их формирование в надсубдукционной обстановке задугового бассейна, что обосновывает возможность второго сценария.

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

2. Демина Л.И., Промыслова М.Ю. Метаморфические комплексы Фаддеевского блока Северо-Восточного Таймыра // *Динамическая геология*. 2019. № 2. С. 4–16.
3. Демина Л.И., Захаров В.С., Промыслова М.Ю. Становские офиолиты Фаддеевского блока Северо-Восточного Таймыра: обдукция или интродукция? // *Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики. Том I. Материалы LIТектонического совещания*. М.: ГЕОС. 2020. С. 205-208.
4. Колман Р.Г. Офиолиты. М.: Мир, 1979. 262 с.
5. Основы геодинамического анализа при геологическом картировании. МПР РФ, ВСЕГЕИ, ГЕОКАРТ, МАНПО, 1997. 518 с.
6. 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. Int.* 2003. Vol. 140. P. 293-318.

## СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНАЯ ЦИКЛИЧНОСТЬ НА ФОНЕ ПРОЯВЛЕНИЯ АНТИСИММЕТРИИ СЕВЕРНОГО И ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЙ ЗЕМЛИ

Н.А. Божко

В свете современных данных рассматривается проявление антисимметрии в системе Северного и Южного полушарий Земли за последние 3 млрд лет в ходе предложенной автором суперконтинентальной цикличности с циклом (СЦ) в 400 млн лет.

**СЦ 2720-2320 млн лет.** После распада суперконтинента Кенорленд (Пангея 0) образованием молодых океанов была охвачена лишь территории современных Южной Австралии, Антарктиды, Индии, западной Африки и возможно Северного Китая. В этих областях имело место дробление архейской коры с новообразованием океанических бассейнов, предопределивших формирование складчатых поясов в результате Слифордской орогении Австралии и сопоставимых с ней орогений в других указанных регионах. Развитие этих конвергентных процессов в интервале 2.3 – 2.4 млрд лет привело к образованию суперконтинента Ятулия.

**СЦ 2320-1920 млн лет.** Распад этого суперконтинента и сборка нового происходили неравномерно. Раньше произошли раскрытия в южной полусфере, преимущественно в западной Гондване. Здесь произошло заложение Бирримского орогенического пояса Западной Африки, Трансамазонского пояса Южной Америки и других. На уровне около 2.2-2.0 млрд лет в них происходят коллизионные процессы, отмеченные Эбурнейской (2.1-2.2 млрд лет) и синхронными орогениями, Указанные процессы завершились созданием мегаконтинента Атлантика.

Распад северной (в современных координатах) части Ятулии произошел приблизительно на 70 млн лет позже ее южной части, но выразился в более значительном масштабе. При этом, процессам растяжения и океанообразования в континентах северного ряда отвечает по времени развитие коллизионных процессов в гондванских материках. В конце цикла, в результате Трансгудзонской (1.8 млрд лет) и синхронной ей орогений были образованы многочисленные орогены: Трансгудзонский, Свекофеннский, Ажитканский, Северо-Китайский и др.

В результате этих коллизий, возникли мегаконтиненты Нена и Арктика, слияние которых между собой и с ранее образованным южным континентом на уровне около 1.8 млрд лет привело к созданию нового суперконтинента Колумбия (Пангея 1).

**СЦ 1920-1520 млн лет.** Фрагментация Колумбии не была столь глобальной как распад суперконтинента в предыдущем цикле, значительная ее часть уцелела от распада, а дробление коры и океанообразование происходили преимущественно в южной полусфере.

Конвергентная фаза рассматриваемого цикла включает ряд коллизионных событий, в результате которых был создан коллаж континентальных блоков Восточной Гондваны. К ним относятся Айзанская и другие орогении Австралии, Сатпурская Индии, Ипембе Намибии, Негро Джуруена Южной Америки, Лабрадорская Канады, Готская Скандинавии. Объединение континентальных фрагментов в конце данного СЦ привело к созданию нового суперконтинента Готия.

**СЦ 1520-1120 млн лет.** Распад Готии привел к раскрытию Гренвильского, Свеконорвежского, Байкало-Патомского океанов, между блоками Янцзы и Катазия, а южном ряду - океана Намаква-Наталь и кибарских трогов Африки, поясов Агупеи-Сунсас, Южной Америки, фрагментации Австралийского кратона. Основные корообразующие процессы этого цикла происходят в северной полусфере. В южном ряду к событиям такого масштаба, можно отнести, пожалуй, таковые в поясе Намаква-Наталь-Лурио. Другие подвижные зоны развивались в интракратонном режиме (Кибарида), либо испытывали тектоно-термальную переработку. Конвергентная стадия цикла отражена в соответствующих орогениях на уровне 1100-1000 млн. лет, объединенных под общим названием гренвильских, приведших к созданию суперконтинента Родиния.

**СЦ 1120-720 млн лет** СЦ 1120-720 млн лет. Распад Родинии локализовался в основном в пределах южной полусферы и выразился как в новообразовании океанических бассейнов (Гойянского, Хоггаро-Атакорского, Адаматор, Палео-Азиатского и др.), так и интракратонных прогибов (Дамаро-Катангского и др.). Начало конвергентной стадии цикла отмечено первыми субдукционными процессами в Палеоазиатском и Гойянском океанах на уровне около 850 млн лет. Завершение стадии отмечено континентальными коллизиями, главнейшие из них происходили в южном полушарии (Пан-Африканская орогения) в интервале 750- 650 (500) млн. лет и привели к слиянию всех южных континентальных фрагментов в мегаконтинент Гондвана. В Лавразии орогения синхронная Пан-Африканской практически не проявилась. Главные орогенические процессы на окраине кратона Янцзы и по-видимому в Енисейском кряже происходили и закончились раньше, в интервале- 880-750 млн. лет.

**СЦ 720-320 млн лет.** Распад Паннотии к началу кембрия привел к полному отделению монолитной Гондваны и активному расколу Лавразии с обособлением континентов Лаврентия. Балтика и Сибирь, разделенных новообразованными океанами. В процессе каледонской, герцинской и киммерийской складчатостей, спаявших Лавразию. Гондвана оставалась в основном когерентной. К рубежу 320 млн. лет, в основном, была закончена коллизия новообразованной Лавразии и Гондваны и возникновение Пангеи. Распад Пангеи, начавшийся 170 млн. лет в дальнейшем продолжался асимметрично,



локализуясь, в основном в пределах Гондваны где образуются последовательно молодые океаны и, разделенные ими континенты.

Анализ современных данных свидетельствует о существовании долгоживущей глобальной асимметрической геодинамической системы Северного и Южного полушарий Земли. Данная асимметрия выражается в контрастах тектонической активности этих полушарий, отмечаемых как между суперконтинентальными циклами, так и внутри отдельных циклов, что проявляется в степени фрагментации суперконтинентов при их распаде; асинхронности коллизионных процессов при сборке; преобладающем развитии в одной из названных полусфер определенных тектонических элементов и магматизма. Проявление данной антисимметрии носит знакопеременный характер от цикла к циклу и увеличивается в ходе геологического времени.

## ВЫДЕЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ УЧАСТКОВ ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ ПО ДАННЫМ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬЕФА

А.О. Агибалов (ст. науч. с., ИФЗ РАН), А.И. Полетаев (зав. лаб. геологических исследований космическими методами), А.А. Сенцов (науч. с., ИФЗ РАН)

Цель работы — выделить сейсмические активные участки Воронежской антеклизы с помощью автоматизированного анализа цифровой модели рельефа (ЦМР). Выбор этой структуры в качестве объекта исследования обусловлен её достаточно хорошей изученностью в сейсмотектоническом отношении: по данным [1, 2, 4], на рассматриваемой территории за инструментальный период наблюдений зафиксировано 407 землетрясений. Для достижения поставленной цели работы проведен морфометрический анализ ЦМР, показавший, что наиболее информативными параметрами, связанными с характером сейсмичности, являются глубина вертикального расчленения ( $J$ , м) и крутизна склонов ( $S$ , °). Их значения определены с помощью программы «ArcGis» в расчетных ячейках размерами 35×35 км. Для вычисления  $J$  использована формула:  $J = Z_{max} - Z_{min}$ , где  $Z_{max}$  и  $Z_{min}$  — максимальная и минимальная высоты (в м), соответственно [5]. Расчет одновыборочного критерия Колмогорова–Смирнова в программе «SPSS Statistics 17.0» показал, что распределение обоих параметров отличается от нормального. Для того чтобы привести его к нормальному, выполнены математические преобразования:  $J^* = \sqrt{J}$ ,  $S^* = \lg S$ . После этого проведен двухэтапный кластерный анализ переменной  $J^*$  и переменных  $S^*$  и  $J^*$ . Заданы следующие параметры кластеризации: мера расстояния — Log-правдоподобия, число кластеров определяется автоматически, критерий кластеризации — Байесовский информационный (BIC).

В первом случае (кластеризация значений  $J^*$ ) выделены 2 кластера. Площадь расчетных ячеек, относящихся одному из них, составляет 49% от всей площади антеклизы, при этом в данные ячейки попадает 70% эпицентров землетрясений, в том числе наиболее сильные. Так, общее число землетрясений, энергетический класс ( $K_s = \lg E$ , где  $E$  — сейсмическая энергия, Дж [6]) которых  $> 8,5$ , составляет 19; эпицентры 17-ти из них расположены в пределах расчетных ячеек рассматриваемого кластера.

Во втором случае (кластеризация значений  $J^*$  и  $S^*$ ) также выделены 2 кластера. Площадь расчетных ячеек, относящихся к одному из них, составляет 58% от площади изучаемой области, при этом в данные ячейки попадает 77% эпицентров землетрясений, в том числе 32, для которых  $K_s > 8$  (общее количество таких землетрясений — 36).

Согласно ранее полученным А.А. Сенцовым результатам 3D геодинамического моделирования [3], характер сейсмичности северного склона Воронежской антеклизы в целом объясним активизацией разрывных нарушений в сдвиговом поле напряжений при ориентировке оси растяжения по азимуту 65°. При этом типе внешней нагрузки должны формироваться структуры растяжения северо-западного простирания. Проведенный одним из авторов этой работы — А.И. Полетаевым — визуальный линеаментный анализ гидросети масштаба 1 : 2 500 000 показал, что ориентированные в северо-запад — юго-восточном направлении линеаменты выражены в рельефе наиболее отчетливо и, предположительно, являются самыми молодыми и активными. Полученный результат является одним из аргументов в пользу обоснованности предложенной геодинамической модели.

Таким образом, приведенные данные на количественном уровне свидетельствуют об эффективности использования кластерного анализа морфометрических параметров рельефа для выявления сейсмически активных участков. Интересно отметить, что в обоих примерах кластеризации выделяется слабо сейсмичная восточная часть Воронежской антеклизы — возможно, она относится к геодинамически активным на современном этапе зонам. Другим интересным результатом является полученное независимым методом подтверждение обоснованности ранее сделанного вывода о том, что Воронежская антеклиза развивается в обстановке сдвига при ориентировке оси растяжения в северо-восток — юго-западном направлении.

*Исследование выполнено в рамках Государственного задания ИФЗ РАН (А.О. Агибалов и А.А. Сенцов) и НИР «Новейшая геодинамика и её влияние на фильтрационные свойства геологической среды» кафедры динамической геологии МГУ им. М.В. Ломоносова (А.И. Полетаев).*

## Литература

1. Надёжка Л.И., Пивоваров С.П., Ефременко М.А., Семенов А.Е. О землетрясениях на территории Воронежского кристаллического массива // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2010. № 1. С. 233–242.
2. Сейсмологический каталог Единой геофизической службы РАН. URL: <http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/catalog.pl>. Дата обращения 19.03.2021.
3. Сенцов А.А., Зайцев В.А., Полещук А.В., Бардышев Г.П. Новейшая геодинамика сейсмоактивных областей Восточно-Европейской платформы (на примере Балтийской синеклизы, Фенноскандинавского щита и Воронежской антеклизы) // Материалы всероссийской научной конференции «Прикладные аспекты динамической геологии»,

посвящённой 110-й годовщине со дня рождения Г.П. Горшкова (1909-1984). М.: Перо, 2019. С. 129–146.

4. Специализированный каталог землетрясений для задач общего сейсмического районирования территории Российской Федерации / ред. В.И. Уломов, Н.С. Медведева. URL: <http://seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog-СКЗ.pdf>. Дата обращения 19.03.2021.

5. Спиридонов А.И. Геоморфологическое картографирование. М.: Недра, 1975. 184 с.

6. Сторчеус А.В. Заметки к методике расчета сейсмической энергии землетрясений и взрывов // Вулканология и сейсмология. 2011. № 5. С. 49–59.

# СОВРЕМЕННАЯ КИНЕМАТИКА ЮЖНОЙ ЧАСТИ РАЗЛОМНОЙ СИСТЕМЫ САН-АНДРЕАС (СЕГМЕНТ КОАЧЕЛЛА) ПО ДАННЫМ GPS

Симонова Д.А., Маркевич М.В.

Разломная система Сан-Андреас представляет собой сложную систему разрывов преимущественно правосторонней кинематики со средним горизонтальным смещением, достигающим 6 см/год. Система располагается в пределах пояса, достигающего 100 км в ширину и протяженностью около 1300 км. Границы этой системы, простирающейся вдоль Тихоокеанского побережья Северной Америки, точно не определены. На севере система Сан-Андреас замыкается на тройном сочленении Мендосино, на юго-востоке переходит в систему трансформных разломов Калифорнийского залива. В настоящее время считается, что разломная Сан-Андреас система является трансформной границей Североамериканской и Тихоокеанской плит. Правосдвиговое смещение вдоль этой границы осуществляется не только вдоль самого разлома Сан-Андреас, но и вдоль нескольких субпараллельных трансформов, главными из которых являются Хейворд, Калаверас на севере и Сан-Джасинто и Эльсинор на юге. Помимо правосторонних сдвигов в систему также включены поперечные левосторонние сдвиги, такие как Гарлок и Биг-Пайн, а также ряд разломов надвиговой и взбросовой кинематики. Редко встречаются сбросы. Все разрывные нарушения являются активными, а их взаимодействие носит чрезвычайно сложный характер. При этом известно, что различные сегменты системы разломов Сан-Андреас вызывают разрушительные землетрясения. Одним из характерных аспектов сейсмичности, связанной с системой разломов, является почти полное отсутствие землетрясений даже до самых малых магнитуд на тех участках разлома, которые подверглись сильнейшим историческим землетрясениям с магнитудой, превышавшей 8 баллов по шкале Рихтера. Неподвижные («заблокированные») сегменты чередуются с сегментами, в которых наблюдаются устойчивые линейные скоплениями землетрясений от малых до умеренных. Сейсмическая активность вдоль «заблокированных» сегментов главного разлома Сан-Андреас может быть ограничена повторением крупных землетрясений с интервалами от 100 до 300 лет. При этом эти сегменты могут в основном оставаться неподвижными в остальное время. Выше изложенное делает актуальным детальное изучение современной кинематики отдельных сегментов разломов, слагающих разломную систему Сан-Андреас, а также изучение кинематики находящихся между ними блоков Земной коры.

В настоящем исследовании для выявления особенностей современных движений в самой южной части разломной системы Сан-Андреас (сегмент Коачелла) была применена методика анализа данных станций непрерывного наблюдения Глобальных Навигационных

Спутниковых Систем (в данной работе GPS), предложенной Захаровым и Симоновым в 2010 году [Захаров, Симонов, 2010]. Изучаемый сегмент является начальным для основного разлома Сан-Андреас, и здесь Сан-Андреас через спрединговый центр, выраженный в сейсмической зоне Броули, сочленяется с разломом Империял, а через последний с системой трансформов и спрединговых центров Калифорнийского залива. Кроме того, здесь развивается ещё два крупных трансформы, простирающихся субпараллельно разлому Сан-Андреас. Это разломы Сан-Хосинто и Эльсинор. Кинематика и возможное блоковое строение данного сложного узла представляет значительный интерес.

В результате проведенного исследования были выделены ряд кинематически однородных блоков и определена их современная кинематика. Границы блоков были подтверждены в результате комплексного анализа кинематики и конфигурацией разрывных нарушений, геологического строения, особенностями сейсмичности и морфологии рельефа.

На основании анализа относительных смещений выделенных блоков была уточнена конфигурация спредингового ядра, через которое с начальным сегмент разлома Сан-Андреас(его сегмент Коачелла) опирается с разломами Сан-Джасинто и Империял. Установлено, что данное спрединговое ядро распространяется на всю долину Коачелла, а не ограничивается только областью развития сейсмической зоны Броули. Причем, если северная граница этого ядра является сейсмичной, и выражается в сейсмической зоне Броули, то ее северная граница полностью асейсмична, но при этом хорошо выражена в рельефе.

#### **Литература:**

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.

# НОВЕЙШИЕ СТРУКТУРЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТАЙМЫРА И ИХ СВЯЗЬ С ГРАВИТАЦИОННЫМИ АНОМАЛИЯМИ

В.С. Захаров, Г.В. Брянцева, Н.И. Косевич

На основе анализа рельефа СВ Таймыра построена структурно-геоморфологическая схема, на которой были выделены новейшие структуры: Северо-Сибирская, и Притаймырская равнины, Быррангское и Северо-Таймырское горные сооружения [Брянцева и др., 2021].

*Быррангское горное сооружение* в новейшей структуре представлено несколькими хребтами, высота которых значительно повышается к северо-востоку, и разделяющими их межгрядовыми понижениями. Наиболее древние разломы северо-восточного простирания хорошо выражены в рельефе и представляют собой омоложенные древние надвиги, которые развиваются унаследованно. Характерной чертой развития этого горного сооружения является его значительное дробление вкост простирания более молодыми секущими разрывами. *Северо-Таймырское горное сооружение* расположено к северу от Пясино-Фаддеевского надвига. В его пределах хорошо выражена грабенообразная Таймырская впадина, имеющая сложное строение, границами которой служат разломы, в основном, северо-западного простирания. *Северо-Сибирская равнина* расположена в пределах крупных тектонических структур: Енисей-Хатангского регионального прогиба, Сибирской платформы и Хатанго-Лаптевоморской эпипозднекиммерийской молодой платформы, границы которых местами хорошо выражены в рельефе. В ее пределах по косвенным признакам можно выделить многочисленные локальные поднятия с высотами более 200 м. *Притаймырская равнина* представляет собой опущенный блок, возникший при формировании Евразийского бассейна.

Выделенные новейшие структуры сравнивались с гравитационными аномалиями. Общий характер гравитационных аномалий - изостатических, в свободном воздухе и аномалий Буге, построенных по данным Международного гравиметрического бюро (Bureau Gravimetrique International, BGI) с разрешением 2" [Bonvalot et al., 2012], имеет вид чередования зон повышенных и пониженных значений, вытянутых вдоль основных тектонических и структурных элементов Северо-восточного Таймыра.

Повышенные значения гравитационных аномалий в свободном воздухе отмечаются в пределах Быррангского (20-50 мГал) и Северо-Таймырского (порядка 10 мГал) горных сооружений. Наибольшие значения (более 60 мГал) характерны для поднятой, северо-восточной части гор Бырранга. Также высокие значения, до 30 мГал наблюдаются на севере

в пределах Прибрежной равнины, протягиваясь полосой вдоль береговой линии. Линейно расположенные максимумы, имеющие северо-восточное простирание и примерно параллельные Хатангской впадине (до 35 мГал), располагаются над Центрально-Таймырским и Киряко-Тасско-Цветковским разломами. Такой характер гравитационных аномалий в свободном воздухе может свидетельствовать о некомпенсированных вертикальных движениях.

В картине изостатических гравитационных аномалий лучше видна степень изостатической компенсации, которую можно связать с вертикальными движениями различного направления. Низкие отрицательные значения (-30–40 мГал) изостатических гравитационных аномалий характерны для Таймырской грабенообразной впадины, а также для ряда районов Северо-Сибирской равнины, что может свидетельствовать об их продолжающемся прогибании. В то же время вытянутая положительная изостатическая аномалия говорит о неравномерности вертикальных движений во впадинах, возможном наличии блоков, характеризующихся локальными поднятиями. Изостатические аномалии до 30 мГал характерны для восточного замыкания Быррангского горного сооружения, что может говорить о режиме поднятия.

Характер гравитационных аномалий Буге в общих чертах соответствует характеру и некоторым особенностям аномалий, как в свободном воздухе, так и изостатических. При сопоставлении с новейшими структурами северо-восточного Таймыра устанавливается, что в пределах горных сооружений Бырранга и Северо-Таймырского гравитационные аномалии Буге имеют значения, не превышающие 50-60 мГал, немного повышаясь в районе Таймырской грабенообразной впадины до 80-90 мГал. На северо-востоке и севере полуострова в прибрежной зоне аномалии повышаются до 100-120 и более мГал. В пределах Северо-Сибирской равнины, где общий фон гравитационных аномалий меняется от 40 до 90 мГал, наблюдаются хорошо выраженные максимумы значений до 130 мГал, имеющие северо-восточное простирание. Они подчеркивают границы некоторых локальных поднятий. Отметим, что рисунок всех видов гравитационных аномалий в районе Таймырской грабенообразной впадины отличается от рисунка в других зонах более спокойным характером. Возможно, это указывает на выраженность в гравитационном поле условий растяжения в этих районах.

Таким образом, наблюдается нарастание интенсивности неотектонических процессов с юго-запада на северо-восток, что, возможно, обусловлено приближением к зоне спрединга хребта Гаккеля Северного Ледовитого океана, а распределение гравитационных аномалий указывает на разнонаправленность вертикальных движений в этом районе.



Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № АААА-А16-116033010119-4).

### Литература

1. Брянцева Г.В., Демина Л.И., Промыслова М.Ю., Косевич Н.И. Новейшие структуры Таймырского полуострова// В сб. «Современные проблемы динамической геологии». Мат-лы Всерос. конф. 1 февраля 2021 г. М.: изд-во «Перо». 2021. С. 49-55
2. Проскурнин В. Ф., Гавриш А. В., Шнейдер Г. В., Нагайцева Н. Н. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Таймырско-Североземельская. Лист S-47 – оз. Таймыр (зап. часть). Объяснительная записка. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2015. 424 с.
3. Bonvalot, S., Balmino, G., Briais, A., Kuhn, M., Peyrefitte, A., Vales N. et al., World Gravity Map. Bureau Gravimetrique International (BGI), map, CGMW-BGI-CNES-IRD Ed., 2012. Paris

## ОСОБЕННОСТИ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ФАНЕРОЗОЙСКИХ ЧЕРНЫХ СЛАНЦЕВ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

А.Н. Стафеев, А.А. Суслова, А.В. Ступакова

Главными условиями формирования ЧС (черных сланцев) являются высокая первичная биопродуктивность, высокая степень фоссилизации ОВ (органического вещества) и низкая скорость минеральной седиментации [4]. Обычно это осадки внутренних и краевых морей этапа максимальной эвстатической трансгрессии, тектонического покоя и затухания эрозии на суше. ЧС накапливались в условиях чередования периодов пышного расцвета и массовой гибели различных планктонных организмов. В позднем девоне и в поздней юре процесс накопления высокоуглеродистых отложений приобретал глобальный характер [1].

Черные сланцы отлагались в течение всего фанерозоя на большинстве этапов цикла Вилсона, но обстановки осадконакопления зависели и от каждого определенного бассейна [5]. Мы анализируем некоторые разновозрастные бассейны фанерозоя Северной Евразии (ранне-среднекембрийский бассейн Восточной Сибири, позднедевонский – Волго-Урала, позднеюрско-раннемеловой – Западной Сибири и раннеолигоценовый – Предкавказья) с целью выявления схожих обстановок накопления ЧС и действовавших осадочных процессов, без учета которых, прогноз нефтегазоносности на локальных участках становится проблематичным.

Во всех бассейнах наиболее часто ЧС имеют микрослоистую текстуру. По нашему мнению, она связана с деятельностью сильных штормов, действовавших с периодичностью 30-50 лет [3] и выносивших глубинными водами циклонических дивергенций питательные вещества к поверхности [2].

Фациальные зоны, в которых формировались ЧС в каждом из упомянутых бассейнов являлись относительно мелководными (50-200 м). В вертикальном ряду формаций ЧС (часто согласно) подстилаются мелководными, содержащими глауконит толщами, а перекрываются клиноформными формациями. В полном горизонтальном ряду в направлении придонного стока наблюдается следующая последовательность формаций: глауконитовая, черносланцевая, карбонатная, эвапоритовая.

В каждом из бассейнов действовали придонные течения, приносившие и распределявшие биофильные элементы. Зоны течений фиксируются врезами, линзовидной расслоенностью ЧС небитуминозными косослоистыми породами (песчаники, радиоляриты и др.), низкими содержаниями ОВ, наличием гранулярных коллекторов.

Придонные течения во всех случаях развивались из холодных полярных бассейнов. Вероятно, не всякая трансгрессия, а только та, которая распространялась из более холодных климатических поясов в направлении более теплых, могла сопровождаться (при прочих благоприятных условиях) накоплением ЧС.

Слой сероводородного заражения формировался ниже термоклина (ниже базиса сезонных штормов) в виде облака над придонными аэрируемыми водами, накрывая в первую очередь относительные поднятия. Подъем уровня термоклина и сероводородного заражения обеспечивался стабильным притоком холодных вод в ходе развития трансгрессий, а понижение – разрушительным воздействием сильных штормов.

Благоприятные условия формирования ЧС возникали не столько благодаря очередной трансгрессии, выраженной в подъеме уровня моря, сколько вследствие гораздо более масштабного подъема уровня термоклина и сероводородного заражения в ограниченной по площади котловине ЧС бассейна.

Накопление ЧС в каждом трансгрессивно-регрессивном цикле во всех рассмотренных бассейнах начиналось на относительных поднятиях, по причине того, что зоны максимальных глубин аэрировались придонным стоком. Накопление ЧС могло распространиться на всю котловину по мере уменьшения придонного стока и его трансформации в более слабое и относительно теплое контурное течение. Когда иссякает и оно, прекращается поставка биофильных элементов и ЧС обстановка, поддерживаемая только рециклингом питательных веществ, постепенно вырождается.

### Литература

1. Гурари Ф.Г. Доманикиты и их нефтегазоносность // Советская геология. 1981. № 11. С. 3-12.
2. Страхов Н.М. Принцип соответствия Л.А. Зенкевича и его значение для теории океанского осадкообразования // Литология и полезные ископаемые. 1978. № 4. С. 124-133.
3. Ступакова А.В., Стафеев А.Н., Сулова А.А., Гиляев Р.М. Палеогеографические условия Западно-Сибирского бассейна в титоне – раннем берриасе // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геология. 2016. № 6. С. 10-19.
4. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. Л.: Наука, 1988. – 272 с.
5. Trabucho-Alexandre, J., Hay W. W., and de Boer, P. L.: Phanerozoic environments of black shale deposition and the Wilson Cycle, *Solid Earth*, 3, 29–42, 2012.

# СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ НА ВОСТОЧНО- ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЕ

Т.В. Суханова, Н.В. Макарова

**Структурно-геоморфологические условия.** Многие атомные электростанции (АЭС) размещены в долинах рек, на берегах озер или водохранилищ и реже на водоразделах. Вследствие этого основанием площадок часто служат пески, слагающие речные, озерные террасы или долинные флювиогляциальные зандры. Песчаные отложения подвержены суффозионным процессам, вызывающим просадки на поверхности.

Долины рек, особенно крупных (Днепр, Дон, Ока и др.), приурочены к новейшим тектоническим прогибам. Обычно это зоны сопряжения новейших прогибов и поднятий, испытывающих различные знаки движений, развивающихся под действием разных тектонических напряжений. Такие зоны являются геодинамически активными (Сеймский, Нижнеокский, Кривоборский и др. прогибы), и в их пределах развиты опасные геологические процессы

Новейшие структуры на территориях размещения АЭС представляют собой структуры разного ранга. Они выражены в рельефе пологими поднятиями и прогибами, амплитуда которых редко превышает 200-250 и более метров. Их неравномерное стадийное развитие отражено в разновозрастных поверхностях выравнивания, осложняющих склоны, а скорости поднятий увеличены с долей мм/год на ранних этапах до 2-4 мм/год в голоцене. Новейшие структуры не всегда согласуются с разновозрастными древними, в том числе, структурами фундамента, что объясняется изменением во времени геодинамических условий. Это создает обстановки повышенной напряженности, которые могут быть причинами активности некоторых процессов – трещиноватости, сейсмичности.

Особое значение при оценке устойчивости территорий размещения АЭС имеет погребенный рельеф, который представлен карстовыми формами, глубокими древними эрозионными палеоруслурами, ложбинами, а также локальными поднятиями или впадинами. Эти формы влияют на положение грунтовых и более глубоких горизонтов подземных вод, изменяют направления потоков, вызывая их смещение, подпруживание, подземную эрозию и суффозию. Указанные процессы могут влиять на устойчивость отложений, являющихся основанием площадок, вызывая оседания поверхности, крены сооружений и другие деформации.

**Геодинамические условия** определяют напряженное состояние геологической среды, в которых формируются и развиваются новейшие, в том числе, четвертичные структуры и слагающие их породы на территориях расположения АЭС. Это условия сжатия и растяжения, обычно проявляемые совместно со сдвиговыми. Они могут быть внешними латеральными,

исходящими со стороны дальних активных областей (орогенов, прогибов, в том числе, границ литосферных плит), или внутренними вертикальными, связанными с тектоно-магматическими процессами, протекающими на разных глубинных уровнях внутри земной коры или верхней мантии. Кроме того, в определенных геологических условиях совместно с тектоническими процессами действуют гравитационные. В этом случае значение имеет региональный наклон поверхности кристаллического основания, вызывающий движение (течение) пластичных гипсоносных толщ и перекрывающих их пород (Курская, Нижегородская АЭС) к сопряженным прогибам. Гравитационное движение может происходить и по наклонным поверхностям глинистых отложений, служащих водоупором для вышележащих толщ (Ростовская АЭС). Проявление этих процессов отражается в типах новейших тектонических структур, их морфологии, форме в плане.

Сложность и взаимодействие нескольких источников тектонических напряжений наблюдается на территории размещения Ростовской АЭС, находящейся на Сальско-Донском поднятии. Здесь проявлены три источника тектонических напряжений: с юга действует давление, наведенное со стороны развивающегося Кавказа, с севера - давление от вала Карпинского, а с востока — со стороны Каспийского прогиба. Результатом является субширотное простирание основных структур, северо-западная ориентировка локальных структур, а влияние Прикаспийского прогиба отражено в появлении субмеридиональных структур растяжения.

Особенно негативное влияние на устойчивость территорий размещения АЭС и, в частности, площадок оказывают условия горизонтального растяжения. Ими обусловлены повышенная трещиноватость пород, фиксируемая в обнаженных, а геофизикой и бурением – в погребенных породах, развитие поверхностного и погребенного карста в карбонатных (Курская, Нововоронежская АЭС) или сульфатных (Нижегородская АЭС) породах. Трещиноватость пород, слагающих склоны долин, и подмыв их реками являются причинами развития обвалов и оползней. При этом намечаются и более крупные формы – гравитационно-тектонические массивы и протяженные трещины возможного их будущего отседания. Геодезией фиксируются неоднозначные движения отдельных участков или их наклоны к руслам рек или тенденция к смещению в разные стороны. Участие сдвиговых напряжений при горизонтальном растяжении проявляется образованием в долинах рек кулисно расположенных впадин типа пулл-апарт с признаками продолжающегося их развития – расширенными поймами, повышенной мощностью позднеплейстоцен-голоценового аллювия (территории Нововоронежской, Курской и др. АЭС).

## ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕЩИН В ИНТРУЗИЯХ ПРИ СДВИГЕ: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛОГОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Н.С. Фролова, Н.А. Арешин

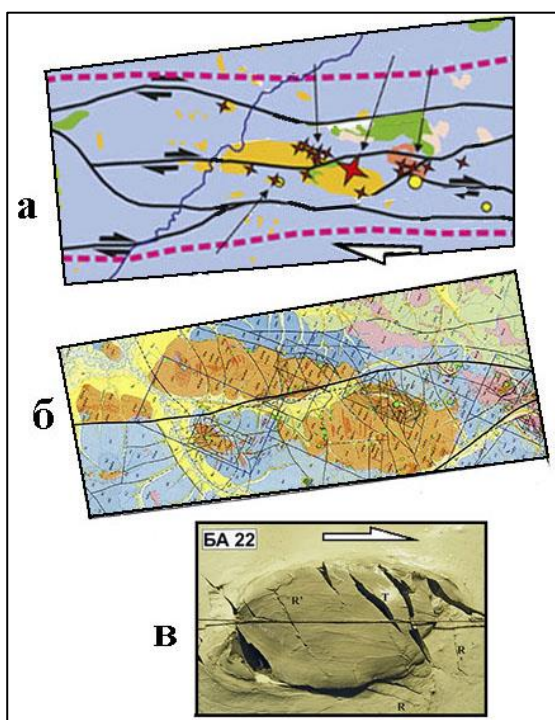
Существует немало аналоговых моделей сдвиговых зон с внедренными в них интрузивными телами, изготовленными преимущественно из силикона. Целью таких экспериментов являлось изучения влияния упомянутых тел на деформационную картину вмещающей среды. Перед нами стояла задача получить хрупкие деформации внутри и на внешнем контуре интрузий. Природным примером служила Баимская рудная сдвиговая зона (БРЗ) Западной Чукотки, вмещающая меловые рудоносные гипабиссальные интрузивные массивы. С последними связаны рудопроявления медно-порфирового типа и эпитеpmальные золотосеребряные проявления. В условиях сдвига формировались области растяжения, являющиеся локальными зонами, в которых происходит падение напряжений и разгрузка минерального вещества. В аналоговых моделях предполагалось выявить зоны повышенной проницаемости, сравнить с имеющимися натурными данными и, возможно, наметить перспективные участки.

Первая серия экспериментов проводилась на специальном приборе, с помощью которого, используя две скользящие друг относительно друга жесткие пластины, возможно воспроизвести обстановку простого неоднородного сдвига в чехле над разломом фундамента. Вторая серия экспериментов представляла собой сдвиг в широкой зоне, осуществляемый с помощью оригинального приспособления: узкие плексигласовые рейки помещались в короб, сконструированный таким образом, что он из прямоугольника превращался в параллелограмм без изменения высоты последнего. Рейки покрывались эластичным силиконовым герметиком. Выше на пластины или дно приспособления укладывалась влажная глина 30-45% влажности, мощностью 3,5-4,5 см. В глине делались сужающиеся книзу углубления, которые заполнялись эквивалентным материалом - это и были аналоги интрузивных тел. Главная проблема заключалась в подборе такого материала, в котором в результате сдвиговой деформации могли бы сформироваться трещины отрыва. Были опробованы разные варианты, особое внимание мы уделили гелю агар-агара (с концентрацией 2,5 и 3,5 г/л), каолиновой глине разных производителей с влажностью как больше, так и меньше чехла (глина в ряде экспериментов смачивалась с поверхности водой или глицерином), песку крупнозернистому с солидолом. Скорость сдвигания составляла от 3-х до 8 см/час. Поскольку в БРЗ сначала происходили левосдвиговые смещения, затем произошло внедрение интрузий, а затем имели место реверсивные движения по сдвигам, в опытах осуществлялся правый сдвиг, а в двух опытах сначала левый, а потом правый. Один крупный интрузивный массив в БРЗ (Егдыгкычский) расположена над главным сдвигом

зоны, а второй (Вукнейский) на участке рассеянного сдвига. Соответственно этому они и размещались в приборах.

Анализ проведенных экспериментов показал следующее: (1) хрупкие деформации в телах, находящихся в сдвиговой зоне, в комнатных условиях лаборатории могут быть воспроизведены с помощью влажной глины. В глине, чуть менее вязкой, чем матрикс (лучше всего опрысканной глицерином) формировалось несколько трещин отрыва. Результаты можно сопоставить с картиной трещиноватости в Егдыгкычском массиве (рис.1). Однако на результат деформации влияет множество условий, в том числе особенности глины от разных производителей. (2) Обнадеживающие результаты дали эксперименты, в которых интрузивные тела имитируются с песком с солидолом. В них формируется множество зон деструкции с разбросом в их ориентировке. Результаты можно сопоставлять с разрывной тектоникой Вукнейского массива; (4) раскрытые трещины наблюдаются в так называемых «тнях давления» в торцах тел, либо близ них, а в при определенной конфигурации тел на большом протяжении вдоль их контактов. Расположение некоторых таких раскрытых трещин повторяется во всех экспериментах, а другие лишь в некоторых телах. Во всех экспериментах формировались трещины отрыва, отходящие от контактов тел, обычно они начинаются от участков с наибольшей кривизной, их расположение повторяется в нескольких опытах. Описанные раскрытые трещины и зоны являются зонами повышенной флюидопроницаемости, поэтому в дальнейшем требуется их сопоставление с зонами локализации рудопроявлений природного интрузивного массива; (5) ориентировка систем трещин в телах, находящихся внутри зоны сдвига, отличается от теоретических и экспериментальных для однородной среды. Это связано с перераспределением напряжений

на неоднородностях; данное обстоятельство надо учитывать при поиске закономерностей в направлениях природных трещин интрузивных массивов.



*Рис. 1. Егдыгкычский интрузивный массив и тело из глины, деформированное в результате сдвига: а – схема фрагмента БРЗ (по А.Ф Читалину), б – фрагмент геологической карты с Егдыгкычским массивом, в – тело из глины с комплексом разрывов, сформированным в зоне правого сдвига. Видна одинаковая ориентировка разрывов в природном массиве и модельном аналоге.*