Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова

Геологический факультет

НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ЛОМОНОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

СЕКЦИЯ ГЕОЛОГИИ

Подсекция динамической геологии

Руководитель – и.о. зав. кафедрой, профессор Веселовский Р.В.

СБОРНИК
ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Москва
2026

Содержание:

1. Новейшая структура области сочленения Горного Алтая и Бийско-Барнаульской впадины (район пос. Белокурихи)

Т.В. Суханова, Н.А. Гордеев 2

2. Раннеюрская речная сеть Предкавказья

А.Н. Стафеев, Т.В. Суханова, И.В. Латышева, М.Е. Воронин 7

3. Гранито-гнейсовые купола центральной части Северо-Таймырской тектонической зоны

М.Ю.Промыслова, Л.И. Демина 10

4. О возможной границе Беринговоморской микроплиты на Чукотке по данным структурно-геоморфологического анализа

Г.В. Брянцева, М.С. Мышенкова, Н.И. Косевич 15

5. Структурно-геоморфологический анализ Тимано-Печорской провинции

Л.В. Панина, В.А. Зайцев 20

6. Новейшая геодинамика и проницаемость земной коры

В.А. Зайцев, Л.В. Панина 25

7. LA-ICP-MS трековое и U-Pb датирование циркона: реализация метода в ИФЗ РАН и первые результаты

А.В. Чистякова, Р.В. Веселовский, И.С. Шарыгин 30

8. Альтернативные маршруты Первой Крымской учебной практики по общей геологии

М.А. Романовская 32

9. Некоторые особенности эволюции суперконтинентальной цикличности

Н.А. Божко 37

10. Структурные особенности Тихоокеанской плиты (по данным линеаментного анализа)

А.И. Полетаев 41

НОВЕЙШАЯ СТРУКТУРА ОБЛАСТИ СОЧЛЕНЕНИЯ ГОРНОГО АЛТАЯ И БИЙСКО-БАРНАУЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ (РАЙОН ГОРОДА БЕЛОКУРИХИ)

Т.В. Суханова[1], Н.А. Гордеев[2]

[1]МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

[2]Институт Физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Москва

Район исследования находится на юго-востоке Алтайского края в области сочленения двух крупных новейших структур – Алтайского горного сооружения (Русский Алтай) и Бийско-Барнаульской впадины, являющейся южной частью Западно-Сибирской плиты.

Территория детальных исследований охватывает городскую зону Белокурихи, Белокурихинскую курортную зону и примыкающие к ним районы. Климатобальнеологический курорт известен с 1867 года и связан с месторождением термальных радоносодержащих вод [1], которое сформировалось при длительном взаимодействии подземных вод с крупным палеозойско-мезозойским гранитным массивом. Вода имеет богатый химический состав и обладает целебными свойствами. Однако радон поступает на поверхность не только растворенным в воде, но и в газообразном состоянии, мигрируя по трещинам. Из грунта радон попадает в помещения домов, где может накапливаться в повышенных концентрациях и оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье человека.

Основная цель настоящего исследования – определение современных геодинамических условий формирования новейших структур района, возможно, влияющих на поведение радона, для принятия необходимых мер, снижающих концентрацию радона в зданиях с длительным пребыванием людей.

Работа основана на результатах полевых исследований, проведенных в 2025 году.

В задачи входило изучение новейших тектонических деформаций, в том числе, разрывных нарушений. При этом использовались методы структурно-геоморфологического анализа исследуемой территории. Для определения ее современного напряженного состояния был проведен анализ линеаментов, выделенных на топо- и цифровых картах. Кроме того, в полевых условиях был изучен характер трещиноватости горных пород, преимущественно гранитов, произведены замеры элементов залегания поверхностей скольжения трещин, анализ которых дал возможность реконструировать положение осей главных тектонических напряжений методами катакластического анализа разрывных нарушений [10] и структурно-парагенетического анализа разрывов и тектонической трещиноватости [9].

Геологическое строение. Район исследования принадлежит двум различным тектоническим структурам. Южная часть находится в пределах преимущественно Белокурихинского блока поднятия Алтая [1, 3, 4, 7, 8]. Северная часть расположена на юге Бийско-Барнаульской впадины. Границей структур является глубинный взброс, протягивающийся в широтном направлении на сотни км. Белокурихинский блок – интрузивный массив, представляет собой лаколитообразное тело, сложенное преимущественно, гранитами пермско-триасового возраста, с которыми связано обогащение подземных вод радоном. Граниты интенсивно выветрелые, с корками каолинита, часто разрушены до состояния дресвы. На поверхности они образуют различные по размеру блоки, разбитые по разноориентированным трещинам на четко выраженные отдельности.

В северной части (юг Бийско-Барнаульской впадины) палеозойский фундамент сложен разновозрастными образованиями – от ордовикских до пермских. Он залегает на глубинах от 90 до 150-200 м и в большей части перекрыт отложениями кайнозойского возраста [1, 5, 6, 7, 8]. Местами он выходит на поверхность в виде крупных интрузивных гранитных выступов, возвышаясь над равниной на 75 и более м. Граниты также интенсивно трещиноваты. Кайнозой представлен палеогеновыми, неогеновыми, четвертичными отложениями озерного, озерно-болотного, аллювиального, делювиально-пролювиального, водно-эолового генезиса общей мощностью 150-200 м, залегающими несогласно на палеозойском основании.

Новейшая структура. В новейшей тектонической структуре территории, также, как и в древней, выделяются две части: горная южная и равнинная северная. В более широком плане горная часть представлена чередованием поднятий и прогибов, вытянутых на северо-запад, при этом веерообразно расширяющихся к северу [7, 8]. Поднятия дифференцированы на разновысотные ступени, свидетельствующие о стадийности их развития. Абсолютные отметки рельефа повышаются с севера на юг от 500 до 1900 м. У границы с равниной поднятия дробятся на менее крупные субширотные структуры-блоки, образующие кулисы. Одной из кулис является Белокурихинское поднятие, высота которого в центральной части составляет 1379 м (г. Синюха). Поднятие сложено гранитами и глубоко расчленено эрозией.

Равнинная часть на севере относится к Бийско-Барнаульской впадине и имеет эрозионно-аккумулятивный рельеф с абсолютными высотами 200-400 м, расчлененный долинами рек Ануй, Песчаная, Камышенка, Белокуриха, Поперечная и Каменка. Исследуемая территория ограничена на севере крупными прогибами – Обским и Катунским.

В пределах впадины выделяются две зоны поднятий: на западе Колыванское, где локальные асимметричные структуры с пологим юго-восточным и более крутым северо-западным крыльями ориентированы в северо-восточном направлении; на востоке Ягодное

поднятие, в котором структуры вытянуты меридионально. Локальные поднятия развиты преимущественно над палеозойскими гранитными массивами, местами перекрыты нижнечетвертичными покровными отложениями. Прогибы выполнены разновозрастным четвертичным аллювием, слагающим террасы, и озерными отложениями. Границей между Колыванским и Ягодным поднятиями служит меридиональный прогиб, занятый долинами рек Песчаной и Белокурихи. Поскольку он разделяет структуры с разной ориентировкой локальных структур, его можно считать геодинамически активной зоной (ГдАЗ) – Песчанско-Белокурихинской.

Крупный активный глубинный разлом – «Фас Алтая» – является границей между новейшими структурами Горного Алтая и Бийско-Барнаульской впадины. В пределах исследуемой территории он выражен в рельефе резким уступом высотой около 200 и более м и разбит на кулисы [2]. В новейшей структуре, так же, как и в древней, он является взбросо-сдвигом [1, 8]. По сместителю граниты Белокурихинского массива на 200 м надвинуты на палеоген-неогеновые отложения Бийско-Барнаульской впадины [1]. Эту границу, разделяющую горные и равнинные новейшие структуры разного простирания, можно рассматривать как геодинамически активную зону. Ее активность подтверждается повышенной сейсмичностью [1, 7, 8].

Таким образом, Белокурихинская курортная зона и город Белокуриха с примыкающими к ним территориями находится в зоне «Фаса Алтая» и в месте пересечения двух указанных выше геодинамически активных зон – широтной и меридиональной. Такая тектоническая обстановка может обусловливать повышенную трещиноватость и флюидопроницаемость горных пород.

Линеаменты. На всей территории были исследованы линеаменты. Они проявляют трещиноватость горных пород и разрывные нарушения, разрабатываемые руслами временных и постоянных водотоков. Среди всех выделенных линеаментов преобладают ориентированные в северо-восточном (30-40 СВ) направлении.

Анализ трещин. Трещины были изучены и замерены преимущественно в гранитах.

По тектонической приуроченности, все пункты, где проводились замеры трещин, можно разделить на три группы. Первая группа находится на Белокурихинском поднятии в близи к «Фасу Алтая» в долинах рек Белокурихи и Березовки, прямолинейные русла которых являются протяженными линеаментами северо-восточной ориентировки. Общим для этой группы объектов является то, что по ним реконструированы условия горизонтального растяжения или горизонтального растяжения со взрезом с северо-восточной и северо-западной (?) ориентировками главных осей сжатия. Не исключено, что в современных условиях именно для

трещин северо-восточного простирания наиболее характерно растяжение, с чем согласуются ориентировка линеаментов, к которым приурочены все три объекта и глобальное направление сжатия с юга-юго-запада. Проявленная обстановка вертикального взреза может быть связана с современным «всплыванием» гранитов, сопровождающимся горизонтальным растяжением на поверхности.

Следующие две группы объектов находятся за пределами Белокурихинского поднятия на востоке исследуемой территории. В пределах Бийско-Барнаульской впадины в долине р. Поперечной замеры выполнены в девонских гранитах в зоне пересечения северо-восточного и меридионального линеаментов. Здесь обстановка тектонических напряжений интерпретируются как горизонтальный сдвиг при ориентировке оси сжатия юго-запад-северо-восток. Южнее в горной области в долинах рек Каменки и Баранчи в кембрийско-ордовикских и в девонских филлитах восстановлены обстановки горизонтального сдвига и горизонтального растяжения со сдвигом, соответственно. Общим для этой группы является субширотное простирание оси сжатия и субмеридиональное – оси растяжения. Все объекты приурочены к узлам пересечения линеаментов или разрывных нарушений. Для изучения геодинамических источников, под воздействием которых формировались поля напряжений, на востоке исследуемой территории следует провести дополнительные работы. Возможно, источники напряжения носят региональный или локальный характер.

Таким образом, во всех точках, где производились измерения трещин в окрестностях города Белокурихи и Белокурихинской курортной зоны, преобладают условия растяжения, преимущественно, в зонах северо-восточного простирания. Условия растяжения могут быть связаны как с глобальными, так и с региональными причинами.

К глобальным причинам относятся коллизионные процессы на границах Индостанской и Евразийской литосферных плит, вызывающие появление на Алтае обстановок горизонтального сжатия с юго-запада, с которым, возможно, связано преобладание линеаментов северо-восточного простирания.

Региональными причинам являются следующие: раздробленность горных пород над основным активным разрывным нарушением – «Фасом Алтая»; пересечение с «Фасом Алтая» линеаментов северо-восточного простирания; современное возможное «всплывание» гранитов Белокурихинского блока, сопровождающееся интенсивной трещиноватостью и разрушением гранитов и горизонтальным растяжением на поверхности.

К зонам северо-восточного простирания приурочены повышенные концентрации радона.

Литература

1) Адаменко Предалтайская впадина и проблемы формирования предгорных опусканий. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние. 1976. 183 с.

2) Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г. База данных активных разломов Евразии // Геодинамика и тектонофизика. 2017 Т. 8 № 4 С. 711–736

3) Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000. Изд. 2-ое. Серия Алтайская. Лист M-45-I (Солонешное). Об. Зап. Ред.: Кривчиков В. А., Селин П. Ф., Русанов Г. Г. С-Пб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2001. 183 с.

4) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Изд. 2-ое. Серия Горно-Алтайская. Лист M-45-II (Горно-Алтайск). Об. зап. Ред. Кривчиков В. А., Селин П. Ф., Русанов Г. Г. и др. М.: Моск. филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2018. 199 с.

5) Геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист N-(44), 45 – Новосибирск. Об. зап. Под ред. С.Б. Шацкого. Л.: (Мин-во геологии СССР, ВСЕГЕИ, «Сибгео», СНИИГГиМС) 1988. 134 с.

6) Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000. Изд. 2-ое. Серия Алтайская. Лист N-45-XXXII (Серия Горно-Алтайская). Объяснительная записка. Ред. Адаменко О.М., Канопа В.В. 1966. Изд-во Недра, Москва. 80 с.

7) Макеев В.М. Кузнецкая периорогенная область: неотектоническая зональность и геодинамические условия образования / М.: ГЕОС, 2008. 148 с.

8) Новиков И.С. Морфотектоника Алтая / Науч. ред. Е.В. Девяткин, Г.Ф. Уфимцев. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео». 2004. 313 с.

9) Расцветаев Л.М. Выявление парагенетических семейств тектонических дизъюнктивов как метод палеогеомеханического анализа полей напряжений и дефор-маций земной коры // Поля напряжений и деформаций в земной коре. М.: Наука. 1987. С. 171-181.

10) Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность горных массивов. М.: Академкнига. 2007. 406 с.

РАННЕЮРСКАЯ РЕЧНАЯ СЕТЬ ПРЕДКАВКАЗЬЯ

А.Н. Стафеев, Т.В. Суханова, И.В. Латышева, М.Е. Воронин

Раннеюрская речная сеть Предкавказья реконструирована лишь в общих чертах и не для всех этапов развития. Наличие на северном борту Кавказского бассейна хумаринского нижнеплинсбахского дельтового комплекса [3], а также дельтовых и авандельтовых фаций верхнего тоара в составе карахской свиты [10] позволили наметить главные пути речного стока в направлении Хумаринской и Аварской дельт, соответственно [6].

В Восточном Предкавказье аллювиально-озерные отложения (аналоги хумаринской свиты) по разрезам глубоких скважин были прослежены от Хумаринской дельты на северо-восток до Прикумской зоны поднятий и Манычского прогиба [5]. Прикумско-Манычский озерный бассейн был проточным, а речная система (Палеоурал) протягивалась и далее на северо-восток вдоль Черкесско-Астраханского левого сдвига в направлении юго-западных склонов современного Южного Урала [8]. Возраст нижней части толщи озерного бассейна, установленный по палинофлоре, оценивается как раннеплинсбахский по сопоставлению с ПК (палинокомплексом) хумаринской свиты Северного Кавказа [5].

Существование речной системы в позднем плинсбахе-раннем тоаре не предполагалось. Лишь на северо-западе Предкавказья были прослежены со стороны Крыма в направлении Ейского прогиба фации плинсбахско-тоарской реки – Палеодона [9]. Однако, в одном из ПК тоара Прикумско-Манычского района содержание пыльцы Classopollis достигает 70% [4]. Такое аномальное для нижней юры содержание пыльцы Classopollis характерно для раннетоарского климатического оптимума и времени глобальной раннетоарской трансгрессии [2]. В Восточном Предкавказье это событие можно связать с ингрессией в Прикумско-Манычский озерный бассейн со стороны морского бассейна Кавказа. Это подтверждается также проникновением в озерный бассейн морской фауны – агглютинирующих фораминифер [1] и формированием на пике трансгрессии черных сланцев. Ниже по разрезу глинистой толщи без признаков перерыва был выделен плинсбахский ПК, возможно, в непрерывной толще плинсбаха-тоара. Иными словами, речная система могла существовать и в позднем плинсбахе-начале тоара. Однако, в силу поднятия Центрального Предкавказья [6], речной сток в районе Чернолесской впадины на рубеже раннего и позднего плинсбаха резко поменял направление и устремился на юг вдоль северо-восточного конседиментационного Ингури-Баксан-Кумского разлома, обрамлявшего с востока поднятие Центрального Предкавказья. Начало в позднем плинсбахе активного прогибания осевой зоны Кавказского бассейна, а также Пшекиш-Тырныаузского грабена вдоль

его северного борта препятствовали строительству дельтового комплекса, но поступление зрелого терригенного материала четко локализуется в разрезах верхнего плинсбаха-нижнего тоара [7] Баксан-Ардонского междуречья.

Реконструкция позднеплинсбахской речной системы позволит оценить пути последующей раннетоарской ингрессии в Прикумско-Манычский озерный бассейн, в разрезах которого, в свою очередь, появится возможность локализовать русловые тела ингрессивных стоковых течений. Эти русловые тела формировались благодаря донному стоку более плотных (более соленых) морских вод, которые формировали и поддерживали галоклин, а также приносили биофильные элементы. Наличие микрослоистых текстур в богатых ОВ (органическим веществом) глинистых породах свидетельствует о периодическом цветении вод Прикумско-Манычского бассейна. При его несомненной мелководности поддержание уровня галоклина, благоприятного для захоронения и фоссилизации ОВ было возможно только благодаря притоку морских вод после очередного перемешивания водной толщи штормами.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что в Прикумско-Манычском озерном бассейне могли накапливаться отложения верхнего плинсбаха и нижнего тоара. Стратиграфические построения при изучении этих практически немых терригенных толщ опирались на анализ последовательности событий, выявленных при общем палеогеографическом анализе. Перестройка речного стока в позднем плинсбахе была связана с поднятием Центрального Предкавказья и дифференцированными вертикальными движениями в Восточном Предкавказье, разделенными позднеплинсбахским конседиментационным Ингури-Баксан-Кумским разломом. В Восточном Предкавказье рисунок речной долины становится ломаным, до Чернолесской узловой приразломной впадины долина наследует фрагмент Черкесско-Астраханского разлома, а в нижнем течении она протягивается вдоль Ингури-Баксан-Кумского разлома практически по нормали к Кавказскому бассейну. Раннеплинсбахская речная сеть Предкавказья (и Крыма) контролировалась четким структурным рисунком практически параллельных друг-другу северо-восточных левых сдвигов, отражающих, как минимум, региональное поле напряжений. В позднем плинсбахе происходит «распад» структурного ансамбля. В Восточном Предкавказье речная система приобретает ломаный рисунок, наследуя на разных участках фрагменты разных структурных планов; в формировании речной долины возрастает роль экзогенных процессов, долина приобретает в целом нормальное по отношению к приемному бассейну направление.

Ингрессия, вероятно, развивалась восточнее зоны речного стока, вначале параллельно этому встречному стоку, а далее – на восток между поднятиями Прикумского вала и Ногайской ступени через субширотный Березкинско-Тереклинский прогиб, из которого морские воды

проникали по проливам на север в Прикумско-Манычский озерный бассейн в направлении Озек-Суатской, Восточной и Величаевской площадей. На пути межбассейнового стока течения могли формировать в озерной толще шнурковые песчаные тела, которые могут быть новыми объектами для поисков залежей нефти.

Литература

1. Арцишевич М.Е., Жатькова Э.А., Сократов Б.Г. Новые материалы к стратиграфии нижне- и среднеюрских отложений Вост. Предкавказья // Тр. Сев.-Кавказ. н.-и. проектн. ин-та нефт. пром-ти. 1973. Вып. 13. С. 3-13.

2. Захаров В.А., Шурыгин Б.Н., Ильина В.И., Никитенко Б.Л. Плинсбах-тоарская биотическая перестройка на севере Сибири и в Арктике // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2006. Т. 14, № 4. С. 61–80.

3. Неручев С.Г. Об условиях накопления угленосных плинсбахских отложений в центральной части северного склона Кавказа и Предкавказья // ДАН СССР. 1960. Т. 134, № 1. С. 157–159.

4. Объяснительная записка к стратиграфической схеме юрских отложений Сев. Кавказа / Под ред. Н.В. Безносова, М.С. Бурштара, В.А. Вахрамеева и др. М., 1973. 194 с.

5. Панов Д.И., Стафеев А.Н., Юцис В.В. Раннеюрский этап развития Северного Кавказа и Предкавказья // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1996. Т. 71, вып. 6. С. 3–14.

6. Панов Д.И., Стафеев А.Н. Ранне- и среднеюрская история Скифской и Туранской плит // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2000. № 2. С. 19-27.

7. Ростовцев К.О., Агаев В.Б., Азарян Н.Р. и др. Юра Кавказа. СПб.: Наука. С.-Петербургское отд-ние, 1992. 192 с.

8. Стафеев А.Н., Воронин М.Е., Ступакова А.В., Суслова А.А., Сауткин Р.С. Тектонические условия формирования нижнеюрских отложений Восточного Предкавказья // Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2025. Материалы LVI Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2025. С. 533–537.

9. Стафеев А.Н., Суханова Т.В., Латышева И.В., Косоруков В.Л., Плечов П.Ю., Ростовцева Ю.И., Смирнова С.Б., Мороко А.А. Ченкская толща песчаников (нижняя юра) Горного Крыма: стратиграфия и условия осадконакопления // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2014. № 5. С. 40–48.

10. Фролов В.Т. Генетическая типизация морских отложений. – М.: Недра, 1984. 222 с.

ГРАНИТО-ГНЕЙСОВЫЕ КУПОЛА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРО-ТАЙМЫРСКОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Промыслова М.Ю., Демина Л.И.

Северо-Таймырская тектоническая зона, согласно современным представлениям, является частью Карского орогена, включающего Северный Таймыр и Центральную Арктику. Формирование Карского орогена началось в карбоне и продолжалось до раннего триаса в результате коллизии Карского микроконтинента с Сибирским кратоном. Время его образования зафиксировано гранитоидным магматизмом (315-248 млн лет) и региональным зональным метаморфизмом (290-280 млн лет). Граниты разделены на синколлизионные (315-282 млн лет) и постколлизионные (264-248 млн лет) [Верниковский и др., 2022]. Северо-Таймырская тектоническая зона отделяется от расположенной южнее Центрально-Таймырской зоны Главным Таймырским и Диабазовым надвигами, которые проявлены зонами бластомилонитов шириной от нескольких сотен метров до первых километров [Шнейдер и др., 2020].

Северо-Таймырская зона представляет собой крупную антиформу (Ленивенская антиклиналь), ядро которой сложено глубокометаморфизованными породами Тревожнинского комплекса, а крылья – зонально-метаморфизованными флишоидными толщами Ленивенской (Харитоновской) серии. Возраст Тревожнинского комплекса Н.Н. Нагайцева и Б.Г. Лопатин [2000] относят предположительно к раннему протерозою, А.И. Забияка [2000] – к рифею, В.Ф. Проскурнин и др. [2016], А.А. Макарьев и др. [2020] – к венду. Возраст Ленивенской серии также является предметом дискуссий и относится либо к рифею [Нагайцева, Лопатин, 2000], либо к венду [Макарьев и др., 2020] или венду-ордовику [Проскурнин и др., 2016].

Основными особенностями Северо-Таймырской зоны являются: 1) зональный метаморфизм от низов зеленосланцевой до верхов амфиболитовой фаций; 2) широкое развитие гранито-гнейсовых куполов; 3) присутствие многочисленных тел коллизионных гранитоидов.

На основании анализа общего тектонического плана в пределах Северо-Таймырской зоны Ю.Е. Погребицким [1971] был впервые выделен Аттовский гранито-гнейсовый купол в приустьевой части рек Гранатовой и Атта. Впоследствии по результатам полевых исследований и дешифрирования аэрофотоснимков А.И. Забиякой [1974] были выделены Нижнеленивенский и Колосовский гранито-гнейсовые купола, которые были отнесены к типу обрамленных (окаймленных). В результате анализа геологических данных, дешифрирования спутниковых снимков, топографических карт и цифровых карт рельефа в северо-западной части Северо-Таймырской зоны нами были выделены Тревожнинский, Медвежьевский, Дружнинский и Каменский гранито-гнейсовые купола [Демина, Промыслова, 2024; 2025].

Изучению гранито-гнейсовых куполов Таймыра в настоящее время не уделяется должного внимания. На Государственных геологических картах последних поколений [Проскурнин и др., 2016; Нагайцева, Лопатин, 2000; Макарьев и др., 2020] они не показаны, в объяснительных записках приводится только краткая информация. Вместе с тем выявление и изучение гранито-гнейсовых куполов имеет очень важное значение для палеогеодинамики. По мнению многих исследователей [Скляров и др., 2001; Розен, Федоровский, 2001; Лиханов, 2020; Hodges, Silverberg, 1988; Hollister. 1982 и др.], они являются индикаторами процесса континентальной коллизии на поздней, завершающей стадии развития складчатых областей.

В пределах центральной части Северо-Таймырской тектонической зоны на юго-восточном борту залива Миддендорфа в междуречье Толевой и Опаловой нами были выявлены три гранито-гнейсовых купола овальной формы размером 7 Х 12 км, 7 Х 10 км и 6 Х 8 км (Толевско-Опаловская группа). Купола вытянуты в северо-восточном (общетаймырском) направлении. Такая форма куполов свидетельствует об их формировании при горизонтальном сжатии и субгоризонтальном сдвиге [Диксон, 1991].

На полуострове Заря и прилегающих территориях выявлены гранито-гнейсовые купола размерами (с запада на восток): 5 Х 10 км, 4 Х 5 км, 16 Х 17 км, 12 Х 17 км, 20 Х 35 км и 10 Х 15 км (о. Таймыр). В данном районе форма части куполов в плане близка к округлой, а оси удлинения куполов овальной формы меняются, фиксируя разворот структур северо-восточного простирания против часовой стрелки на 25-30 градусов.

Все купола отчетливо выражены в рельефе, максимальная высота над уровнем моря для куполов Толевско-Опаловской группы (с юго-запада на северо-восток): 119 – 161 – 187 м; полуострова Заря (с запада на восток): 132 – 116 – 310 – 256 – 373 м; о. Таймыр – 232 м.

В обоих исследованных районах хорошо проявлены геоморфологические признаки купольных поднятий в пределах слаборасчлененных равнинных территорий: огибание руслами рек и ручьев, радиально расходящийся рисунок эрозионной сети, подпруживание и образование разливов русел, болот и озер перед поднятием.

Гранито-гнейсовые купола расположены в районе развития глубокометаморфизованных пород амфиболитовой фации, в которых широко проявлены процессы гранитизации с образованием метаморфогенных пегматитов, мигматитов, гранито-гнейсов, гранитов и гранитных пегматитов. В ядрах куполов присутствуют автохтонные, параавтохтонные и алохтонные гранитоиды, при этом для всех типов гранитоидов, вплоть до интрузивных разностей, наблюдается унаследованность их минерального состава от исходных метаморфических пород. Купола разбиты ортогональной сетью разрывов СЗ и СВ простирания, что также характерно для всей Таймырской складчатой области. Самый западный купол полуострова Заря (г. Седельная) нарушен правым сдвигом с амплитудой в 1,5 км.

Область распространения гранито-гнейсовых куполов Северо-Таймырской тектонической зоны ограничена крупным надвигом северо-восточного простирания, который хорошо проявлен в рельефе и показан на всех геологических картах (рис. 1).

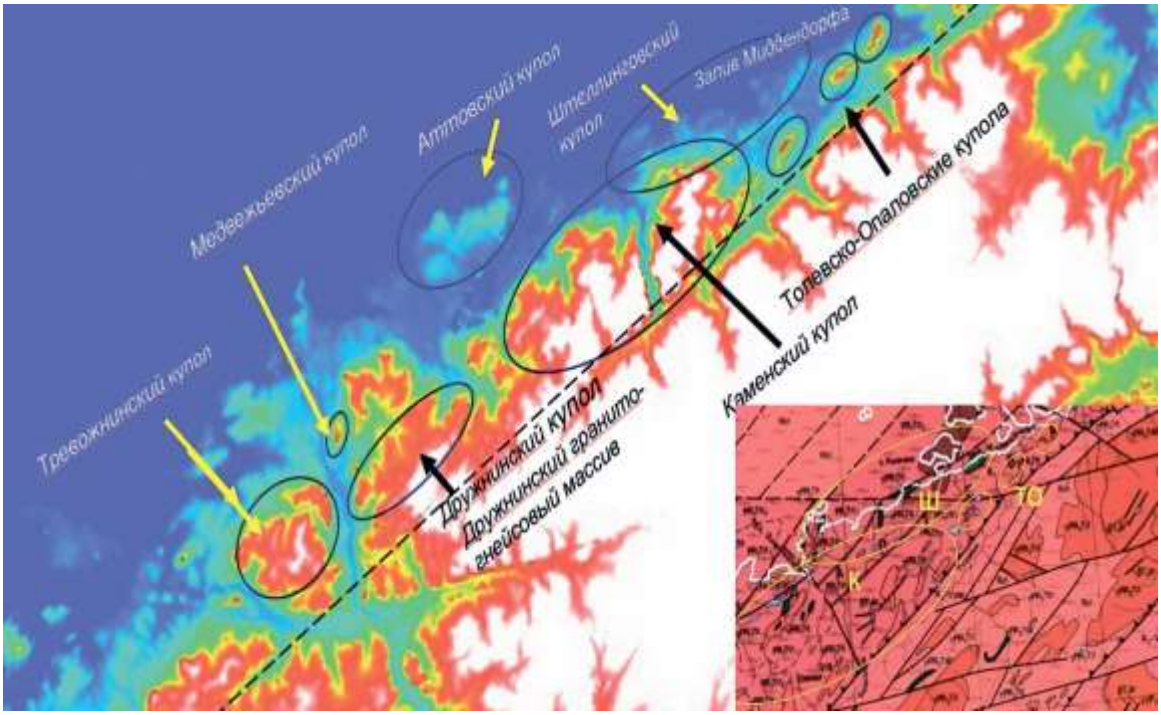

Рис. 1. Ограничение области распространения гранито-гнейсовых куполов Северо-Таймырской тектонической зоны надвигом (пунктирная линия). Объяснения в тексте. Цифровая модель рельефа (DEM), визуализированная на платформе Google Earth Engine с использованием данных ALOS World 3D – 30m (AW3D30) версии 3.2 (2025).
На врезке: фрагмент Государственной геологической карты Российской Федерации [Нагайцева, Лопатин, 2000]. Показаны Каменский (К), Штеллинговский (Ш), Толевско-Опаловские (ТО) гранито-гнейсовые купола.

В зоне надвига породы диафторированы, рассланцованы и перекристаллизованы. Данная зона также срезает юго-восточное окончание Каменского гранито-гнейсового купола (рис. 1, врезка). Подобное расположение куполов хорошо согласуется с моделью формирования и деформирования гранито-гнейсовых куполов О.П. Полянского с соавторами [2023]. На примере Свекофенского пояса, они показали, что при формировании гранито-гнейсовых куполов «…частично расплавленные массы поднимаются на более высокие уровни в процессе надвигообразования за счет коллизионной тектоники».

Становление гранито-гнейсовых куполов тесно связано с зональным метаморфизмом. P-T параметры формирования минеральных парагенезисов гранито-гнейсов (P=0,58-0,65 ГПа; T=600-650°C) укладываются в общий тренд метаморфизма в пределах гранат-биотит-мусковит-силлиманитовой и гранат-биотит-ортоклазовой зон (субфаций) амфиболитовой фации [Демина, Промыслова, 2025]. В работах [Демина и др., 2019; Захаров и др., 2024] показано, что зональный метаморфизм флишоидных образований Северо-Западного Таймыра проявился на завершающей

стадии коллизии Карского и Сибирского континентов. Подтверждением данного вывода может служить также и широкое развитие гранито-гнейсовых куполов в Северо-Таймырской тектонической зоне.

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

Литература

1. *Верниковский В.А., Полянский О.П., Бабичев А.В.* и др. Тектонотермальная модель для позднепалеозойского синколлизионного этапа формирования Карского орогена (Северный Таймыр и Центральная Арктика // Геология и геофизика, 2022. Т. 63. С. 140-157.

2. *Демина Л.И., Захаров В.С., Промыслова М.Ю. и др.* Зональный метаморфизм СеверногоТаймыра 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.

3. *Демина Л.И., Промыслова М.Ю.* Гранито-гнейсовые купола западной части Северо-Таймырской тектонической зоны / В сб. Ломоносовские чтения. Секция геологии. Подсекция динамической геологии. М.: МГУ, 2024. С. 7-11.

4. *Демина Л.И., Промыслова М.Ю.* Значение гранито-гнейсовых куполов для палеогеодинамики Северо-Западного Таймыра / Инновации в геологии, геофизике и географии-2024.В сб. Материалы 9-ой Международной научно-практической конференции. М.: Перо, 2024. С. 60-61.

5. *Демина Л.И., Промыслова М.Ю.* Гранито-гнейсовые купола Северо-Западного Таймыра и их значение для палеогеодинамики региона // Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2025. Материалы LVI Тектонического совещания. М.: ГЕОС. 2025. С. 147-151.

6. *Диксон Д.М.* Обрамленные гнейсовые купола // Структурная геология и тектоника плит. М.: Мир, 1991. С. 106–124.

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

8. *Забияка А. И.* Воскресенское регионально-метаморфическое поле – эталон рифейского метаморфического комплекса Таймыра. Красноярск: ККИ, 2000. 216 с.

9. *Захаров В.С., Демина Л.И., Промыслова М.Ю.* Геодинамическая природа метаморфической зональности Северо-Западного Таймыра: результаты численного моделирования и геолого-петрологические данные // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, 2024. № 5. С. 23-33.

10. *Лиханов И.И.* Метаморфические индикаторы геодинамических обстановок коллизии, растяжения и сдвиговых зон земной коры // Петрология. 2020. Т. 28. № 1. С. 3-22.

11. *Макарьев А. А., Макарьева Е. М., Молчанова Е. В.* и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Таймырско-Североземельская. ЛистыS-44 – Диксон, S-45 – Усть-Тарея. Объяснительная записка. СПб.: Минприроды России, Роснедра, Моргео, ФГБУ «ВСЕГЕИ», ФГУНПП «ПМГРЭ», 2020. 450 с.

12. *Нагайцева Н.Н., Лопатин Б.Г.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000. Новая серия. Лист S–44-46. МПР РФ, ВНИИОкеангеология, 2000.

13. *Погребицкий Ю.Е.* Палеотектонический анализ Таймырской складчатой системы. Л.: Наука, 1971. 248 с.

14. *Полянский О.П., Балтыбаев Ш.К., Бабичев А.В.* Комбинированная модель диапирового и коллизиолнного механизма формирования гранито-гнейсовых куполов Свекофенского пояса в палеопротерозое // Geodynamics & Tectonophysics. 2023. Vol. 14. Issue 4. 14 с.

15. *Проскурнин В.Ф., Шнейдер Г.В., Гавриш А.В.* и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Таймыро-Североземельская. Лист S–46–Тарея. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2016. 559 с.

16. *Розен О.М., Федоровский В.С.* Коллизионные гранитоиды и расслоение земной коры (примеры кайнозойских, палеозойских и протерозойских коллизионных систем). М.: Научный мир., 2001. 188 с.

17. *Скляров Е.В., Донская Т.В., Мазукабзов А.М., Сизых А.И., Буланов В.А.* Метаморфизм и тектоника. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 216 с.

18. *Шнейдер Г.В., Верещагин М.Ф. Кабаньков В.Я.* и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Серия Таймырская Лист Т-47-XXXI, XXXII, XXXIII (зал. Таймырский). Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 138 с.

19. *Hodges K.V., Silverberg D.S.* Thermal evolution of the Greater Himalaya, Garhwal. India // Tectonic. 1988. Vol. 7. P. 583-600.

20. *Hollister L.S.* Metamorphic evidence for rapid (2 mm/yr) uplift of a portion of the Central gneiss complex, Coast Mountains B.C. // Canad. Mineral. 1982. Vol. 20. P. 310-322.

О ВОЗМОЖНОЙ ГРАНИЦЕ БЕРИНГОВОМОРСКОЙ МИКРОПЛИТЫ НА ЧУКОТКЕ ПО ДАННЫМ СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

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

Тектоническая активность Земли обусловлена преимущественно горизонтальным перемещением крупных сегментов литосферы и их взаимодействием друг с другом. На границах плит обычно наблюдается сейсмическая и вулканическая активность, а также фиксируется скорость их относительного перемещения. Границы между литосферными плитами могут определяться узкой линией или представлять широкие диффузные зоны, что связано с областью рассеянной сейсмичности [9]. Вопрос о точном местоположении границы между Евразийской, Северо-Американской и Тихоокеанской литосферными плитами в настоящее время продолжает оставаться дискуссионным. По мнению ряда исследователей [9, 12], на тех участках, где у плит есть общие консолидированные области, граница между ними имеет не линейный характер, а представляет собой обширную буферную зону.

Другим обсуждаемым вопросом является целостность Северо-Американской, Тихоокеанской и Евразийской литосферных плит в области их взаимодействия. Во многих работах, посвященных тектонике Северо-Востока Евразии, этот регион рассматривается как коллаж крупных литосферных плит, микроплит и тектонических блоков, соотношения между которыми остаются неясными. В настоящее время вдоль конвергентных границ выделяется несколько микроплит, крупнейшими из которых являются Амурская, Охотская и Беринговоморская (Берингия/ Беринговая), обладающие собственной кинематикой. И если географическое положение южных границ микроплит показывается довольно определенно, с проведением северных границ из-за диффузной сейсмичности возникают трудности. В работах, посвященных исследованию геодинамического режима рассматриваемого региона различными геологическими и геофизическими методами [3, 4, 7, 8, 11], приведены схемы тектонического районирования, на которых присутствует Беринговоморская микроплита, однако ее северная граница либо показана условно, либо вовсе отсутствует. Эти сложности, скорее всего, связаны с недостаточным развитием идей тектонической расслоенности литосферы континентов и способностью верхнекоровых образований совершать горизонтальные перемещения по нижнекоровому пластичному слою при рассмотрении неотектонических движений [9, 10]. Неотектоническая расслоенность чаще всего недоступна для непосредственного наблюдения, но в этих районах современная активизация может проявляться на поверхности в различной ориентировке структурных элементов и наличии развивающихся продольных сдвигов [10].

Структурно-геоморфологическое дешифрирование топографических карт по методике Н.П. Костенко позволяет выявить выраженные в рельефе (т.е. активные в настоящее время)

новейшие пликативные структуры и ограничивающие их разрывные нарушения. Для Восточной Чукотки был проведен анализ топографических карт масштаба 1:1 000 000 и 1:200 000, что позволило выделить несколько неотектонических структур различной направленности [1]. *Западно-Чукотское горное сооружение* представляет собой систему отдельных различно ориентированных и значительно расчлененных хребтов, преимущественно северо-восточного и субширотного простирания, которые формировались главным образом в условиях северо-восточного сжатия [2]. Под маломощным чехлом четвертичных отложений в северной части этого горного сооружения залегает деформированный пермско-триасовый терригенный комплекс, местами прорванный батолитоподобными массивами раннемеловых гранитоидов. В центральной и южной частях горного сооружения это палеозой-мезозойское основание несогласно перекрыто вулканогенными породами Охотско-Чукотского вулканического пояса (далее – ОЧВП) [6]. *Восточно-Чукотское горное сооружение* приурочено к области распространения вулканогенных толщ ОЧВП, прорванных субвулканическими и малыми интрузивными телами кремнекислого состава [6]. Граница между Западно-Чукотским и Восточно-Чукотским горным сооружением проходит по Амгуэмскому разлому [1]. Новейшие структуры образуют систему хребтов, протягивающихся примерно параллельно друг другу с северо-запада на юго-восток, и осложняются системой сдвигов северо-восточного простирания. Данные хребты могли образоваться в условиях северо-восточного растяжения при формировании Колючинско-Мечигменского рифтогенного прогиба. *Дауркинское горное сооружение* расположено на востоке Чукотского полуострова, где на поверхности вскрываются породы докембрийского (неопротерозойского) метаморфического фундамента. На северо-восточной и восточной окраине этой части полуострова присутствуют фрагменты перекрывающего фундамент палеозойского чехла, состоящего из шельфовых карбонатно-глинистых и терригенно-карбонатных отложений [5]. Дауркинское горное сооружение представляет собой покровно-чешуйчатую систему, которая в новейшей структуре распадается на серию отдельных хребтов, имеющих преимущественно северо-западное и субмеридиональное простирание. От расположенного к западу от него Восточно-Чукотского горного сооружения оно отделяется грабенообразной Колючинско-Мечигменской впадиной северо-западного простирания. Её западная граница на значительном протяжении проходит по-практически субмеридиональной Ионивеемской системе разломов, представляющей собой правый сдвиг, а восточный борт впадины совпадает с Игельвеемско-Лоренской взбросо-надвиговой системой. *Провиденское горное сооружение* располагается на юге Чукотского полуострова, где широким распространением пользуются меловые гранитоиды [5]. Блоковое строение горного сооружения определяется сочетанием разломов северо-восточного (преимущественно со сдвиговой составляющей) и северо-западного простирания. Хребты

протягиваются в восток-северо-восточном направлении, образуя сводообразные поднятия. Многочисленные заливы и бухты представляют собой грабенообразные долины, в настоящее время затопленные морем. В центральной части внутригорные впадины очень узкие, отдельные хребты практически смыкаются между собой. Это свидетельствует о значительном сжатии в северо-западном направлении в данном районе. Провиденское горное сооружение отделяется от вышеописанного Восточно-Чукотского по разлому северо-восточного простирания неясной кинематики [1].

В результате проведенного структурно-геоморфологического анализа в новейшем структурном плане установлено наличие систем поднятий, имеющих разное простирание, что связано с геологической историей развития региона и разнонаправленными тектоническими движениями на новейшем этапе. Это можно рассматривать как косвенный признак того, что пограничная область между Северо-Американской литосферной плитой и Беринговоморской микроплитой представляет собой серию тектонических блоков. Важным результатом геологических исследований данного региона является доказательство значительной роли горизонтальных напряжений при образовании новейших структур. В соответствии с неотектоническим районированием, северная граница буферной области между Северо-Американской и Беринговоморской плитами на территории Восточной Чукотки может совпадать с Амгуэмским разломом, отделяющим Западно-Чукотское горное сооружение от Восточно-Чукотского, что согласуется с данными, приведенными в работе Л.П. Имаевой с соавторами [7]. Также отмечается практически точное совпадение этой границы с северной границей Транс-Беринговоморского сейсмического пояса [8]. Положение южной границы буферной области между Северо-Американской и Беринговоморской плитами не столь очевидно. Согласно структурно-геоморфологическому дешифрированию, Провиденское горное сооружение подразделяется на несколько хребтов восток-северо-восточного простирания, ограниченных активными разломами, протягивающимися в том же направлении. Поэтому южная граница диффузной зоны может совпадать с разломом неясной кинематики, выявленным при структурно-геоморфологическом дешифрировании. Этот разлом протягивается от оз. Аччен до лагуны Гэтлянгэн Мечигменской губы и отделяет Восточно-Чукотское горное сооружение от Провиденского [1], или проходит чуть южнее по Игельвеемско-Лоренской правосдвиговой зоне. На самом юге Провиденского горного сооружения дешифрируется еще один разлом, совпадающий с правым сдвигом на схеме Л.П. Имаевой с коллегами [7].

Многочисленные исследования показывают, что Беринговоморская плита испытывает вращение, однако направление этого перемещения трактуется неоднозначно. Так, в работах [3, 4, 8] рассматривается вращение микроплиты по часовой стрелке, в то время как в работах

[7, 11] она вращается в обратном направлении, т.е. против часовой стрелки. Если вращение плиты происходит по часовой стрелке, то с юга диффузную зону должен ограничивать разлом с левосдвиговой кинематикой. Поэтому, скорее всего, границей является разлом неясной кинематики, отделяющий Восточно-Чукотское горное сооружение от Провиденского, где происходит резкая смена простирания новейших пликативных структур.

Исследование выполнено в рамках Госзадания МГУ имени М.В. Ломоносова (№ гос. регистрации АААА-А16-116033010119-4).

Литература

1. Брянцева Г.В., Косевич Н.И., Мышенкова М.С. Новейшие структуры Восточной Чукотки // В сб. Инновации в геологии, геофизике и географии-2025. Материалы 10-ой Международной научно-практической конференции. М.: Изд-во Перо, 2025. С. 75–78.
2. Брянцева Г.В., Сим Л.А. Новейшие структуры и неотектонические напряжения в центральной части Чукотского полуострова // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2022. № 2. С. 11–18.
3. Габсатаров Ю.В. Кинематика микроплит в Северо-Восточной Азии: автореф. дис. … канд. физ.-мат. наук: 25.00.10 / Габсатаров Юрий Владимирович. М., 2015. 22 с.
4. Гордеев Е.И., Пинегина Т.К., Ландер А.В., Кожурин А.И. Берингия: сейсмическая опасность и фундаментальные вопросы геотектоники // Физика Земли. 2015. № 4. С. 58–67.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист Q-2 – Уэлен. Карта дочетвертичных образований. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2001.
6. Государственная геологическая карта РФ. М-б 1:1 000 000 (новая серия). Лист Q-60,1 (Анадырь). Карта дочетвертичных образований. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2001.
7. Имаева Л.П., Гусев Г.С., Имаев В.С., Ашурков С.В., Мельникова В.И., Середкина А.И. Геодинамическая активность новейших структур и поля тектонических напряжений северо-востока Азии // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 4. С. 737–768.
8. Лебедев И.Е., Павлов В.Э., Тихомиров П.Л., Пасенко А.М., Ефремова У.С. Граница между Северо-Американской и Беринговоморской плитами: новые палеомагнитные данные по позднемеловым вулканитам Центральной Чукотки // Геология и геофизика. 2025. Т. 66. № 11. С. 1393–1417.

9. Лобковский Л.И. Тектоника деформируемых литосферных плит и модель региональной геодинамики применительно к Арктике и Северо-Восточной Азии // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 3. С. 476–495.

10. Трифонов В.Г. Неотектоника: учебник. Дубна: Гос. Ун-т «Дубна», 2016. 310 с.

11. Чехович В.Д., Шеремет О.Г., Кононов М.В. Сдвиговая система в земной коре Берингова моря – реликт границы Евразийской и Североамериканской литосферных плит // Геотектоника. 2014. № 4. С. 3–22.

12. Kaban M.K., Chen B., Sidorov R.V., Petrunin A.G. Variations of the effective elastic thickness evidence for a wide diffusive boundary between the North American and Eurasian plates in Siberia // Journal of Geodynamics. 2024. Vol. 159. P. 1–7.

СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Л.В. Панина, В.А. Зайцев

Тимано-Печорская плита (ТПП) граничит на западе и юго-западе с Восточно-Европейской платформой (Русской плитой), на востоке ее обрамляет Уральское герцинское складчатое сооружение, на северо-востоке – Пайхой-Новоземельская раннекиммерийская складчатая система. Границами со структурами обрамления служат крупные надвиги, по которому Тиманская гряда надвигается на Русскую плиту (Мезенскую синеклизу и Волго-Уральскую антеклизу), а Уральское складчатая система – на Тимано-Печорскую. На севере ТПП граничит со структурами Баренцевого моря. Фундамент платформы окончательно сформировался во время байкальской складчатости и сложен сланцевыми и сланцево-эффузивными комплексами рифея и венда, прорванными интрузиями кислого и основного состава [1]. С точки зрения тектоники ТПП включает наиболее поднятую по фундаменту Тимано-Печорскую гряду и Ижма-Печорскую синеклизу, Малоземельскую моноклиналь, Печоро-Колвинский авлакоген, Хорейверскую впадину и Варандей-Адзьвинскую зону или авлакоген. Глубина залегания фундамента колеблется от 2-2,5 км в области Тимано-Печорской гряды до 7-8 км в пределах Печоро-Колвинского авлакогена, достигая 9 км и более на северо-востоке района, в области Варандей-Адзьвинского авлакогена.

Новейшая структура. С точки зрения неотектонического районирования ТПП относится к Тимано-Печорской провинции, включающей *Тиманскую, Печорскую, Печоро-Воркутинскую и Печороморскую субпровинции*, которые, в свою очередь, разделяются на зоны. На карте неотектонического районирования [2] с запада на восток выделяются следующие зоны: *Тиманская* (Т) *субпровинция*: Т1- *Канинская*, Т2 – *Косминская*, Т3 – *Четласская*, Т4 –*Вымско-Вольская*, Т5 – *Вой-Вожская; Печорская* (П): П1 – *Малоземельская*, П2 – *Тобышевская*, П3 – *Западно-Большеземельская*, П4 – *Восточно-Большеземельская*, П5 – *Сосногорско-Ижмимская;*Печора-Воркутинская (ПВ): ПВ1- *Верхнепечорская*, ПВ2 – *Предуральская*, ПВ3 – *Чернышовская*, ПВ4 – *Косью-Роговская*, ПВ5 – *Коротаихинская*,ПВ6 – *Лемвинская*; Печороморская (ПМ) : ПМ4 – *Долгинская.*

Проведенное дешифрирование картографических материалов в масштабе 1:500 000 позволило составить структурно-геоморфологическое карту, отражающую новейшие дислокации (рис.1). Описанная выше неотектоническая зональность хорошо вписывается в структурно-геоморфологические построения. Так, границы неотектонических субпровинций и зон коррелируют с протяженными разрывными зонами, хорошо выраженными в рельефе. Также

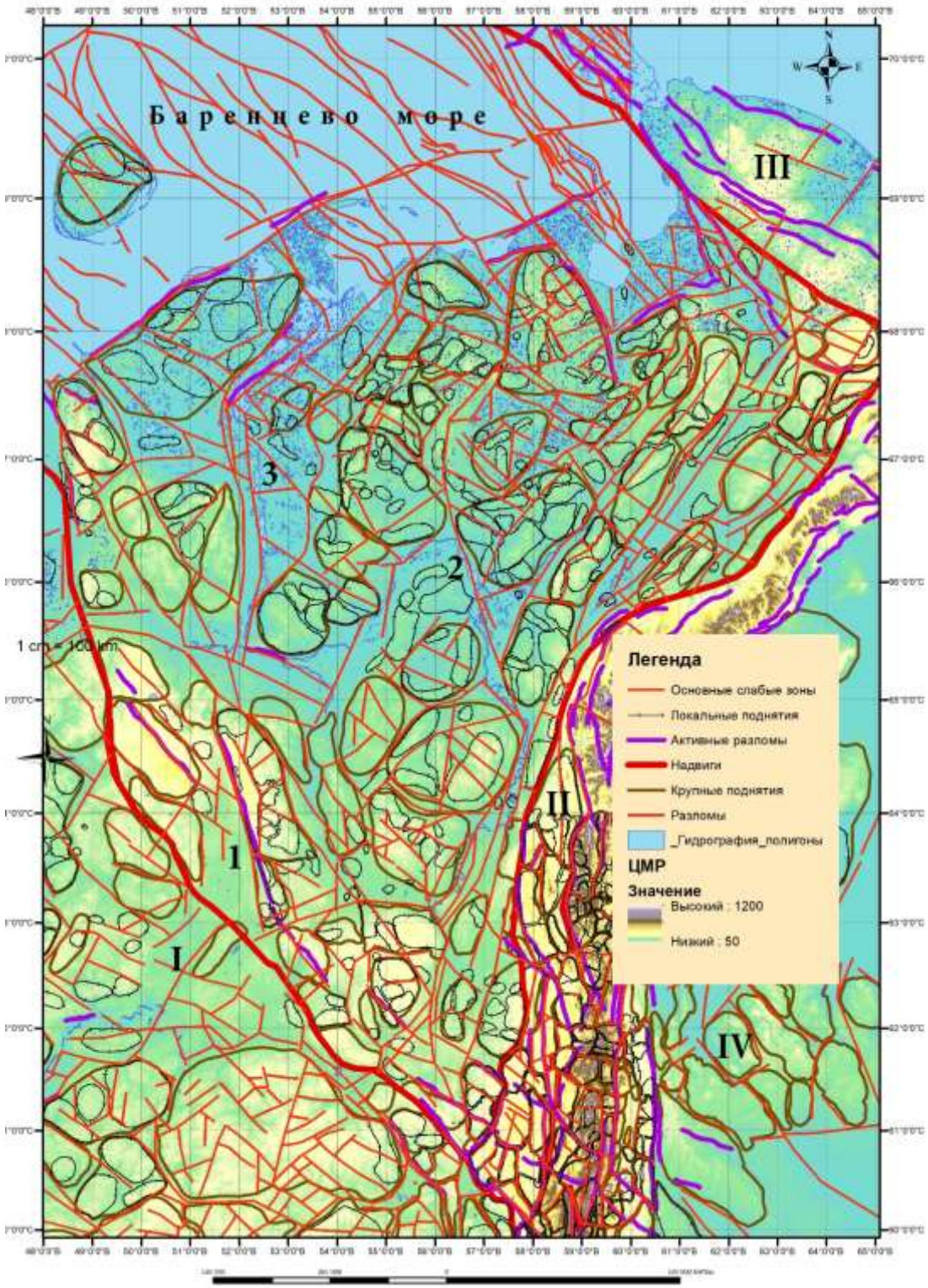

Рисунок 1. Структурно-геоморфологическая карта Тимано-Печорской провинции и ее обрамления. Цифрами обозначены: I – Русская плита, II – Уральское горно-складчатое сооружение, III – Пайхой-Новоземельское горно-складчатое сооружение, IV – Западно-Сибирская плита; Тимано-Печорская провинция: 1 – Западный сегмент, 2 – Восточный сегмент, 3 – Печорская впадина.

отражаются в рельефе и надвиги, ограничивающие ТПП со стороны Русской равнины и Урала. Выявлен сводово-блоковый структурный стиль дислокаций, представляющий собой сочетание разного ранга поднятий и впадин, нарушенных и контролируемых слабыми зонами (разрывами, зонами трещиноватости и др.). Преобладают слабые зоны северо-западного и северо-восточного простирания, реже встречаются субмеридиональные и субширотные. Слабые зоны хорошо коррелируют с установленными активными разломами [3]. Важной чертой представленной карты является различие конфигурации и простирания пликативных структур, а также контролирующих их слабых зон в западном и восточном сегменте. На западе пликативные структуры, главным образом поднятия, вытянуты в северо-западном направлении, на востоке – в северо-восточном, согласным с простиранием Урала. Разделяет эти сегменты субмеридиональная впадина, центральную часть которой разрабатывают долины рек Печора и южнее Ижмы (рис.1). Конфигурация поднятий восточного сегмента, их вытянутость вдоль дислокаций Урала в соответствии с его простиранием, указывает на формирование новейших структур ТПП в едином с уральским полем напряжения.

Следует отметить, что многие слабые зоны продолжаются и в область акватории Баренцева моря. Здесь ранее также были установлены разломы преобладающего северо-западного и реже северо-восточного простирания.

При сопоставлении структурно-геоморфологической карты с картой, построенной по поверхности фундамента, установлены следующие корреляции. Крупные неотектонические поднятия современного рельефа хорошо согласуются с дислокациями фундамента, наследуя его наиболее приподнятые структуры. При этом новейшие поднятия преобладают, наследуя не только наиболее поднятые структуры фундамента, но и развиваются над авлакогенами и впадинами фундамента, что указывает на вовлечение ТПП в процесс воздымания на новейшем этапе. От фундамента часто сохраняется простирание основных протяженных слабых зон (разрывов, трещиноватости пород). В целом, преобладает северо-западная ориентировка (на западе) и северо-восточная (на востоке) как разломов фундамента, так и слабых зон, выявленных в современном рельефе. Таким образом, новейший структурный план во многом наследует древний, не копируя его.

Существует неотектонический контроль размещения месторождений углеводородов. Известные месторождения углеводородов сосредоточены в пределах крупных и локальных новейших поднятий и тяготеют к слабым зонам.

Объединение выявленных новейших структур сходной конфигурации и простирания, нарушенных слабыми зонами, хорошо вписывается в субпровинции, границами наиболее крупных из которых являются геодинамически активные зоны (термин В.И. Макарова), где происходит разрядка тектонических напряжений.

Используя последние, как неоднородности регионального ранга, а также анализ решения фокальных очагов землетрясений, как внешнее (региональное) поле напряжений, с помощью компьютерного 3D геодинамического моделирования была создана кинематическая модель новейших тектонических движений. Согласно модели, Тиманская гряда испытывает горизонтальные движения с севера на юг вдоль Тимано-Печорской геодинамически активной зоны [4].

С целью определения напряженного состояния района была построена модель, в которой использована ориентировка внешней нагрузки территории в совокупности с геодинамически активными зонами. Установлено изменение осей напряжений в разных сегментах. В области Тиманской гряды ориентировки осей напряжений север-северо-западные, северо-восточные, субширотные. Субширотное растяжение хорошо сочетается с простиранием речных долин, в частности р. Печора.

Таким образом, в результате проведенных исследований для территории Тимано-Печорской провинции установлен сводово-блоковый стиль новейших дислокаций, как и везде на территории Русской равнины. Новейшие структуры – поднятия, впадины ограничены протяженными слабыми зонами, часто разрывами, нередко наследующими дислокации фундамента. От фундамента сохраняется простирание новейших разрывов. Все это указывает на участие фундамента в формировании новейшего структурного плана ТПП.

На западе пликативные структуры вытянуты в северо-западном направлении, на востоке – в северо-восточном, согласным с простиранием Урала. К разделяющей эти сегменты Печорской впадине приурочены субмеридиональные участки долин р. Печора и Ижма. Конфигурация поднятий восточного сектора, их вытянутость вдоль Урала в соответствии с его простиранием указывает на формирование их в едином с уральским полем напряжения.

Тиманский кряж испытывает горизонтальные движения в южном направлении.

Рассчитанное с помощью упругой конечно-элементной модели (Elastic Stress) напряженное состояние показало, что локальное поле напряжений в разных сегментах меняется. В области Тиманского кряжа, в западном сегменте ориентировки осей растяжения преимущественно север-северо-западные и субширотные, что сочетается с простиранием основных речных долин и субмеридиональными слабыми зонами.

Известные месторождения углеводородов сосредоточены в пределах крупных и локальных поднятий и тяготеют к слабым зонам (разрывов, трещиноватости), что указывает на неотектонический контроль размещения залежей нефти и газа.

Литература

1. Нефтегазоносность и геолого-геофизическая изученность Тимано-Печорской провинции: история, современность, перспективы. Ухта: УхтГТУ,1999. 1062 с.

2. Карта неотектонического районирования территории Российской Федерации масштаба 1:2,5 млн. под ред. Н.В. Межеловского, 2020.

3. Панина Л.В., Зайцев В.А. Структурно-геоморфологический анализ Мезенской синеклизы. Тезисы докладов к научной конференции Ломоносовские чтения. Секция геология. Подсекция динамическая геология. М.: МГУ, 2024. С.31-34

4. Zelenin E.A, Bachmanov D.M., Garipova S.T., Trifonov V.G., Kozhurin A.I. The Active Faults of Eurasia Database (AFEAD): the ontology and design behind the continental-scale dataset // Earth System Science Data. 2022. vol. 14. p. 4489-4503.

НОВЕЙШАЯ ГЕОДИНАМИКА И ПРОНИЦАЕМОСТЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ

В.А. Зайцев, Л.В. Панина

В 2025 году начаты научно-исследовательские работы на угольном месторождении Тентекское (АО «Qarmet», Казахстан) с целью увеличения эффективности заблаговременной дегазации угольного пласта D6. Работы включают построение детальной 3D компьютерной модели участка шахты для расчета напряженно-деформированного состояния массива, создание дискретной модели трещиноватости и расчет вторичной проницаемости угольного пласта D6. Эти расчеты позволили спрогнозировать скорости дегазации метана и рассчитать время дегазации, которое необходимо для достижения взрывобезопасной (менее 13 м³/т) концентрации метана в угольном пласте (Рис.1).

Рис.1. Схема предварительной дегазации угольного пласта D 6 шахты «Тентекская»

Шахта «Тентекская» находится в г. Шахтинск Карагандинской области Казахстана. Входит в состав угольного департамента АО «Арселор Миттал Темиртау». Поле шахты «Тентекская» находится в северо-восточной части Тентекского угленосного района Карагандинского бассейна, в 50 км к западу от г. Караганды. Шахта отнесена к опасной по внезапным выбросам угля и газа и взрывчатости угольной пыли, пласт Д6 склонен к взрывам и самовозгоранию.

Для моделирования залежи метана в трещиноватых угольных пластах необходимо корректно использовать исходную геолого-геофизическую информацию. В конечном счете создается модель интегрированной залежи с трещиновато-пористой средой, где свойства трещин зависят от большого числа геодинамических факторов. Особо отметим, что речь идет о

современных геодинамических параметрах, поскольку фильтрационные параметры зависят только от «живых» структур, возникших или подновленных на новейшем этапе. Обобщение литературных данных показало, что такие характеристики, как плотность трещин, их ориентировка могут быть предсказаны достаточно точно еще до начала бурения с помощью тектонофизических параметров. Проблемы моделирования залежи метана решаются простым объединением большого числа доступных данных в согласованных моделях. Исходными данными при построении данной 3D геологической модели являлись результаты сейсмического профилирования в контуре лавы 243-Д6-с на территории ш. Тентекская, выполненные компанией - центром сейсмических исследований МГУ им. М.В. Ломоносова (компания Sonica). По данным сейсмических исследований была построена структурная карта угольного пласта Д6 (Рис. 2).

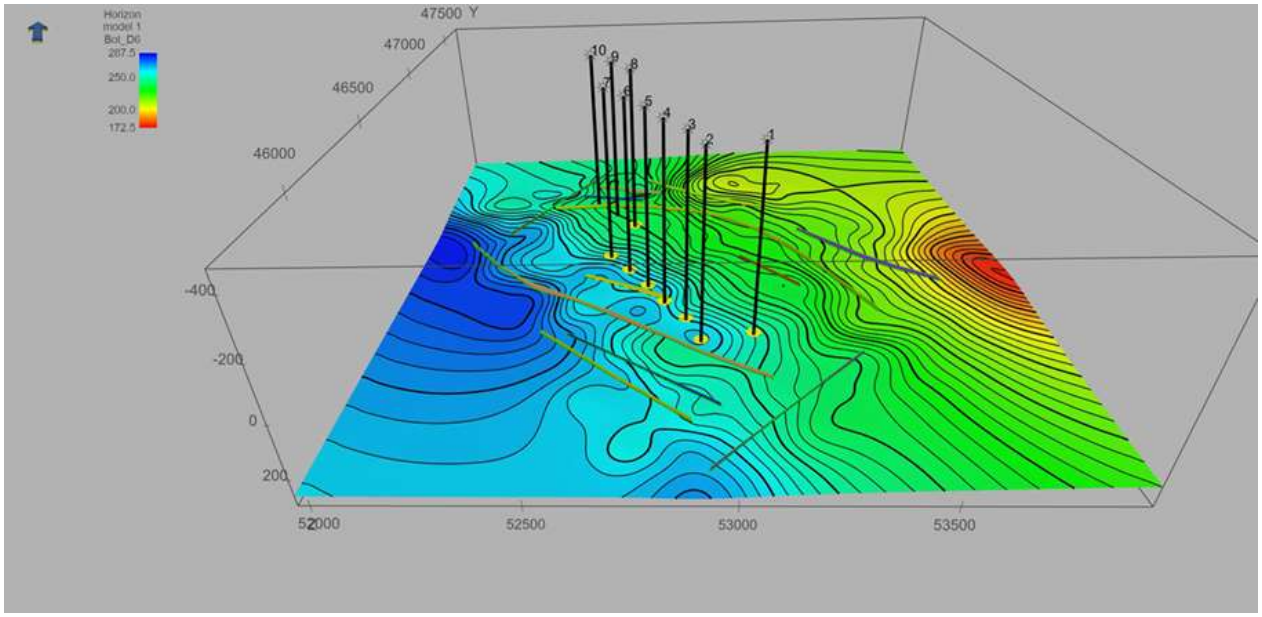

Рис.2. Структурная карта фрагмента угольного пласта Д6 в пределах контура лавы 243 с действующими углеметановыми скважинами.

Используя данную структурную поверхность и показанные на ней разрывные нарушения в качестве исходной геолого-геофизической информации, с помощью программного комплекса «IrapRMS» была построена геодинамическая модель, которая включала в себя следующие параметры, влияющие на проницаемость угольного пласта Д6:

1) Кривизну структурной поверхности MaxCurvature, ориентировку трещин – MaxCurvatureDirection. Данный структурно-геологический параметр влияет на появление новообразованных трещин растяжения и величины апертуры (раскрытости) уже существующих трещин (Рис.3). Сопоставление данного параметра со среднесуточным дебитом метана по 9-ти скважинам позволило выявить прямую корреляцию между ним К(Пирсона)=0,56 с коэффициентом детерминации R^2= 0,31.

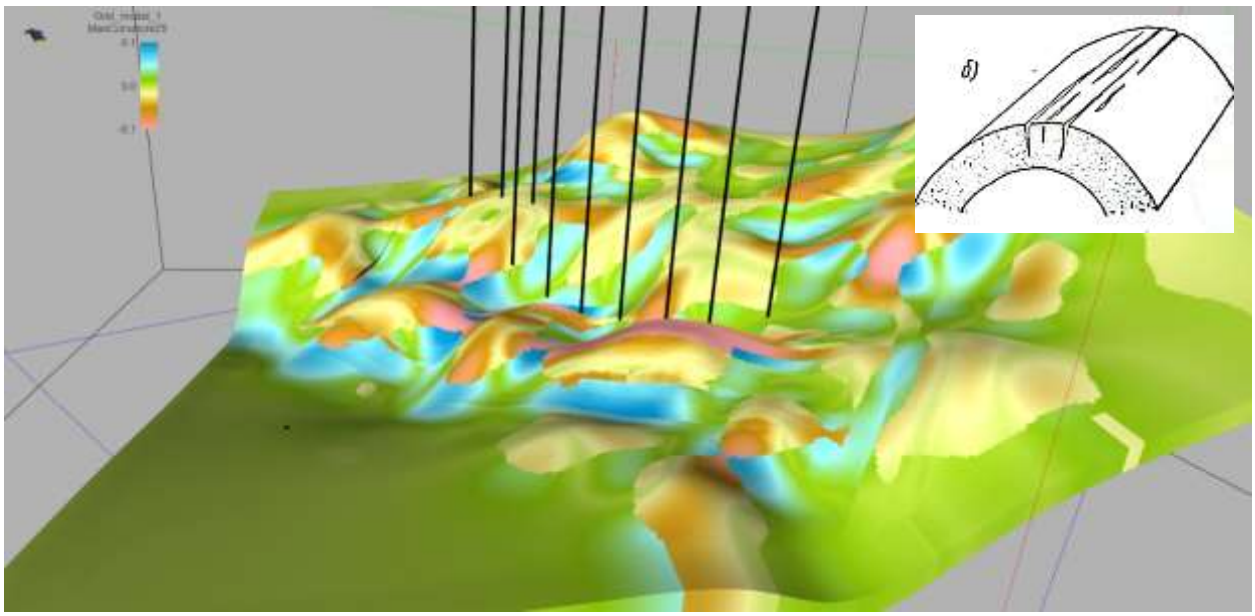

Рис.3. Изгиб структурной поверхности влияет на величину апертуры (раскрытости) трещин, особенно в кровле изгибающегося пласта (б).

2) Близость к разломам (FaultProximity) и близость к концам разломов (FaultTipProximity), ориентировку трещин – FaultStrike (Рис.4А и Рис.4Б). Удаленность от плоскости сместителя разрывного нарушения и особенно расстояние от конца разрыва оказывают влияние на количество трещин и на простирание. Выполненные расчеты корреляции межу данными параметрами и средними величинами работы метаноугольных скважин равны: для FaultProximity К(Пирсона)=0,61 с R^2= 0,38; для FaultTipProximity К(Пирсона)=0,73 с R^2= 0,53.

А. Б.

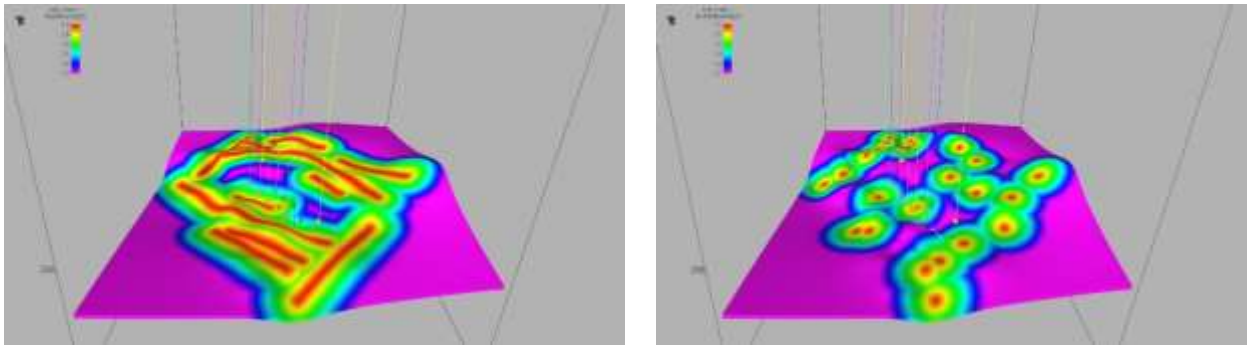

Рис.4. Модели удаленности от плоскости сместителя разрывного нарушения (А) и расстояния от конца разрыва (Б).

3) Величину максимального горизонтального напряжения (Shmax), ориентировку напряжения – Shmaxdir (Рис.5). Для расчета напряженного состояния в программном комплексе IrapRMS используется метод граничных элементов (Elastic Stress). Для создания модели напряженного состояния необходимо задать внешнюю нагрузку, тип напряженного состояния и разрывные нарушения. В данной модели внешняя нагрузка составила для оси сжатия $120^{0,}$ для оси растяжения 30^0. Данная область испытывала сдвиговое поле напряжения, а местоположение

разрывных нарушений было определено благодаря сейсмическим данным. Величина максимального горизонтального напряжения непосредственно оказывает воздействие на апертуру трещин. Убедится в этом можно, рассчитав корреляцию между величиной максимального горизонтального напряжения и дебитами работы скважин. Коэффициент К(Пирсона)=0,61 с R^2= 0,37.

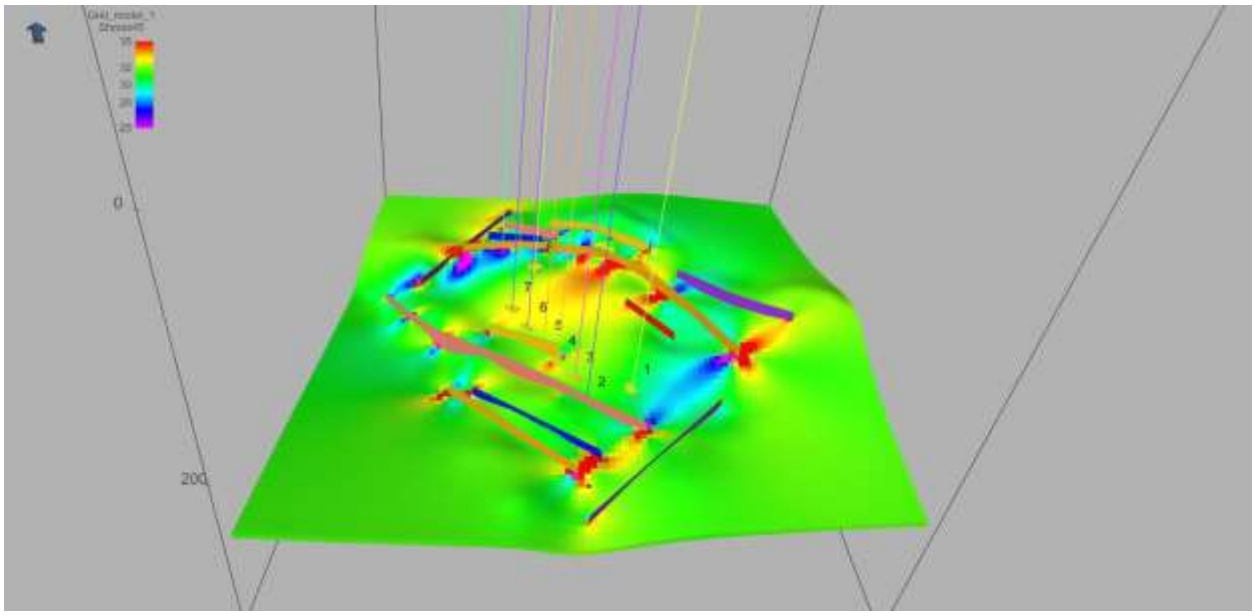

Рис.5. Схема распределения величины максимального горизонтального напряжения для угольного пласта D6.

4) Вероятность появления трещин «Fracture Likelihood», ориентировку напряжения – Shmaxdir. Расчеты появления новообразованных трещин в горных породах делаются на основании математической модели Мора - Кулона, описывающей зависимость появления касательных напряжений от величины приложенных нормальных напряжений. При нагружении горного массива разрушение реализуется в тот момент, когда величина сдвигового (касательного) напряжения достигает предела прочности породы. Поэтому связь между нормальными и касательными напряжениями является критерием прочности. Отметим, что параметр Fracture Likelihood зависит от ориентировки разломов и регионального поля напряжений. Данный параметр тесно связан с количеством новообразованных трещин и поэтому корреляция между величиной вероятности появления трещин и дебитами работы углеметановых скважин равна К(Пирсона)=0,62 с R^2= 0,38.

Следующий этап построения прогнозной модели вторичной проницаемости — создание аналитической дискретной модели трещиноватости. Данный этап моделирования выполняется с использованием специального программного модуля «Create Fracture Model», который с помощью описанных выше геодинамических параметров, создает интегральную картину распределения трещиноватости в каждой ячейки 3D модели. В программе Create Fracture Model

трещины генерируются случайным распределением “затравок”. Трещины создаются согласно плотности рассчитанных трендов и данных об их ориентировках. При пересечении с трещиной из другого семейства учитывается их взаимодействие. После построения модели трещиноватости можно перейти к созданию модели вторичной проницаемости. Оценка вторичной пористости и проницаемости были выполнены с помощью программного модуля Dual-Porosity Modelling (Рис. 6).

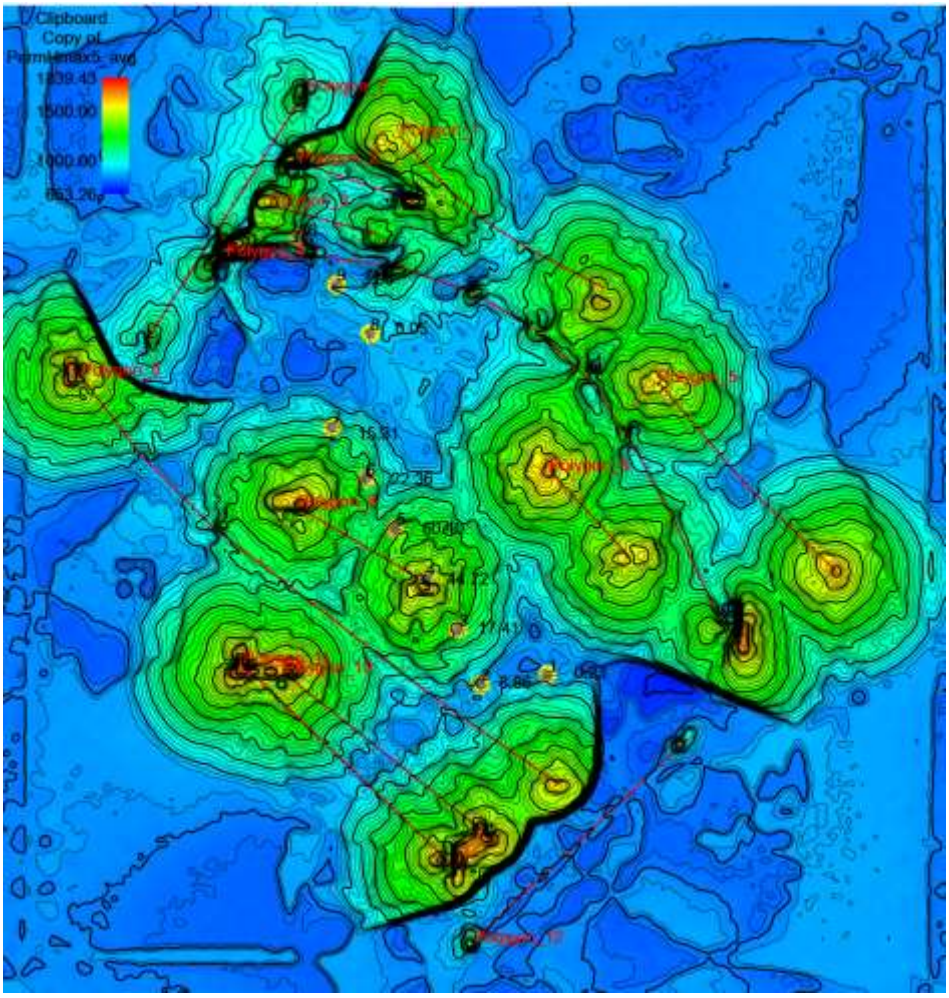

Рис. 6. Прогнозная схема вторичной проницаемости угольного пласта Д6.

На данной схеме хорошо выражены участки повышенной трещиноватой проницаемости. Сопоставление данного параметра со среднесуточными дебитами метана (м³/сутки), полученные в результате работ 9-ти метаноугольных скважин показало, что коэффициент корреляции между ними равняется К(Пирсона)=**0,83** с R^2= **0,69**.

Таким образом, результаты 3D новейшего геодинамического моделирования подтвердили эффективность данного метода для прогнозирования фильтрационных параметров угольных пластов. Отметим, что данная технология может быть использована для решения целого ряда других прогностических задач, связанных с миграцией флюидов в земной коре.

LA-ICP-MS ТРЕКОВОЕ И U-Pb ДАТИРОВАНИЕ ЦИРКОНА: РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА В ИФЗ РАН И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

А.В. Чистякова[1,2], Р.В. Веселовский[1,2], И.С. Шарыгин[3]

[1] МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

[2] Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва

[3] Институт земной коры СО РАН, Иркутск

Трековая термохронология – мощный и активно развивающийся подход для решения широкого спектра фундаментальных и прикладных задач современной геологии [1]. Важным звеном термохронологических исследований является метод трекового датирования циркона: температурный интервал зоны частичного отжига треков спонтанного деления ^{238}U в цирконе ~190-330°C. Кроме того, современные методические протоколы для реализации метода предусматривают использование системы LA-ICP-MS [2,3], что обуславливает возможность получения совместно с трековыми определениями оценок U-Pb возраста (температура закрытия ~800°C).

Доклад посвящен ключевым особенностям и возможностям метода трекового датирования циркона с применением LA-ICP-MS, реализуемого в лаборатории трекового анализа и изотопной геохронологии ИФЗ РАН. В качестве конкретных примеров рассматриваются первые результаты трекового датирования циркона с одновременной оценкой U-Pb возраста для разновозрастных объектов Восточно-Европейской и Сибирской платформ. Особый интерес представляет трековое датирование мегакристовых «кимберлитовых» цирконов. Проблема надёжного определения возраста внедрения кимберлитовых и лампроитовых диатрем до сих пор остаётся весьма актуальной. Значимым критерием достоверности в этом контексте является согласованность двух и более изотопных систем [4]. Одним из вариантов получения возрастных определений по двум независимым системам в рамках одной методики является одновременное, «зерно-в-зерно», LA-ICP-MS трековое и U-Pb датирование «кимберлитового» циркона. Данный подход был успешно реализован для трубок взрыва поля Кимберли (ЮАР), а также Чапинского поля, расположенного в пределах Енисейского кряжа.

Литература

1. Jolivet M., 2024. Fission-track thermochronology: Methodology and applications to geology. John Wiley & Sons, Hoboken, USA. 247 p.
2. Cogne N, Chew D.M., Donelick R.A., Ansberque C. LA-ICP-MS apatite fission track dating: a practical zeta-based approach // Chem. Geol. 2020. V. 531. 119302.

3. Iwano H., Danhara T., Danhara Y., Hirabayashi S., Nakajima T., Sakai H., Hirata T. Zircon fission-track and U–Pb double dating using femtosecond laser ablation–inductively coupled plasma–mass spectrometry: A technical note // Island Arc. 2020. V. 29(1). e12348.
4. Юдин Д.С., Томиленко А.А., Травин А.В., Агашев А.М., Похиленко Н.П., Орихаши Ю. Возраст внедрения кимберлитовой трубки удачная-восточная: U/Pb- и 40Ar/39Ar-данные // Доклады Академии наук, 2014. Т. 455. №.1. С. 91-93.

АЛЬТЕРНТИВЫЕ МАРШРУТЫ ПЕРВОЙ КРЫМСКОЙ УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ ПО ОБЩЕЙ ГЕОЛОГИИ

М.А. Романовская

Маршрут N1.

Долина реки Бельбек - скала Крокодил - Каралезская долина

Цель маршрута: изучение геоморфологии, мезозойских и кайнозойских отложений Крыма, деятельности текучих вод и выветривания.

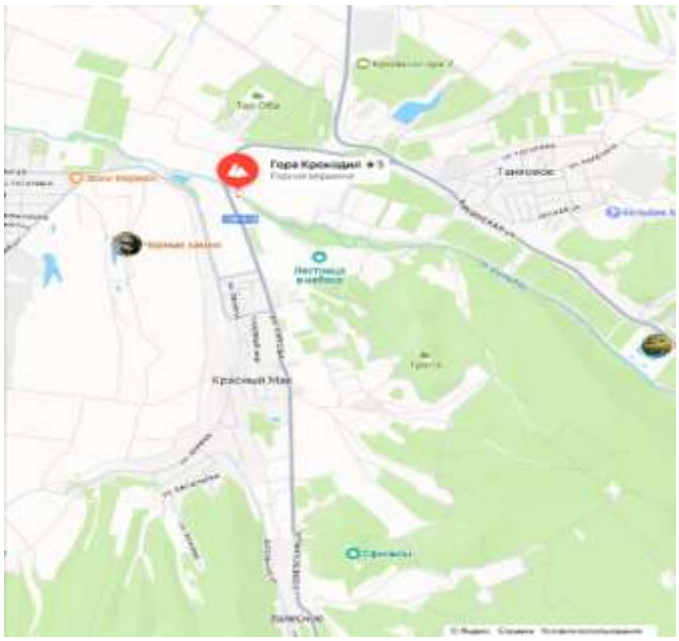

Рис.1. Схема маршрута 1. Скала «Крокодил»

Маршрут начинается от КУНЦ МГУ, автобусами, через г. Бахчисарай, первая остановка на левом борту долины реки Бельбек, на скале «Крокодил» (рис.1). Здесь с нового ракурса, по сравнению с видом от села Танковое (маршрут в Большой каньон), открывается вид на Бельбекские ворота и долину реки Бельбек.

На скале «Крокодил» студенты проводят изучение и описание эоценовых отложений, представленных разнообразными органогенными, органогенно-глинистыми и органогенно-обломочными известняками [3]. Весьма интересным представляется наличие в этих известняках нескольких горизонтов более плотных и темных слоев карбонатных пород, представляющих собой горизонты типа «hard ground» (рис. 2).

В верхней части обнажения присутствуют окаменелости устриц *Gryphaea,* а также многочисленные раковины фораминифер *Nummulites*, обнаружение и сбор которых позволит студентам приобрести навыки описания и документации палеонтологических образцов, практически ознакомиться с фауной эоцена, а также пополнить свои палеонтологические коллекции.

Рис. 2. Горизонты типа «hard ground». Скала Крокодил. Фото М.А.Романовской

Кроме того, в хорошо обнаженных верхних частях скалы «Крокодил» наблюдаются хорошо выраженные бастионные формы выветривания, подобные формам на горе Южная Демерджи, но отличающихся от них меньшими размерами и более мягкими очертаниями, что очевидно обусловлено литологическими особенностями, слагающих эти формы пород (рис 3).

Рис. 3. Бастионные формы выветривания в левом борту долины р.Бельбек. Фото М.А. Романовской.

Далее маршрут продолжается в Каралезскую долину, являющуюся долиной левого притока р.Бельбек.

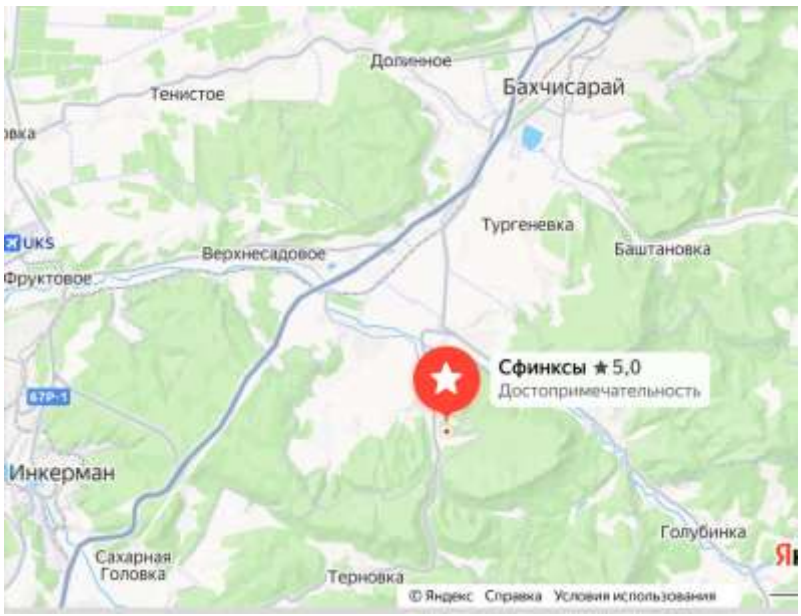

Рис. 4. Местоположение Каралезских сфинксов.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/62/Uzun-tarla_2.jpg/960px-Uzuntarla_2.jpg

Рис. 5. Каралезские сфинксы, формы выветривания эоценовых известняков, скалы Узун-Тарла.

Маршрут N2

Чернореченский, или Узунджинский каньон

Цель маршрута: изучение мезозойских и кайнозойских отложений Крыма, деятельности текучих вод и процессов выветривания.

Маршрут начинается от КУНЦ МГУ, автобусом до села Родниковское, потом пешком через село Колхозное до источника Суук-Су – истока реки Узунджа и начала каньона, расположенного на высоте 768 метров. Каньон входит в 5 самых красивых каньонов Крыма, представляет собой глубокую извилистую горную долину, протяжённостью около 2 км [4].

Рис. Узунджинский каньон. Фото О.С. Барыкиной.

Длина реки Узунджа - 11 км, впадает в реку Черная. Каньон морфологически выражен лучше в верхней части долины, в нижней его части присутствуют своеобразные крутые ступени-террасы, структурные террасы, обусловленные слоистостью пород [2]. Каньон выработан в известняках верхней юры и нижнего мела [1], падающих на север-северо-восток под углами 20-25^0, длина каньона около 400 м, высота бортов до 400 м, ширина русла 4-12 м. Форма каньона – коробообразная, крутизна склонов от 25^0 до 80^0 [2]. Река Черная стекает в Байдарскую котловину и впадает в Чернореченское водохранилище.

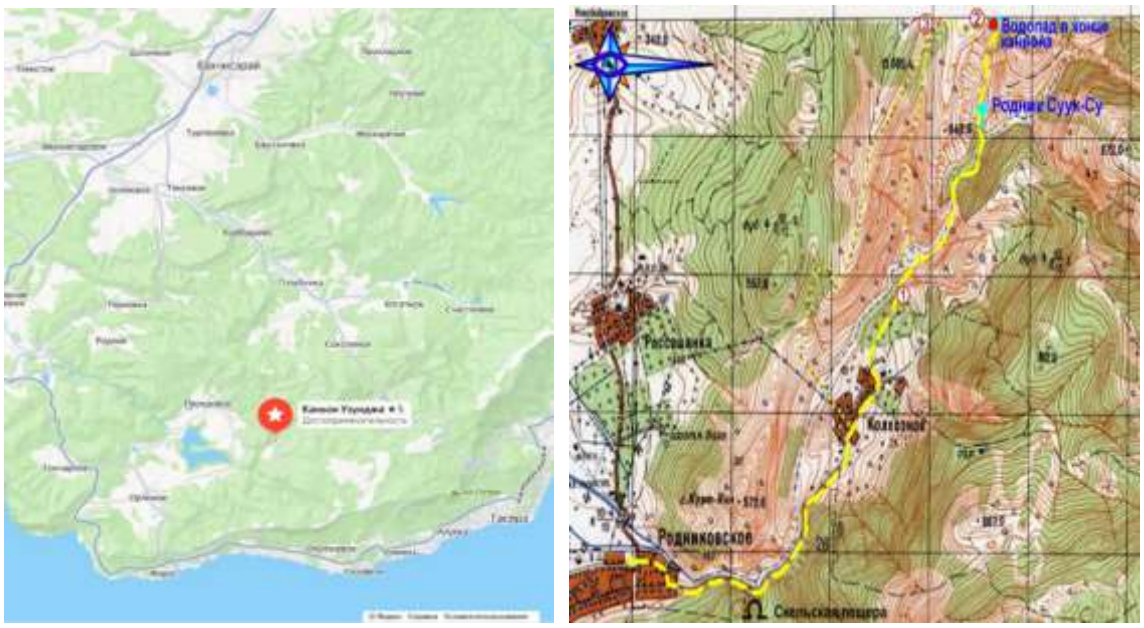

Рис. 6. Узунджинский Каньон.

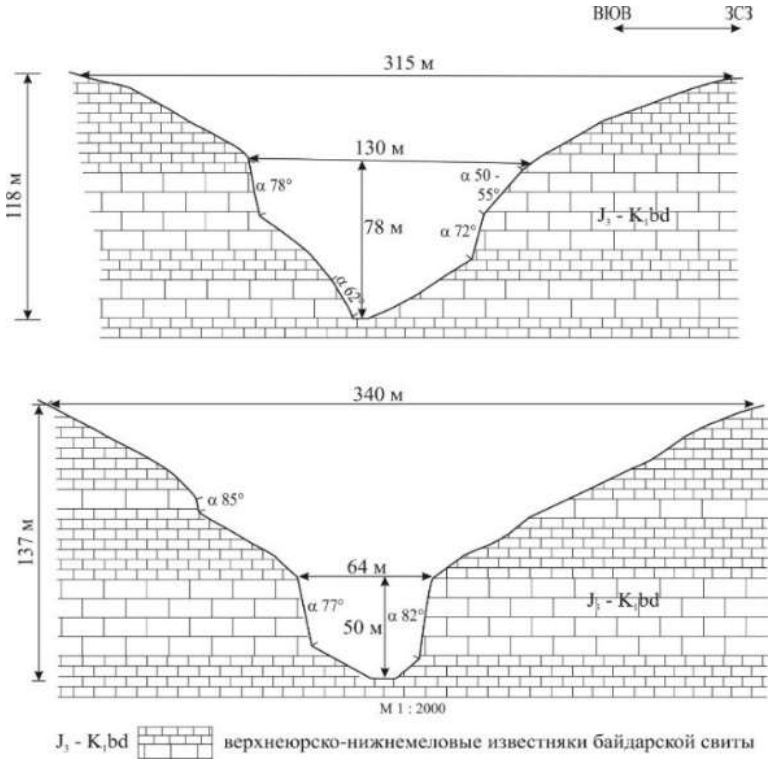

Рис. 5. Гипсометрические профили и геологические разрезы Узунджинского каньона [2].

Ширина Узунджинского каньона более 300 м, в 2,5 раза больше его глубины. В верхней части долина каньона широко раскрытая, склоны здесь имею более пологие углы наклона.

Литература

1. Барабошкин Е.Ю., Аркадьев В.В., Копаевич. Л.Ф. Опорные разрезы меловой системы Горного Крыма. Путеводитель полевых экскурсий. Изд. дом «Черномрпресс», Крым, Симферополь, 2016, 90 с.

2. Блага Н.Н., Андреенко М.А. Роль основных рельефообразующих факторов в происхождении Узунджинского каньона (Юго-Западный Крым). Геология Крыма. Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. Том 11 (77). № 2. 2025 г. С. 157–169.

3. Дубкова К.А., Шилов С.Б., Бугрова Э.М., Закревская Е.Ю. Строение и история формирования разреза нижнего мела-эоцена в Центральной части Симферопольского поднятия. Ученые записки Казанского университета 2022, т.164, с. 297-317.

4. Олиферов А.Н., Тимченко З.В. Реки и озера Крыма. Симферополь: Доля,2005. - 216с.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЦИКЛИЧНОСТИ

Н. А. Божко

Современное состояние наук о Земле характеризуется обособлением суперконтинентальной тектоники в виде самостоятельного научного направления, изучающего периодическое возникновение и распад суперконтинентов, определяющие историю Земли, по крайней мере за последние три миллиарда лет. Это признание, по мнению некоторых авторитетных зарубежных исследователей, является наиболее важным событием в науках о Земле после появления тектоники плит. Этот взгляд, несомненно, имеет основание. В свете суперконтинентальной цикличности надо переосмысливать многие геологические явления.

За последние три десятилетия в изучении суперконтинентальной тектоники достигнуты важные результаты, отраженные в ряде фундаментальных работ. Изучена структура и геодинамика суперконтинентального цикла, исследуются суперконтиненты в истории Земли, выявлены некоторые закономерности в проявлении суперконтинентальной цикличности: тектоническая унаследованность и предопределенность, развитие на фоне дисимметрия Земли, связь с процессами в мантии и глобальным орогенезом и [1] и многие другие работы.

В докладе предполагается рассмотреть особенности эволюции суперконтинентальной цикличности, имеющие непосредственное влияние на конкретные современные процессы.

Более всего, это отмечается в проявлениях глубинных процессов в мантии Земли, например, в виде тектоники литосферных плит, участвующей в сборке и распаде суперконтинентов. В настоящее время хорошо установлено, что формирование многих типов месторождений полезных ископаемых коррелируется с процессами, происходящими в ходе суперконтинентального цикла. Пионерской работой в этом направлении следует считать статью М. Берли и Д. Гровса [2], в которой было показано, что систематические временные вариации в распределении нескольких важных групп месторождений металлов отражают циклическое объединение и распад суперконтинентов.

Можно привести и другие примеры такого влияния суперконтинентальной цикличности на эндогенные процессы: К ним относится формирование месторождений полезных ископаемых. Из публикаций отечественных и зарубежных авторов следует, что к стадиям образования суперконтинентов часто приурочены проявления золоторудных процессов, а также месторождения бериллия, бора, меди, молибдена и ртути. Распад суперконтинентов сопровождается образованием месторождений меди, никеля, кобальта.

Автором рассмотрены особенности проявления алмазоносного магматизма в свете суперконтинентальной цикличности [3]. Выявлены различия в степени таких проявлений на

различных стадиях и фазах суперконтинентального цикла. Выделены временные интервалы в его эволюции, характеризующиеся различным потенциалом алмазоносного магматизма.

Объединение и разрушение суперконтинентов оказывает значительное влияние не только на динамику мантии, но и на поверхностную среду включая биогеохимический цикл.

Этому вопросу основатели понятия «Суперконтинентальный цикл» уделяют постоянное внимание практически со времени его введения в 1984. В этих ранних работах [4] уже обозначалась корреляция всех фаз СЦ с событиями в эволюции атмосферы, гидросферы и биосферы, отражающая их взаимодействие.

С тех пор до настоящего времени эта тема остается актуальной [5] в геологической, основном зарубежной, литературе. Современные работы в этом плане обычно посвящаются взаимодействию конкретно с каким-то одним из главных компонентов поверхностной среды Земли, таким как климат, уровень моря, биосфера.

СЦ и климат. Формирование и распад суперконтинентов оказывают заметное влияние на глобальные климатические закономерности. При этом, климатическая цикличность коррелируются с циклом суперконтинента. В самом общем виде это соответствие выражается в том, что когда континенты собраны в суперконтинент, преобладает холодный, ледовый (Icehouse) климат, а когда они рассредоточены – теплый, парниковый (Greenhouse). Суперконтинентальный цикл, таким образом, содержит периоды глобального потепления, связанные с распадом суперконтинента, и глобального похолодания, связанного с его образованием. Так, создание Пангеи в позднем карбоне привело к наступлению пустыни и засушливый, холодный климата внутри суперконтинента и формированию горных хребтов по его краям, тогда как во время ее распада, например, в позднем мелу, господствовал теплый климат. Таким образом, оба вида глобального климата коррелируются с циклом суперконтинента.

На фоне давно общепризнанного признания влияния сборки и распада суперконтиненов на поверхностную среду, как отмечает [6] выделяется распространенная гипотеза “Снежного кома Земли” в качестве объяснения экстремальных климатических явлений неопротерозоя. Согласно этой гипотезе “ ухудшение климата, инициированное образование суперконтинента приводит к большому похолоданию и полностью покрытой льдом планете.

СЦ и уровень моря. Среди изменений поверхностной окружающей среды взаимосвязанных с различными фазами суперконтинентального цикла и климатом важное место занимают изменения уровня моря. Давно было установлено, что когда континенты собраны вместе, уровень моря, как правило, низкий, в отличие от высокого уровня моря, когда они находятся в рассеянном состоянии. Во время распада континентов общая длина срединоокеанических хребтов увеличивается, а движущаяся от них в стороны сформированная океанская литосфера

охлаждается и наращивает мощность, в результате чего происходит общее понижение отметки океанического дна за пределами срединно-океанических хребтов и повышение уровня моря, что приводит к затоплению континентов. При коллизиях континентов и горообразовании во время сборки суперконтинента происходит понижение уровня моря и обнажение континентальные шельфов. Уровень моря много раз за историю Земли менялся на сотни метров выше и ниже текущего уровня.

СЦ и эволюция жизни. С изменениями глобального климата, происходящими в течение суперконтинентального цикла тесно связано развитие жизни на Земле. Процессы, связанные с формированием и распадом суперконтинентов, разрушают и создают различные среды обитания биоты и, таким образом, оказывали значительное влияние на биогеохимический цикл и эволюцию жизни [7 и другие]. В течение суперконтинентального цикла происходит изменение степени географической изоляции видов, что по мнению ряда ученых является основным фактором, массового вымирания видов, которое неоднократно происходил в истории биосферы.

В условиях собранного суперконтинента почти исчезает фактор такой географической изоляциии, что вызывает усиление межвидовой конкуренции и естественного отбора, основного механизма эволюции и позволяет выживать наиболее приспособленным видам. За свою историю Земля стала свидетелем нескольких массовых вымираний, в основном связанных с крупными климатическими колебаниями, включая глобальное похолодание и потепление климата, крупные оледенения. С существованием слитного суперконтинента и оледенениями обычно связывается вымирание и последующее обновление биосферы, а с распадом – рост биоразнообразия. Эволюция жизни менее обширна, когда континенты соединяются вместе, в то время как изолированная морская среда во время распада континентов ускоряет обширную диверсификацию [8].

Механизм вымирания реализуется в силу усиления межвидовой конкуренции и гибели менее адаптированных видов по мере уменьшения разнообразия доступных экологических ниш, и различные виды оказываются вовлеченными в конкуренцию за любую данную экологическую нишу.

Образование суперконтинентов приводит к широкомасштабным коллизионным орогенам и поднятию суши, быстрая эрозия которой может привести к снижению содержания CO2 в атмосфере, что приведет к глобальному похолоданию и возможным условиям “снежного кома Земли”, одновременно высвобождая больше питательных веществ в океаны и повышая выработку O2 за счет усиленного фотосинтеза. Эта тесная связь между климатом, избытком питательных веществ и оксидами могла повлиять на развитие жизни и в конце протерозоя возможно, проложила путь к появлению metazoa [6].

Распад суперконтинентов вызывает новый всплеск видообразования, который превосходит предыдущий, поскольку в нем принимают участие виды-победители. Так, в позднем неопротерозое и раннем палеозое произошло быстрое увеличение видового разнообразия метазоя из-за изоляции морских сред обитания из-за распада Паннотии. В работе М. Сантоша [7] показывается, что распад суперконтинентов и континентальный рифтогенез, составляющие соответственные фазы в структуре СЦ, создают аномальную химическую среду, обогащенную питательными веществами, которые служат основными строительными блоками ранних форм жизни. Типичным примером является раскол суперконтинента Родиния, который открыл меридионально-ориентированный морской путь, вдоль которого апвеллинг, обогащенный питательными веществами, привнес пригодную для жизни геохимическую среду.

Эволюционный процесс биосферы выражен, таким образом, в чередовании периодов массового вымирания во время формирования суперконтинентов и всплесков видообразования после их распада.

В эволюции суперконтинентальной цикличности, таким образом обнаруживаются условия, влияющие на возникновение и ход эндогенных, экзогенных, экологических и биологических процессов на планете.

Литература

1. Божко Н.А. Суперконтинентальная цикличность в истории Земли // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 2009. № 2. С. 13–27

2. Barley M.E., Groves D.I. Supercontinent cycle and the distribution of metal deposits through time // Geology. 1992. Vol. 20. P. 291–294.

3. Божко Н.А. Алмазоносный магматизм в суперконтинентальных циклах. Руды и металлы № 3/2019. С.22-27.

4. Worsley, T.R., Nance, R.D., Moody, J.B., 1986. Tectonic cycles and the history of the Earth's biogeochemical and paleoceanographic record. Paleoceanography 1, 233e263.

5. Божко Н.А. Взаимодействие суперконтинентальной тектоники и поверхностных процессов Земли. Материалы LV Тектонического совещания. «Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы» -2024. Т. 1. М.: ГЕОС, 2024. С.57 -61.

6. Nance R. D., Murphy J. B., Santosh M. The supercontinent cycle: A retrospective essay. Gondwana Research 25 (2014) 4–29.

7. Santosh M. A synopsis of recent conceptual models on supercontinent tectonics in relation to mantle dynamics, life evolution and surface environment/ Journal of Geodynamics 50 (2010) 116–133

8. Maruyama, S., Santosh, M., 2008. Models on Snowball Earth and Cambrian explosion: a synopsis. Gondwana Research 14, 22e32.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТИХООКЕАНСКОЙ ПЛИТЫ (ПО ДАННЫМ ЛИНЕАМЕНТНОГО АНАЛИЗА)

А.И. Полетаев

Линеаментный анализ (Hobbs, 1904), широко и разнообразно применяемый при изучении континентов (Кац и др., 1986; Полетаев, 1994; 2010), при исследовании акваторий, особенно океанских, применяется до сих пор очень умеренно, хотя отдельные примеры (Абих, 19в.; Зондер, 1956; Чебаненко, 1963; Мирошниченко и др., 1984; Корчуганова, 1985; Маслов, Анохин, 2009; Полетаев, 2017 и др.) весьма показательны.

Предварительное ознакомление со структурными и тектоническими схемами Тихоокеанской плиты (ТОП) показало её асимметричность:

в **восточной части** преобладают разрывы субширотного простирания,

в **западной** – со времён Г. Менарда, т.е. с 60-х годов XX века, наблюдается некий структурный «хаос»: на одних (Фурмарье, 1971; Боголепов, Чиков, 1976) картах и схемах показаны разломы, на других (Вершинский, 1989; Пущаровский, 2007; Куприн, 2014) – острова, а на третьих (Радкевич, Ициксон, 1973: из В.Гаврилов, 1978, с. 83; Жоливо и др., 1989: из: Хаин, Ломизе, 1995, с. 277) и вовсе – ничего.

Линеаментный анализ акватории Тихого океана, выполненный по фрагменту Листа 2 – 3 «*Физико-географического атласа Мира*» (1964), «вскрыл» следующие структурные особенности его дна, в котором чётко выделяются линеаменты С-СЗ и СВ-го простираний, и дуговые структуры, не только пространственно, но и, вероятно, генетически связанные с линеаментами:

Структура Тихоокеанской плиты (по данным линеаментного анализа):

1 -1 – Осевой субмеридиональный линеамент Императорские горы – о-ва Туамоту,

11-11-Субмеридиональный линеамент Японского жёлоба,

111 – Субмеридиональный линеамент Филиппинского жёлоба,

1V – Группа субмеридиональных Андаманских линеаментов,

V – Осевой субширотный линеамент о-в Флорес (ЮЗ) – атолл Мидуэй (СВ),

V1 – Осевой субширотный Австрало-Американский линеамент (гора Брус (ЮЗ) – Дарвин – разлом Мэррей – Сан-Франциско (СВ),

V11– дуга о-ва Суматра, V111 – дуга о-ва Новая Гвинея.

1. Осевой линеамент Императорские горы – о-ва Туамоту «делит» акваторию Тихого океан на две котловины: Западную и Восточную.

2. К ЮЗ от линеамента Императорских гор и практически параллельно ему расположены линеаменты Японского жёлоба, Филлипинского жёлоба и «группа» Андаманских линеаментов.

3. Характерно, что расстояния между этими линеаментами эквидистантны, колеблясь от 1800 до 2100 км.

4. Практически перпендикулярно линеаментам С-СЗ-го простирания прослеживаются два линеамента В- СВ-го простирания:

от острова Флорес (на ЮЗ) – до атолла Мидуэй (на СВ) и

от Центрально-Индийского сегмента срединно-океанического хребта – между Западно-Австралийской и Натуралистов (Перт) глубинно-океаническими котловинами (ГОК), далее между ГОК Арго и СЗ-ым «краем» Австралии, далее, между Восточно-Марианской и Меланезийской ГОК и далее примерно до восточного окончания разлома Мэррей и далее, вероятно, до Сан-Франциско.

5. **Линеаменты В-СВ-го простирания** как бы «**сдвигают**» к СВ линеаменты С-СЗ-го простирания, что свидетельствует об их более **«молодом» возрасте**.

На ***горизонтальные подвижки*** вдоль предполагаемой левосдвиговой зоны могут указывать также **дуга о-ва Новая Гвинея** (движение на СВ) и **дуга о-ва Суматра** (движение на ЮЗ).

6. Разломы Восточной котловины (с севера на юг) – Чинук, Сервейор, Мендосино, Пайонир, Мендосино, Мэррей, Кларион и другие – протягиваются в субширотном простирании и являются, по одним данным, вероятно, сбросовыми структурами, по другим – с элементами сдвига (по: Хильд, Ксезаки, Вагерман: из Троицкий 2016, с. 221).

Литература

1. *Аверьянова В.Н.* Глубинная сейсмотектоника островных дуг (Северо-запад Тихого океана). – М.: «*Наука*», 1975, 220с.

2. Богданович К. Землетрясения в Мессине и Сан-Франциско. – Изд-во О.Н. Поповой. С.-Петербург, Невский, 54, 1909,160с.

3. *Боголепов К.В., Чиков Б.М.* Геология дна океанов. – М.: «*Наука»*, 1976, 247с.

4. *Вакье В*. Магнитные данные о горизонтальных смещениях ложа Тихого океана / В кн.: Дрейф континентов. – М.: «*Мир*», 1966.

5. *Вершинский Н.В.* Загадки океана. – М.: «*Педагогика*», 1989, 144 с. с ил. (Б-чка Детской энциклопедии «Учёные школьнику»).

6. *Вопросы геоморфологии и тектоники Западной Пацифики*. – Владивосток: «*Дальнаука*», 2007, 175с.

7. *Вуллард Дж*. Соотношения земной коры и мантии в области Гавайских островов / В кн.: Окраины континентов и островные дуги. Труды симпозиума. Под редакцией У.Х. Пула. – М.: «*Мир*», 1970. С.237 – 248.

8. *Гаврилов А.А*. – Чукотско-Антарктический линеамент / В кн.: Вопросы геоморфологии и тектоники Западной Пацифики. – Владивосток, «*Дальнаука*», 2003. С. 22 – 36.

9. *Гаврилов В.П*. – Феноменальные структуры Земли. – М.: «*Наука*», 1978, 152с.

10. *Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф*. Основы линеаментной тектоники. – М.: «*Недра*», 1986, 144с.

11. *Корчуганова Н.И.* Линейные структуры Японского моря // «*Изв. ВУЗов. Геол. и разв.*», 1985. №3. С. 104 – 106.

12. *Космическая информация в геологии*. – М.: Наука, 1985, 536с.

13. *Куприн П.Н.* – Введение в океанологию. – М.: МГУ, 2014, 632 с.

14. *Маслов Л.А., Анохин В.М*. Закономерности направленности линеаментов и разломов дна Российской части Японского моря // «*Тихоокеанская геология*», 2009, т.28, №2. С. 3 – 16.

15. *Менард Г.У.* Геология дна Тихого океана. Перевод с английского, редакция и предисловие А.В. Живаго. – М.: «*Мир*», 1966, 282с.

16. *Мирошниченко В*.П., Березкина Л.И., Леонтьев Е.В. Планетарная трещиноватость осадочного чехла литосферы (по материалам аэрокосмических съёмок). – Л.: «*Недра*», 1984, 216 с.

17. *Мушкетов И.В., Мушкетов Д.И*. Физическая геология. – ОНТИ-НКТП СССР. Главная редакция геолого-разведочной и геодезической литературы. – Л. – 1935 – М.: 908с.

18. *Полетаев А.И*. Линеаментная делимость земной коры. – М.: МГП «*Геоинформмарк*»,1994, 48с.

19. *Полетаев А.И*. Линеамент / Большая Российская энциклопедия. – М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия», 2010. Т. 17. Лас-Тунас – Ломонос. С. 497.

20. *Полетаев А.И*. Скрытые тектонические нарушения Северного Ледовитого океана (по данным линеаментного анализа / *Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Материалы XLIX Тектонического совещания, посвященного 100-летию академика Ю.М. Пущаровского. – М.:* ГЕОС, 2017, том 2. С. 78-81

21. *Пущаровский Ю.М.* Тектонические феномены океанов / Фундаментальные проблемы общей тектоники. – М.: «*Научный мир*», 2007. С. 174 – 230.

22. *Родников А.Г.* Островные дуги западной части Тихого океана. – М.: «*Недра*», 1979, 152с.

23. Такеучи Х., Уеда С., Канамори Х. Движутся ли материки. Перевод с английского Д.М. Печерского. Под ред. Е.А. Любимовой и Г.Н. Петровой. – М.: «*МИР*», 1970, 248 с.

24. *Троицкий В.И.* Геотектоника и геодинамика. Учебник. – М.: РУДН, 2016, 540с.

25. *Физико-географический атлас Мира*. – М.: Академия наук СССР и Главное управление геодезии и картографии ГГК СССР, 1964. Лист 2 – 3: Рельеф.

26. Фурмарье П. Проблемы дрейфа континентов. – М.*: «Мир»,* 1971, 256с.

27. Хаин В.Е. Тектоника линеаментов и неомобилизм // GEOLOGICA BALCANICA, 8.3, Sofia, Sept. 1978.P.3–8.

28. *Хаин В.Е.* Тектоника континентов и океанов. – М.: «Научный мир», 2001, 604 с.

29. *Хаин В.Е.* Основные проблемы современной геологии. – М.: «Научный мир», 2003, 348с.

30. *Хаин В.Е., Ломизе М.Г.* Геотектоника с основами геодинамики. – М.: МГУ, 1995, 480с.

31. *Чебаненко И.И.* Тектоническая делимость земной коры. – Киев, «*Наукова думка*», 1977, 83с.

32. *Hobbs W.N.* Lineaments of the Atlantic border region // Bull. Geol. Soc. Amer., 1904, vol. 15. P. 483 – 506.

33. *Jackson T.D.* Linear volcanic chains on the Pacifiic plate / G. H. Sutton, M.H. Manghnani, R. Moderly c.a. The Geophysics of the Pacific Ocean Basin and its Margin, 1976.

34. *Sonder R.A.* Mechanik der Erde. Elemente und Studien zur tektonischen Erdgeschichte. – Stuttgart, 1956, 291s.

35. *Taylor F.B.* Sliding Continents and tidal and rotational forces / Contribution an Symposium on The Origin and movement of Land masses. 1928.

Работа выполнена в рамках программы НИР «*Моделирование новейших геодинамических процессов, влияющих на сейсмичность и флюидную проницаемость осадочных толщ*».