Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ГИН РАН)

УДК 551.24

Рег. № НИОКТР АААА-А17-117030610107-3

Рег. № ИКРБС

УТВЕРЖДАЮ Директор ГИН РАН

____К.Е. Дегтярев

»

г.

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

«

ФАКТОРЫ И МЕХАНИЗМЫ НОВЕЙШЕЙ СТРУКТУРНОЙ ЭВОЛЮЦИИ АЛЬПИЙСКО-ГИМАЛАЙСКОГО И ПРИТИХООКЕАНСКОГО ПОДВИЖНЫХ ПОЯСОВ (итоговый)

Руководитель НИР, ведущий научн. сотр., д-р геол.-минер. наук

А.И. Кожурин

(подпись)

Москва 2019

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР,	
д-р геолминер. наук	 А.И. Кожурин
	(введение, заключение)
Исполнители	
Зав. лаб., ст. науч. сотр.	
канд. геолмин. наук	 Е.А. Зеленин
	(раздел 2)
Гл. науч. сотр.	
д-р геолмин. наук, профессор	 В.Г. Трифонов
	(раздел 4, заключение)
Ст. науч. сотр.	
канд. геолмин. наук	 Д.М. Бачманов
	(раздел 1)
Ст. науч. сотр.	
канд. геогр. наук	 Я.И. Трихунков
	(раздел 3, 4)
Ст. науч. сотр.	
канд. геолмин. наук	 С.А. Соколов
	(раздел 3)
Науч. сотр.	 Е.А. Шалаева
	(раздел 4)
Мл. науч. сотрудник, аспирант	 О.В. Гайдаленок
	(раздел 3)

Реферат

Отчет 40 с., 5 разделов, 16 рисунков, 43 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: Альпийско-Гималайский подвижный пояс, Притихоокеанский подвижный пояс, активные разломы, горообразование, неотектоника, сейсмотектоника, общемантийная конвекция.

Разработаны принципы, методы составления и характеристики атрибутов Новой базы данных активных разломов Евразии. Она содержит информацию о географическом положении, кинематике, интенсивности движений и достоверности выделения более 20000 объектов, а также об источниках представленной в базе данных информации.

Показана связь тектонических процессов с геодинамическими процессами в ядре и мантии Земли, а именно с общемантийной и порождаемой ею верхнемантийной конвекцией и перераспределением масс в системе внешнего жидкого и внутреннего твердого ядра Земли. Таким образом, тектогенез является интегральным эффектом геодинамических процессов в ядре и мантии Земли.

Впервые получены данные о средней за средне-позднечетвертичное время скорости направленного в сторону океана растяжения Центрально-Камчатского сегмента Курило-Камчатской островной дуги ~17 мм в год, что близко к расчетному значению, обусловленному отступанием субдуцирующей плиты (т.н. роллбэк). Соответствие значений свидетельствует в пользу ключевой роли отступания погруженной части океанической плиты и желоба в сторону океана в четвертичной и активной деформации сегмента островной дуги.

Выявленные в Керченско-Таманской области Аравийско-Кавказского сегмента Альпийско-Гималайского пояса структурные проявления неотектонических движений свидетельствуют о формировании в общей структурно-геодинамической обстановке сжатия. При этом орогенное поднятие Большого Кавказа отделено от Керченско-Таманской области сбросо-раздвиговой Абраусской разломной зоной.

На основании накопленного фактического материала были получены возрастные реперы и оценена интенсивность новейшего горообразования внутренней части Кавказско-Аравийского сегмента Альпийско-Гималайского пояса, материал для аналогичных оценок собран также в нескольких районах Большого Кавказа.

СОДЕРЖАНИЕ

ВЕДЕНИЕ	5
Раздел 1. База данных активных разломов Евразии и прилегающих акваторий	
Раздел 2. Глубинные источники тектогенеза	
Раздел 3. Камчатский сегмент Притихоокеанского подвижного пояса	
Раздел 4. Крымско-Черноморский сегмент Альпийско-Гималайского	
подвижного пояса	17
Раздел 5. Кавказско-Аравийский сегмент Альпийско-Гималайского	
подвижного пояса	26
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	31
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	32
Приложение А: Публикации по теме исследований в 2019 г.	37

Введение

Проблема эволюции новейших подвижных поясов чрезвычайно сложна и многопланова. Исследования по теме включают в себя прежде всего структурный аспект развития подвижных поясов, а именно активную разломную тектонику, выяснение причин ее продольных и поперечных вариаций, оценка вклада коровых и мантийных процессов в современный облик горных сооружений. При работах по теме изучались ключевые участки поясов, своего рода тектонотипы, закономерности развития которых представительны для поясов в целом. В Альпийско-Гималайском коллизионном поясе это Аравийско-Кавказский и Крымско-Черноморский сегмент, в Притихоокеанском аккреционном поясе – Камчатский сегмент Курило-Камчатской островной дуги. Структура отчета построена в соответствии с территориальным принципом – каждый раздел отчета соответствует одному из названных сегментов, в отдельные разделы выделены результаты ранга континента (раздел 1) и тектоносферы в целом (раздел 2).

Работы выполнены по пункту программы ФНИ государственных академий наук на 2013-2020 г.г. № 124 — «Геодинамические закономерности вещественно-структурной эволюции твердых оболочек Земли».

1. База данных активных разломов Евразии и прилегающих акваторий

Важнейшим достижением Лаборатории за отчетный период является завершение создания и публикация Базы данных активных разломов Евразии (БД) (рисунок 1). Активными называются разломы, по которым выявлены признаки тектонических движений конца плейстоцена и голоцена, что дает основание подозревать продолжение активности в ближайшем будущем. БД объединяет и обобщает данные многих исследований в едином формате и содержит более 30000 объектов (разломов, разломных зон и связанных с ними тектонических нарушений и деформаций). Каждый объект БД снабжен координатной привязкой, достаточной, чтобы изобразить его без огрубления на картах масштаба 1: 1000000, и характеризующими его обосновывающими и оценочными атрибутами. Обосновывающие атрибуты: NAME – название объекта; PARM – записанные в определенном формате данные о морфологии, кинематике и величинах смещений по разлому за различные отрезки времени, скоростях движений, установленные по данным об амплитудах смещений за определенное время, возрасте последних проявлений активности, сейсмических и палеосейсмических проявлениях, связанных с объектом; ТЕХТ – дополнительные сведения об объекте, записанные в свободной форме; AUTH – источники информации об объекте.



Рисунок 1 – Пространственная визуализация Базы данных активных разломов Евразии

Оценочные атрибуты представлены системой индексов, отражающих следующие характеристики. SNS1 – ведущая компонента движений по разлому согласно структурногеологической классификации. SNS2 – второстепенная компонента движений по разлому, если она существует. SIDE – индикатор относительно поднятого крыла. RATE – три ранга скорости молодых движений по разлому (V < 1 мм/год; $1 \le V < 5$ мм/год; $V \ge 5$ мм/год). CONF – четыре категории достоверности оценки объекта как активного. С помощью индексов объекты можно сравнивать друг с другом и коррелировать с любой другой оцифрованной информации, используя программное обеспечение ArcGIS. БД создана в формате, допускающим ее пополнение, усовершенствование и ревизию.

В 2019 г. получено Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2019621553 «База данных активных разломов Евразии» (рисунок 2). БД представлена в открытом доступе на сайте ГИН РАН, где она снабжена Объяснительной запиской и списком использованной литературы. Содержащиеся в БД сведения об активных разломах важны для оценки сейсмической опасности и решения ряда задач тектоники и геодинамики.



Рисунок 2 – Свидетельство о государственной регистрации Базы данных активных разломов Евразии

. Сравнительный анализ активных разломов различных тектонических провинций Кавказско-Анатолийского региона Альпийско-Гималайского подвижного пояса по материалам БД дал возможность уточнить позднекайнозойские кинематические характеристики этих провинций. Для анализа были использованы розы-диаграммы простираний разломов разной кинематики, построенные с учетом длин, скоростей перемещений и достоверности выделения активных разломов. Для Кавказского региона рассчитаны направления осей горизонтального удлинения и укорочения (рисунок 3). Для всей центральной части Альпийско-Гималайского пояса техникой 100-км скользящего



Рисунок 3 – Ориентация осей сокращения (красные штрихи) и удлинения (синие штрихи) земной коры, проявленных в активной разломной тектонике. Величина штрихов пропорциональна логарифму величины сокращения-удлинения

окна рассчитаны величины горизонтального удлинения и укорочения 10-8 м2/м2/год (рисунок 4). Расчеты направлений и величины деформации помогают оценить особенности тектонического течения верхней части земной коры в четвертичное время. Для той же территории техникой 100-км скользящего окна рассчитано также распределение сдвиговой деформации 10-9 радиан/год для оценки параметров вращения блоков. Перспективным оказалось сравнение роз-диаграмм для достоверных (категории А и В) и предполагаемых (категории С и D) активных разломов. Дело в том, что разломы с предполагаемой позднечетвертичной активностью были достоверно активными в более ранние от разная в состоя в том.



Рисунок 4 – Величины деформаций укорочения-удлинения центральной части Альпийско-Гималайского подвижного пояса, рассчитанные по Базе данных активных разломов. Преобладающее укорочение показано желто-красными тонами, преобладающее удлинение – синими

плиоцен-квартера, и появляется возможность сравнить напряженно-деформированное состояние в разные эпохи плиоцен-квартера. В одних провинциях оно изменилось слабо, в других претерпело существенные изменения, и можно оценить их геодинамический смысл.

Материалы, касающиеся структуры и источников БД опубликованы в 2017 г. [1]. Принципы, методы и задачи программной обработки БД для решения задач неотектоники и современной геодинамики опубликованы в 2019 г. [2].

2. Глубинные источники тектогенеза

Различные аспекты связи тектонических явлений в земной коре с общемантийной и/или верхнемантийной конвекцией рассматривались многими исследователями. Ранее [3-5] нами была предложена модель тектоники мантийных течений, согласно которой восходящие ветви общемантийной конвекции образованы общемантийными супеплюмами, прежде всего, Эфиопско-Афарским и Центрально-Тихоокеанским. От них распространяются верхнемантийные горячие потоки, которые непосредственно или с образованием верхнемантийной конвекции перемещают литосферные плиты. Потоки могут обогащаться флюидами, перерабатывая переходный слой мантии (~400-700 км), в котором флюиды концентрируются за счёт дегидратации субдуцируемых слэбов, большинство которых переходит в субгоризонтальные линзы на этом уровне, и, возможно, поступления глубинного водорода. В эпохи широкого распространения коллизии активизированная подвижными компонентами астеносфера вызывает разуплотнение литосферы, что приводит к усилению вертикальных движений и горообразованию. Эпохи горообразования (орогенные этапы) повторялись в фанерозое. Их «пиковые» стадии приходятся на эйфельский и артинский века и плиоценчетвертичное время. Нисходящие ветви общемантийной конвекции образованы отслоенными фрагментами высокометаморфизованных низов утолщённой континентальной литосферы и той частью субдуцируемых слэбов, которые погружаются ниже переходного слоя мантии.

Для двух геодинамически различных систем: Гавайи – Императорский хребет и Эфиопия–Аравия–Кавказ, рассчитаны скорости верхнемантийных потоков. Для системы Гавайи – Императорский хребет расчёт основан на прохождении астеносферного потока и перемещаемой им плиты над северным ответвлением Центрально-Тихоокеанского суперплюма. Скорость движения определялась по положению вулканов разного возраста (до 76 млн лет) относительно активного вулкана Килауэа. Для системы Эфиопия–Аравия– Кавказ определялось распространение астеносферного потока от Эфиопско-Афарского суперплюма в северных румбах. Скорость течения оценивалась по возрасту самых ранних кайнозойских вулканических извержений, связанных с мантийными источниками – от 55 до 2.8 млн. лет. В обеих системах скорости верхнемантийных потоков варьировали в разные эпохи от 4 до 12 см/год и в среднем близки к 8 см/год. Такая скорость течения была бы недостижима, если вязкость верхней мантии однородна и соответствует значениям, основанным на данных о голоценовых вертикальных движениях, связанных со снятием ледовой нагрузки на древних кратонах. Мы полагаем, однако, что астеносфера состоит из прочных фрагментов от зёрен до крупных блоков, разделённых тонкими

плёнками вещества, близкого к состоянию плавления и местами насыщенного флюидами. Наличие матрикса с резко пониженной вязкостью делает возможным общую деформацию и быстрое перемещение прочных обломков.

Под разными континентами на глубинах до 2000-2500 км обнаружены объёмы мантийного вещества с повышенными скоростями сейсмических волн, которые мы интерпретируем как отслоенные И погружающиеся фрагменты высокометаморфизованных низов утолщённой континентальной литосферы. Расчёт скоростей погружения выполнен нами для континентов Южной Америки и Западной Африки, обрамляющих Южную Атлантику. На обоих континентах погружающиеся фрагменты группируются в полосы, наклонённые к Срединно-Атлантическому хребту (САХ) (Рисунок 1). Объёмы, только начинающие погружение, отстоят от наиболее глубоко погруженных объемов в сумме на ширину раздвинувшейся Атлантики. Объёмы, расположенные ближе к оси САХ и начавшие погружаться раньше, на глубинах 2000-2200 км смыкаются. Таким образом, их погружение началось одновременно с началом раздвигания Южной Атлантики (~200 млн. лет назад), что даёт скорость погружения ~0.9-1.0 см/год. Это почти на порядок меньше скоростей верхнемантийных потоков и, вероятно, близких к ним скоростей восходящих потоков в суперплюмах. Последнее согласуется с тем, что нисходящие потоки занимают большие объёмы мантии, нежели восходящие, что обеспечивает их баланс.

Изложенные научные результаты опубликованы в статьях [5, 6].

3. Камчатский сегмент Притихоокеанского аккреционного пояса

Исследования в Притихоокеанском подвижном поясе преследовали две главные цели.

1) Получение, на примере Камчатского сегмента Курило-Камчатской островной дуги, численных значений скорости деформирования деформирования земной коры островной дуги, развивающейся в условиях поперечного, связанного с отступанием погруженной части океанической плиты, растяжения.

 Изучение соотношения поясов активного вулканизма с новейшей структурой Камчатки, соотношения вкладов вулкано-тектонических и тектонических процессов в деформацию островной дуги.

3.1. Скорости деформирования земной коры.

Ключевыми проблемами, вплоть до настоящего времени препятствовавшими решению этой задачи, являлись неопределенность морфологии (углов падения, их изменения с глубиной) восточного разломного ограничения Центральной Камчатской депрессии – Восточно-Камчатской зоны разломов, и факторов развития структур растяжения в надсубдукционной литосфере (рисунок 5).



ЦКД - Центральная Камчатская депрессия. Голубые полосы и красные кружки – позднечетвертичные зоны и центры вулканизма. Черные линии - активные разломы. Цветные стрелки - относительные перемещения блоков, черная - океанической плиты. Серые рамки – рисунки с деталями строения зон разломов (см. ниже). Рисунок 5 – Схема современной структуры Камчатки

В результате работ впервые получены данные о средней за среднепозднечетвертичное время скорости направленного в сторону океана растяжения Центральной Камчатки, порядка 17 мм/год, из этого значения примерно 4 мм/год приходится на растяжение в восточной вулканической зоне [7] (рисунок 6). По порядку общая скорость растяжения близка к полученному физическим и численным 28 мм/год [8]. Соответствие значений моделированием значению примерно в свидетельствует в пользу реальности отступания погруженной части океанической плиты и желоба в сторону океана как процесса, определяющего четвертичную и активную деформацию островной дуги. На основе данных исследований в восточной вулканической



Вверху: Восточный вулканический пояс (цветная заливка) и активные разломы Центральной Камчатки (красные линии). Пунктирная черная линия – линия профиля. Внизу: принципиальный профиль со значениями горизонтального поперечного растяжения на восточной границе ЦКД и в осевой части вулканического пояса.

Рисунок 6 –Системы активных разломов восточного борта ЦКД и восточного вулканического пояса

зоне Центральной Камчатки предложено объяснение пространственного и временного совмещения активных тектонических и вулканических процессов: активная разломная тектоника в поясе есть результат разрушения утоненного под вулканическим поясом хрупкого слоя (за счет повышенного теплового потока) при региональном растяжении Центральной Камчатки. К важным результатов можно отнести также выводы о том, что сбросы восточного ограничения ЦКД относятся к особому типу разломов – т.н. "разломов с малыми углами падения" (low angle normal faults, по [9]) (Рисунок 7).



Рисунок 7 – Пример пологой плоскости активного сброса в основании сбросовой фасеты в Ганальском хребте, Восточно-Камчатская зона разломов.

На основе картографирования разломных структур Южной Камчатки была сделана также оценка средней (за поздний плейстоцен - голоцен) скорости деформирования островной дуги вблизи южного окончания ее Камчатского сегмента [10]. Суммирование горизонтальной компоненты смещений по редким сбросовым разломам и оценка их возраста, а также величины растяжения в трещинах магморазрыва дало значение скорости растяжения Южной Камчатки, не превышающее 1.5 мм в год, то есть на порядок меньшее, чем значение, полученное для Центральной Камчатки. Это означает, что поперечное растяжение Камчатки убывает с удалением от северного окончания зоны субдукции и, тем самым, подтверждает сделанный ранее вывод о том, что растяжение Центральной Камчатки, вероятнее всего, связано с отступанием погруженной под нее части Тихоокеанской плиты и желоба в сторону океана, которое быстрее вблизи северного окончания зоны субдукции. Изменение скорости деформирования по механизму правого сдвига, по всей видимости, приурочено к Начикинской зоне поперечных дислокаций, где ранее [11] были описаны активные структуры общей правосдвиговой кинематики.

3.2. Сейсмический режим Восточного вулканического пояса

Благодаря детальной тефрохронологической модели голоцена Восточной Камчатки [12-14] стало возможным провести детальное расчленение и возрастную привязку голоценовых сейсмических событий в восточном вулканическом поясе были проведены полевые палеосейсмологические работы, дополненные структурно-геоморфологическим дешифрированием высокодетальных космоснимков и цифровых моделей рельефа, позволившие выявить специфику режима деформирования осевой части вулканического пояса. Осевой грабен, характеризуется частыми, но малоамплитудными подвижками, генерирующими землетрясения малых магнитуд. Величины разовых смещений, запечатленные в описанных разрезах почвенно-пирокластического чехла игнимбритовых плато Восточного вулканического пояса, не превышают 20 см (рисунок 8). Масштабные



А – топографический профиль через разломный уступ, положение канавы показано штриховкой, В
 – фотомонтаж стенки канавы, С – положение в разрезе голоценовых пеплов (идентифицированные закрашены и подписаны) и деформирующих их разломных плоскостей)

Рисунок 8 – Палеосейсмологическая канава на плато Широком, Восточный вулканический пояс

зависимости, основанные на общемировых наборах данных по разломным деформациям, позволяют сопоставить эти смещения с землетрясениями магнитудой $M_s < 5,4$. Столь слабая сейсмичность как правило не приводит к формированию разломных уступов на поверхности (e.g. Wells and Coppersmith, 1994), но вероятность выхода малоамплитудных смещений на поверхность повышается в земной коре с хрупким слоем малой мощности. Для вулканических поясов утонение хрупкого слоя (см. рисунок 6) объясняется прогревом коры мантийным диапиром, что подтверждается как экспериментами [15], так и полевыми данными [16].

Возрастная привязка сейсмических событий вкупе с изученной детально голоценовой историей близлежащих вулканов дают основания сопоставления для вулканической И сейсмической активности на качественном уровне (рисунок 9) количество событий сравниваемых очевидно недостаточно для статистической обработки. Датированные сейсмические события не показывают приуроченности крупнейшим к извержениям либо изменениям близлежащих состояния вулканов, равно как и к эпизодам покоя.

Изложенные результаты опубликованы в статье [16].



Рисунок 9 – Сводный тефрохронологический разрез исследованной части Восточного вулканического пояса с возрастами датированных сейсмических событий и крупнейших извержений

4. Крымско-Черноморский сегмент Альпийско-Гималайского подвижного пояса

Исследованы конкретные примеры средне-позднечетвертичного складкообразования в Таманской части Керченско-Таманской зоны. Складчатые и разрывные деформации на территории Керченско-Таманской зоны были проявлены начиная с неогена, о чем свидетельствуют толщи соответствующего возраста смятые в брахиформные и линейные складки. Формирование пликативных и дизъюнктивных нарушений в данной зоне продолжалось и в четвертичное время, вплоть до среднегопозднего квартера, что находит подтверждение в пологих углах наклона отложений включая позднечетвертичные.

4.1. Тектоническая структура и история развития Зародинской антиклинали

В отчетный период была исследована тектоническая структура и история развития Зародинской антиклинали (восточная часть Азовского побережья Таманского полуострова, вблизи пос. За Родину, рисунок 10), как примера четвертичных деформаций, на основе палеомагнитных, палеонтологических и палинологических данных уточнена стратиграфия слагающих ее отложений [Тесаков А.С. и др., 2019].



Рисунок 10 – Расположение и структурная делимость района Зародинской антиклинали

В рассматриваемой части системы северных береговых обрывов Таманского полуострова выделяются три разновозрастных толщи, формирующие антиклинальную складку, разбитую разрывными нарушениями на изолированные блоки (рисунок 11), отличающиеся литологическим составом и фаунистической характеристикой. Разрывные нарушения маскируются грязевулканическими образованиями, формирующими неки и потоки, изливавшиеся по оврагам. В береговых обрывах присутствует линза насыщенная костными остатками крупных млекопитающих, известная как местонахождение Синяя балка [17-19], смещенная относительно своего первоначального местоположения сейсмооползневыми процессами и помещенная в толщу более древних отложений.



1 – грязевулканические образования (силлы и дайки); 2–4 –толщи сверху-вниз: 2 – III и современная почва объединенные, 3 – II, 4 – I; 5 – костеносная линза; 6 – палеонтологические и археологические местонахождения; 7 – предполагаемые разрывные нарушения; 8 – геологические границы и горизонты.

Палеонтологические и археологические местонахождения (номера на схеме): 1 – блок Восточный (западное обнажение); 2 – Синяя Балка/Богатыри; 3 – Рыбная линза; 4 – Родники–1; 5 – Родники–2; 6 – Кермек; 7 – Тиздар–1; 8 – Тиздар–2.

Рисунок 11 – Геолого-геоморфологический схематический профиль вдоль береговых обрывов в районе пос. За Родину на северо-востоке Таманского полуострова

Проведенные исследования показали, что залегающая в основании разреза толща I верхнекуяльницких глин, алевритов и песков содержит фауну, датирующую эту толщу в интервале около 1.8–2.1 млн. лет [17-19]. Палеомагнитные данные показывают, что отложение толщи началось до эпизода Олдувай и закончилось вскоре после него. В раннем-среднем калабрии, после завершения формирования толщи I, она была смята с углами наклона до 70° и нарушена разломами, в результате чего в части района возник холмистый рельеф. В среднем калабрии (до палеомагнитного эпизода Харамильо) накопились костеносные отложения, которые позднее испытали отседание и были повернуты относительно первоначального положения, образовав изолированное скопление костей крупных млекопитающих, ставшее стратотипом таманского комплекса (Синяя балка).

В конце калабрия отложились прибрежно-морские пески и глины переменной мощности, которые были смещены по разломам. Затем произошло выравнивание рельефа. В среднем плейстоцене район перекрыли субаэральные суглинки и местами (в участках сохранявшихся контрастов рельефа) более грубообломочные отложения. Тогда же

началось и продолжается до сих пор формирование пологой Зародинской антиклинали запад-северо-западного простирания, южное крыло которой плавно погружается к Ахтанизовскому лиману, а северное крыло подвергается морской абразии и оползает по системе береговых обрывов.

На всех стадиях развития структуры региона она подвергалась воздействию грязевого вулканизма, интенсивность которого возрастает в западном направлении к оврагу Синяя балка. Оно проявилось в повышенной минерализации и обильных продуктах грязевулканических извержений в виде послойных потоков и силлов разного возраста и скоплений в эрозионных понижениях, которые возникли по зонам тектонических нарушений, разобщивших осадочные толщи на отдельные блоки. Изложенные результаты опубликованы в статье [20].

4.2. Тектоническая структура и история развития Динской брахиантиклинали

Получены новые данные о строении и древнеэвксинском (конец раннего – начало среднего неоплейстоцена) возрасте сравнительно небольшой антиклинальной брахискладки (Динского купола) на юго-западном берегу Динского залива Таманского пова. Брахиантиклиналь расположена к северу от западного периклинального замыкания крупной Фонталовской антиклинали (рисунок 12). Впервые проведено палеомагнитное опробование разреза юго-восточного крыла, а в его основании найден рог оленя, датируемый ранним плейстоценом (гелазий–начало калабрия). Выявленную складчатую деформацию в сглаженном виде повторяет установленный геоморфологическими методами изгиб поверхности свода, сложенный делювиальными суглинками и супесями верхов среднего и/или верхнего неоплейстоцена.



Кружками обозначены точки наблюдения, пунктирной линией – контур Динской антиклинали. Рисунок 12 – Цифровая модель рельефа района Динской антиклинали.

Возраст древнеэвксинской трансгрессии дискуссионен. Исходя из палеонтологических данных и палеогеографических реконструкций, более вероятным представляется ее сопоставление с теплой эпохой MIS 11, т.е. лихвинским межледниковьем Русской равнины (~0.4 млн. лет) [21-22].



Рисунок 13 – А. Изгиб террасовидной поверхности, очерчивающий антиклинальную складку. Показаны обнажения, приуроченные к этой складке на юго-западном побережье Динского залива [1] (1 – 45°22'5.13"C, 36°47'12.90"B; 2 – 45°21'57.13"C, 36°47'18.19"B; 3 – 45°21'51.69"C,

36°47'22.65"B; 4 – 45°21'44.66"C, 36°47'27.08"B; 5 – 45°21'41.19"C, 36°47'29.97"B);

Б. Схематический геологический разрез Динской антиклинали: 1 – покровные суглинки, супеси и современная почва, 2 – древнеэвксинские пески (Q_{II}de), 3 – чаудинские пески и алевриты (Q_{II}ch), 4

– эоплейстоценовые суглинки (Q_E), 5 – глины и пески понта (N₁p) с глыбами мэотических известняков (N₁m); 6 – овраги, 7 – конусы выноса, 8: геологические границы: а– достоверные, b – предполагаемые, 9 – фаунистические находки: а – моллюски, b – крупные млекопитающие, с – мелкие млекопитающие;

В. Геологическое строение отдельных обнажений: 1 – глины; 2 – песок; 3 – алеврит; 4 – покровный комплекс; 5 – фаунистические находки: а – моллюски, б – крупные млекопитающие, с

– мелкие млекопитающие; 6 – почвенно-растительный слой, 7 – палеомагнитные пробы.

Самым зафиксированным Динской ранним свидетельством роста брахиантиклинали является, возможно, уменьшение мощности чаудинских и древнеэвксинских отложений в пределах складки (1 и 3 на рис. 13) по сравнению с ее южным обрамлением (4 и 5 на рис. 13). Наиболее ярко рост складки проявился в деформации чаудинских и древнеэвксинских слоев, наклон которых достигает 40-42° на северо-восточном и 15–16° на юго-западном крыльях брахиантиклинали. Эта деформация произошла после 0.4 млн. лет назад, но преимущественно в начале этого временного интервала, поскольку ее продолжение, выраженное уменьшением мощности среднепозднеплейстоценовых покровных отложений от крыльев к ядру складки и последующим искривлением их поверхности, гораздо слабее. Вместе с тем, искривление поверхности показывает, что рост складки продолжался в конце плейстоцена, а повышенная концентрация береговых голоценовых оползней в ядре складки позволяет допустить, что деформация не прекратилась до сих пор.

Стоит отметить возможное объяснение залегания чаудинских отложений непосредственно на верхнепонтических. Поскольку на юго-западном берегу Динского залива широко развиты многочисленные оползни, то причиной выявленного несогласия может быть оползневое смещение чаудинских отложений вниз по склону (рис. 2 В).

Таким образом: 1. Динская антиклинальная складка на северо-западе Таманского пова возникла в результате интенсивных тектонических движений, деформировавших морские отложения вплоть до древнеэвксинских (начало среднего неоплейстоцена); на северном крыле складки углы наклона слоев достигли 40–42°, а на юго-восточном – 15– 16°; 2. Формирование антиклинали, начавшееся во время и сразу после древнеэвксинской трансгрессии (~0.4 млн. л. н.), продолжалось до конца плейстоцена и голоцена в виде сводообразующей деформации покровного комплекса и террасовидной поверхности, которую он слагает; 3. Динская антиклиналь является выразительным примером позднечетвертичной складчатости и связанных с ней вертикальных смещений земной поверхности, характерных и для других районов Таманского п-ова. Изложенные результаты опубликованы в статье [23].

4.3. Структура четвертичных осадков Таманского залива

Впервые геофизически был изучен поперечный профиль север-северо-западного простирания восточной части дна Таманского залива от пос. Волна Революции до античного города Фанагория (рисунок 14). Данные были получены с использованием метода непрерывного сейсмического профилирования. В ходе исследований было выделено 3 сейсмоакустических комплекса (рисунок 15). В результате интерпретации

сейсмокомплексы на профиле были сопоставлены с образованиями четвертичного возраста: *новочерноморскими* и *карангатскими* отложениями, вплоть до *нижнечаудинских* [24]. Подтвержден факт наличия складчатой структуры четвертичных отложений на данном участке. Анализ залегания новейших морских отложений дна залива указывают на



АА' – НСП-профиль; aa' – профилографа; ББ' – геологический. Оси антиклинальных складок: ах – Ахтанизовская, фн – Фанагорийская, фт – Фонталовская. Звездочкой отмечено местоположение древнего города Фанагория.

Рисунок 14 – Расположение линий профилей в акватории Таманского залива.





Рисунок 15 – Сейсмокомплексы и скопления газа на профиле НСП

голоценовую тектоническую активность депрессии Таманского залива, что подтверждает вклад не только эвстатического подъема уровня моря в период *нимфейской* трансгрессии в погружение античной Фанагории, но и тектонического опускания района Фанагории, учитывая в том числе факт сейсмотектонических подвижек, а также наличие резкой флексуры в неоген-четвертичных отложениях вдоль южного берега Таманского залива [25]. На двух участках профиля обнаружены зоны потери когерентности сигнала, интерпретируемые нами как области скопления газа (см. рисунок 15). Присутствие газовых образований, выходы которых, вероятно, морфологически связаны с крылом смежной Ахтанизовской антиклинали [26], рассматривается как результат глиняного диапиризма майкопской серии олигоцен-нижнемиоценового возраста [27]. На некоторых участка профиля наблюдаются V-образные структуры, интерпретированные нами как эрозионные врезы, связанные с деятельностью русла палео-Кубани. Также, вдоль некоторых сейсмических границ выявлены зоны повышенной яркости, интерпретируемые как места проникновения флюида в межслойное пространство.

Изложенные результаты опубликованы в статье [28].

4.4. Обоснование положения структурной границы Северо-Западный Кавказа и Крымско-Таманской области

Известно сходство складчатых морфоструктур Таманского полуострова и вовлеченной в поднятие Кавказа части Западно-Кубанского прогиба – это невысокие (до 200 м) антиклинальные (часто брахиантиклинальные) гряды протяженностью до от первых сотен метров до 25 км (Рисунок 16). Крылья большинства антиклиналей Тамани и запада Азовской зоны сложены четвертичными морскими осадками, что свидетельствует о современном росте антиклинальных гряд. Размах высотного положения четвертичных отложений Тамани составляет 150–200 м, что позволяет оценить скорости вертикальных движений 0.5 мм/год. При этом очевидна схожесть плановой конфигурации, морфологии, внутреннего строения и возраста морфоструктур обеих областей, свидетельствующая о единстве происхождения и развития Кавказских и Таманских складчатых структур.

В качестве структурной границы СЗК – КТО называют Анапско-Джигинскую поперечную зону [29]. Четко выраженных проявлений сдвиговых движений в рельефе нами не выявлено, морфоструктурное решение этого вопроса затруднено крайне слабой выраженностью структурного рельефа в пределах зоны, занятой в основном Кубанскими плавнями. Основные складчатые морфоструктуры Новороссийской и Псебепской зон прослеживаются к западу от этой зоны, однако для утверждения о наличии плановых деформаций их осей необходимы дополнительные исследования. Согласно

альтернативной точке зрения основной поперечной пограничной зоной СЗК является Анапская флексура, простирающаяся от Анапы на северо-восток [30-32]. О масштабе вертикальных движений говорит тот факт, что в ее восточном поднятом крыле мощности кайнозойских осадочных толщ сокращены, а кровля морских отложений мела расположена на глубине 3–5 км. В то же время в западном крыле кровля меловых отложений резко понижается, а мощности майкопских и более поздних неогенчетвертичных морских отложений возрастают. Среди них доминирующую роль играют битуминозные глины майкопской серии, достигающие 4–5 км мощности.



1 – оси антиклиналей; 2 – области распространения позднечетвертичных отложений, отвечающие низменностям в пределах *КТО* и межгорным впадинам в пределах *СЗК*; 3 – подводные каньоны континентального склона Черноморской впадины; 4 – область распространения останцов предакчагыльских поверхностей выравнивания; 5 – расположение зон тектонических деформаций (а – АДЗ, б – Абрауская зона). Буквами обозначены: КТО – Керченско-Таманская область, СЗК – Северо-Западный Кавказ, Н – Новороссийск, К – Керчь, Т – Темрюк, Ан – Анапа, Дж – пос. Джигинка, Аб – пос. Абрау-Дюрсо, Че – пос. Чекон (долина р. Чекупс)

Рисунок 16 – Структурно-геоморфологическая схема зоны сочленения Северо-Западного Кавказа и Керченско-Таманской области На востоке диагонально к морфоструктурам СЗК расположена еще одна зона деформаций, обозначенная нами как Абрауская по названию поселка Абрау. Ранее она описывалась лишь фрагментарно: ее отдельные структурные элементы отражены на схемах морфотектонического районирования краевой части СЗК, но не рассматриваются в качестве целостной зоны деформаций, ограничивающей горное сооружение и не выводятся за его пределы [33]. Также Абрауская зона не отражена ни на одной детальной геологической карте региона, что можно объяснить слабой обнаженностью структурнолитологических комплексов. Проведенные исследования позволили охарактеризовать данную зону в качестве целостной региональной структуры и показать ее значение как важнейшей границы, отделяющей горно-складчатое сооружение СЗК от равнинной КТО, только вовлекающейся в складчатость Крымско-Кавказской горной страны.

Морфоструктурные исследования на основе анализа ЦМР показывают, что СЗК к востоку от Абраусской зоны имеет высоты до 600-700 м, в пределах самой зоны резко снижается и нигде западнее, за исключением полуострова Абрау, ни одна морфоструктура складчатого сооружения не превышает 300 м. Суммарная амплитуда вертикальных деформаций вершинных поверхностей горного сооружения в Абраусской зоне, без учета факторов эрозии на хребтах и аккумуляции в пределах грабенообразных впадин, оценивается в 500-600 м, а, учитывая названные факторы, может достигать 1 км и более. При этом в данной зоне в настоящий момент нами не выявлено убедительных проявлений горизонтального изгиба осей линейных складчато-разрывных морфоструктур, аналогичных описанным в правосдвиговых Туапсинской или Пшехско-Адлерской поперечных зонах [29]. Таким образом, кинематика Абраусской зоны соответствует сбросо-раздвигу.

Дополнительным критерием выделения Анапско-Джигинской и Абраусской зон деформаций является распределение очагов грязевого вулканизма. Так, все самые восточные грязевые вулканы региона [34], расположены строго на линии Абраусской зоны. Подобно этому в пределах Анапско-Джигинской зоны расположены вулканы Разнокольский и Гора Гнилая. На Тамани грязевулканическая активность имеет широкое распространение, в то время как восточнее Абраусской зоны проявлений этой активности в осевой части СЗК не выявлено. Это, очевидно, связано с отсутствием отложений майкопской серии в поднятом восточном крыле зоны, где они либо не накапливались, либо были размыты. Концентрация вулканов в пределах зон поперечных деформаций связана с большей флюидной проницаемостью последних.

Изложенные научные результаты опубликованы в статье [35].

5. Кавказско-Аравийский сегмент Альпийско-Гималайского подвижного пояса

Исследования в Кавказско-Аравийском сегменте были направлены преимущественно на получение конкретных временных маркеров начала горообразования и оценку интенсивности неотектонических движений. Накопленный к настоящему времени массив данных позволил начать работы по поиску основных закономерностей развития внутригорных впадин центральной части сегмента, а полевые работы сфокусировать на неоген-четвертичных разрезах Большого Кавказа - северной периферии сегмента.

5.1. Датирование воздымания хребтов Большого Кавказа

В 2018-2019 гг. исследованы разрезы неоген-четвертичных отложений <u>Восточного</u> <u>Кавказа</u> в Дагестане и Азербайджане: Келегское плато, массив Череке (Герфинский хребет), Кусарское плато, Самур-Дивичинская низменность. Полевые работы выполнены, полученный материал находится в обработке.

Исследован и опробован разрез морских Акчагыльских отложений Келегского плато (Магарамкентский район Дагестана). Здесь был изучен контакт галечников продуктивной свиты и нижней части песчано-глинистых отложений акчагыла, где выявлены региональные маркирующие слои.

Толща акчагыльских отложений Кусарского плато под г. Бол. Сувал была опробована и скоррелирована с Келегским разрезом. По текстурным особенностям и находкам морской малакофауны обоснован морской генезис отложений. В образцах с высот до 1770 м предварительно определены виды-индикаторы акчагыльского морского бассейна, что позволяет оценить амплитуду новейших поднятий Восточного Кавказа в 1800 м. Из этих данных следует, что скорость поднятия горного сооружения на данном отрезке составляет 0,7 – 0,9 мм/год и является самой высокой из доказанных для Большого Кавказа в новейшее время [36].

Аналогичные работы были поставлены на массиве Череке. Терригеннокарбонатный разрез массива Череке можно разделяют на две части. По данным Б.А. Будагова, его нижняя часть имеет майкопский возраст, а верхи относятся к сармату, однако согласно данным Е.В. Хаина и Т.Н. Кенгерли отложения имеют киммерийский (продуктивная толща) и акчагыльский возраст соответственно. Для разрешения этого противоречия отобраны споро-пыльцевые и палеомагнитые пробы, выполнен сбор раковин моллюсков. Изучение данных образцов позволит уточнить возраст прекращения морского осадконакопления толщи, ныне поднятой на высоту до 2400 м.

На <u>Западном Кавказе</u> на плато Лагонаки проведены многочисленные замеры тектонической трещиноватости и собран обширный материал о кинематике разрывных структур. Получен большой объем данных о геологических индикаторах напряжений (зеркала скольжения, отрывы, мелкие разрывы и сколы). Описана мощная зона покровнонадвиговых дислокаций в основании северной части плато в Гуамском ущелье. Надвигание верхнеюрских известняков плато на отложения нижнего мела минуют по времени Киммерийский тектонический этап развития Большого Кавказа и могли происходить только в позднеальпийское (возможно, предмайкопское) время.

Также на плато Лагонаки исследованы и опробованы разрезы красноцветной коры выветривания, для которой предполагается сарматский возраст [37,38]. Коры данного типа могли формироваться во влажном тропическом или субтропическом климате равнины, а ближайшие современные аналоги встречаются лишь на черноморском побережье Аджарии. Соответственно, территория плато Лагонаки на момент формирования данной коры находилась на высотах, близких к уровню моря, до первых сотен метров, а к настоящему времени кора выветривания поднята в альпийскую зону на высоту 1900 м. Для определения амплитуды и скоростей новейшего поднятия плато отобраны споро-пыльцевые, палеомагнитные и геохимические образцы, которые повзволят оценить возраст формирования красноцветной коры выветривания.

Возраст активных движений в современном бассейне р. Белой, дренирующей плато Лагонаки, Главный и Боковой хребты может быть установлен путем датирования коррелятных отложений. Для решения этой задачи были детально изучены и опробованы разрезы террас р. Белой на отрезке Майкоп – Белореченск: разрезы «Ханская» и «Кругозор» Верхнегавердовской подсвиты (мэотис-понт(?) [39]) и Белореченской свиты (киммерий-куяльник [40]). Гавердовская свита, сложенная лагунно-дельтовыми и речными [39] песками и глинами перекрыта с несогласием галечниками и валунниками Белореченской свиты, являющей собой наиболее древнюю из известных порцию грубой молассы. Отобрана коллекция палеомагнитных, споро-пыльцевых и фаунистических проб. Оценка возраста осадков Белореченской свиты позволит установить этап резкого погрубления молассовых отложений предгорий Западного Кавказа и установить этап активизации его орогенных поднятий.

5.2. История и факторы неотектонического развития Закавказья

На основании накопленного фактического материала были получены возрастные реперы и оценена <u>скорость новейшего горообразования внутренней части Кавказско-</u> Аравийского сегмента Альпийско-Гималайского пояса: опубликованы результаты

изучения ископаемой фауны из плейстоценовых отложений восточной (армянской) части Ширакской впадины Малого Кавказа [41]. Исследована западная (турецкая) часть Ширакской впадины и воссоздана история формирования всей этой впадины в плиоцен четвертичное время [42]. Находки верхнеплиоценовых диноцист в низах осадочного разреза Демиркент у ЮЗ борта впадины доказывает, что раннеакчагыльская трансгрессия Каспийского моря проникала в Ширакскую впадину. К началу квартера (2.58 млн лет назад) уровень акчагыльского моря был близок к современному уровню мирового океана, тогда как сейчас кровля нижнеакчагыльских отложений находятся на высоте 1565 м. Это дает среднюю скорость четвертичного поднятия западной части Малого Кавказа ~0.6 мм/год. Изложенные результаты в 2019 г. поданы в виде статьи в журнал Quaternary International и находятся на этапе реценизирования.

Свидетельства интенсивного подъема Малого Кавказа в четвертичное время стали важным звеном в воссоздании природных и геодинамических условий расселения древнейших предков человека в Аравийско-Кавказском регионе. Проанализированы структурно-геологические, геоморфологические, литолого-геохимические, палеонтологические, палинологические, палеомагнитные и радио-изотопные данные о среде обитания вблизи главных стратифицированных местонахождений древнейшего раннего палеолита в регионе: Убейдия в Израиле, средняя часть долины р. Оронт, район Халабия-Залабия в долине р. Евфрат и Айн ал-Фил в Сирии, Дурсунду в ЮЗ Турции, Шамбаят, Бостанчик, Эскималатья и Кованчилар в Восточной Турции, Карахач, Мурадово, Агворик и Джрадзор в СЗ Армении, Дманиси в Южной Грузии, пещера Азых в Нагорном Карабахе, Мухкай II в Дагестане и Кермек на Таманском п-ве. В местонахождениях Убейдия и Дманиси были обнаружены также антропологические свидетельства обитания древнейшего человека.

Указанные местонахождения датируются в интервале времени ~2.0–1.7 млн лет назад. Рельеф этого времени был гораздо положе и ниже, чем сейчас. Высоты горных хребтов обычно не превышали 1000 м, редко 1500 м. Только отдельные вулканы и, возможно, центральная часть Большого Кавказа возвышалась до 2000 м. Соседние межгорные и предгорные впадины были не выше нескольких сотен метров, а высота некоторых из них лишь немногим превышала уровень мирового океана. Климат конца гелазия был влажным и относительно теплым, обеспечивая развитие лугово-степной и лесостепной растительности саванного типа во впадинах и долинах и хвойных и хвойношироколиственных лесов в горах. Обилие растительности обеспечивалось множеством рек, озер и подземных источников в межгорных впадинах и долинах, которые в значительной мере контролировались активностью разломов. В южной части региона и на

Малом Кавказе дополнительным фактором обилия растительности было обогащение почв продуктами вулканизма. Все это стимулировало широкое распространение копытных млекопитающих. Последующая относительная аридизация, которая была прервана на короткое время эпохой гумидизации начала калабрия, привела к распространению степных и лесостепных биоценозов, но растительность оставалась благоприятной для копытных. Гоминины мигрировали вслед за копытными в течение позднего гелазия и раннего калабрия. Изложенные материалы опубликованы [43].

В 2019 г. выполнены полевые исследования других впадин северо-восточной Турции – Сусузской (Susuz), Селимской (Selim), Пасинлерской (Pasinler), Эрзрумской (Erzurum), Агры (Agri), Чайирли (Çayirli), Эрзинджанской (Erzincan), Рефаие (Refahiye), Сивасской (Sivas) и Кангальской (Kangal). Изучены разрезы впадин, тектонические деформации и разломы, вулканические проявления, собраны коллекции фауны, образцы для палинологического, палеомагнитного и петрохимического анализа.

Полученные данные позволяют наметить <u>пути классификации новейших</u> <u>межгорных впадин Восточной Турции и Армении</u>. Такая классификация должна основываться на относительной роли того или иного тектонического фактора в образовании впадин. Выявленные факторы можно разделить на историко-геологические, структурные и глубинные. К историко-геологическим факторам можно отнести опускания, обусловленные повышенной плотностью коры из-за присутствия в ней значительных фрагментов более древней океанской коры, и наличие связанных с такими опусканиями древних депрессий, наследуемых новейшими долинами.

Наиболее ярко выраженным структурным фактором является существование крупных новейших сдвиговых зон, где, в участках кулисного подставления сегментов возникают впадины растяжения типа pull-apart или вдавленные впадины, названные нами впадинами push-inside. Этот фактор был важнейшим в образовании Эрзинджанской впадины в Северо-Анатолийской зоне разломов, Ванадзорской, Фиолетовской и Мало-Севанской впадин в Памбак-Севан-Сюникской зоне разломов. Менее выразительно, но ощутимо проявился структурный фактор в тех впадинах, обрамление и внутреннее строение которых частично обусловлено крупными разломами преимущественно сдвигового типа. Таковы впадины Большого Севана, Араратская, Агри, Сусузская, Селимская, Хорасанская, Пасинлерская, Эрзрумская, Чайирли и Сивасская. Многие из перечисленных впадин являются вдавленными впадинами, возникшими в условиях сжатия. Вдавленность таких впадин предопределена существованием на их месте ранее возникших депрессий. Показательно в связи с этим, что впадины Фиолетовская, Ванадзорская, Лорийская, Верхнеахурянская, Агри, Хорасанская, Эрзрумская, Чайирли,

Эрзинджанская, Рефаие и Сивасская полностью или частично расположены на офиолитовом субстрате, где существование предшествовавших новейшим впадинам опусканий могло быть обусловлено повышенной плотностью коры. К структурным факторам можно отнести также обособление остаточных относительно опущенных участков между структурами, активно поднимающимися в условиях сжатия, например, при надвигообразовании или складчатости. Этот фактор отчасти предопределил очертание и строение Эрзрумской, Сивасской и Кангальской впадин.

Вместе с тем, существуют впадины изометричные и не связанные с крупными новейшими разломами региона, но полностью или, по меньшей мере, частично окруженные вулканическими образованиями, формировавшимися одновременно с развитием впадин. Самыми выразительными примерами таких отрицательных новейших структур являются впадины Ширакская, Верхнеахурянская, Сусузская и Селимская, окруженные вулканическими образованиями со всех сторон. Частично сложены новейшими вулканитами борта впадин Большого и Малого Севана, Лорийской, Араратской, Агри, Хорасанской и Кангальской. Образование таких впадин могло быть частично или преимущественно обусловлено глубинными (мантийными) перемещениями и преобразованиями вещества, проявившимися в вулканизме.

Большинство впадин обусловлено воздействием нескольких факторов, например, перемещениями по разломам и мантийными преобразованиями, как во впадинах Большого и Малого Севана. Но нередко удается выявить ведущий фактор, например, связь с вулканизмом в Ширакской впадине или присдвиговую природу Ванадзорской и Эрзинджанской впадин. Выявленные в ходе работ по теме закономерности задают наиболее перспективные направления дальнейшего исследования развития внутригорных впадин Аравийско-Кавказского региона и Альпийско-Гималайского пояса в целом.

Заключение

Планы работ по теме за 2019 г. выполнены полностью; соответственно, вся программа работ за трехлетний срок также выполнены в полном объеме. Главные результаты 2017–2019 гг. по завершающейся теме сводятся к следующему.

- Создана базы данных активных разломов Евразии. Авторское право коллектива лаборатории зарегистрировано Федеральной службой РФ по интеллектуальной собственности (рег. №2019621553). Опубликованы две статьи по содержанию, структуре и методике использования базы данных. База данных вместе с объяснительной запиской к ней опубликованы на сайте лаборатории.
- 2. Выявлена связь неотектонических событий и их структурных проявлений в земной коре с процессами в мантии и ядре Земли. Предложена геодинамическая модель, согласно которой движение и взаимодействие литосферных плит и блоков и аномальный подъем земной поверхности в плиоцен-четвертичное время обусловлены подлитосферными течениями, производными от общемантийной и верхнемантийной конвекции, а глобальная синхронность новейших горообразовательных процессов регулируется процессами в земном ядре.
- В Камчатском сегменте Притихоокеанского подвижного пояса установлено растяжение, обоснована морфология крупнейших разломов разломов, показано отсутствие связи палеосейсмичности вулканических поясов с эпизодами активизации вулканизма.
- 4. В центральной части Альпийско-Гималайского пояса в значительной мере завершено изучение особенностей строения и истории формирования Керченско-Таманской складчатой области, расположенной между Горным и Степным Крымом с одной стороны и центральным сегментом Большого Кавказа с другой. Выявлены изменения истории формирования складчатости этой зоны, ее омоложение от дистальных частей к Таманскому сегменту и поперечные зоны нарушений, разделяющие сегменты области с разным возрастом складчатости.
- 5. Исследованы межгорные впадины Восточной Турции и Армении и намечены пути определения их генезиса.
- 6. Впервые получены точные количественные оценки амплитуд и скоростей интенсивного поднятия Малого и Большого Кавказа в четвертичное время. На Малом Кавказе в районе Ширакской впадины скорость подъема составляет около 0.6 мм/год, а на северо-восточном склоне Восточного Кавказа может достигать 0.7 мм/год.

Все названные результаты опубликованы преимущественно в виде статей в высокорейтинговых международных журналах, всего 30 публикаций (Приложение А)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г. База данных активных разломов Евразии // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 4. С. 711-736.
- Бачманов Д.М., Зеленин Е.А., Кожурин А.И., Трифонов В.Г. Использование базы данных активных разломов Евразии при решении тектонических задач // Геодинамика и тектонофизика. 2019. № 4
- Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. На пути к постплейт-тектонике // Вестник РАН. 2015.
 Т. 85. № 7. С. 605–615
- 4. Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. Подлитосферные течения в мантии // Геотектоника. 2017. № 6. С. 1–15.
- 5. Трифонов В.Г. Коллизия и горообразование // Геотектоника. 2016. № 1. С. 1–23.
- 6. Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. Тектонические явления мезозоя и кайнозоя и геодинамические процессы, их определяющие // Геотектоника. 2018. № 5. С. 75-89.
- Kozhurin A., Zelenin E. An extending island arc: The case of Kamchatka // Tectonophysics. 2017. Vol. 706-707. P. 91-102.
- Schellart W. P., Freeman, J., Stegman, D. R., Moresi, L., May, D. Evolution and diversity of subduction zones controlled by slab width // Nature. 2007. T. 446. №. 7133. C. 308-311.
- 9. Collettini C. The mechanical paradox of low-angle normal faults: Current understanding and open questions //Tectonophysics. 2011. T. 510. №. 3-4. C. 253-268.
- 10. Зеленин Е.А. Позднечетвертичные деформации Южной Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. № 3. Вып. 35. С. 103-111.
- Кожурин А. И., Пономарева В. В., Пинегина Т. К. Активная разломная тектоника юга Центральной Камчатки //Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2008. №. 2. Вып. 12. С. 10-27
- Ponomareva V. et al. A full Holocene tephrochronology for the Kamchatsky Peninsula region: applications from Kamchatka to North America //Quaternary Science Reviews. 2017. T. 168. C. 101-122.

- Pinegina T.K., Bazanova L.I., Zelenin E.A., Bourgeois J., Kozhurin A.I., Medvedev I.P., Vydrin D.S. Holocene Tsunamis in Avachinsky Bay, Kamchatka, Russia // Pure and Applied Geophysics. 2018. T. 175. №. 4. C. 1485-1506
- 14. Zelenin E.A., Kozhurin A.I., Ponomareva V.V., Portnyagin M.V. Tephrochronological dating of paleoearthquakes in active volcanic arcs: A case of the Eastern Volcanic Front on the Kamchatka Peninsula (northwest Pacific) // Journal of Quaternary Science. 2019 (в печати)
- 15. England P.C., Katz R.F. Melting above the anhydrous solidus controls the location of volcanic arcs // Nature. 2010. T. 467. № 7316. C. 700–703
- Villamor P., Berryman K.R., Ellis S.M., Rapid Evolution of Subduction-Related Continental Intraarc Rifts: The Taupo Rift, New Zealand // Tectonics. 2017. T.36. №10. C.2250–2272.
- 17. Додонов А.Е., Тесаков А.С., Симакова А.Н. Таманское местонахождение фауны млекопитающих Синяя балка: новые данные по геологии и биостратиграфии // Ранний палеолит Евразии: новые открытия / Васильев С.А. и др. (ред.). Ростовна-Дону: ЮНЦ РАН, 2008. С. 53–57.
- Тесаков А. С. Биостратиграфия среднего плиоцена-эоплейстоцена Восточной Европы (по мелким млекопитающим). М.: Наука, 2004. 247 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 554).
- 19. Трубихин В.М., Чепалыга А.Л., Кулаков С.А. Возраст стратотипа таманского комплекса и олдованских стоянок на Таманском полуострове (палеомагнитные данные) // Фундаментальные проблемы квартера: результаты изучения и главные направления дальнейших исследований / Лаврушин Ю.А. (ред.). М.: ГЕОС, 2017. С. 434–436.
- 20. Тесаков А.С., Гайдаленок О.В., Соколов С.А., Фролов П.Д., Трифонов В.Г., Симакова А.Н., Латышев А.В., Титов В.В., Щелинский В.Е. Тектоника плейстоценовых отложений северо-восточной части Таманского полуострова, южное Приазовье // Геотектоника. 2019, №5. С. 12—35

- 21. Свиточ А.А., Селиванов А.О., Янина Т.А. Палеогеографические события плейстоцена Понто-Каспия и Средиземноморья (материалы по реконструкции и корреляции). М.: Изд-во МГУ, 1998. 292 с.
- 22. Янина Т.А. Неоплейстоцен Понто-Каспия: биостратиграфия, палеогеография, корреляция. М: Геогр. факультет МГУ, 2012. 264 с.
- 23. Гайдаленок О.В., Соколов С.А., Измайлов Я.А., Фролов П.Д., Титов В.В., Тесаков А.С., Трифонов В.Г., Латышев А.В., Орлов Н.А. Новые данные о позднечетвертичном складкообразовании и деформации рельефа на севере таманского п-ова, краснодарский край // Геоморфология. 2020. №1. В печати.
- 24. Государственная геологическая карта РФ. Издание второе. Серия Кавказская. Карта четвертичных образований. Лист L-37-XIX, XXV. Масштаб 1:200000. 2000 г. / Ред. К.О. Ростовцев. ФГУГП Кавказгеолсъемка.
- 25. Трифонов В.Г., Трифонов Р.В. Происхождение и экологические последствия фанагорийской регрессии Черного моря // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2006. №6. С. 509–521
- 26. Енгибарян А.А. Литолого-фациальные и тектонические критерии нефтегазоносности мезакайнозойских отложений Таманского полуострова: дис. канд. к.г.-м.н. «Кубаньгазпром», Ставрополь, 2007.
- 27. Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И., Науменко П.И., Кутний В.А. Грязевые вулканы Керченско-Таманской области: Атлас. Киев: Наукова думка, 1986. 152 с.
- 28. Гайдаленок О.В., Шматков А.А., Шматкова А.А., Ольховский С.В. Результаты сейсмоакустического профилирования дна Таманского залива в районе античного города Фанагория // Геофизические процессы и биосфера. 2019. №4. С. 15-21.
- 29. Хаин В. Е. Попков В. И. Тектоника южного обрамления Восточно-Европейской платформы. Объяснительная записка к тектонической карте Черноморско-Каспийского региона. Масштаб 1:2500000 / Ред. В. Е. Хаин, В. И. Попков. Краснодар: КубГУ, 2009. 213 с.

- Благоволин Н. С. Геоморфология Керченско-Таманской области. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 201 с.
- 31. Несмеянов С. А. Неоструктурное районирование Северо-Западного Кавказа (опережающие исследования для инженерных изысканий). М.: Недра, 1992. 254 с.
- 32. Измайлов Я. А. Плейстоценовая история формирования побережья и современные тенденции морфогенеза. Ростов-н/Д: Изд. СКНЦ высш. шк., 2007. 168 с.
- Алексин А. Г., Шарданов А. Н., Юдин Г. Т., Дьяконов А. И., Аладатов Г. М., Буряк
 В. Н., Горлов С. И., Коротков Б. С., Любофеев В. Н., Никифоров Б. М., Пекло В. П.,
 Шиманский А. А. Геологические формации Западного Предкавказья. М.: Наука, 1973. 155 с.
- 34. Рогожин Е.А, Собисевич А.Л, Собисевич Л.Е, Тверитинова Т. Ю. Структурная позиция и проблемы возникновения очагов грязевого вулканизма в позднеальпийском складчатом сооружении Северо-Западного Кавказа (на примере изучения глубинного строения грязевого вулкана Шуго) // Геология и геофизика юга России. № 3. 2014. С. 89–115.
- 35. Трихунков Я.И., Гайдалёнок О.В., Бачманов Д.М., Маринин А.В. Морфоструктура зоны сочленения Северо-Западного Кавказа и Керченско-Таманской области // Геоморфология. 2018. № 4. С. 77-92.
- 36. Trikhunkov Ya.I., Kangarli T., Shalaeva E.A., Frolov P.D., Aliev F. Estimation of the Eastern Caucasus (NE Azerbaijan) uplift based on the Neogene-Quaternary marine deposits study // The Quaternary of Europe: stratigraphical perspectives and tools for correlations. 20th INQUA Congress. Dublin, Ireland. July 25-31, 2019. P-3612
- 37. Карта поверхностей выравнивания и кор выветривания СССР // Масштаб: 1:2500000/ Ред. И.П. Герасимов, А.В. Сидоренко. М.: Мингео СССР–АН СССР, 1971. 8 л.
- 38. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968. 483 с.
- 39. Tesakov A.S., Titov V.V., Simakova A.N., Frolov P.D., Syromyatnicova E.V., Kurshakov S.V., Volkova N.V., Trikhunkov Ya.I., Sotnikova M. V., Kruskop S.V., Zelenkov N.V. Tesakova E.M. Palatov D.M. Late Miocene (Early Turolian) vertebrate faunas and associated biotic record of the Northern Caucasus: Geology, taxonomy, paleoenvironment, biochronology // FOSSIL IMPRINT. 2017. Sv. 73

- 40. Белуженко Е.В. Континентальные и субконтинентальные верхнемиоценовыенижнеплейстоцновые отложения Западного Кавказа // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Москва. 2006 24 с.
- Tesakov, A.S., Simakova, A.N., Frolov, P.D., Sytchevskaya, E.K., Syromyatnikova, E.V., Foronova, I.V., Shalaeva, E.A., Trifonov, V.G., Early-Middle Pleistocene environmental and biotic transition in NW Armenia, southern Caucasus. Palaeontologia Electronica. 2019. 22.2.25A 1-39. 41. http://dx.doi.org/10.26879/916.
- 42. Shalaeva E.A., Trifonov V.G., Lebedev V.A., Simakova A.N., Avagyan A.V., Sahakyan L.H., Arakelyan D.G., Sokolov S.A., Bachmanov D.M., Kolesnichenko A.A., Latyshev A.V., Belyaeva E.V., Lyubin V.P., Frolov P.D., Tesakov A.S., Sychevskaya E.K., Kovalyova G.V., Martirosyan M., Khisamutdinova A.I. Quaternary geology and origin of the Shirak Basin, NW Armenia // Quaternary International. 2019. vol. 509. p. 41-61
- 43. Trifonov V.G., Tesakov A.S., Simakova A.N., Bachmanov D.M. Environmental and geodynamic settings of the earliest hominin migration to the Arabian-Caucasus region: A review//Quaternary International. 2019 (in press); https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.03.008

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Публикации по теме исследований в 2017-2019 гг.

Статьи в рецензируемых журналах:

- Бачманов Д.М., Зеленин Е.А., Кожурин А.И., Трифонов В.Г. Использование базы данных активных разломов Евразии при решении тектонических задач // Геодинамика и тектонофизика. 2019. № 4
- 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. Гайдаленок О.В., Шматков А.А., Шматкова А.А., Ольховский С.В. Результаты сейсмоакустического профилирования дна Таманского залива в районе античного города Фанагория // Геофизические процессы и биосфера. 2019. №4. С. 15-21.
- 4. Зеленин Е.А. Позднечетвертичные деформации Южной Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. № 3. Вып. 35. С. 103-111.
- Тесаков А.С., Гайдаленок О.В., Соколов С.А., Фролов П.Д., Трифонов В.Г., Симакова А.Н., Латышев А.В., Титов В.В., Щелинский В.Е. Тектоника плейстоценовых отложений северо-восточной части Таманского полуострова, южное Приазовье // Геотектоника. 2019, №5. С. 12—35
- Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. Подлитосферные течения в мантии // Геотектоника. 2017. № 7 С. 3–17. – doi: 10.1134/S0016852117060085
- Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. Строение мантии и тектоническая зональность центральной части Альпийско-Гималайского пояса // Геодинамика и тектонофизика.
 2018. Т. 9. № 4. С. 1-19
- 8. Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. Тектонические явления мезозоя и кайнозоя и геодинамические процессы, их определяющие // Геотектоника. 2018. № 5. С. 75-89.
- Трифонов В.Г., Шалаева Е.А., Саакян Л.Х., Бачманов Д.М., Лебедев В.А., Трихунков Я. И., Симакова А.Н., Авагян А.В., Тесаков А.С., Фролов П.Д., Любин В.П., Беляева Е.В., Латышев А.В., Ожерельев Д.В., Колесниченко А.А. Четвертичная тектоника новейших впадин Северо-Западной Армении // Геотектоника. 2017. № 5. С. 42–64. – doi: 10.1134/S0016852117030116

- Трихунков Я.И., Бачманов Д.М., Гайдаленок О.В., Маринин А.В., Соколов С.А. Новейшее горообразование в зоне сочленения структур Северо-Западного Кавказа и Керченско-Таманской области // Геотектоника. 2019. №4. С. 78–96
- 11. Трихунков Я.И., Гайдалёнок О.В., Бачманов Д.М., Маринин А.В. Морфоструктура зоны сочленения Северо-Западного Кавказа и Керченско-Таманской области // Геоморфология. 2018. № 4. С. 77-92.
- 12. Kozhurin A., Zelenin E. An extending island arc: The case of Kamchatka // Tectonophysics. 2017. Vol. 706-707. P. 91-102. doi: 10.1016/j.tecto.2017.04.001
- Shalaeva E.A., Trifonov V.G., Lebedev V.A., Simakova A.N., Avagyan A.V., Sahakyan L.H., Arakelyan D.G., Sokolov S.A., Bachmanov D.M., Kolesnichenko A.A., Latyshev A.V., Belyaeva E.V., Lyubin V.P., Frolov P.D., Tesakov A.S., Sychevskaya E.K., Kovalyova G.V., Martirosyan M., Khisamutdinova A.I. Quaternary geology and origin of the Shirak Basin, NW Armenia // Quaternary International. 2019. vol. 509. p. 41-61
- 14. Tesakov A.S., Titov V.V., Simakova A.N., Frolov P.D., Syromyatnicova E.V., Kurshakov S.V., Volkova N.V., Trikhunkov Ya.I., Sotnikova M. V., Kruskop S.V., Zelenkov N.V. Tesakova E.M. Palatov D.M. Late Miocene (Early Turolian) vertebrate faunas and associated biotic record of the Northern Caucasus: Geology, taxonomy, paleoenvironment, biochronology // FOSSIL IMPRINT. 2017. Sv. 73
- Tesakov, A.S., Simakova, A.N., Frolov, P.D., Sytchevskaya, E.K., Syromyatnikova, E.V., Foronova, I.V., Shalaeva, E.A., Trifonov, V.G., Early-Middle Pleistocene environmental and biotic transition in NW Armenia, southern Caucasus. Palaeontologia Electronica. 2019. 22.2.25A 1-39. 41. http://dx.doi.org/10.26879/916.
- 16. Trifonov V.G., Tesakov A.S., Simakova A.N., Bachmanov D.M. Environmental and geodynamic settings of the earliest hominin migration to the Arabian-Caucasus region: A review//Quaternary International. 2019 (in press); https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.03.008
- Trikhunkov Ya.I., Zelenin E.A., Shalaeva E.A., Marinin A.V., Novenko E.Yu., Frolov P.D., Revunova A.O., Novikova A,V., Kolesnichenko A.A. Quaternary river terraces as indicators of the Northwestern Caucasus active tectonics // Quaternary International. 2019. vol. 509. p. 62-72.

 Zelenin E.A., Kozhurin A.I., Ponomareva V.V., Portnyagin M.V. Tephrochronological dating of paleoearthquakes in active volcanic arcs: A case of the Eastern Volcanic Front on the Kamchatka Peninsula (northwest Pacific) // Journal of Quaternary Science. 2019 (in press)

Монографии

1. Трифонов В.Г. Неотектоника подвижных поясов. 201. М.: ГЕОС, 180 с. (Тр. ГИН, вып. 614)

Материалы конференций:

- Гайдаленок О.В., Соколов С.А., Измайлов Я.А., Фролов П.Д., Титов В.В., Латышев А.В., Тесаков А.С., Трифонов В.Г. Новые данные о позднечетвертичном складкообразовании на Таманском полуострове, Краснодарский край // Материалы LI Тектонического совещания «Проблемы тектоники континентов и океанов». Москва: ГЕОС. 2019. Том 1. С. 131-135
- Зеленин Е. А., Кожурин А. И., Активные разломы областей современного вулканизма Камчатки // Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Материалы XLVI Тектонического совещания. М. "ГЕОС", 2017, т. 1, с. 140-143
- 3. Ольховский С.В., Шматков А.А., Шматкова А.А., Гайдаленок О.В. Предварительные результаты сейсмоакустического профилирования дна Таманского залива с целью определения его очертаний в период греческой колонизации // Материалы Международной геолого-геофизической конференции и выставки «Современные технологии изучения и освоения недр Евразии», ГеоЕвразия-2019. 4–7 февраля 2019, Москва. С. 849-853
- Соколов С.А., Гайдаленок О.В., Тесаков А.С., Фролов П.Д. Трифонов В.Г. Новые данные о тектоническом строении и стратиграфии нижнеплейстоценовых отложений азовского побережья Таманского полуострова // Материалы LI Тектонического совещания «Проблемы тектоники континентов и океанов». Москва: ГЕОС. 2019. Том 2. С. 258-262
- Shalaeva E.A., Trifonov V.G., Avagyan A.V., Sahakyan L.H., Simakova A.N., Trikhunkov Y.I., Frolov P.D., Sokolov S.A., Tesakov A.S., Lebedev V.A., Titov V.V., Belyaeva E.V. Comparison of Quaternary sedimentaty sequences of the West Sevan Basin

and basins of NW Armenia // Quaternary stratigraphy and hominids around Europe: Tautavel (Eastern Pyrenees). Tautavel, France, 10-15 Sept. 2017. P. 66.

- 6. Sokolov S.A., Tesakov A.S., Frolov P.D. Sratigraphy and neotectonic structure of Lower Pleistocene deposits in the NW Taman Peninsula (Azov Sea, Eastern Europe) // The Quaternary of Europe: stratigraphical perspectives and tools for correlations. 20th INQUA Congress. Dublin, Ireland. July 25-31, 2019. O-3128
- Trifonov V., Ozherelyev D., Tesakov A., Simakova A. Environmental and geodynamic settings of migration of the earliest hominine to the Arabian-Caucasus region // Quaternary stratigraphy and hominids around Europe: Tautavel (Eastern Pyrenees). Tautavel, France, 10-15 Sept. 2017. P. 16.
- Trifonov V.G., Bachmanov D.M., Kozhurin A.I., Zelenin E.A. New database of active faults of Eurasia // The Quaternary of Europe: stratigraphical perspectives and tools for correlations. 20th INQUA Congress. Dublin, Ireland. July 25-31, 2019. P-3037
- Trifonov V.G., Simakova A.N., Çelik H., Shalaeva E.A., Aleksandrova G.N., Trikhunkov Ya.I., Frolov P.D., Zelenin E.A., Tesakov A.S., Bachmanov D.M., Latyshev A.V., Sokolov S.A. Brackish-water Caspian-type Upper Pliocene deposits in the western Shirak Basin (NE Turkey), applied to estimation of the Quaternary uplift of the Lesser Caucasus // INQUA SEQS - Quaternary Stratigraphy in Karst and Cave Sediments, Postojna, Slovenia, 2018. Program & Abstracts&Guide Book. Postojna. Ljubljana: ZRC publishing, 2018. P. 78-79.
- Trikhunkov Y.I., Trifonov V.G., Latyshev A.V., Shalaeva E.A., Bachmanov D.M., Kozhurin A.I. Using of paleomagnetic data for correlation of the Pliocene-Quaternary sequences of Arabian-Caucasus region // Quaternary stratigraphy and hominids around Europe: Tautavel (Eastern Pyrenees). Tautavel, France, 10-15 Sept. 2017. P. 65.
- 11. Trikhunkov Ya.I., Kangarli T., Shalaeva E.A., Frolov P.D., Aliev F. Estimation of the Eastern Caucasus (NE Azerbaijan) uplift based on the Neogene-Quaternary marine deposits study // The Quaternary of Europe: stratigraphical perspectives and tools for correlations. 20th INQUA Congress. Dublin, Ireland. July 25-31, 2019. P-3612

Зарегистрированные объекты интеллектуальной собственности

1. Бачманов Д.М., Трифонов В.Г., Кожурин А.И., Зеленин Е.А. База данных «База данных активных разломов Евразии», свидетельство о регистрации №2019621553.