

КРАТКИЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ

В 2020–2021 гг. результаты проекта опубликованы в 10 статьях в изданиях, индексируемых в системах WoS и Scopus, в том числе 3 статьи в журналах Q1. Подготовлены еще 7 статей, из которых 3 сданы в журналы, индексируемых в системах WoS and Scopus, и сейчас находятся на стадии рецензирования. Выполнены экспедиционные работы в Тыве, Восточном Казахстане, на Таманском п-ве, в северных предгорьях Западного Кавказа и Восточной Турции. Усовершенствована и дополнена База данных активных разломов Евразии.

Один из важнейших результатов – обоснование присутствия акчагыльских морских отложений в разрезах запада Малого Кавказа (Демиркент на ЮЗ Ширакской впадины и Пекеджик на ЮЗ Хорасанской впадины) и на северо-восточном склоне Восточного Кавказа. Это позволило определить амплитуды и скорости четвертичных поднятий. Статья (Trifonov V.G., Simakova A.N., Çelik H. et al. The Upper Pliocene – Quaternary geological history of the Shirak Basin (NE Turkey and NW Armenia) and estimation of the Quaternary uplift of Lesser Caucasus // Quaternary International. 2020. Vol. 546. P. 229–244) посвящена стратиграфии, структуре и тектоническому развитию турецкой части Ширакской межгорной впадины и соседней Сусузской впадины, которые впервые скоррелированы с восточной армянской частью Ширакской впадины. Осадочный чехол западной части впадины состоит из нижнеакчагыльских (пьяченций) морских отложений, карахачской, анийской и арапийской озерно-аллювиальных свит. Верхнеплиоценовый возраст нижнего подразделения в разрезе Демиркент обоснован прямой намагниченностью и присутствием диноцист акчагыльского облика, включая формы, верхним пределом существования которых была граница плиоцена и плейстоцена. Возраст карахачской свиты определен в 1.9–1.7 млн лет. Датирование анийской свиты калабрием и арапийской свиты началом среднего плейстоцена доказывается фауной моллюсков и мелких млекопитающих, ашельскими артефактами, определениями намагниченности и положением в рельефе, сходным с коррелируемыми отложениями армянской части впадины. Уровень солоноватоводного акчагыльского бассейна в начале квартала (~2.5 млн лет назад) мог превосходить современный уровень мирового океана не более, чем на 40–50 м. Сейчас кровля нижнеакчагыльских отложений разреза Демиркент находится на высоте 1565 м, что определяет среднюю скорость четвертичного поднятия в 0.6 мм/год. Ширакская впадина ограничена и нарушена разломами и флексурно-разломными зонами. Из-за движений по ним центральная часть севера Ширакской впадины опущена относительно разреза Демиркент на 130–165 м, поверхность анийской свиты в Сусузской впадине поднята относительно соседней части Ширакской впадины на 100–120 м, а северо-западное обрамление Сусузской впадины поднято относительно нее еще выше по Сарыкамышской зоне разломов. Поэтому четвертичное поднятие варьирует в пределах 0.6 ± 0.1 мм/год. Севернее Ширакской впадины, в Верхнеахурянской и Лорийской впадинах и долине р. Дебед, скорость поднятия в последние 0.65–0.6 млн лет оценена в 1 мм/год, а соседние Базумский и Джавахетский хребты поднимались быстрее. Следовательно, поднятие ускорилось 0.65–0.6 млн. лет назад.

В статье (Simakova A.N., Tesakov A.S., Çelik H. et al. Caspian-type dinocysts in NE Turkey mark deep inland invasion of the Akchagylian brackish-water basin during the terminal Late Pliocene // Quaternary International. 2021. Vol. 605-606. P. 329–348) представлены новые данные о солоноватоводных отложениях верхнего плиоцена, которые были исследованы в разрезах Демиркент и Пекеджик Северо-Восточной Турции. Разрез Пекеджик находится юго-западнее Демиркента на юго-западном борту Хорасанской межгорной впадины. Оба разреза сложены глинами, алевролитами и тонкозернистыми песчаниками и содержат пачку слоев мощностью ~25 м с солоноватоводными диноцистами акчагыльского типа. Возраст слоев с диноцистами определен комплексным анализом ассоциаций моллюсков, мелких и крупных млекопитающих, палинологических спектров, включая диноцисты и водоросли, и магнито-стратиграфических данных. Разрез Демиркент и нижняя часть разреза Пекеджик, включая слои с диноцистами, датируются поздним плиоценом (пьяченцием), поскольку они нормально намагничены и верхний предел встречаемости диноцист *Ataxodinium* cf. *confusum*, *Pontiadinium* и спор *Planctonites* – поздний плиоцен. Таким образом, акчагыльская трансгрессия Каспийского моря распространялась далеко на запад во внутриморские районы Северо-

Восточной Турции в конце плиоцена. Анализ распространения солоновато-водных диноцист и пресноводных водорослей в различных слоях разреза Демиркент выявил постепенное опреснение бассейна, связанное с падением уровня воды или изоляцией впадины от основного акчагыльского бассейна. В разрезе Пекеджик слои с солоновато-водными диноцистами также перекрыты пресноводными отложениями. Сейчас верхнеплиоценовые морские отложения находятся на высоте 1500 м в разрезе Демиркент и 1750 м в разрезе Пекеджик. Их поднятие происходило со скоростями, соответственно, ~0.6 и 0.7 мм/год в течение последних 2.6 млн лет.

В статье (Trikhunkov Ya.I., Kangarli T.N., Bachmanov D.M., Frolov P.D., Shalaeva E.A., Latyshev A.V., Simakova A.N., Popov S.V., Bylinskaya M.E., Aliev F.A. Evaluation of Plio-Quaternary uplift of the South-Eastern Caucasus based on the study of the Akchagylian marine deposits and continental molasses // Quaternary International. 2021. Vol. 605-606. P. 349–363) рассматривается высочайший Шахдаг-Кусарский сегмент Юго-Восточного Кавказа, расположенный на границе Азербайджана и России. В моноклинали Кусарского плато, образующего северо-восточный склон горного сооружения, отложения с раковинами акчагыльских моллюсков найдены на высотах до 2020 м, а высота отложений пляжа, предположительно коррелируемого с акчагыльскими отложениями, достигает 2500 м на склоне Бокового хребта. Это позволяет оценить среднюю скорость последующего поднятия более 1 мм/год в высшей точке Кусарского плато и, возможно, до 1.3 мм/год в осевой части Восточного Кавказа. Показано, что поднятие ускорила со временем.

В статье (Трифонов В.Г., Соколов С.Ю., Соколов С.А., Хессами Х. Мезозойско-кайнозойская структура Черноморско-Кавказско-Каспийского региона и её соотношение со строением верхней мантии // Геотектоника. 2020. № 3. С. 55–81) охарактеризованы мезозойско-кайнозойская тектоническая зональность и её эволюция в Черноморско-Кавказско-Каспийском регионе. В ранней юре к северу от океана Мезотетис располагались: эпигерцинская подвижная область (Сомхето-Карабахская зона и Восточный Понт); Мезийско-Черноморско-Закавказская малая плита с докембрийско-байкальским фундаментом, подвергшимся на Малом Кавказе герцинской тектономагматической переработке; относительно глубоководный Крымско-Кавказско-Южнокаспийский прогиб на континентальной коре, утонявшейся по мере её растяжения; южный край Скифской плиты с маломощными осадками. На Кавказе выделяются также южный и северный склоны глубоководного прогиба, где накопились мощные шельфовые отложения. В байосе, с началом субдукции на северном краю Мезотетиса, в Сомхето-Карабахской зоне и Восточном Понте, на закавказской части Мезийско-Черноморско-Закавказской плиты и на южном склоне глубоководного прогиба проявился островодужный вулканизм, который в Сомхето-Карабахской зоне и Восточном Понте продолжался в мелу. Его наследовал эоценовый коллизионный вулканический пояс. Крымская часть Крымско-Кавказско-Южнокаспийского прогиба и его северный склон на Кавказе испытали киммерийские деформации, после которых до начала миоцена там накапливались шельфовые фации, тогда как в кавказско-южнокаспийской части прогиба продолжалось относительно глубоководное осадконакопление. Западно-Черноморская и Восточно-Черноморская впадины растяжения возникли в мелу и развивались, заполняясь морскими отложениями позднего мела, палеогена и миоцена, на утонявшейся континентальной коре Мезийско-Черноморско-Закавказской плиты. В плиоцен–четвертичное время происходило общее прогибание и недифференцированное осадконакопление в Черном море, усилилось опускание Южного Каспия, Азово-Кубанского и Терско-Дербентского прогибов. В горных частях региона в среднем и позднем миоцене произошли многофазные разломно-складчатые деформации, которые привели к образованию дифференцированных поднятий. В плиоцен–квартере произошло общее поднятие горных сооружений. Сравнение возникшей коровой структуры со скоростными неоднородностями верхней мантии показало, что многие из них стерты подлитосферными потоками, распространявшимися от Эфиопско-Афарского суперплюма. Там, где интенсивность потоков ослабевала, сохранились реликты субдуцированных слэбов Неотетиса в Загросе, Мезотетиса в Нижне-Куринской впадине и литосферы Скифской плиты, пододвинутой под Центральный Кавказ и, в меньшей степени, под Степной Крым при герцинской субдукции.

Две статьи посвящены соотношениям неотектоники, активной тектоники и строения верхней мантии Центральной Азии – территории, расположенной между восточной частью Альпийско-Гималайского и западной частью Алтайско-Станового горных поясов. В статье (Трифонов В.Г., Соколов С.Ю., Бачманов Д.М., Соколов С.А., Трихунков Я.И. Неотектоника и строение верхней мантии Центральной Азии // Геотектоника. 2021, № 3. С. 31–59) показано, что поднятие Центральной Азии над смежными континентальными областями является неотектоническим образованием.

Проанализированы крупные элементы новейшей структуры и построены разрезы верхней мантии, отражающие отклонения скоростей продольных волн от стандартных значений для соответствующих глубин. Установлено, что пододвигание высокоскоростных верхов мантии Индийской платформы под Гималаи вызвало деформационное утолщение и резкое разуплотнение литосферы, что привело к усилившемуся в плиоцен–четвертичное время подъему Гималаев, Каракорума, Гиндукуша, Памира, Южного и Западного Тибета и Западного Куньлуня. Под остальной частью Центральной Азии, за исключением периферийных горных систем, сейсмические скорости в верхней мантии понижены. Выявлены два внутримантийных плюма, что является важнейшим результатом статьи.

Преобразования верхней мантии под воздействием Тибетского плюма, прослеженного от глубины ~1600 км, стали главным источником поднятия Тибета. Хангайский плюм с Хэнтэйским ответвлением, восходящий с глубины ~1250 км, вызвал образование Хангайского и Хэнтэйского нагорий и неоген–четвертичный базальтовый вулканизм. Подлитосферные потоки, распространявшиеся от Тибетского и Хангайского плюмов и Эфиопско-Афарского суперплюма, обусловили разуплотнение верхней мантии, новейшие изгибные деформации и плиоцен–четвертичное поднятие Центрального и Восточного Тянь-Шаня, Гобийского и, отчасти, Монгольского Алтая. Под Западным Тянь-Шанем, Джунгарским Алатау, Горным Алтаем, Западным Саяном и северо-западом Монгольского Алтая сейсмические скорости в верхней мантии повышены. Источником деформаций и поднятия там стало коллизионное взаимодействие блоков литосферы, и амплитуды поднятия ниже, чем в горных системах с разуплотненной верхней мантией.

В статье (Трифонов В.Г., Зеленин Е.А., Соколов С.Ю., Бачманов Д.М. Активная тектоника Центральной Азии // Геотектоника. 2021. №3. С.60–77) показано, что Центральная Азия превосходит соседние территории интенсивностью четвертичных поднятий и активного разломообразования. По кинематике активных разломов различаются северо-восток региона (от Срединного Тибета до Восточного Саяна) и его южная и западная части (Гималаи, Памиро-Пенджабский синтаксис и область к северу от него до Горного и Монгольского Алтая). На северо-востоке доминируют субширотные левые сдвиги, на юге и западе – правые сдвиги и надвиги северо-западного и широтного простираний (кроме западного обрамления синтаксиса и Индийской платформы). Особенности активной тектоники связаны со строением верхней мантии, исследованной на трех горизонтальных срезах. На срезе глубиной 67 км (пограничная зона кора/мантия) выделяются области, соответствующие высочайшим горным системам, с резко пониженными значениями скоростей Р-волн и плотности пород. Разуплотнение стало главной причиной интенсивного поднятия этих горных систем. Срезы на глубинах 158 и 293 км отражают неоднородности строения верхней мантии Центральной Азии. В ее восточной части скорости Р-волн существенно понижены воздействием Тибетского и Хангайского внутримантийных плюмов. Деформации латерального удлинения здесь преобладали деформации латерального укорочения, и литосфера не могла передавать давление Индийской платформы более северным тектоническим зонам, что является одним из главных выводов статьи. Разуплотнение верхней мантии обусловило поднятие Тибета и Хангайского нагорья. Связанные с плюмами верхнемантийные течения вызвали левосдвиговые смещения по субширотным разломам. На юге и западе Центральной Азии скорости Р-волн и, соответственно, плотности верхней мантии возрастают. На юге происходит деформационное утолщение и пододвигание литосферы Индийской платформы под Гималаи и Южный Тибет. Активные надвиги, правые сдвиги и взбросо-сдвиги западной и северо-западной части Центральной Азии являются структурным выражением горизонтального сжатия литосферных блоков. Из-за плотностной неоднородности литосферы происходило вращение нагружаемых блоков, в результате чего скорости сдвиговых перемещений изменялись вдоль разломов до полного затухания.

Четыре другие опубликованные статьи (Гайдаленок и др., 2020, 2021; Трихунков и др., 2020; Шалаева и др., 2020) посвящены частным аспектам неотектоники и современной геодинамики.

В результате детализации уже имевшихся и внесения новых данных в Базу данных активных разломов Евразии (БД) в ней создано более 6000 дополнительных объектов с обособленными характеристиками. Сейчас БД включает более 47000 объектов. Содержание обновленной и дополненной версии БД (AFEAD v.2021) опубликовано на ресурсе <https://www.researchgate.net/>: Bachmanov D., Trifonov V., Kozhurin A., Zelenin E. The Active Faults of Eurasia Database AFEAD v.2021. - <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.10333.74726>. БД доступна для скачивания в виде единого шейп-слоя объемом 48.2 Мб, лицензированного свободной лицензией CC-BY 4.0. Приложение к БД включает 612 ссылок на источники опубликованных исходных данных об активных разломах.

Дополнительный обобщающий слой БД, представляющий генерализованные разломные зоны в масштабе 1:5000000, включает более 900 объектов, составляющих более 500 крупнейших разломных зон Евразии. Обобщающий слой БД может быть использован для общего обзора активной тектоники континента и представлен в виде электронной карты на сайте Геологического института РАН по адресу: http://neotec.ginras.ru/index/database/database_map_extra.html.

Таким образом, все планируемые работы выполнены, и запланированные результаты достигнуты.