

Описание выполненных в отчетном году работ и полученных научных результатов

В 2021 г. результаты проекта опубликованы в 5 статьях в изданиях, индексируемых в системах WoS и Scopus, в том числе 2 статья 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, северных предгорьях Западного Кавказа и Восточной Турции. В Тыве установлено, что северные границы Убсунурской и Тувинской межгорных впадин не совпадают с нарушающими их активными разломами, геометрия и кинематика которых подчиняются иным закономерностям. В Восточном Казахстане документированы проявления палеосейсмичности в зоне Джунгарского активного правого сдвига. В долине р. Белой (северный склон Западного Кавказа) определен калабрийский возраст белореченской свиты, маркирующей начало интенсивного поднятия горного сооружения. В разрезе Пекеджик (Восточная Турция) определен гелазийский возраст слоев, перекрывающих морские акчагыльские отложения конца плиоцена. Это делает разрез Пекеджик опорным для всего Закавказья. Усовершенствована и дополнена База данных активных разломов Евразии.

В статье (Simakova A.N., Tesakov A.S., Çelik H., Frolov P.D., Shalaeva E.A., Sokolov S.A., Trikhunkov Ya.I., Trifonov V.G., Bachmanov D.M., Latyshev A.V., Ranjan P.B., Gaydalenok O.V., Syromyatnikova E.V., Kovaleva G.V., Vasilieva M.A. *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 солоновато-водных отложениях верхнего плиоцена, которые были исследованы в разрезах Демиркент (провинция Карс) и Пекеджик (провинция Эрзрум) Северо-Восточной Турции. Разрез Демиркент расположен на юго-западном борту Ширакской позднекайнозойской межгорной впадины. 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 солоновато-водными 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 внутригорные районы Северо-Восточной Турции в конце плиоцена. Пыльцевые спектры демонстрируют прогрессирующую аридизацию в течение седиментации нижней части разреза Демиркент и увлажнение и похолодание во время седиментации нижней части разреза Пекеджик. 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. Современная высота акчагыльских солоновато-водных отложений дает возможность оценить амплитуды и средние скорости четвертичного поднятия западной части Малого Кавказа. 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 Шагдаг-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 после акчагыла поднятие ускорялась со временем.

Две статьи посвящены соотношениям между неотектоникой, активной тектоникой и строением 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. Нами 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, частично, 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 Среднего 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 превысили 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.

В статье (Гайдаленок О.В., Соколов С.А., Гордеев Н.А. Структура Керченско-Таманской складчатой зоны Азово-Кубанского прогиба // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2021. Вып. 50, № 2. С. 64–83) описаны особенности строения и истории деформационного развития, которые имеет новейшая структура Керченско-Таманской складчатой зоны, представляющей собой южную деформированную часть Азово-Кубанского предгорного прогиба. Авторы разделяют зону на пять поперечных сегментов, различающихся возрастом основной фазы складчатых деформаций. В центральном Таманском сегменте III складчатые деформации продолжаются до сих пор, а в обрамляющих его сегментах II и IV основные фазы складкообразования приходятся на плиоцен и становятся ранне-средне-миоценовыми в периферийных сегментах I и V. Границы самого молодого центрального Таманского сегмента, а также Керченско-Таманской зоны в целом совпадают с поперечными зонами тектонических нарушений регионального масштаба. Важной особенностью Таманского сегмента является неоднозначность корреляции выходов грязевого вулканизма с осями антиклинальных зон. Структура южного обрамления Керченско-Таманской складчатой зоны, представляющая собой продолжение структур Горного Крыма и Северо-Западного Кавказа в тектоническом отношении, сочетает в себе относительные поднятия и прогибы разного генезиса. Керченско-Таманская складчатая зона представляет собой отдельное образование, расположенное к северу от этих сооружений.

В статье (Kozhurin A.I. «Active Faults in Sakhalin and North of the Sea of Okhotsk: Does the Okhotsk Plate Really Exist?», представлена для опубликования в Asian Journal of Earth Sciences и сейчас находится на стадии рецензирования) показано, что вдоль о-ва Сахалин в позднечетвертичное время продолжаются правосторонние движения в условиях транспрессии. В южных двух третях острова горизонтальная и взбросовая компоненты движения реализуются в одной зоне, в северной трети острова они разобщены между двумя зонами. Сахалинская зона и Кетандинский разлом к северу от Охотского моря могут быть объединены в единую Кетанда-Сахалинскую правосдвиговую зону, не противоречащую модели Охотской плиты. Распределение активных разломов к северу от Охотского моря свидетельствует об отсутствии фрагмента границы Охотской плиты между структурами внутриконтинентального новейшего пояса Черского и Беринговым морем. Это означает нарушение принципов выделения литосферных плит – выражения их границ последовательностями активных структур и их замкнутости. Без Охотской плиты, распределение и кинематику активных разломов Охотоморского региона можно описать движением масс Тихоокеанского пояса (зоны перехода от континента к океану) к югу относительно Евразии и воздействием такого движения на континентальное обрамление пояса.

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. В настоящее время БД включает более 47000 объектов. Результаты усовершенствования структуры БД и дополнения ее новыми данными представлены в статье: Zelenin E., Bachmanov D., Garipova S., Trifonov V., Kozhurin A. The Database of the Active Faults of Eurasia (AFEAD): Ontology and Design behind the Continental-Scale Dataset (Earth Syst. Sci. Data. Preprint. - <http://dx.doi.org/10.5194/essd-2021-312>. Статья находится на стадии рецензирования).

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 сейчас более 900 объектов, составляющих более 500 крупнейших разломных зон Евразии. В атрибуты этого слоя включены: наименование зоны, достоверность активности, скорость, кинематика и

соотношение компонент движения, наклон сместителя, магнитуда и дата крупнейшего землетрясения. 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.