РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ им. О.Ю.Шмидта
НАУЧНЫЙ СОВЕТ
ПО ПРОБЛЕМАМ ТЕКТОНИКИ И ГЕОДИНАМИКИ

ПЯТАЯ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ В ИФЗ РАН

ТЕКТОНОФИЗИКА И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ НАУК О ЗЕМЛЕ

Посвящается столетию М.В. Гзовского

Материалы докладов всероссийской конференции с международным участием, 5-9 октября 2020 г.,
Институт физики Земли РАН,
г. Москва

Москва
2020

УДК 551.2.3
ББК 26.324

Пятая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Материалы докладов всероссийской конференции с международным участием – М.: ИФЗ. 2020. – 602 с.

В сборнике публикуются материалы, представленных на Пятую тектонофизическую конференцию в ИФЗ РАН. В докладах рассматривается широкий круг научных проблем в области геодинамики и структурной геологии, горного дела и поиска месторождений, геофизики недр, сейсмологии и физики очага землетрясений, в решении которых используются тектонофизические методы и подходы. Конференция впервые проводилась в онлайн формате из-за сложной эпидемиологической ситуации в России.

Ответственный редактор:
д. физ.-мат. н. Ю.Л. Ребецкий,

Редакционная коллегия:
к. геол.-мин. н. А.В. Маринин, Д.С. Мягков, Н.А. Гордеев,
И.В. Бондарь, Р.С. Алексеев, А.С. Лермонтова

Публикация материалов конференции осуществлялась при финансовой помощи ИФЗ РАН

В оформлении обложки использована фотография тектонофизического отряда в период работ на Ферганском хребте (1960 г., во главе отряда М.В Гзовский). При оформлении шмуцтитулов были использованы рисунки из материалов конференции

ISBN

ИНТЕНСИВНОЕ ЧЕТВЕРТИЧНОЕ ПОДНЯТИЕ ГОРНЫХ СТРАН И ЕГО ПРИЧИНЫ

В.Г. Трифонов[1], А.Н. Симакова[1], С.Ю. Соколов[1], А.С. Тесаков[1], Х. Челик[2]

[1]Геологический институт РАН, Москва, Россия
[2]Firat University, Elâzığ, Turkey

Исследователи неоднократно отмечали ускорение поднятия горных систем в позднемиоцен-четвертичное, плиоцен-четвертичное или четвертичное время [Крестников и др., 1979; Чедия, 1986; Смирнов, 2000; Артюшков, 2003; Ollier, 2006; Трифонов и др., 2008]. Наиболее распространенным признаком этого явления, присущим в той или иной мере всем горным системам, является резкое возрастание грубости обломочного материала в смежных внутригорных и предгорных впадинах. В отдельных горных системах и, прежде всего, на Тянь-Шане получены надежные свидетельства возрастания скоростей врезания на склонах хребтов в указанное время. Такой вывод обоснован сопоставлением врезов в разновысотные поверхности рельефа, возраст которых определялся датированием коррелятных отложений впадин [Трофимов, 1973; Макаров, 1977; Крестников и др., 1979; Чедия, 1986]. Дополнительными признаками интенсивного молодого поднятия послужили реликты позднемиоценовых и плиоценовых красноцветных почв и современных растительных сообществ, характерных для малых высот, но обнаруженных на высокогорье.

Все перечисленные признаки усиления поднятий в позднем кайнозое не давали точных величин амплитуд и скоростей движений, поскольку неизвестной оставалась изначальная высота реперов, по которым оценивалось поднятие. Такие оценки были получены в результате наших работ в Армении и Восточной Турции в 2012–2019 гг., где были обнаружены морские отложения верхнего плиоцена и низов нижнего плейстоцена, а также выявлены различия современного высотного положения сообщавшихся озерных бассейнов конца раннего плейстоцена.

На юго-западном склоне Ширакской впадины (Северо-Восточная Турция на границе с Арменией) был описан разрез Демиркент, сложенный глинами, алевритами и тонкозернистыми песчаниками мощностью 70 м. В нижней части толщи (51–65 м от кровли) найдены цисты динофлагеллят позднего плиоцена, характерные для солоновато-водных отложений нижнего акчагыла Каспийского бассейна: Caspidinium rugosum type I and II, Spiniferites ramosum, cf. Impagidinium inaequalis, cf. Pontiadinium и Ataxodinium cf. confusum [Trifonov et al., 2020]. Вверх по разрезу содержание диноцист уменьшается, и, вместе с тем, возрастает количество пресноводных водорослей и появляются диатомовые. На уровне 53.3 м от кровли диноцисты исчезают. Прямая намагниченность всей толщи дает основание относить ее к палеомагнитной эпохе Гаусса, т.е. верхнему плиоцену (пьяченцию).

Верхнеплиоценовую толщу с размывом перекрывает пачка косослоистых песков и гравия мощностью 5–6 м. По фауне моллюсков, находкам мелких грызунов Prolagurus cf. pannonicus и Microtini cf. Allophaiomys sp. и кремневых изделий ашельского облика эта пачка сопоставлена с выделенной Ю.В. Саядяном [2009] анийской свитой и отнесена к среднему-верхнему калабрию, т.е. верхам нижнего плейстоцена [Trifonov et al., 2020].

Уровень акчагыльского моря в эпоху максимальной трансгрессии, когда оно достигало г. Саратова и Южного Урала, мог на 100–150 м превышать современный уровень мирового океана. Сейчас кровля верхнеплиоценовых отложений разреза Демиркент находится на высоте 1565 м. Следовательно, она поднялась за последние 2.6 млн. лет на ~1450 м, и средняя скорость подъема составила ~0.6 мм/год.

Эта величина является средним показателем четвертичного поднятия северо-запада Малого Кавказа, который варьировал в зависимости от локальных тектонических движений. Разрез Демиркент отделен разломами Ахурянским и Джамушлу от опущенной центральной части Ширакской впадины. В ней скважина 12 возле Мармашенского монастыря вскрыла акчагыльские отложения на глубинах от 72 м (1443 м над уровнем моря) до забоя на глубине 198 м (1317 м над уровнем моря). В интервале глубин 115–198 m были обнаружены раннеакчагыльские (позднеплиоценовые) моллюски, а на глубинах 76–80 м – моллюски, предположительно определенные как позднеакчагыльские (гелазий) [Саядян, 2009]. Верхняя граница слоев, отождествляемая с кровлей верхнего акчагыла разреза Демиркент, находится на глубинах от 1435 м до 1400 м. Это различие отражает смещение по указанным разломам, составляющее 130–165 м. С другой стороны, Сусузская впадина, продолжающая Ширакскую впадину на запад и поднятая относительно нее на 100–120 м, ограничена с севера Сарыкамышским левым взбросо-сдвигом. Вертикальная компонента движений по нему, определенная по смещению отложений верхов гелазия

– низов калабрия (~1.8 млн. лет), составляет 170 м. Из-за таких вариаций средняя скорость четвертичного поднятия региона может быть оценена в пределах 0.6±0.1 мм/год. Вариации, обусловленные локальными структурными факторами, на порядок уступают общему поднятию.

Другой пример подобной оценки параметров четвертичного поднятия относится к южному склону Хорасанской впадины Восточной Турции вблизи западного окончания хр. Агридаг, на востоке которого расположен вулкан Арарат. Здесь, возле с. Пекечик, на тонкообломочных лигнитосодержащих отложениях залегает толща глин, алевритов и супесей мощностью до 10 м. В нижней части толщи найдены пресноводные водоросли, содержание которых убывает кверху, а выше – солоновато-водные диноцисты акчагыльского типа: Caspidinium rugosum type I, Spiniferites sp,. Pontiadinium, Ataxodinium sp., Achomosphaera sp. Algidasphaeridium cf. capillatum и Polysphaeridium.

В алевритах лигнитосодержащей толщи были найдены мелкие млекопитающие [Ünay E., De Bruijn, 1998]. Их ревизованный список включает Mimomys praepliocaenicus F.Major, Mimomys reidi Hinton, Borsodia sp., Pitymimomys stranzendorfensis Rabeder и Clethrionomys primitivus Popov. Они датируют вмещающие отложения как начало гелазия (раннего плейстоцена), что соответствует началу зоны MN17 и позднему вилланию. Эту оценку подтверждают найденные в верхней толще моллюски и данные спорово-пыльцевого анализа. Формирование отложений разреза Пекечик происходило в интервале от 2.6 до 2.3–2.1 млн. лет. Сейчас эти отложения находятся на высоте 1753 м, что дает скорость поднятия 0.7–0.8 мм/год.

Исследования, проведенные в долине рек Дзорагет–Дебед (Северо-Западная Армения) позволили выделить куртанскую свиту и проследить ее на протяжении 15 км от восточной части Лорийской впадины до г. Алаверди. Находки крупных и мелких млекопитающих и каменных изделий среднеашельского облика и определения остаточной намагниченности отложений позволили датировать свиту поздним калабрием и низами среднего плейстоцена (не моложе 0.6 млн лет) [Trifonov et al., 2016]. Свита сложена тонкообломочными отложениями застойных вод, формировавшимися в системе озер, которые соединялись протоками с крайне слабым течением. Иначе говоря, превышение восточной части Лорийской впадины над районом г. Алаверди было в эпоху накопления свиты минимальным. Сейчас это превышение составляет 690 м, что дает среднюю скорость относительного поднятия Лорийской впадины не менее 1 мм/год. Судя по деформациям отложений впадины на границах с соседними хребтами, они поднимались еще быстрее. Данные по долине Дзорагета–Дебеда и отчасти по району с. Пекечик свидетельствуют о том, что четвертичное поднятие Малого Кавказа происходило с ускорением.

Плиоцен-четвертичная активизация вертикальных движений, приведшая к образованию современных горных систем, происходила повсеместно в Альпийско-Гималайском и других современных континентальных горных поясах в условиях коллизии или иных проявлений поперечного или косого сближения литосферных блоков [Трифонов, 2016]. Вместе с тем, позднекайнозойская активизация поднятий отмечена не только в коллизионных и сходных с ними подвижных поясах сжатия, но также в островодужных системах, на бортах крупнейших рифтов и даже в платформенных областях [Partridge, 1997; Artyushkov, Hofmann, 1998; Ollier, 2006].

Активизация началась в близкое, но разное время в разных горных системах: в конце миоцена на Кавказе (с усилением в плейстоцене), в плиоцене на Памире и Тибете, в раннем плейстоцене в Центральном Тянь-Шане и Гималаях, т.е. в интервале от 7 до 2 млн. лет назад. Этой «пиковой» стадии предшествовала длительная ранняя стадия новейшего орогенного этапа, начало которой варьировало во времени от позднего эоцена до миоцена, хотя чаще приходилось на олигоцен. В раннюю стадию субаэральные поднятия формировались локально в областях концентрации деформации сжатия и были, как правило, не выше среднегорных.

Для объяснения особенностей новейшего горообразования и некоторых других структурно-кинематических явлений, выходящих за рамки теории тектоники литосферных плит, была предложена модель тектоники мантийных течений, основные положения которой сводятся к следующему [Соколов, Трифонов, 2012; Трифонов, 2016; Трифонов, Соколов, 2018]. Исходный источник большинства тектонических явлений в земной коре, т.е. близ поверхности твердой Земли – общемантийная конвекция. Ее восходящие ветви образованы двумя обширными и сложно построенными общемантийными суперплюмами – Эфиопско-Афарским и Тихоокеанским. От суперплюмов распространяются подлитосферные верхнемантийные потоки, которые из-за вязкого трения перемещают литосферные плиты и служат источником верхнемантийной конвекции. Средние скорости перемещения подлитосферных потоков, вероятно, близкие к скоростям восходящих потоков в суперплюмах, оценены величинами около 8 см/год [Трифонов, Соколов, 2017]. В местах расхождения плит возникали зоны спрединга, положение которых изменялось в процессе

латерального роста плит. В местах схождения плит возникали зоны субдукции и коллизии. Большинство зон субдукции полностью или частично переходит в горизонтальные линзы на уровне переходного слоя мантии (~400–700 км). Субдуцируемые слэбы, погружающиеся ниже него, и отторженные фрагменты линз переходного слоя мантии составляют лишь часть нисходящей ветви конвекции. Она реализуется также путем отрыва и погружения плотных нижнелитосферных масс под кратонами и областями интенсивной коллизии. Средние скорости нисходящих потоков, охватывавших обширные области, оценены в 0.9–1.0 см/год [Трифонов, Соколов, 2017].

При широком распространении коллизии она замедляет движение плит, и подлитосферные потоки распространяются под соседние с коллизией области, где создают сложную картину структурных взаимодействий. На ранней стадии орогенного этапа это приводит к образованию деформационных поднятий в областях концентрации сжатия и структур растяжения в областях расхождения блоков. Перерабатывая переходный слой мантии, потоки обогащаются флюидами. Активизированная таким образом мантия частично замещает мантийную часть литосферы [Артюшков, 2003], а флюиды потоков вызывают метаморфические преобразования литосферы и, как следствие, ее разуплотнение [Трифонов и др., 2008; Артюшков, 2012]. Разуплотнение литосферы накладывается на эффекты деформационного изменения мощности земной коры и приводит к резкому усилению вертикальных движений во вторую, «пиковую», стадию новейшего горообразования.

Предложенная модель объясняет особенности развития новейшего горообразования, но, как и теория тектоники литосферных плит, не объясняет глобальной квази-синхронности его стадий. В поисках объяснения этого явления авторы обнаружили, что большинство фаз складчатости (тектонических фаз усиления деформаций, обусловленных сжатием), синхронно проявлявшихся в разных подвижных поясах с конца юры поныне, совпадают с эпохами частых инверсий магнитного поля Земли или непосредственно следуют за ними. Начиная с конца олигоцена, т.е. в течение новейшего орогенного этапа, когда инверсии были особенно частыми, тектонические фазы происходили одна за другой с интервалами 1–1.5 млн лет (до ~3 млн лет между штирийской и аттической фазами), что несоизмеримо с длительными интервалами между более ранними фазами. Пики деформационной активности внутри неотектонических фаз следовали за эпохами максимальной частоты инверсий через 1–2 млн лет [Трифонов, Соколов, 2018].

Выявление такой синхронности важно потому, что, согласно современным представлениям, решающее значение для создания и функционирования магнитного поля Земли имеют процессы в земном ядре и их взаимодействие с мантией [Зельдович, Рузмайкин, 1987]. Считается, что течения в ядре, в сочетании с вращением сфероида и высокой проводимостью материала, формируют структуру нормального магнитного поля Земли, которое в первом приближении может быть аппроксимировано полем диполя, ориентированного по оси вращения, проходящей через центр масс [Куражковский и др., 2010].

Геодинамическое воздействие этих процессов на литосферу путём конвекции или иных форм тепломассопереноса в мантии не может быть источником тектонических фаз. При скорости восходящих ветвей мантийного тепломассопереноса 8–10 см/год время прохождения такого возмущения от внешней границы ядра (~2900 км) до подошвы литосферы (~100 км) составило бы 35–28 млн лет. Авторы полагают, что источником изменения течений в ядре, ответственного за инверсии магнитного поля, является перераспределение масс в системе внешнего жидкого и внутреннего твердого ядра, приводящее, вместе с тем, к изменению режима вращения Земли. Это могло стать причиной возникновения в мантии переменных объёмных сил и деформаций, обеспечивающих адаптацию мантии к изменявшимся геодинамическим условиям. Наиболее контрастно эти деформации проявляются вблизи поверхности твердой Земли, т.е. в литосфере и особенно в земной коре, отличающейся максимальной неоднородностью строения. Таким образом, изменения пространственной структуры течений материала с большой плотностью и большой проводимости во внешнем жидком ядре могут быть причиной и инверсий магнитного поля, и тектонических фаз, как проявлений изменения режима вращения Земли и адаптации к нему литосферы.

В течение новейшего орогенного этапа (последние 25–24 млн лет) геодинамические воздействия процессов в земном ядре, отражённые в синхронности инверсий магнитного поля и тектонических фаз, проявлялись особенно часто, вызывая флуктуации в системе процессов, объединяемых моделью тектоники мантийных течений. Кульминацией такого хода событий явилась вторая стадия орогенного этапа, когда верхнемантийные потоки, определяющие взаимодействие плит, стали турбулентными и привели к разуплотнению верхов мантии и низов коры, резко усилившему горообразовательные вертикальные движения. Тем самым, геодинамические

воздействия процессов в земном ядре обусловили глобальную квази-синхронность стадий новейшего тектогенеза и горообразования.

Материалы собраны, и статья подготовлена за счет средств Российского научного фонда, проект *№ 17-17-01073-п*.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Артюшков Е.В*. Резкое размягчение континентальной литосферы как условие проявления быстрых и крупномасштабных тектонических движений // Геотектоника, 2003, № 2, С. 39–56.
2. *Артюшков Е.В*. Новейшие поднятия земной коры как следствие инфильтрации в литосферу мантийных флюидов // Геология и геофизика. 2012. Т. 53, № 6. С. 738–760.
3. *Зельдович Я.Б., Рузмайкин А.А.* Гидромагнитное динамо как источник планетарного, солнечного и галактического магнетизма // Успехи физических наук. 1987. Т. 152, вып. 2. С. 263–284.
4. *Крестников В.Н., Белоусов Т.П., Ермилин В.И., Чигарев Н.В., Штанге Д.В.* Четвертичная тектоника Памира и Тянь-Шаня. М.: Наука, 1979. 116 с.
5. *Куражковский А.Ю., Куражковская Н.А., Клайн Б.И., Брагин В.Ю.* Геомагнитное поле в геологическом прошлом (за последние 400 млн лет) // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 4. С. 486–495.
6. *Макаров В.И.* Новейшая тектоническая структура Центрального Тянь-Шаня. М.: Наука, 1977. 172 с.
7. *Саядян Ю.В.* Новейшая геологическая история Армении. Ереван: Гитутюн,2009. 357 с.
8. *Смирнов В.Н*. Северо-восток Евразии // Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии / под ред. А.Ф. Грачёва. М.: ОИФЗ РАН/ГЕОН, 2000. С. 120–133.
9. *Соколов С.Ю*., Трифонов В.Г. Роль астеносферы в перемещении и деформации литосферы (Эфипско-Афарский суперплюм и Альпийско-Гималайский пояс) // Геотектоника. 2012. № 3. С. 3–17.
10. *Трифонов В.Г.* Коллизия и горообразование // Геотектоника. 2016. № 1. С. 3–25.
11. *Трифонов В.Г*., *Артюшков Е.В*., Додонов А.Е., Бачманов Д.М., Миколайчук А.В., Вишняков Ф.А. Плиоцен-четвертичное горообразование в Центральном Тянь-Шане // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 2. С.128–145.
12. *Трифонов В.Г*., Соколов С.Ю. Подлитосферные течения в мантии // Геотектоника. 2017. № 6. С. 3–17.
13. *Трифонов В.Г., Соколов С.Ю*. Тектонические явления мезозоя и кайнозоя и геодинамические процессы, их определяющие // Геотектоника. 2018. № 5. С. 75–89.
14. *Трофимов А.К*. Основные этапы развития рельефа гор Средней Азии. Ярусность рельефа гор Средней Азии и проблема коррелятных отложений // Закономерности геологического развития Тянь-Шаня в кайнозое. Фрунзе: Илим, 1973. С.98-127.
15. *Чедия О.К*. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим, 1986. 247 с.
16. *Artyushkov E.V., Hofmann A*. The Neotectonic crustal uplift on the continents and its possible mechanisms. The case of Southern Africa//Surv. Geophys.1998. Vol.15. P.515–544
17. *Ollier, C.D.* Mountain uplift and the Neotectonic period // Annales of Geophysics. 2006. Supplement to vol. 49, No. 1. P. 437–450.
18. *Partridge T.C*. Late Neogene uplift in Eastern and Southern Africa // Tectonic uplift and climate change / Ed. by W.F. Ruddiman. N.Y // Plenum Press, 1997. P. 63–86.
19. *Trifonov V.G., Lyubin V.P., Belyaeva E.V., Lebedev V.A., Trikhunkov Ya.I., Tesakov A.S., Simakova A.N., Veselovsky R.V., Latyshev A.V., Presnyakov S.L., Ivanova T.P., Ozhereliev D.V., Bachmanov D.M., Lyapunov S.M*. Stratigraphic and tectonic settings of Early Paleolithic of North-West Armenia // Quaternary International. 2016. Vol. 420. P. 178–198.
20. *Trifonov V.G., Simakova A.N., Çelik H., Tesakov A.S., Shalaeva E.A., Frolov P.D., Trikhunkov Ya.I., Zelenin E.A., Aleksandrova G.N., Bachmanov D.M., Latyshev A.V., Ozherelyev D.V., Sokolov S.A., Belyaeva E.V*. 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 Intern. 2020; https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.11.004
21. *Ünay E., De Bruijn H*. Plio-Pleistocene rodents and lagomorphs from Anatolia // Mededelingen Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO. 1998. Vol. 60. P. 431–466.

Научное издание

Пятая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Материалы докладов всероссийской конференции с международным участием

Отпечатано в ИАЦ ИФЗ РАН
Большая Грузинская ул., 10
Тираж 25 экз. Усл-печ л. 75.