

МЕЖДУВЕДОМСТВЕННЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ
ПРИ ПРЕЗИДИУМЕ АКАДЕМИИ НАУК СССР

ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR
SOVIET GEOPHYSICAL COMMITTEE



*РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО МЕЖДУНАРОДНЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ПРОЕКТАМ*

**СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ
ЗЕМНОЙ КОРЫ
ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ, ПРОГНОЗ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1980

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО МЕЖДУНАРОДНЫМ
ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ПРОЕКТАМ

RESULTS OF RESEARCHES
ON THE INTERNATIONAL
GEOPHYSICAL PROJECTS



*RESULTS OF RESEARCHES
ON THE INTERNATIONAL GEOPHYSICAL PROJECTS*

RECENT CRUSTAL MOVEMENTS

THEORY, METHODS, PROGNOSE



PUBLISHING HOUSE «NAUKA»

Moscow 1980



РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО МЕЖДУНАРОДНЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ПРОЕКТАМ

55/242

СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ, ПРОГНОЗ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1980



3583

В сборнике освещается проблема современных движений земной коры. Рассматриваются теоретические аспекты проблемы, методы изучения современных движений и результаты их применения в различных районах, а также опыт комплексных исследований современных движений на геодинамических полигонах, расположенных в разных геотектонических и ландшафтных областях. Ряд статей содержит новые материалы по методике составления карт современных движений, анализу содержания различных типов карт; ставятся на обсуждение проблемы составления карт современных вертикальных движений орогенных высокосейсмичных областей Средней Азии и Казахстана. Большое внимание в сборнике уделяется вопросам тектонофизической интерпретации современных движений.

Ответственные редакторы:

Ю.Д. БУЛАНЖЕ, Д.А. ЛИЛИЕНБЕРГ,

Я.С. ПОДСТРИГАЧ

СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Теория, методы, прогноз

Утверждено к печати Междуведомственным Геофизическим комитетом

Редакторы *А.Д. Подольский, Г.В. Скаткина*. Редактор издательства *И.М. Ерофеева*

Технические редакторы *Н.М. Петракова, Г.И. Астахова*

ИБ № 17138

Подписано к печати 18.08.80. Т — 15823. Формат 70 x 108/16. Бумага офсетная № 1
Печать офсетная. Усл.печ.л. 17,5 + 0,6 вкл. Уч.-изд.л. 19,5. Тираж 1650 экз. Тип. зак. 1742

Цена 3 руб.

Издательство "Наука", 117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90
Ордена Трудового Красного Знамени 1-я типография издательства "Наука",
199034, Ленинград, В-34, 9-я линия, 12

ПРЕДИСЛОВИЕ

Изучение современных тектонических движений представляет одну из наиболее актуальных проблем, находящихся на грани различных наук о Земле — геодезии, астрономии, океанографии, геоморфологии, геологии, геотектоники, геофизики, геомеханики и др. Поэтому разработка данной проблемы неизбежно приобретает комплексный характер, включающий методы различных естественных наук. Широкий разносторонний подход, постоянные поиски новых путей и обобщений отличают советскую школу изучения современных движений земной коры, что явилось основой ее высокого научного авторитета и международного признания.

Развитие исследований современной геодинамики нашей планеты происходит как в нашей стране, так и за рубежом исключительно быстрыми темпами. Это свойство многих пограничных научных направлений. Но в данном случае оно обусловлено также особой теоретической и практической значимостью проблемы. В последние годы крупные достижения концепции неомобилизма (глобальной тектоники литосферных плит) заставили принципиально иначе взглянуть на вопрос о соотношении вертикальных и горизонтальных движений в общем тектогенезе Земли. Это не отвлеченная геологическая проблема, а глобальная проблема, разработка которой невозможна без использования принципа актуализма, т.е. знания современных геодинамических процессов, изучаемых с помощью точных инструментальных методов. Поэтому понятен тот интерес, который проявляется к взаимосвязи современных тектонических движений с глубинным строением Земли. Уже можно достаточно уверенно говорить, что они являются движениями не только земной коры, но также мантии и астеносферы. А это требует, в свою очередь, разработки новых методов исследований, организации нового типа геодинамических полигонов, моделирования геодинамических процессов, расширения работ по изучению горизонтальных движений как планетарного, так и регионального характера.

Серьезное влияние на понимание механизма современных тектонических движений и анализ их морфоструктурных взаимосвязей должно оказать установление непостоянства скоростей движений во времени и пространстве. Оно будет иметь непосредственное значение при разработке методики прогноза землетрясений, поисках некоторых типов полезных ископаемых, строительстве долговременных сооружений, составлении карт современной геодинамики.

Количество публикаций по проблеме современных тектонических движений систематически растет во всем мире, причем они нередко помещаются в различных узких ведомственных изданиях, что затрудняет возможности их использования широким кругом специалистов. В целях концентрации усилий советских ученых по своевременному обмену результатами исследований, полученных в различных учреждениях, их научному обобщению и выработке единых методических подходов Комиссия по современным движениям земной коры Междуведомственного геофизического комитета при Президиуме АН СССР систематически проводит всесоюзные совещания с публикацией их основных научных результатов. Подобные совещания как у нас в стране, так и за рубежом всегда привлекают большое количество специалистов научных и производственных учреждений и становятся крупным научным событием. Последние такие совещания проводились в Симферополе (1967 г.) и Таллине (1972 г.). Труды совещаний публикуются в виде тематических сборников под общим названием "Современные движения земной коры". Всего издано пять сборников: № 1 — Москва, 1963; № 2 — Таллин, 1965; № 3 и 4 — Москва, 1968; № 5 — Таллин, 1973.

Предлагаемый читателю очередной сборник включает важнейшие пленарные доклады VII Всесоюзного совещания по изучению современных движений земной коры, которое было созвано Межведомственным Геофизическим комитетом при Президиуме АН СССР, Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР и АН УССР во Львове. На совещании было заслушано и обсуждено около 120 пленарных, секционных и стендовых докладов. В нем приняло участие более 200 специалистов из 70 научных, учебных и производственных учреждений. В качестве гостей на совещании присутствовали ученые Болгарии, Венгрии, ГДР, Чехословакии.

В настоящем сборнике статьи расположены по следующим разделам:

- I - общие проблемы изучения современных тектонических движений,
- II - карты современных тектонических движений,
- III - современная Геодинамика и рельеф,
- IV - современная Геодинамика и Глубинное строение,
- V - современная Геодинамика и уровень моря,
- VI - комплексные исследования на Геодинамических полигонах и в отдельных регионах.

Отбор статей и их рецензирование провела редакционная коллегия в составе: Ю.Д. Буланже (председатель), Д.А. Лилиенберг и Я.С. Подстригач (зам. председателя), Н.С. Благоволин, М.И. Зотин, А.А. Изотов, Т.П. Корокина, В.А. Магницкий, Я.В. Наумов, А.К. Певнев, Л.Е. Сетунская (ученый секретарь), В.И. Сомов, М.И. Юркина. Подготовка сборника к изданию и общая редакция текста осуществлены Комиссией по современным движениям земной коры Межведомственного геофизического комитета и группой современной геодинамики рельефа Института географии АН СССР.

I

ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ

УДК 551.241.

П. ВЫСКОЧИЛ

СОСТОЯНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ В РАЗЛИЧНЫХ СТРАНАХ МИРА

Основной частью исследований современных движений земной коры геодезическими методами (регионального или местного характера) является их изучение на Геодинамических полигонах, иногда называемых "модельными областями". В отличие от территорий глобального масштаба наблюдения здесь поставлены на относительно малых участках земной поверхности, которые обычно выбирают в районах активных разломов, на стыках отдельных геологических блоков, в сейсмоактивных областях и т.п. Геодинамические полигоны оборудованы высококачественными геодезическими и геофизическими приборами, которые позволяют производить высокоточные измерения высот, пространственных координат, гравитационного и других геофизических полей.

Большое преимущество Геодинамических полигонов в методическом отношении заключается в относительно малых размерах, позволяющих резко повысить качество измерений, а также их частоту, применяя комплекс различных инструментальных методов.

Таким образом обеспечивается возможность изучения с очень большой детальностью характера деформаций земной поверхности на фоне изменений геофизических полей, структуры и рельефа земной коры. Кроме того, Геодинамические полигоны позволяют детально изучить характер и динамику проявления экзогенных деформаций поверхности рельефа и свойства нерегулярности деформаций тектонического происхождения.

Как отмечалось в нашем докладе на XII совещании Комиссии многостороннего сотрудничества академий наук социалистических стран по комплексной проблеме "Планетарные геофизические исследования" (КАПГ) в г. Тбилиси [1], особый интерес Геодинамические полигоны представляют в качестве средства изучения глубин затухания экзогенных движений, глубин затухания процессов консолидации осадочных пород, свойств и проявлений сейсмичности в сейсмоактивных районах и т.п.¹

Геодинамические полигоны имеют большое значение также для решения вопросов глобального характера. С этой точки зрения система Геодинамических полигонов вдоль зон сочленения крупных тектонических блоков позволяет с большой детальностью изучить основные тенденции движений и их изменения во времени и пространстве. Полученные результаты и опыт доказывают эффективность подобного направления исследований во всем мире.

¹ Отмечая преимущества комплексного изучения современных движений земной коры на Геодинамических полигонах, следует учитывать и экономическую сторону, так как финансовые затраты на них значительно меньше по сравнению с затратами на крупных территориях.

Американский континент

Классическим примером комплексного Геодинамического полигона для прогноза сейсмоактивности является область крупного разлома Сан-Андрес в Калифорнии (США). Интерес к ней вызван катастрофическим землетрясением 18 апреля 1906 г., разрушившим г. Сан-Франциско. В работе А. Балдвина и Дж. Хейфорда [2] с большой подробностью освещаются результаты первой и повторных триангуляций, нивелирований, осуществленных перед и после землетрясения. Были обнаружены смещения земной поверхности до 3 м в горизонтальном и до 0,5 м - в вертикальном направлениях. Полученные результаты в дальнейшем уточнялись и пополнялись в связи с применением более новых инструментов и более качественных измерений. В настоящее время наблюдения ведутся примерно в двадцати сетях с горизонтальными измерениями (трилатерация) на территории Калифорнии. Относительная точность определения расстояний (порядка более чем 1:1 000 000) обеспечивает высокое качество будущих повторных измерений. Здесь осуществляется комплексное изучение геодинамических свойств интересной области стыка Северо-Американской и Тихоокеанской плит. В последующие годы предусматривается осуществление проекта определения динамики указанных блоков с применением современной спутниковой техники, позволяющей определить большие расстояния между Америкой и Гавайскими островами с точностью до нескольких сантиметров.

Следует подчеркнуть, что качество и комплексность результатов изучения динамики разлома Сан-Андрес позволяют ученым других стран мира создавать на их основе ряд интересных построений по характеру деформаций и напряжений земной коры данной области. Особый интерес во всех этих работах представляет прогноз землетрясений.

Кроме классической области Калифорнии повторные измерения в сетях трилатерации производятся также в штатах Аляска, Монтана, Невада, Нью-Мексико, Юта и Вашингтон. Для большинства этих новых районов опубликованы преимущественно результаты геолого-геоморфологических исследований, в меньшей мере - геодезических наблюдений. Однако один только выбор местоположения модельных областей обещает интересные научные результаты.

На Американском континенте есть еще несколько регионов, характер исследований на которых близок к программе геодинамических полигонов. Таковы район Шесепик Бей (Мериленд, США) и Новая Скоттия (Канада), где по данным повторного нивелирования опускания достигают 5 мм/год. Особый интерес представляют также работы в других странах Американского континента. Серьезной работой являются исследования на геодинамическом полигоне вдоль разлома Бокано в Венесуэле, близ которого построена плотина Санто Доминго. Правда, результаты повторных геодезических измерений за сравнительно короткий промежуток времени оказались отрицательными. В состоянии подготовки находится изучение современных движений вдоль трех геодезических профилей, пересекающих с запада на восток территорию Аргентины. В таком же состоянии находится программа исследований на территории штата Мехико (Мексика), где объем работ и размер сетей до сих пор точно не определены. Уже вне категории геодинамических полигонов можно отметить работы в сети повторного нивелирования на территории Коста-Рики.

Бассейн Тихого океана

Важное значение для определения современных движений на границах Азиатской, Индийской и Тихоокеанской плит имеют наблюдения на территории Новой Зеландии и Японии. Последняя является классической страной для проведения работ по изучению современных движений земной коры. Можно сказать, что Япония - один сплошной геодинамический полигон, где применяется обширный комплекс геодезических, океанографических, геофизических и геолого-геоморфологических методов. С большой детальностью созданы карты вертикальных движений для периодов времени 1898-1930 и 1930-1950 гг. и

карта векторов горизонтальных смещений за первую половину нашего столетия. Величины обеих составляющих достигают нескольких сантиметров, причем преобладают тенденции к опусканиям — в вертикальных движениях и смещения на запад или северо-запад — в горизонтальной составляющей [3]. Серьезные исследования ведутся с целью определения взаимосвязей вертикальных движений с большой сейсмической активностью страны. Одновременно с геодезическими наблюдениями ведутся также геофизические наблюдения за определением изменений в гравитационном, геомагнитном и других геофизических полях. Полученным количественным результатам и их научному анализу посвящен ряд статей, однако выводы по прогнозу землетрясений с применением геодезических наблюдений пока слишком общи.

Территория Новой Зеландии раздроблена системой разломов, проходящих с юго-запада на северо-восток. Вдоль нее расположено более 20 стационаров с геодезическими измерениями, а также наблюдениями тенденции горизонтальных сжатий перпендикулярно системе разломов. Эти работы поставлены весьма серьезно и обещают интересные научные результаты.

Относительно слабо развиты работы по изучению современных движений в Австралии. До сих пор здесь только запланированы лишь измерения с применением гидростатического нивелирования в сейсмической области западной Австралии и повторные геодезические наблюдения в районе г. Канберра.

Более комплексный подход к изучению современной геодинамики запланирован на Филиппинах. С применением наклонных приборов и комплекса геодезических методов здесь начаты исследования обеих составляющих движений и их взаимосвязей с сейсмичностью и вулканизмом отдельных островов.

Юго-Восточная Азия

В стадии быстрой подготовки находятся работы по современным движениям на территории Индии, Пакистана и Шри Ланка, где запланированы или уже постепенно осуществляются геодезические наблюдения на отобранных линиях повторного нивелирования и в отдельных горных районах. Такого типа работы, имеющие характер исследований на геодинамических полигонах, представляют большой интерес для уточнения наших современных знаний о движениях на границе между Азиатской и Индийской плитами.

Африка

В Восточной Африке привлекает внимание рифтовая зона Эфиопии, где американскими и французскими учеными созданы опытные сети для определения горизонтальной составляющей на отдельных участках зоны [4]. Предварительные результаты показывают реальные смещения около 1 см/год, причем последующими наблюдениями можно будет отделить движения всего рифта от частных движений локального значения. Исходный этап геодезических измерений для определения обеих составляющих осуществлен также на африканском побережье Красного моря, где повторное измерение запланировано на ближайшие годы. Известными в мире являются также геодезические наблюдения типа исследований на геодинамических полигонах, повторяемые в области озера Кариба в северо-западной Родезии. По своему характеру эти результаты отображают совместное воздействие техногенных и тектогенных движений.

Западная Европа

Работы на геодинамических полигонах весьма успешно развиваются в последнее время в различных странах Западной Европы. Специальная геодезическая сеть была заложена в Мессинском проливе (Италия), где обнаружены горизонтальные смещения, связанные, вероятно, с землетрясением. Наблюдения за вертикальными движениями ведутся также в пределах городов Милан и Венеция, что имеет важное практическое значение в целях сохранения па-

мятников мировой культуры. Кроме того, сети повторного нивелирования местного значения заложены в устье р. По и заливе Поццуоли. В стадии подготовки находятся исследования вертикальных движений в прибрежной зоне Португалии со специальным нивелирным полигоном в районе г. Лиссабон.

Особое внимание уделяется в последнее время детальным геодезическим и геофизическим исследованиям, которые готовятся осуществить совместно Франция, Швейцария, ФРГ, Австрия и Италия. Пока же изолированные исследования геодинамики Альп ведутся во Франции, Швейцарии и Италии с целью оценки смещения отдельных морфоструктурных блоков или разломов. Особый интерес для Средней Европы (ЧССР, ГДР) представляют повторные нивелирные наблюдения в области эпицентральной зоны восточноальпийских землетрясений в Австрии. Пока эти результаты, к сожалению, еще не опубликованы. Кроме горной системы Альп, изучаются также локальные движения, например в Рейнском грабене (ФРГ) или в области Эльзас (Франция). Аналогичные исследования современных движений запланированы и постепенно осуществляются также в Голландии.

В тесном сотрудничестве Норвегия, Швеция и Финляндия приступили к совместным гравиметрическим повторным наблюдениям вдоль трех профилей, пересекающих Фенноскандию с запада на восток. Их целью является выяснение природы современного воздымания Фенноскандии, отмеченное на карте вертикальных движений. Кроме того, на территории Швеции запланированы три полигона для определения вертикальной составляющей и один полигон для определения обеих составляющих современных движений. Особое внимание изучению вертикальных движений земной поверхности уделяется в Финляндии.

Приведенный выше обзор работ на геодинимических полигонах или близкий к ним комплекс в западных странах полезно дополнить несколькими замечаниями. В обзоре упомянуты только некоторые области с особым вниманием к развивающимся странам или странам с малыми традициями в изучении современных движений, но представляющих особый интерес не только в местном, но и в глобальном плане. Не упомянуты также области, в которых современные движения изучаются геолого-геоморфологическими методами. Не все перечисленные области имеют характер геодинимических полигонов в нашем понимании, и в них используется не весь набор методов, необходимых для комплексного изучения современных движений.

Из инструментов на полигонах применяются самые современные высокоточные нивелиры, теодолиты, дальномеры и гравиметры.

В последнее время наметилось также использование спутниковых методов высокой точности, предлагается использование системы радиоинтерферометрических измерений на внегалактические источники с целью определения движений Северной Америки, Японии и Австралии. По частоте и качеству повторных наблюдений такими методами изучаемые области или плиты можно сравнить с большими геодинимическими полигонами глобального характера. Учитывая предполагаемую точность подобного типа наблюдений, для их поправок надо уже знать величины приливных вариаций земной поверхности для обеих составляющих с большой точностью.

Все перечисленные здесь работы ведутся в рамках отдельных региональных подкомиссий Постоянной комиссии по современным движениям земной коры (КСДЗК) Международной ассоциации геодезии (МАГ). Частью этой комиссии является подкомиссия Восточной Европы, исследования которой тесно координированы также в рамках КАПГ.

Исследования современных движений на геодинимических полигонах Восточной Европы

В международной организации европейских социалистических стран (Подкомиссия Восточной Европы КСДЗК МАГ и Подкомиссия № 3 КАПГ) координация научных планов, методических задач и общего сотрудничества является более тесной и обеспечивается четкими пятилетними планами стран-исполни-

телей. Достижения отдельных стран представляются в виде научных докладов и отчетов на систематически проводимых симпозиумах и совещаниях по проблемам изучения современных движений, среди которых особое значение приобрели всесоюзные совещания, позволяющие познакомиться с большим опытом, интересными результатами и методическими подходами, полученными как для всей огромной территории СССР, так и для многообразных в морфоструктурном отношении регионов. Обмен национальным опытом и координированное сотрудничество обеспечивают быстрое развитие исследований в социалистических странах Восточной Европы. К сожалению, нами использованы далеко не все возможности и преимущества такой формы социалистического сотрудничества. Системой геодинамических полигонов наших стран исследуются движения в областях глубинных платформенных разломов, крупных неотектонических разломов, стыков отдельных тектонических блоков и плит, области высокой сейсмической активности, а также районы техногенных движений. Накапливается относительно большое количество данных, которые не всегда еще обрабатываются полностью и используются в том объеме, который обеспечивают их количество и качество. Особые усилия следует направить на изучение деформаций земной поверхности периода подготовки землетрясений, о чем нам еще раз напомнило катастрофическое землетрясение в районе Вранча (Румыния) в марте 1977 г.

Благодаря высокоточным измерениям в Саксонии в течение последних лет получены важные научно-методические результаты на геодинамическом полигоне в долине р. Эльбы, в юго-восточной части ГДР. Качество инструментальных измерений и количество включенных в них пунктов позволили проанализировать как свойства самих движений, так и характер напряженного состояния земной коры изучаемого района, что может служить примером для постановки исследований на других геодинамических полигонах. По опыту полигона долины Эльбы в ГДР сейчас подготавливаются аналогичные работы также в других районах страны для целей изучения не только тектонических, но и техногенных движений.

На территории Чехословакии классическим полигоном является полигон для определения вертикальных движений в долине Дуная. Последними измерениями здесь обнаружен колебательный характер вертикальных движений, вероятно, связанных с системой внутренних разломов. Комплексные исследования ведутся на полигонах Лишов и Братислава. Так, на полигоне Лишов обнаружены экзогенные движения земной поверхности периодического характера, анализ которых продолжается с применением новых высокоточных измерений, повторяемых ежемесячно. Проанализированы десятилетние наблюдения на двух основных площадках. Пока зафиксированы микропериоды в 180, 300, 365 дней и приблизительно 4 года. Анализ вертикальных и горизонтальных измерений обнаруживает связь колебательного характера движений с отдельными блоками земной коры. В последнее время изучается возможность выявления связи колебаний с прохождением сейсмических волн восточноальпийских землетрясений через территорию полигона. С большой достоверностью связь между вертикальными движениями и сейсмичностью обнаружена в последнее время на геодинамическом полигоне Братислава.

Большое значение для изучения характера движений крупных морфоструктурных систем имеют геодинамические полигоны вдоль горной дуги Карпат. На территории ЧССР заложены четыре полигона, причем три из них позволяют определять горизонтальную и вертикальную составляющие движений между дугой Карпат и морфоструктурами Чешского массива. Далее к востоку, на территории Польши, создан геодинамический полигон Черштын, на котором пока определяется только вертикальная составляющая движений. В пределах СССР, на Восточно-Карпатском полигоне, ведется комплексное изучение вертикальной и горизонтальной составляющих движений. Если сопоставить полученные результаты по анализу тенденций горизонтальных движений, то выявится четкая аналогия в смещениях как на территории ЧССР, так и Украины [1, 4, 5]. В обоих случаях горизонтальные движения направлены перпендику-

лярно дуге Карпат с тенденцией удаления горных Карпат от платформенных морфоструктур или – что то же самое – удаления внешних платформенных структур от Карпат. Более достоверной нами считается тенденция смещения к югу дуги Карпат, хотя данные о горизонтальных смещениях в средней части горной дуги пока отсутствуют. Кроме того, предстоит выяснить взаимное соотношение горных дуг Западных Карпат и Восточных Альп, а также характер горизонтальных движений в области Паннонского бассейна (Венгрия) и горных морфоструктур в Румынии и Болгарии. Наиболее правильным решением явилась бы система комплексных геодинамических полигонов в наиболее типичных районах Карпато-Балканской области. Важной научной и практической задачей является организация полигонов в районах катастрофических землетрясений.

Приведенный пример показывает огромное значение координации направленности, объема и методики исследований на геодезически независимых геодинамических полигонах в пределах единой Карпато-Балканской области.

Другой крупной проблемой, также требующей тесного сотрудничества, является изучение характера опусканий Паннонского бассейна, который может служить эталоном для других осадочных бассейнов [2]. Здесь важно оценить репрезентативность движений земной поверхности как отражения движений фундамента бассейна с точки зрения определения границы глубины затухания процессов консолидации осадочных пород. Еще одной сложной проблемой является изучение сейсмичности данной области. Волны распространения Альпийского землетрясения в мае 1976 г. захватили морфоструктуры Чешского массива, а Карпатского землетрясения в марте 1977 г. – морфоструктуры Русской платформы вплоть до Москвы и Ленинграда [6]. Возникает также проблема изучения причин и характера распространения волн локальных землетрясений.

Необходимо отметить большое количество и высокое качество полигонов Советского Союза. Следует указать на особую важность комплексных исследований на геодинамических полигонах Средней Азии, Кавказа, Байкала, Курильских островов и Камчатки. Помимо изучения взаимосвязей современных движений с сейсмичностью, вулканизмом, нефтегазоносными морфоструктурами, указанные полигоны имеют большое значение для анализа динамики глобальной тектоники, так как многие из них находятся в зонах стыка крупных литосферных плит. Таким образом, общие геологические построения могут быть дополнены геодезическими измерениями движений отдельных плит.

Заключение

Подводя итоги, можно сделать несколько основных выводов.

1. Число стран, в которых ведутся наблюдения в ограниченных модельных областях и на геодинамических полигонах, расширяется, охватывая весь земной шар.
2. Современные достижения в изучении современных тектонических движений на геодинамических полигонах доказывают практическую высокую точность геодезических измерений и их способность определять величину, направление и другие свойства движений земной поверхности.
3. Накопленный опыт доказывает, что изучение общих закономерностей на базе применения методов исследований на геодинамических полигонах имеет значение не только для детального анализа геодинамики отдельных районов, но при наличии систем геодинамических полигонов вдоль крупных тектонических линий позволяет изучить также общие вопросы перемещения литосферных плит. Геодинамические полигоны весьма экономичны; в ряде случаев они требуют тесного международного сотрудничества. В качестве примера следует указать на проблему изучения современных движений горной дуги Карпат; решение которой опирается на систему геодинамических полигонов СССР, Польши и Чехословакии.
4. В фазе подготовки или первых опытов находится применение всего широкого комплекса геодезических, океанографических, геолого-геоморфологических

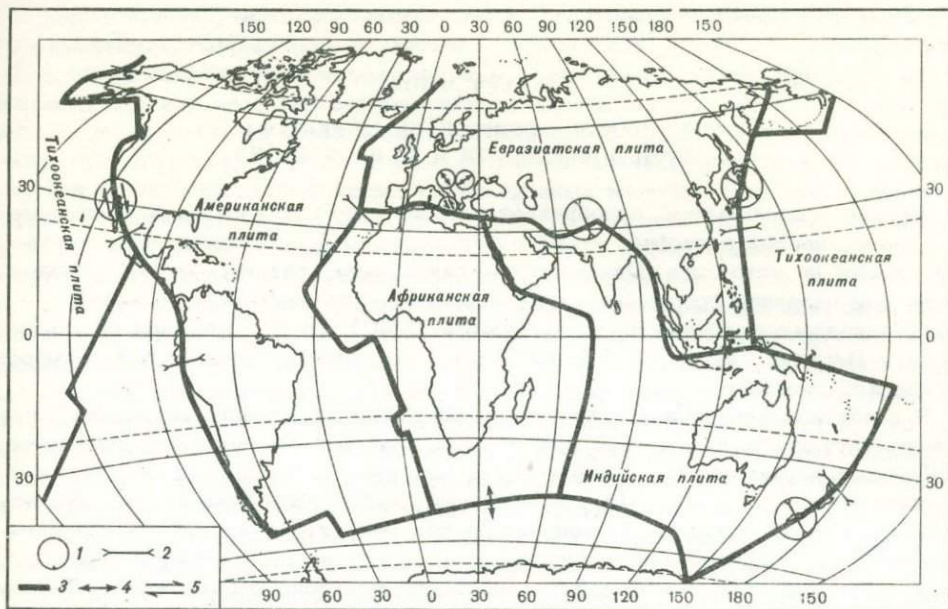


Схема литосферных плит, геодинамических полигонов и локальных геодезических измерений

1 - комплексные геодинамические полигоны; 2 - локальные геодезические построения; 3 - границы главных литосферных плит; 4, 5 - деформации: 4 - раздвиговые, 5 - сдвиговые

ких и геофизических методов. С точки зрения потребностей изучения природы динамических процессов земной поверхности, коры и мантии следует использовать не только отдельные полигоны, но также и их системы.

5. На рисунке показаны геодинамические полигоны и основные тектонические плиты. Анализ карты показывает, что результаты даже по ограниченному числу полигонов хорошо соответствуют общим представлениям о динамике отдельных плит.

6. Кроме классических геодезических методов, применяемых на геодинамических полигонах, чрезвычайно важно развитие также современной спутниковой и радиоинтерферометрической техники.

7. Используя возможности комплексного изучения современных движений на геодинамических полигонах, важно также ускорить и углубить изучение деформаций земной поверхности в период подготовки землетрясений с целью прогноза сейсмичности.

ABSTRACT

Complex studies of recent crustal movements at geodynamic test-areas as limited model sites are characterized by high effectivity in scientific, methodological and economic ways. Results of studies are considered as carried out at different test-areas in America, Pacific basin, South-Eastern Asia, Africa, West and East Europe.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высочил П. Основные проблемы и итоги изучения современных движений земной коры. - В кн.: XII совещ. КАПГ: Материалы науч. симпоз. Тбилиси, 1977.
2. Baldwin A.L., Hayford J.F. The Earth Movements in the California Earthquake 1906. USC and GS Rept 1907, Appendix N 3.
3. The Crust and Upper Mantle of the Japanese Area. Tokyo: Jap. Nat. Committee UPM, 1972.
4. Proceedings of the 5th Intern. Symposium of CRCM. Zürich, 1974. - Tectonophysics, 1975, N 29.
5. Собакарь Г.Т., Сомов В.И., Кузнецова В.Г. Современная динамика и структура земной коры Карпат и прилегающих территорий. Киев: Наук. думка, 1975.
6. Problems of recent crustal movements. - In: Fourth International Symposium. Moscow, 1971.

И.П. ГЕРАСИМОВ

ГЕОДИНАМИКА СОВРЕМЕННОГО РЕЛЬЕФА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ЕЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

Термин "геодинамика" приобретает возрастающую популярность в современной геологической и геофизической литературе, хотя содержание его окончательно еще не устоялось. Однако очень важно, что этот термин был использован для названия программы международных исследований, а именно — Международного геодинамического проекта (МГП), который пришел на смену проекту Верхней мантии (1961–1971) и в котором содержится ряд геоморфологических разделов.

В советской национальной программе МГП его задачи определены так: дальнейшее изучение динамических процессов в мантии и земной коре, выявление глобальных характеристик тектонических движений в земной коре, а также петрологических процессов (в том числе явлений дифференциации магматического вещества), которыми во многом обусловлены эти движения. В соответствии с таким определением программа разделена на ряд разделов (проектов), в составе которых имеются разделы геоморфологического содержания. Таковы, например, разделы "Современные движения земной коры и их направленность в проекте Геодинамика Альпийско-Гималайского региона"; "Современные движения земной коры в проекте Геодинамика континентальных и океанических рифтов"; "Эпейрогенические движения регионального масштаба" и некоторые другие.

Все такие разделы можно определить как геоморфологические не потому, что они именно так названы в рассматриваемой программе (подобная "квалификация", напротив, здесь явно затушевана), а в силу реальной ведущей роли геоморфологических исследований в научной разработке вышеперечисленных разделов. Однако именно такое значение геоморфологических исследований оказалось в советской программе МГП совершенно не раскрытым. Этот крупный недостаток программы был отмечен в записке, составленной Институтом географии АН СССР [1]. Записка была рассмотрена на заседании советской комиссии по МГП и признана принципиально правильной.

На этом основании Институтом географии АН СССР были выдвинуты конкретные предложения о более широком включении геоморфологических исследований в новый вариант МГП, который сейчас подготавливается Советским геофизическим комитетом АН СССР. Сущность этих предложений такова.

Новая программа геодинамического проекта должна включить широкий комплекс геоморфологических, в частности морфоструктурных, исследований по разным разделам МГП. Так, в исполнительной части этой программы следует выделить специальный раздел под названием "Геодинамика в эволюции современного рельефа Земли". При этом по сравнению со старой новая программа должна более широко отразить — в частности, в этом разделе — исследования по проблеме глобальной тектоники плит, включающей широкие и целенаправленные геоморфологические исследования на пространствах материков и океанов.

Мы считаем, что изучение морфоструктуры материков и океанского дна, элементы которой отражают сложные динамические процессы в мантии и земной коре, в тесной связи с выявлением современных движений земной коры, представляет главную задачу раздела "Геодинамика в эволюции рельефа Земли". Уже установлено, что целесообразно проведенный геоморфологический анализ может дать реальное представление о поверхностных и глубинных процессах, создающих или изменяющих облик рельефа земной поверхности. Поэтому геоморфологические (морфоструктурные) материалы должны представлять ту исходную основу, на которую должны накладываться результаты геодинамичес-

ких измерений, изучения физических полей, проявлений современного и древнего вулканизма, современной и древней сейсмической активности и других факторов, создающих в совокупности картину геодинамики Земли. При этом мы считаем, что изучение дна океанов должно занять особое место. Для понимания сущности процесса формирования океанической коры необходим детальный геоморфологический анализ срединно-океанических хребтов, их рифтовых зон, трансформных разломов, глубоководных желобов (зон субдукции на окраинах континентов) и других морфоструктур и геотектур. Однако совершенно необходимо глубоководные геоморфологические исследования тесно связать с изучением рельефа океанических островов и континентов. Есть основание считать, что рельеф плато, равнин и котловин на пространстве континентальных и океанических плит (с сопутствующей сейсмикой и вулканическими проявлениями) тесно связан с неравномерным темпом горизонтальных движений плит по ходу геологической истории, вызывавшим смену сжатия и растяжения на континентах и океаническом дне. Кроме того, более чем вероятно, что процессы субдукции и другие геофизические явления в так называемых шовных зонах на контактах плит сыграли основную роль в формировании горно-впадинного рельефа в современных и древних (подновленных) орогенах.

Можно констатировать, что эти предложения, выдвигаемые нами в геоморфологических аспектах, весьма существенно дополняют предложения, выдвигаемые в других национальных программах и, в частности, в современной американской программе. В этой последней доказывалось, что новый геодинамический проект был предложен на неофициальном собрании Отделения геофизических исследований Национальной академии наук в США в марте 1968 г. Председатель собрания проф. М. Тьюв предложил развить исследования, основанные на гипотезе спрединга морского дна, которая оказала революционное влияние на все науки о Земле. Это предложение многократно обсуждалось в США и по инициативе Американского геофизического союза было представлено в международные научные союзы. Был организован комитет под председательством проф. Дрейка, который подготовил доклады по долгосрочной программе капитальных исследований Земли.

В американских предложениях особо подчеркивается, что геодинамика американских плит, естественно, является главным ядром в программе США. Можно далее констатировать, что американские предложения о развитии работ по новой программе имеют весьма целеустремленный характер. По существу они строго подчинены концепции глобальной тектоники плит. Изложение этой концепции в американских материалах названо "основами геодинамики". Здесь доказывалось, что концепция тектоники плит представляет огромные возможности для объяснения происхождения землетрясений, вулканизма, сбросов и горообразования с эффективным прогнозом и использованием стихийных явлений, энергетических ресурсов и экономически ценных концентраций минеральных тел. Подчеркивается, что главной целью новой программы является выяснение внутренних сил, которые вызывают горизонтальные движения плит, а также вертикальные движения больших внутренних частей плит и окончательное понимание механизма, который вызвал эти силы.

В записке "Геоморфологические аспекты советской программы МГП" [1] отмечалась меньшая целеустремленность нашей программы, которую нельзя объяснять тем, что теория глобальной тектоники плит еще не является достаточно доказанной и разработанной. Напротив, мне представляется, что эта концепция уже достаточно "созрела" для того, чтобы именно ее использовать как теоретическую основу для дальнейших исследований. Именно это придаст всей программе ту ясную внутреннюю организованность, которой часто недостает широким программам научных работ международного или национального характера.

Мы глубоко убеждены в большом значении концепции глобальной тектоники плит. Подобная убежденность базируется прежде всего на чисто геоморфологических основаниях. Несколько лет назад появилась статья о геоморфологичес-

ких и палеогеографических аспектах новой теории глобальной тектоники плит [2]. Это был первый шаг к геоморфологическому "признанию" вышеуказанной теории, который был основан на совершенно независимых данных по геоморфологии континентов. В 1976 г. я попытался [3] обрисовать те плодотворные перспективы, которые открывает эта теория для дальнейшей разработки проблем глобальной геоморфологии. Возвращаясь к этой же теме в целях геоморфологического "дополнения" советской программы, я считаю, что оно очень усилит нашу программу геодинамических исследований по сравнению с другими национальными программами, в частности американской.

Все это имеет, как мне представляется, прямое отношение к современным движениям земной коры. Нет никакой необходимости доказывать, что современные движения земной коры являются одним из важнейших геодинамических процессов, происходящих на Земле. Их всестороннее изучение должно составлять одну из главных задач новой программы. Но в это понятие нужно включать в качестве необходимого компонента исследования все проявления динамики современного рельефа Земли, т.е. определенный комплекс геоморфологических работ.

Исходя из этого, необходимо считать, что геоморфологические методы изучения должны составлять обязательный компонент комплексного выявления и установления характеристик современных движений земной коры наряду с геодезическими, геофизическими и другими методами. Недооценка значения и возможностей геоморфологических методов, а тем более их исключение из этого комплекса резко снижают эффективность результатов проведенных исследований и лишают их достоверной основы для пространственных и временных экстраполяций.

Надо иметь в виду, что состав и содержание геоморфологических методов должны существенно видоизменяться при изучении а) быстрых (катастрофических) движений земной коры, связанных, в частности, с современной сейсмикой и вулканизмом, и б) медленных (вековых) движений, вертикальных и горизонтальных, связанных с развивающимися эпейрогенезом, тектогенезом и дрейфом материков.

Весьма плодотворный опыт применения геоморфологических методов для изучения быстрых (катастрофических) движений земной коры в настоящее время уже накоплен в комплексных работах на Ашхабадском, Гармском и некоторых других геодинамических полигонах. Об этом опыте и полученных результатах и, в частности, о разработанной методике исследований говорилось на львовском совещании 1976 г. Я имею в виду доклады Н.С. Благоволина, С.К. Горелова, В.А. Филькина, Е.А. Финько; Д.А. Лилиенберга, О.Д. Гусейнзаде, Ф.Т. Кулиева, Н.Ш. Ширинова, В.Р. Ященко и др. Следует возможно более широко распространить такие исследования и на другие геодинамические полигоны.

Весьма перспективный опыт использования геоморфологических методов изучения современного рельефа горных областей в ходе сопряженного математического анализа геоморфологических и сейсмических данных был получен путем выявления и характеристик морфоструктурных глыб, линейментов и узлов для сейсмического районирования Тянь-Шаня, Памира, а также Анатолии и Калифорнии. В частности, нужно упомянуть доклад Е.Я. Рандман, в котором была сделана попытка обобщить работы, проведенные в этом направлении. Следует также продолжить эти исследования, совершенствуя и углубляя их методику.

Очень большой опыт использования геоморфологических методов в комплексном выявлении современных деформаций земной коры получен при составлении карт вертикальных движений Европейской части СССР, Восточной Европы и других районов. Как известно, именно с этих работ, проведенных совместно геодезистами, океанографами и геоморфологами, началась в нашей стране широкая программа исследований современных движений земной коры. Общие доклады на эту тему были сделаны Д.А. Лилиенбергом и Л.Е. Сетунской, Т.П. Корокиной, В.Г. и П.П. Колмогоровыми и др. Необходимо продолжить эти

комплексные исследования как для охвата новых территорий (Казахстана, Средней Азии, Сибири), так и для корректирования и уточнения уже полученных результатов.

Несомненно, что для дальнейшего развития всех геоморфологических работ по изучению современных тектонических движений совершенно новые перспективы открывает использование космических материалов и методов. При этом, помимо целей выявления и характеристики современных движений, использование геоморфологического дешифрирования космических материалов, повторного их анализа и дистанционного зондирования является вообще необходимой исходной формой любых космических исследований земной поверхности.

Однако особенно важное значение должно принадлежать, по моему мнению, коллективной разработке ряда главных теоретических вопросов геодинамики современного рельефа, полученных в ходе геоморфологических исследований, проведенных различными методами. Среди таких главных вопросов можно выделить следующие.

1. Взаимоотношение современных тектонических движений с экзогенными рельефообразующими процессами как основа для индикации современных движений.

2. Взаимоотношение современных вертикальных тектонических движений с развитием морфоструктур как основа для выявления ареалов распространения современных движений и определения их временных трендов.

3. Взаимоотношение современных геофизических полей с различными типами рельефа земной поверхности как основа для выявления физической сущности современных движений.

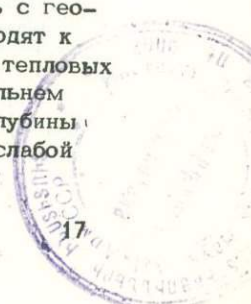
4. Взаимоотношение современных вертикальных и горизонтальных тектонических движений, выявляемых геоморфологическими методами.

По некоторым из этих вопросов, как, например, по первому и второму, уже приходилось неоднократно выдвигать определенные теоретические концепции, в частности концепцию саморегулирующейся динамической системы эндогенных и экзогенных процессов на земной поверхности [4, 5].

Но два других вопроса из перечисленных выше, а именно - взаимоотношение современных геофизических полей с различными типами рельефа земной поверхности и геоморфологические выражения взаимоотношения современных вертикальных и горизонтальных тектонических движений - встали передо мной со всей остротой во время плавания на НИС "Академик Курчатов" в ходе 24-й геолого-геофизической океанологической экспедиции в Атлантике и Тихом океане. Совместная работа геоморфолога с геофизиками на море поставила вопрос о необходимости такого же тесного контакта и в ходе континентальных исследований. Это можно иллюстрировать только двумя частными примерами.

В статье А.Н. Андреева, В.В. Броловой, В.И. Гольдшмидта, Ю.И. Кузьмина, М.Д. Морозова и Р.А. Эйдлина [6] делается вывод о наличии в исследованном районе "...современной региональной изостазии, т.е. тесной связи глубинного строения земной коры с новейшими движениями, обусловившими морфологию современной дневной поверхности", и, кроме того, о "...значительном влиянии последней на структуру гравитационного поля" (с. 41). Мне представляется подобная связь закономерной и, самое главное, очень динамической для обоих феноменов, для современного рельефа и существующих в настоящее время гравитационных полей. Однако выявление и объяснение этой связи часто является нелегкой задачей.

Ознакомление с работой Е.А. Любимовой с соавторами [7] показало, что эти геофизические характеристики имеют исключительно важную связь с геоморфологическими особенностями территорий. Так, авторы книги приходят к выводу, что в пределах Черного и Каспийского морей в современных тепловых потоках существенную роль играет новейшее осадконакопление, на Дальнем Востоке - "...сток материала (современной денудации продуктов) в глубины верхней мантии (зоны Беньюфа)" (с. 216), а в северных морях (со слабой седиментацией) - прямой современный рельеф дна.



Весьма сложный вопрос о взаимосвязи вертикальных и горизонтальных тектонических движений разработан, конечно, еще очень слабо. Но, кроме возможных наблюдений геодезического характера, я не могу не обратить теперь внимание на необходимость всестороннего научного изучения этого вопроса путем сопоставления геоморфологических и палеомагнитных данных. Известно, что процесс "спрединга" (раскрытия) океанических бассейнов и формирования современного рельефа дна океана уже получает на основе палеомагнитных данных исключительно количественно-возрастные характеристики. Необходимо проведение подобных исследований на континентах с точки зрения не только их "дрейфа", но и связи новейших и современных вертикальных и горизонтальных смещений по глубинным разломам, структурным и орографическим линиям и т.д.

В заключение я хочу поставить вопрос о развертывании работы по составлению — на основании комплексных методов, но при ведущем значении геоморфологических исследований — прогнозных карт современной тектонической активности земной коры различных районов. Это позволит не только расширить современную сферу применения геоморфологических методов, но и обогатить и проверить их. Особое значение в этих работах будет иметь определение степени репрезентативности сведений о современных движениях во временном масштабе, т.е. для уточнения представлений о цикличности, направленности, унаследованности различных типов таких движений. Мне кажется, что такую задачу следует включить в советскую программу Международного геодинамического проекта (МГП).

ABSTRACT

Geomorphological (morphostructural) investigations are a basis for studying modern geodynamics of the Earth's crust. Disregard of this data reduces the effectivity of scientific analysis. Therefore a chapter on geodynamics of modern relief should be one of those constituting the International Geodynamics Project. Theoretical aspects of studies should be emphasized with due account of the last achievements of the global lithosphere plate theory and oceans structure. The most urgent problems are those of interaction of recent movements with morphostructures, geodynamic fields, exogenous relief-forming processes, problems of mechanism and prediction of these movements, compilation of special prediction carts.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асеев А.А., Герасимов И.П., Горелов С.К. и др. Геоморфологические аспекты советской программы МГП. — Геоморфология, 1977, № 1.
2. Герасимов И.П., Живаго А.В., Коржуев С.С. Геоморфологические и палеогеографические аспекты новой теории глобальной тектоники плит. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1974, № 5.
3. Герасимов И.П. Архитектура Земли (геотектуры) в свете теории глобальной тектоники плит. — Геоморфология, 1976, № 3.
4. Герасимов И.П. Современные рельефообразующие экзогенные процессы, уровень научного познания, новые задачи и методы исследования. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1969, № 2.
5. Герасимов И.П. Новые пути в геоморфологии и палеогеографии. М.: Наука, 1976.
6. Андреев А.Н., Бролова В.В., Гольдшмидт В.И. и др. К вопросу о связи гравитационного поля древнего рельефа и глубинного строения земной коры. — В кн.: Вопросы рудной геофизики в Казахстане. Алма-Ата, 1966.
7. Любимова Е.А., Никитина В.Н., Томара Г.А. Тепловые поля внутренних и окраинных морей СССР. М.: Недра. 1976.

А.С. ГРИГОРЬЕВ, А.В. МИХАЙЛОВА, Д.Н. ОСОКИНА,
Н.Ю. ЦВЕТКОВА, З.Е. ШАХМУРАДОВА

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ

Для поиска и эксплуатации месторождений полезных ископаемых, для оценки сейсмической опасности и т.п. весьма существенны сведения о напряженном состоянии и деформациях в толще земной коры и о возможных нарушениях сплошности на глубине. Первостепенную роль при этом играют данные о современных движениях, о характеристиках поля скоростей дневной поверхности, полученные путем непосредственных измерений.

Современные движения участков литосферы различного масштаба, как и тектонические движения любого другого времени, могут быть разделены на: 1) непрерывные (складкообразующие), 2) движения по разрывам (разрывные) и 3) движения, сочетающие оба эти типа. Для движений первого типа на данном масштабном уровне ведущую роль играют пластические, вязкие и упругие деформации горного массива. Движения второго типа соответствуют относительному перемещению крыльев (берегов) тектонических нарушений различного порядка. Вопросы о связи характеристик современных движений с возможными нарушениями сплошности на глубине затрагивались и ранее [1, 2], однако получить какие-либо количественные соотношения можно лишь, решая соответствующие задачи математической физики. Ниже мы рассмотрим подобную задачу — кратко изложим результаты теоретического и экспериментального исследования процесса деформирования слоя над разломами фундамента, а далее остановимся на изучении напряженного состояния в окрестности единичного разрыва, что можно рассматривать как необходимый первый шаг при исследовании тектонических движений второго типа.

Связь характеристик современных движений поверхности с разрывными нарушениями на глубине

Результаты теоретических исследований. В работах А.С. Григорьева и З.Е. Шахмуратовой [3, 4] рассматривалась задача поперечного изгиба слоя при вертикальном смещении участка основания, в частности при смещении жесткого блока фундамента, ограниченного вертикальными разломами. Ниже мы рассмотрим более общую задачу о напряженном состоянии и скоростях смещений слоя — осадочного чехла — при движениях фундамента, разбитого

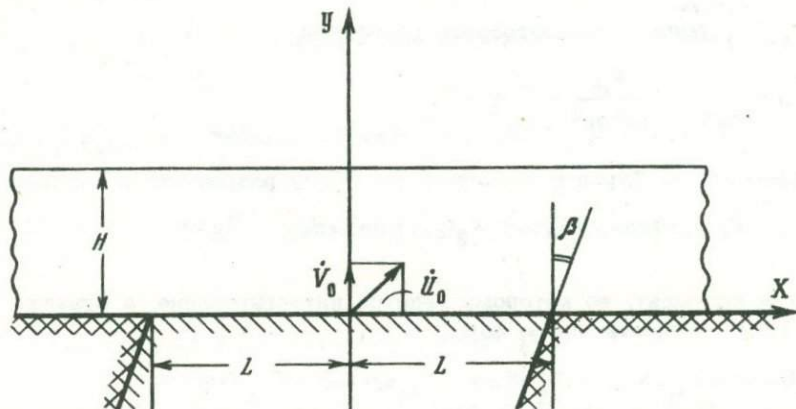


Рис. 1. Схема постановки задачи в случае движения одного блока
Пояснения см. в тексте

на блоки как вертикальными, так и наклонными разломами. Размеры в плане, равно как и один из характерных размеров каждого из блоков фундамента, будем считать много большими, нежели мощность слоя, поэтому деформация его может рассматриваться как плоская. Вязкость материала слоя будем считать постоянной, весьма высокой, движение его рассматривать как медленное, "ползущее", а состояние как равновесное. Построенное при этих предпосылках разрешающее уравнение сводится к бигармоническому. Его решение находится для бесконечной полосы при смешанных краевых условиях. После чего применяется метод "наложения решений".

Пусть H — мощность слоя, $2L$ — протяженность смещающегося участка основания (движущегося блока); остальное основание неподвижно, и между ним и слоем имеет место полный слип. Отнесем слой к неподвижной прямоугольной системе координат XU , как показано на рис. 1. Для несжимаемого линейно-вязкого тела с вязкостью η в случае плоской деформации имеем известные формулы для компонент тензора напряжений

$$\sigma_x = \sigma_0 + 2\eta \frac{\partial \dot{U}}{\partial X}; \quad \sigma_y = \sigma_0 + 2\eta \frac{\partial \dot{V}}{\partial Y}; \quad \sigma_z = \sigma_0 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y); \quad (1)$$

$$\tau_{xy} = \eta \left(\frac{\partial \dot{U}}{\partial Y} + \frac{\partial \dot{V}}{\partial X} \right); \quad \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0.$$

Здесь \dot{U} и \dot{V} — скорости смещений U и V в направлениях X и Y . Перейдем к безразмерным величинам: $x = \frac{X}{H}$; $y = \frac{Y}{H}$; $l = \frac{L}{H}$; $p_x = \frac{H^2}{K} \sigma_x$; $p_y = \frac{H^2}{K} \sigma_y$; $p_{xy} = \frac{H^2}{K} \tau_{xy}$;

$p_{12} = \frac{H^2}{K} \tau_{12}$; $\dot{u} = \frac{\dot{U}}{\dot{V}_*}$; $\dot{v} = \frac{\dot{V}}{\dot{V}_*}$, где τ_{12} — главные касательные напряжения, K и

\dot{V}_* — некоторые постоянные с размерностями силы и скорости; введем безразмерную функцию напряжений $\phi(x, y)$, положив

$$p_x = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} - K_1(1-y); \quad p_y = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - K_1(1-y); \quad p_{xy} = -\frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y}. \quad (2)$$

Здесь $K_1 = \frac{\rho g H^3}{K}$; ρg — удельный вес материала слоя. Для определения скоростей смещений будем иметь

$$\frac{\partial \dot{u}}{\partial x} = -\frac{\partial \dot{v}}{\partial y} = K_2 \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right), \quad (3)$$

где $K_2 = \frac{K}{4\eta H \dot{V}_*}$. Используя (1) и переходя к безразмерным величинам, найдем,

что $\phi(x, y)$ должна удовлетворять уравнению

$$\nabla^4 \phi = \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} = 0. \quad (4)$$

Применим метод Фурье и интегральную форму разрешающей функции, положив

$$\phi = \int_{-\infty}^{\infty} F_1(a, y) \cos ax da + \int_{-\infty}^{\infty} F_2(a, y) \sin ax da, \quad (5)$$

где a — аргумент, по которому ведется интегрирование, а функции $F_i(a, y)$ ($i = 1, 2$) определяются по формуле

$$F_i(a, y) = C_{i1} \operatorname{ch} ay + C_{i2} \operatorname{sh} ay + C_{i3} a y \operatorname{ch} ay + C_{i4} a y \operatorname{sh} ay, \quad (6)$$

где C_{ik} ($k = 1, 2, 3, 4$) — произвольные постоянные. Заменяя в (2) и (3)

ϕ по уравнению (5), получим формулы для безразмерных напряжений и скоростей смещений. Сформулируем краевые условия. Полагая, что на дневной поверхности отсутствуют напряжения, а на подошве скорости смещений за исключением участка $|X| \leq L$ (см. рис. 1), где они постоянны и равны соответственно \dot{U}_0 и \dot{V}_0 , будем иметь

$$y = 1: p_y = 0; p_{xy} = 0; \quad (7)$$

$$y = 0: \dot{u} = 0; \dot{v} = 0 \text{ при } |x| \geq l; \dot{u} = \dot{u}_0, \dot{v} = \dot{v}_0 \text{ при } |x| \leq l. \quad (8)$$

Используя (7) и (8), определяем C_{ik} . Положим $\dot{V}_* = |\dot{V}_0|$; $K = 4\eta H |\dot{V}_0|$, тогда $K_1 = \frac{\rho g H^2}{4\eta |\dot{V}_0|}$; $K_2 = 1$; $\dot{u}_0 = \frac{\dot{U}_0}{\dot{V}_0} = \kappa \operatorname{tg} \beta$; $\dot{v}_0 = \kappa$, где $\kappa = \pm 1 = \operatorname{sign} \dot{V}_0$, β — угол между вертикальной плоскостью и плоскостью разлома, отсчитываемый от оси y по часовой стрелке. После ряда преобразований окончательно получим

$$p_x = \frac{\kappa}{\pi} \left\{ \int_0^\infty \Phi_{11}(a, y) \sin a l \cos a x da + \operatorname{tg} \beta \int_0^\infty \Phi_{12}(a, y) \sin a l \sin a x da \right\} - K_1(1-y), \quad (9)$$

$$p_y = \frac{\kappa}{\pi} \left\{ \int_0^\infty \Phi_{21}(a, y) \sin a l \cos a x da + \operatorname{tg} \beta \int_0^\infty \Phi_{22}(a, y) \sin a l \sin a x da \right\} - K_1(1-y),$$

$$p_{xy} = \frac{\kappa}{\pi} \left\{ \int_0^\infty \Phi_{31}(a, y) \sin a l \sin a x da + \operatorname{tg} \beta \int_0^\infty \Phi_{32}(a, y) \sin a l \cos a x da \right\},$$

где

$$\Phi_{11}(a, y) = \frac{1}{\operatorname{ch}^2_{a+a} 2} \left\{ \operatorname{cha}[a y \operatorname{cha}(1-y) - \operatorname{sha}(1-y)] + a [\operatorname{ch} a y - a(1-y) \operatorname{sh} a y] \right\},$$

$$\Phi_{21}(a, y) = \frac{1}{\operatorname{ch}^2_{a+a} 2} \left\{ a [\operatorname{ch} a y + a(1-y) \operatorname{sh} a y] - \operatorname{cha}[\operatorname{sh} a(1-y) + a y \operatorname{cha}(1-y)] \right\},$$

$$\Phi_{31}(a, y) = -\frac{1}{\operatorname{ch}^2_{a+a} 2} \left\{ a^2(1-y) \operatorname{ch} a y + a y \operatorname{cha} \operatorname{sh} a(1-y) \right\},$$

$$\Phi_{12}(a, y) = \frac{1}{\operatorname{ch}^2_{a+a} 2} \left\{ a [2 \operatorname{sh} a y - a(1-y) \operatorname{ch} a y] + \operatorname{cha} [a y \operatorname{sh} a(1-y) - 2 \operatorname{cha}(1-y)] \right\},$$

$$\Phi_{22}(a, y) = \frac{1}{\operatorname{ch}^2_{a+a} 2} \left\{ a^2(1-y) \operatorname{ch} a y - a y \operatorname{cha} \operatorname{sh} a(1-y) \right\},$$

$$\Phi_{32}(a, y) = \frac{1}{\operatorname{ch}^2_{a+a} 2} \left\{ a [a(1-y) \operatorname{sh} a y - \operatorname{ch} a y] + \operatorname{cha} [a y \operatorname{cha}(1-y) - \operatorname{sha}(1-y)] \right\},$$

$$\dot{u} = \frac{\kappa}{\pi} \left\{ \int_0^\infty \Phi_{41}(a, y) \frac{\sin a l}{a} \sin a x da + \operatorname{tg} \beta \int_0^\infty \Phi_{42}(a, y) \frac{\sin a l}{a} \cos a x da \right\},$$

$$\dot{v} = \frac{\kappa}{\pi} \left\{ \int_0^\infty \Phi_{51}(a, y) \frac{\sin a l}{a} \cos a x da + \operatorname{tg} \beta \int_0^\infty \Phi_{52}(a, y) \frac{\sin a l}{a} \sin a x da \right\}, \quad (10)$$

где

$$\Phi_{41}(a, y) = \frac{1}{\operatorname{ch}^2_{a+a} 2} \left\{ a y \operatorname{cha} \operatorname{cha}(1-y) - a^2(1-y) \operatorname{sh} a y \right\},$$

$$\Phi_{51}(a, y) = \frac{1}{\operatorname{ch}^2_{a+a} 2} \left\{ a [a(1-y) \operatorname{ch} a y + \operatorname{sh} a y] + \operatorname{cha} [a y \operatorname{sh} a(1-y) + \operatorname{cha}(1-y)] \right\},$$

$$\Phi_{42}(a, y) = \frac{1}{\operatorname{ch}^2_{a+a} 2} \left\{ a [a(1-y) \operatorname{ch} ay - \operatorname{sh} ay] + \operatorname{ch} a [\operatorname{ch} a(1-y) - a y \operatorname{sh} a(1-y)] \right\},$$

$$\Phi_{52}(a, y) = \frac{1}{\operatorname{ch}^2_{a+a} 2} \left\{ a^2 (1-y) \operatorname{sh} ay + a y \operatorname{ch} a(1-y) \operatorname{ch} a \right\}.$$

Пользуясь формулами (9), можно построить картину напряженного состояния слоя, формулы (10) полностью характеризуют картину его движения.

Заметим, что в настоящее время в распоряжении исследователя в подавляющем большинстве случаев имеются данные лишь о скоростях вертикальных движений поверхности. Градиент этой скорости, как будет ясно из дальнейшего, несет информацию, весьма существенную для изучения всего комплекса вопросов, которым посвящена настоящая работа. На основании (10) получим

$$\dot{v}(x, 1) = \kappa \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \left\{ \frac{a \operatorname{sh} a + \operatorname{ch} a}{\operatorname{ch}^2_{a+a} 2} \cdot \frac{\sin a l}{a} \cos a x da + \operatorname{tg} \beta \int_0^{\infty} \frac{\operatorname{ch} a}{\operatorname{ch}^2_{a+a} 2} \sin a l \sin a x da \right\}, \quad (11)$$

$$\operatorname{grad} \dot{v}(x, 1) = \frac{\partial}{\partial x} \left[\dot{v}(x, 1) = - \frac{2\kappa}{\pi} \left\{ \int_0^{\infty} \frac{a \operatorname{sh} a + \operatorname{ch} a}{\operatorname{ch}^2_{a+a} 2} \sin a l \sin a x da - \operatorname{tg} \beta \int_0^{\infty} \frac{a \operatorname{ch} a}{\operatorname{ch}^2_{a+a} 2} \sin a l \cos a x da \right\} \right] \quad (12)$$

Обратимся сначала к результатам расчетов для случая вертикального опускания блока фундамента ($\kappa = -1, \beta = 0$). Не останавливаясь на уже опубликованных материалах [2, 3], напомним лишь, что в окрестности угловой точки $(l, 0)$ компоненты тензора напряжений неограниченно возрастают. На подошве $p_x = p_y$, причем при переходе через сечение $x = l$ они меняют знак на обратный; со стороны опускающегося блока эти напряжения растягивающие, со стороны неподвижного — сжимающие. Основные возмущения начального поля напряжений — последнее определяется при данной постановке, очевидно, как гидростатическое — имеют место в надразломных зонах. При относительно малых l ощущается взаимное влияние этих возмущений, а при $l \geq 2$ оно уже перестает сказываться; можно считать, что речь идет об исследовании напряженного состояния и скоростей смещений слоя в зоне над единичным разломом, разделяющим два движущихся друг относительно друга блока фундамента.

Опишем кратко результаты этого исследования, условно считая блок, расположенный справа от разлома, неподвижным, блок слева — опускающимся и, отвлекаясь пока от учета напряжений, вызванных собственным весом слоя, поскольку они не скажутся ни на скоростях смещений, ни на касательных напряжениях. Укажем, что зона возмущенного состояния практически охватывает лишь участок слоя с длиной, примерно равной двум мощностям, симметрично расположенный по отношению к вертикали — границе между блоками. Вне этого участка напряжения, вызванные движением фундамента, практически отсутствуют. Вертикальная полоса шириной порядка $0,02 H$, расположенная непосредственно над разломом и проходящая почти по всей мощности слоя, оказывается в условиях, близких к чистому сдвигу. На рис. 2, а дан график, характеризующий изменение p_{12} по вертикали AB и графики p_{xy} и p_{12} в надразломной зоне, построенные при $y \neq 0,20$; последние кривые имеют максимумы на той же вертикали. Там же приведены графики вертикальной скорости дневной поверхности и ее градиента. Скорость $\dot{v}(x, 1)$ существенно изменяется в средней части области возмущения, и над разломом ее график имеет точку перегиба; $\operatorname{grad} \dot{v}(x, 1)$ резко возрастает, а затем также резко падает, максимум находится строго над разломом. Вне зоны возмущения скорость поверхности практически совпадает со скоростью движения фундамента. Как видно, наблюдается подобие графиков p_{12} и $\operatorname{grad} \dot{v}(x, 1)$, как, впрочем, и следовало ожидать в случае чистого сдвига. Картина напряженного состояния

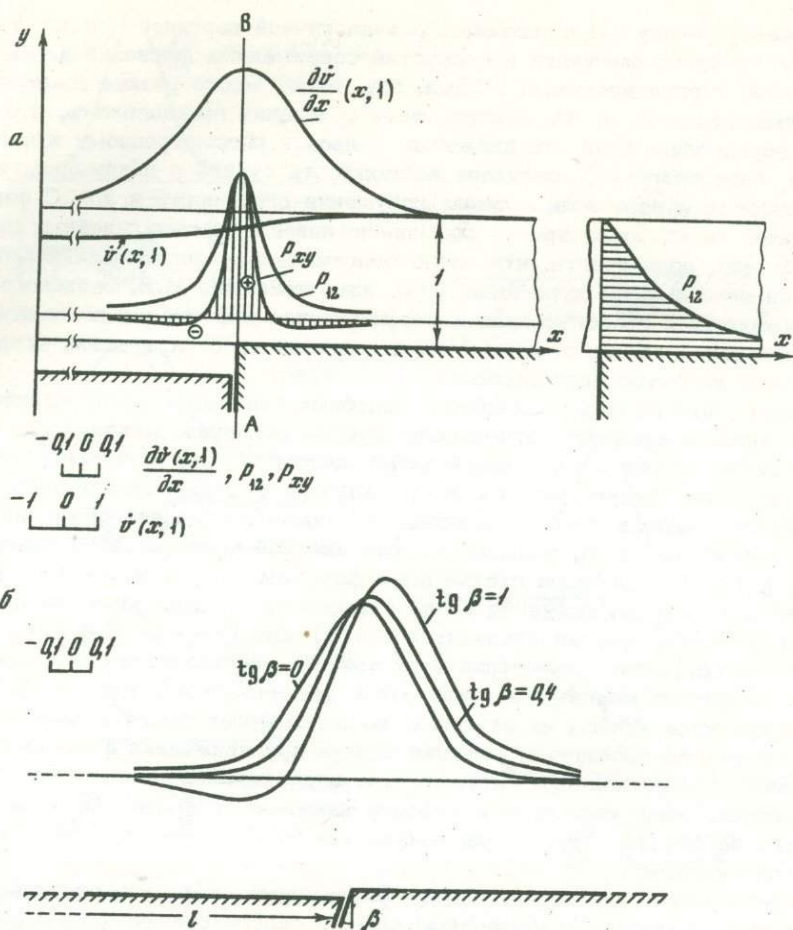


Рис. 2. Графики касательных напряжений, вертикальной скорости свободной поверхности и ее градиентов в надразломной зоне
 а - графики касательных напряжений ρ_{12} , ρ_{xy} скорости $\dot{v}(x, t)$ и градиента $\frac{d\dot{v}(x, t)}{dx}$ при $L/H=10$; б - графики градиента $\frac{d\dot{v}(x, t)}{dx}$ при различных значениях угла наклона разлома $\beta > 0$

позволяет высказать соображения о возможных нарушениях сплошности. Если исходить из гипотезы прочности О. Мора, то следует ожидать нарушений сплошности в первую очередь там, где наряду с высокими касательными напряжениями имеют место растягивающие нормальные напряжения. Нами были построены изолинии главных нормальных и касательных напряжений, а также "эквивалентных" (согласно теории О. Мора) напряжений. При этом уже надо было учитывать напряжения, вызванные собственным весом пород. При вычислениях было принято $\rho g = 2,4 \text{ г/см}^3$, $H = 2 \text{ км}$; $\eta = 10^{22} \text{ пз}$; $|\dot{V}_0| = 1 \text{ см/год}$; отношение прочности на растяжение к прочности на сжатие принималось равным 0,1. Анализ картины изолиний показал, что трещиноватости сколового характера надо ожидать в надразломной зоне в областях высоких касательных напряжений, а в непосредственной близости к разлому у подошвы, в части слоя, где имеют место наибольшие растягивающие напряжения, естественно предположить возникновение отрывных нарушений на различных структурных уровнях. Выше уже говорилось о характерных чертах кинематической картины движения слоя. Если при обработке данных геодезических измерений по какому-либо

исследуемому району мы столкнемся с аналогичной картиной — с точками перегиба на графиках смещений и скоростей современных движений дневной поверхности, с ограниченными зонами, где имеют место резкие изменения и экстремумы градиентов, то, видимо, есть основания предположить, что механизм, обуславливающий эти движения, близок к рассмотренному в настоящей работе и, следовательно, возникает возможность судить о положениях и ориентации разломов фундамента, о зонах нарушения сплошности и т.д. С формальной стороны такая точка зрения обоснована лишь в рамках линейных представлений. Однако, если учесть, что число основных возможных механизмов деформирования земной коры ограничено (см. классификацию М.В. Гзовского [1]), и если имеющаяся геологическая и геофизическая информация по данному району, по крайней мере, не противоречит сделанным предположениям, последние приобретают характер достоверности.

Очевидно, что по мере накопления подобных "кинематических картин" движения земной поверхности, отвечающих другим основным механизмам деформирования земной коры — продольный изгиб, надвиг и т.д., — возможности подобного диагноза будут существенно расширены. С целью приближения постановок подобных задач к природным условиям можно ввести ряд обобщений — учесть слоистость чехла, влияние рельефа дневной поверхности и границы фундамента и т.п. В настоящей статье даны формулы для напряжений и скоростей смещений для случаев движения блока фундамента по наклонным разломам. На рис. 3,б показаны графики градиентов $\dot{v}(x, 1)$ при $\text{tg } \beta = 0; 0,4$ и 1 . Четко фиксируется нарушение симметрии этих кривых, увеличивающееся с увеличением β , смещение максимума градиента и увеличение его модуля на 10–12%, большая крутизна кривых на отрезках, расположенных ближе к разлому.

Дано и второе обобщение, решение задачи при движениях фундамента, представляющего многоблоковую систему. При этом использовался метод "наложения" решений. Была рассмотрена картина движения поверхности слоя, расположенного на фундаменте, рассеченом на три блока. Средний блок условно считался неподвижным.

Предполагалось, что ширина блока, расположенного между вертикальными разломами, соизмерима с мощностью слоя, а соответствующие размеры левого и правого блоков много больше H .

На рис. 3,а показаны графики градиентов вертикальных скоростей дневной поверхности, построенные для случаев, когда левый и правый блоки движутся в разные стороны с одинаковыми по модулю скоростями. На рис. 3,б для случаев, когда левый и правый блоки движутся в одном и том же направлении, но с разными по величине скоростями — опускаются при $\dot{V}_{II} = 0,5\dot{V}_I$. Варьровался лишь размер a — отнесенная к H ширина среднего блока.

Результаты экспериментальных исследований. Описанные выше теоретические решения касались получения соотношений, связывающих характеристики поля скоростей поверхности тектонических структур с разрывами на глубине и с напряжениями, действующими в массиве этих структур, для линейно-вязкого материала и малых деформаций. Эти условия соответствуют тем, при которых измеряются современные движения, поэтому при их интерпретации могут быть использованы полученные результаты. Чтобы расширить область их приложения и соотнести их с аналогичными характеристиками, полученными для пластической среды, были поставлены эксперименты. При этом мы стремились воспроизвести ту же геометрическую схему, тот же механизм образования исследуемых структур и условия на границах модели, что и принятые в теоретическом решении. Материал выбирался так, чтобы его реологические свойства можно было бы соотносить со свойствами реальных пород и чтобы при малых деформациях он мог бы рассматриваться как линейно-вязкий. При этих условиях мы, видимо, вправе утверждать, что результаты теоретического решения и начальной стадии эксперимента должны находиться в соответствии. Результаты же, полученные на более поздних стадиях эксперимента, должны дополнять данные математического решения описанием деформированного состояния массива и особенностей перемещений поверхности, возникающих при

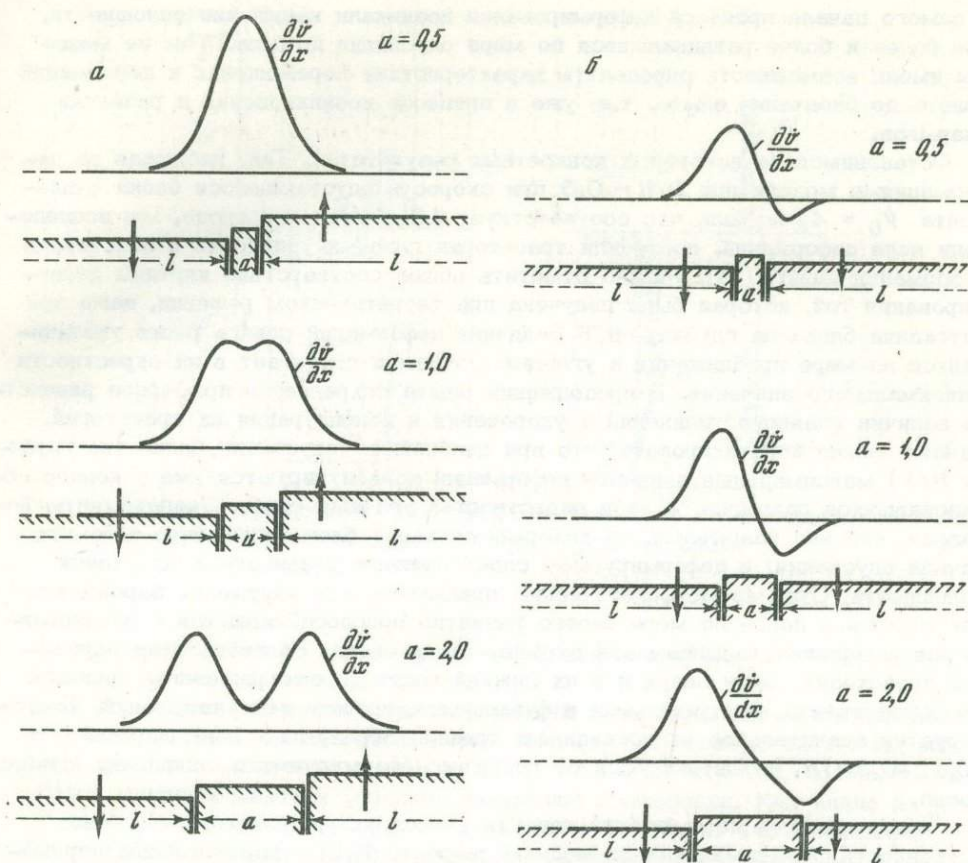


Рис. 3. Графики градиента вертикальной скорости поверхности при движении блоков фундамента

a — в разные стороны с одинаковой скоростью; *б* — в одну сторону с разными скоростями

Пояснения см. в тексте

уже развитых деформациях и после образования в деформируемом слое существенных нарушений сплошности.

В качестве материала модели применялась бентонитовая глина влажностью 50%, которую можно рассматривать как нелинейно-вязко-пластичный материал с пределом текучести $\tau_r \sim 25 \text{ г/см}^2$. При $\tau < \tau_r$ он имеет вязкость порядка $\eta \sim 10^{10}$ пз и может приближенно рассматриваться как линейно-вязкий. При $\tau > \tau_r$ с ростом напряжений (при скоростях деформации сдвига $\dot{\gamma} \sim 10^{-8} \text{ с}^{-1}$) вязкость его резко падает примерно до $\eta \sim 10^2$ пз, когда напряжения уже близки к пределу прочности $\tau_b \sim 50 \text{ г/см}^2$.

Для расчета условий подобия использовались графики зависимости вязкости от напряжения, взятые для эквивалентного материала из работы А.В. Михайловой, Д.Н. Осокиной [5], а для горных пород — из монографии М.В. Гзовского [1]. Эти графики в первом приближении рассматривались как подобные, а коэффициенты условий подобия рассчитывались по средним значениям η и τ .

Модель заключалась между двумя вертикальными, параллельными друг другу стеклами. Деформация модели осуществлялась с помощью движущегося с постоянной скоростью (100, 20; 4; 0,8; 0,15 мм/мин) вертикального штампа. Влияние трения модели о стекла мы стремились избежать путем обильной смазки. Опыты ставились лишь для случая опускания блока фундамента. Отношение длины $2L$ опускающегося блока к мощности слоя H принималось равным 1, 2 и 4. Максимальное перемещение штампа имело порядок H . Практически

с самого начала процесса деформирования возникали нарушения сплошности, все более и более развивавшиеся по мере опускания штампа. Тем не менее мы имели возможность определять характеристики перемещения и деформаций вплоть до окончания опыта, т.е. уже в процессе возникновения и развития разрывов.

Остановимся на некоторых конкретных результатах. Так, наблюдая за деформациями модели при $L/H = 0,5$ при скорости опускающегося блока фундамента $\dot{V}_0 = 4$ мм/мин, что соответствует 10 см/год в природе, мы исследовали поле деформаций, построили траектории главных удлинений и подсчитали деформации сдвига [6]. Можно отметить общее соответствие картины деформирования той, которая была получена при теоретическом решении, даже при опускании блока на глубину $H/8$. Величина деформаций сдвига резко увеличивается по мере приближения к угловым точкам и достигает в их окрестности максимального значения. В продолжении опыта сохраняется примерное равенство величин главного удлинения и укорочения и конфигурация их траекторий. Однако можно констатировать, что при дальнейшем опускании блока (на глубину $H/4$) максимальные значения деформаций концентрируются уже у концов образовавшихся разрывов, а не в окрестностях угловых точек. Эксперименты показали, что над разрывами, по которым скользит блок фундамента с самого начала опускания, в деформируемом слое начинают развиваться нарушения сплошности. Судя по морфологическим признакам, эти нарушения зарождаются как отрывы и далее по мере своего развития приспособляются к образовавшимся в массиве трещинам как отрыва, так и скола. Развитие этих нарушений происходит снизу вверх и в их нижней части хорошо различимы полости. Непосредственно над разрывами в фундаменте, помимо этих нарушений, констатируется значительное число видимых трещин, образующих зону шириной $(0,12 \pm 0,30)H$, расширяющуюся от подошвы деформируемого слоя к его поверхности.

Характеристики перемещений поверхности структуры также имеют свои особенности. Максимальная по модулю скорость $\dot{V}_0(H)$ вертикальных перемещений поверхности относится к участку, находящемуся над центральной частью опускающегося блока; как и в теоретическом решении, эта скорость при $L/H = 0,5$ оказывается меньше скорости перемещения подошвы слоя \dot{V}_0 , причем это имеет место и при относительно большом $\sim 0,4H$ опускании штампа. Обработка данных, по которым определялись градиенты скоростей вертикальных перемещений поверхности, отражает некоторые характерные закономерности: максимальные значения модуля градиента вертикальных скоростей поверхности приурочены к надразломной зоне. На первой стадии опускания блока фундамента они находятся строго над разломом, на последующих стадиях эти максимумы сдвинуты относительно разломов в сторону опускающегося блока и приурочены примерно к тем местам, где развивающиеся от угловых точек разрывы должны пересечь поверхность слоя.

На рис. 4 представлены графики градиентов вертикальной скорости поверхности, полученные при некоторых единичных опытах для упомянутой модели. Эти графики характеризуют две стадии развития структуры. На первой стадии мы видим некоторую асимметрию разрывов; кроме того, поскольку процесс еще не стабилизировался, в средней зоне структуры значения градиентов несколько раз переходят через нуль. Вторая стадия характеризуется стабилизацией графиков градиентов, более симметричным расположением разрывов и соответственно максимумов модуля градиента.

Несмотря на сравнительно невысокую точность измерений (относительные деформации определяются с точностью 0,1, а перемещения — с точностью 0,5 мм), мы смогли констатировать, что поля деформаций и перемещений, возникающие в надразломных зонах при $L/H = 0,5$, влияют друг на друга: в средней части структуры наблюдаются деформации, вызванные, очевидно, не только полным слипом по подошве слоя, но и сдвигами в приразломной зоне. Скорость перемещений поверхности меньше скорости перемещений подошвы. Однако при увеличении расстояния между разрывами взаимное влияние надраз-

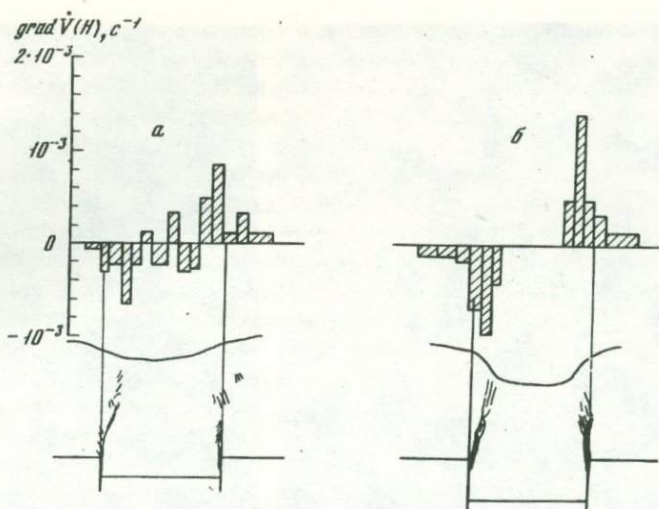


Рис. 4. Графики градиентов скоростей вертикальных перемещений поверхности по результатам одиночных опытов при опускании блока
a - на $H/6$; *b* - на $2H/6$

ломных зон ослабевает и уже при $L = 2H$, как получилось и в теоретическом решении, практически не ощущается.

Для выяснения характеристик деформаций и перемещений над единичным разломом была также проведена серия аналогичных экспериментов. На рис. 5, *a* и *b* помещены полученные при одном из опытов фотографии, которые иллюстрируют типичную картину развития нарушений сплошности. Как видно из рисунка, непосредственно над разломом фундамента возникает участок, сильно расчлененный трещинами скола и отрыва. Конфигурация этого участка видна на фотографии рис. 5, *a*. При опускании блока фундамента с глубины $H/7$ до $3H/7$ зона трещиноватости развивается снизу вверх от поверхности фундамента, не доходя примерно на $0,1H$ до поверхности структуры. Объединяясь, трещины образуют один, иногда два расходящихся кверху крупных нарушения. У поверхности к этой зоне со стороны приподнятого участка примыкает вторая нарушенная зона (см. рис. 5, *a*): для нее характерно наличие трещин отрыва, развивающихся сверху вниз и с глубиной постепенно затухающих. По этим трещинам образуются сбросы; на рис. 5, *a* это видно сбоку, а на рис. 5, *b* - сверху. По мере опускания блока размеры указанных зон трещиноватости увеличиваются: ширина зоны, прилегающей к разлому, изменяется в пределах от $0,1H$ до $0,3H$, а ширина приповерхностной зоны достигает $0,5H$. (Количественные оценки даются по результатам анализов 18 опытов над слоями с мощностью 3,6 и 9 см.) Для перемещений поверхности деформируемого слоя характерно, что градиент скорости вертикальных перемещений отличен от нуля в пределах зоны примерно равной мощности, а затем снова падает до нуля, как это было получено и теоретически. Максимум градиента несколько смещен относительно вертикали, совпадающей с разломом в сторону сдвигающегося блока; он как бы расположен над местом мысленного пересечения продолжения развивающегося разрыва с поверхностью структуры. На рис. 5, *в* и *г* показаны соответствующие кривые, полученные при осреднении результатов шести опытов, под ними помещены схемы опытов, характеризующие соответствующую стадию опускания блока и развития разрыва в деформируемом слое.

Рассматривая совместно результаты теории и эксперимента, следует напомнить, что хорошее совпадение экспериментальных результатов с теоретическими, очевидно, возможно только на самых первых стадиях эксперимента. Тем не менее основные результаты эксперимента, относящиеся уже к последующим стадиям деформирования модели, с качественной стороны во многом

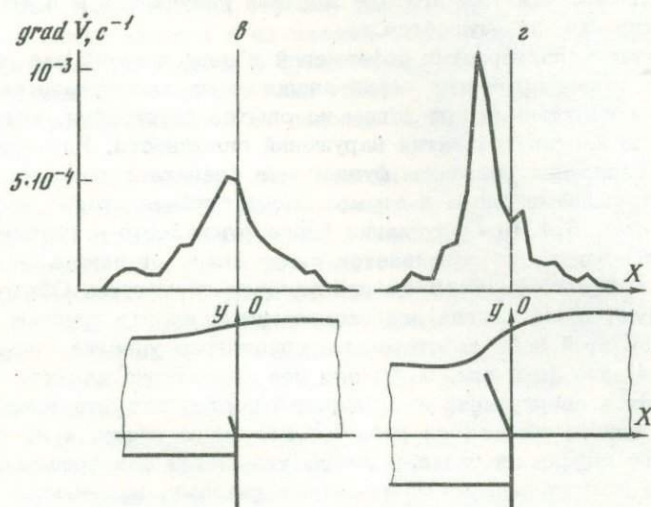
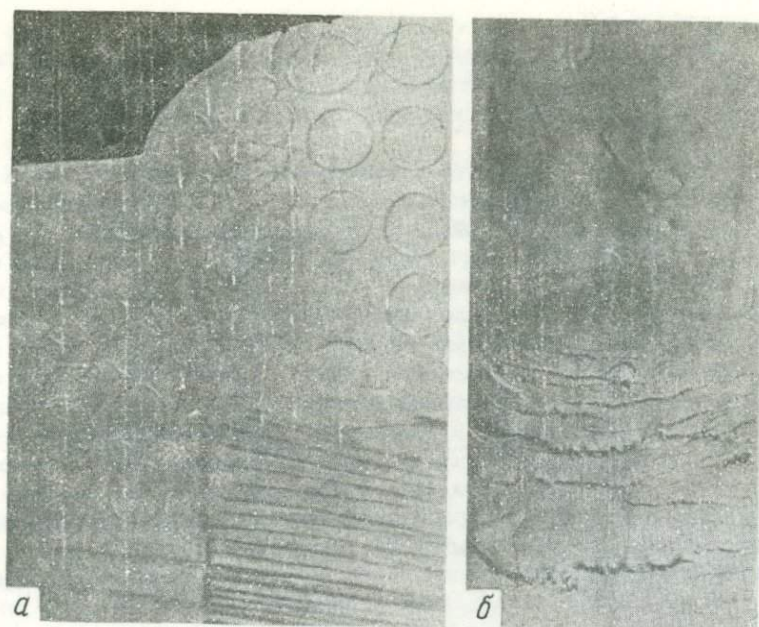


Рис. 5. Результаты деформирования слоя, находящегося над разломом между движущимися блоками фундамента

a — нарушенная зона (модель спереди); *b* — то же (модель сверху); *в*, *г* — графики $\text{grad } \dot{V}$ над разломом при опускании блоков: *в* — на $1/7 H$, *г* — на $3/7 H$

совпадают с описанными выше данными теоретических исследований. Подтверждается наличие участков повышенных значений градиентов вертикальных скоростей поверхности и повышенных значений деформаций в надразломных зонах, подтверждаются также предположения о возможных нарушениях сплошности, сделанные на основе расчетов; действительно, в довольно узкой полосе надразломной зоны развивается трещиноватость сколового типа, а от подошвы вверх распространяется крупное нарушение с характерными чертами отрыва (полости и неровные края по шву разрыва).

В то же время экспериментом выявляются некоторые особенности рассматриваемых характеристик при дальнейшем развитии структур, о которых уже говорилось выше. Эксперимент позволяет проследить образование не только

зоны трещиноватости в надразломной области, но и зоны трещиноватости и сбросов в окрестностях перегиба поверхности. Эта зона возникает на более поздних стадиях развития структуры при относительном смещении блоков на величину $0,2 \div 3H$. Ее образование, видимо, можно связать, с одной стороны, с напряжениями, возникающими в результате изгиба поверхности (сбросы развиваются сверху вниз), а с другой — с концентрацией напряжений, вблизи конца основного разрыва, развивающегося снизу вверх, а также благодаря соскальзыванию материала по этому разрыву.

В заключение следует отметить, что выведенные теоретически и рассмотренные экспериментально описанные выше зависимости достаточно устойчивы и, видимо, могут быть использованы в прогностических целях.

Исследование напряженного состояния, вторичных нарушений и смещений по ним в окрестностях тектонических разрывов

Перейдем к исследованиям, связанным с изучением современных движений по разрывам. Известно, что в ряде случаев движение по разломам осуществляется путем последовательного "оживания" отдельных участков разлома и быстрых сейсмических подвижек по ним под действием напряжений внешнего поля.

Как первый шаг на пути изучения полей напряжений, деформаций и скоростей деформаций, возникающих в связи с движениями по разломам, исследованы возмущения однородного поля напряжений в упругом массиве в окрестностях одиночного разрыва со сдвиговыми смещениями берегов, которые в условиях внешнего сжатия смыкаются. Задача состояла из двух частей. Вначале путем моделирования с применением специальной методики было проведено поляризационно-оптическое исследование двумерного поля напряжений в плоскости, перпендикулярной плоскости разрыва. Затем теоретическим путем, методом наложения, было построено приближенное решение частного случая трехмерной задачи, когда к свободной плоскости модели прикладывается некоторое постоянное нормальное напряжение. Настоящее исследование является продолжением цикла работ, проводившихся в течение ряда лет М.В. Гзовским и его сотрудниками [1, 7; и др.]. Специфика тектонических разрывов, связанная с тем, что в условиях сжатия их берега, как правило, смыкаются, требует применения нетрадиционной методики, основанной на использовании низкомолекулярных оптически-чувствительных материалов [1, 8, 9]. Наилучшие результаты дает материал ИФЗ-СГУ (гели ацетата целлюлозы в бензиловом спирте) с модулем упругости порядка единиц кг/см^2 , коэффициентом Пуассона около 0,5 [7] и пределом пропорциональности выше 200 г/см^2 .

В модели с разрезом при исходных напряжениях, не превышающих $50-80 \text{ г/см}^2$, зависимости деформации ϵ и двойного лучепреломления Δn от напряжения σ практически всюду, за исключением малых зон в окрестности концов разреза, остаются линейными, а величины деформации не превышают нескольких процентов. Материал позволяет создавать в моделях предельно узкие прорезы шириной $0,05-0,1 \text{ мм}$; их берега смыкаются уже при весьма малых сжимающих напряжениях, причем коэффициент трения поверхностей прорезей оказывается малым (около $0,2-0,3$) и стабильным; это обеспечивает достаточную воспроизводимость результатов. Модели размерами около $50 \times 30 \times 2 \text{ см}$ (или $50 \times 30 \times 4 \text{ см}$) располагались горизонтально между поляризаторами специальной установки. В средней части модели осуществлялось практически однородное напряженное состояние — одноосное или двуосное сжатие. Затем в средней части модели создавалась узкая вертикальная прорезь, имитирующая разрыв. Длина ее не превышала $1/5$ ширины модели. Предполагалось, что при этих условиях напряженное состояние модели с разрезом остается плоским повсюду, кроме малых зон вблизи концов разреза, а условия теоремы Мориса Леви — Майтчелла для многосвязных тел соблюдается. Следо-

вательно, распределение напряжений не зависит от упругих констант материала; оно зависит только от величины коэффициента трения между берегами.

Исследовалось локальное поле напряжений, создавшееся в окрестности разреза, которое можно рассматривать как возмущение, "перестройку" исходного поля напряжений. Предполагая, что земная кора в течение единиц-сотен лет ведет себя как упругая (или как линейно-вязкая) среда, можно считать, что применение этой методики позволит получить представление о локальных полях напряжений в окрестностях тектонических разрывов или в очагах произошедших землетрясений, если в природных условиях задача может ставиться как плоская. При этом могут моделироваться тектонические разрывы двух типов - либо с горизонтальными (сдвиги), либо с наклонными (надвиги, сбросы и др.) векторами смещения.

На рис. 6, а, б показаны схемы локального поля напряжений τ_{\max} вокруг плоского разрыва с сомкнутыми берегами при углах между направлением разрыва и осью σ_3^0 : $\alpha = 45^\circ$ и $\alpha = 30^\circ$.

Исследования влияния ряда факторов на картину локального поля τ_{\max} в окрестностях плоского разрыва позволили сделать следующие выводы: 1) изменение ориентации разрыва относительно осей напряжений исходного поля и изменение контакта между берегами вызывают резкое качественное изменение указанной картины; 2) изменение длины разрыва (примерно до 2/3 ширины модели) и величины исходного напряжения τ_{\max} (до 350 г/см^2) принципиально не изменяет эту картину; 3) схемы перестройки поля τ_{\max} являются кососимметричными, поэтому в разных крыльях разрыва вблизи его концов локальные поля τ_{\max} всегда различны (за исключением схемы поля τ_{\max} при $\alpha = 45^\circ$); 4) при $\alpha < 45^\circ$ участки сильного повышения напряжений τ_{\max} вблизи концов разрыва лежат в областях сжатия материала, а при $\alpha > 45^\circ$ - в областях растяжения, где, естественно, и создаются наиболее благоприятные условия для возникновения вторичных нарушений.

Была исследована картина траекторий главных нормальных напряжений σ_{\max} и σ_{\min} (см. рис. 6, в). Вблизи разрыва около его концов эти траектории поворачиваются и подходят к нему под углами, которые в областях растяжения близки к 0 и 90° , а в областях сжатия - к 90 и 0 . При изменении ориентации разрыва и ослаблении контакта между его берегами изменяются лишь детали этой картины.

От изучения плоского локального поля напряжений в окрестности разрыва можно перейти к теоретическому исследованию того трехмерного локального поля, которое будет иметь место, если к свободным плоскостям модели мысленно приложить еще некоторое нормальное напряжение σ_z . Положение главных площадок локального поля напряжений и направления главных осей при этом не изменятся. Однако главные напряжения плоского поля, найденные экспериментальным путем, уже не могут заранее трактоваться как наибольшее и наименьшее в алгебраическом смысле. Все будет зависеть от соотношения между ними и σ_z . Будем связывать индексацию напряжений с алгебраическими соотношениями их величин и положим $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$. При исходном поле одноосного сжатия ($\sigma_3^0 < 0, \sigma_1^0 = \sigma_2^0 = 0$) возмущение этого поля приводит к поворотам главных осей в окрестности разрыва и к возникновению зон "растяжения" и "сжатия". В первых одно из главных напряжений в плоскости модели является положительным, другое - отрицательным, во вторых - оба отрицательны. Таким образом, в зонах растяжения $\sigma_z = 0 = \sigma_2$, а в зонах "сжатия" $\sigma_z = 0 = \sigma_1$.

На рис. 7, 1 (а-в) показано, как ориентированы около концов разрыва главные напряжения локального поля для трех различных типов исходного поля напряжений: одноосного сжатия, дуосного сжатия и сочетания одноосного сжатия с "сильным" сжатием по оси z (когда $\sigma_z = \sigma_3$ всюду, кроме малых зон у концов разрыва). Отметим, что здесь каждая из осей локального поля может занимать лишь какое-либо из трех устойчивых направлений: близкое к вектору смещения, близкое к нормали к разрыву и совпадающее с нормалью к этим

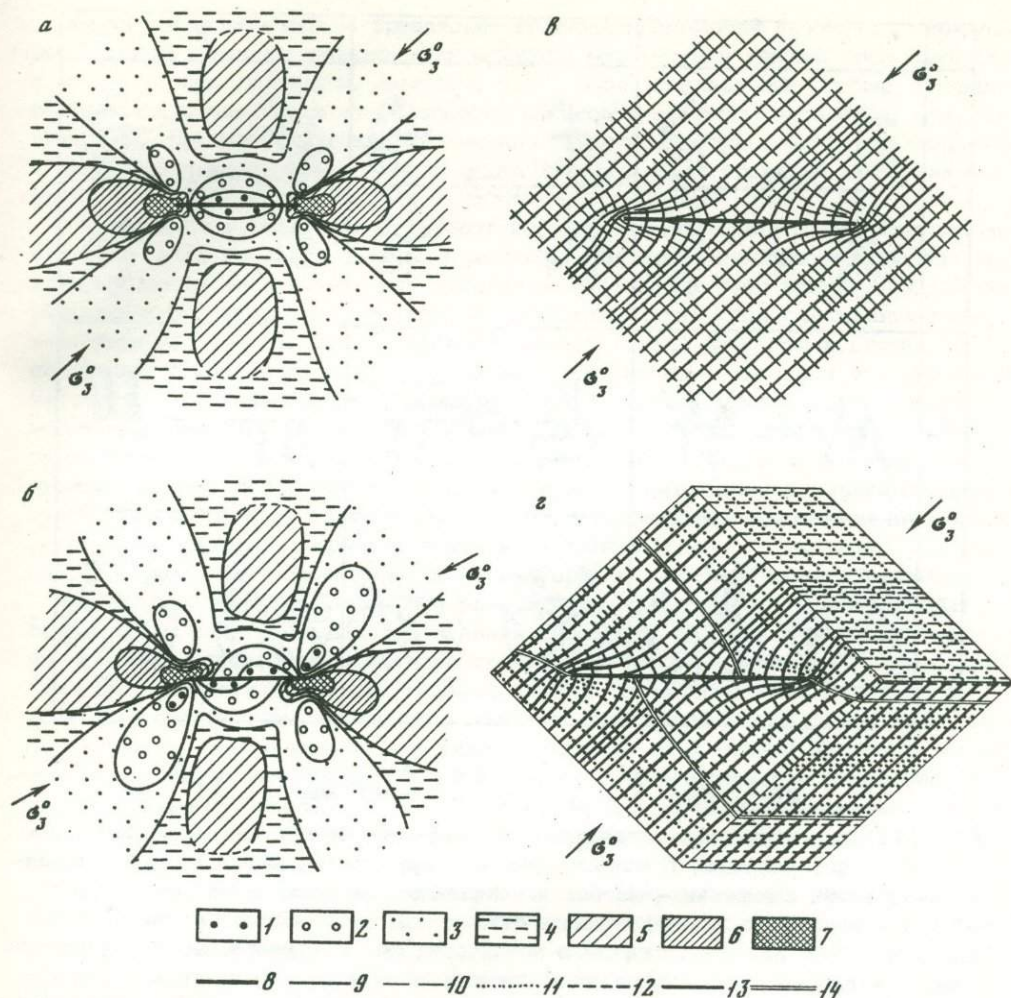


Рис. 6. Локальное поле напряжений в окрестностях плоского разрыва с сомкнутыми берегами и невысоким трением. Случай исходного поля одноосного сжатия

Поле напряжений τ_{\max} для двух случаев ориентации разрыва относительно оси σ_3^0 : а - $a = 45^\circ$ и б - $a = 30^\circ$; 1-3 - понижение τ_{\max} : 1 - от ≥ 50 до 25, 2 - от 25 до 13-15, 3 - от 13-15 до 1-2%; 4 - τ_{\max} практически не изменяется; 5-7 - повышение τ_{\max} : 5 - от 1-2 до 5-6, 6 - от 5-6 до 20, 7 - от 20 до 80% и выше

Траектории главных нормальных напряжений локального поля в окрестностях разрыва при $a = 45^\circ$: в - для двумерного поля в плоскости модели (σ_{\min} и σ_{\max}); г - для трехмерного поля в массиве, окружающем разрыв ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$); 8 - разрыв; 9 - σ_{\min} ; 10 - σ_{\max} ; 11 - ось σ_1 ; 12 - ось σ_2 ; 13 - ось σ_3 ; 14 - линия, разделяющая области с различной индексацией главных напряжений σ_{\max}

двум направлениям. Различным соотношениям величин $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ исходного поля отвечает различная индексация осей трехмерного локального поля вблизи концов разрыва. Всего возможно шесть различных типов индексации осей напряжений или шесть типов локального поля. Каждому типу исходного поля соответствует сочетание двух из этих шести типов поля, при этом в различных крыльях разрыва индексация либо двух, либо трех одинаково ориентированных осей напряжений обычно оказывается неодинаковой.

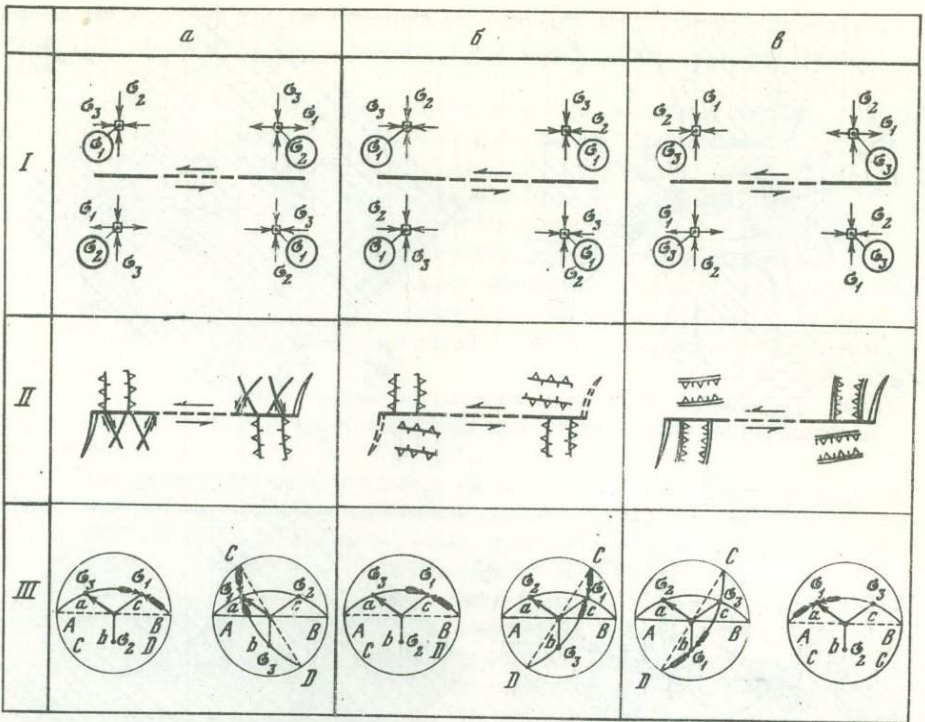


Рис. 7. Локальное поле напряжений и ожидаемые вторичные нарушения вблизи концов разрыва. Плоскость разрыва принята за плоскость xz , направление вектора смещения — за ось x , нормаль к разрыву — за ось y
 a – v — различные случаи исходного поля: a — одноосное сжатие в плоскости xu , b — двuosное сжатие в плоскости xu , v — наложение на одноосное сжатие в плоскости xu "сильного" сжатия по оси z

I — положение осей главных нормальных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ локального поля, в кружке даны главные напряжения, направленные по оси z ; II — расположение потенциальных поверхностей скальвания (вторичных нарушений) и направления движений по ним; III — расположение на стереограммах (на верхней полусфере) "максимумов" полюсов потенциальных поверхностей скальвания относительно плоскости разрыва AB и вектора смещения по нему (справа — для секторов "растяжения", слева — для секторов "сжатия"): a, b, c — проекция вектора смещения, нормали к разрыву и "бинормали"; дуга большого круга CD — проекция плоскости $\sigma_1\sigma_3$ локального поля напряжений, содержащая полюсы плоскостей скальвания, изображенные овалами. Овалы отвечают углам скальвания от 15° до 35°

$1a$ — основной разрыв, $1b$ — направления смещения крыльев разрыва; 2–7 — линии пересечения поверхностей скальвания в упругом массиве с плоскостью xu , отвечающие парам сопряженных поверхностей скальвания: 2, 3 — параллельных оси z (первая система трещин), 4, 5 — субпараллельных нормали к разрыву (вторая система трещин), 6, 7 — субпараллельных вектору смещения по разрыву (третья система трещин) (4 и 6 — висячее крыло вторичного нарушения движется "вверх", углы плоскости нарушения с плоскостью xu меньше 45° — "надвиги"; 5 и 7 — висячее крыло вторичного нарушения движется "вниз", углы плоскости нарушения с плоскостью xu больше 45° — "сбросы"); 8 — ожидаемые отрывные нарушения у концов разрыва; 9 — местоположение полюсов плоскостей скальвания (овалы)

Были построены схемы траекторий главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ локального поля в пределах объема, окружающего разрыв, для тех же трех случаев, о которых речь шла выше. Заметим, что в зоне, окружающей разрыв, главные напряжения в плоскости xu (плоскости модели) могут менять свою нумерацию. Так, для исходного поля одноосного сжатия (см. рис. 6, ϵ) есть области, в пределах которых $\sigma_{\max} = \sigma_1$ и области, где $\sigma_{\max} = \sigma_2$; границей между ними являются линии, вдоль которых $\sigma_{\max} = 0$.

Полученные результаты позволяют рассмотреть характер возможных вторичных нарушений сплошности вблизи разрыва. Построим поверхности скальвания, которые могут развиваться под действием локального поля напряжений вблизи разрыва в соответствии с гипотезой прочности Мора. Угол скальвания прием равным 30° . На рис. 7, II ($a-\epsilon$) показаны схемы ожидаемых вторичных нарушений у концов разрыва для тех же трех случаев исходного поля. В соответствии с шестью типами ориентации осей напряжений локального поля возможны сопряженные пары сколов шести основных типов. Если считать плоскость модели горизонтальной, а основной разрыв — сдвигом в геологическом смысле, то эти шесть типов нарушения можно будет назвать: сдвигами двух типов, диагональными к простиранию основного разрыва, надвигами либо сбросами с простиранием вкрест к вектору смещения основного разрыва, надвигами либо сбросами с простиранием вдоль вектора смещения основного разрыва.

Расположение осей локального поля напряжений и плоскостей вторичных нарушений в зоне разрыва относительно плоскости разрыва и вектора смещения по нему удобно изображать на стереографической проекции (см. рис. 7, III ($a-\epsilon$)). В различных крыльях разрыва вблизи его концов типы локального поля напряжений и соответственно ожидаемых вторичных нарушений, как правило, различны. Какие именно два типа ориентации этих осей и две пары вторичных нарушений осуществляются в каждом конкретном случае — определяется видом исходного напряженного состояния. На рис. 8 показаны схемы расположения на плоскости xu следов поверхностей ожидаемых вторичных нарушений в полосе около разрыва для трех случаев исходного поля. Если считать плоскость xu горизонтальной, то ожидаемые вторичные нарушения представляют собой: на рис. 8, a в секторах растяжения пары вторичных сдвигов, а в секторах сжатия пары надвигов; на рис. 8, b — систему вторичных надвигов, идущих вдали от разрыва вкрест к оси σ_3^0 (исходного поля); на рис. 8, ϵ — систему вторичных сбросов, идущих вдали от разрыва по оси σ_3^0 ; на рис. 8 ($a-\epsilon$) указаны также направления смещений по предполагаемым поверхностям скальвания.

Полученные результаты позволяют объяснить и дополнить геологические данные [9-12] о вторичных оперяющих нарушениях и поясах трещиноватости в зонах разломов. Соответствие результатов эксперимента и геологических данных позволяет считать, что характеристики локального поля напряжений в окрестностях разрыва, установленные на моделях для упругой среды, проявляются и в реальном горном массиве, а также предположить, что и в природных условиях эффективное трение между берегами тектонических разрывов невелико. Эти результаты могут, на наш взгляд, быть использованы и при интерпретации современных движений. Так, схемы, приведенные на рис. 8 ($a-\epsilon$), позволяют при известном внешнем поле напряжений прогнозировать характер вторичных нарушений около основного разлома и направления смещений по ним. Возможен и обратный путь: изучение характера вторичных нарушений и направлений смещений по ним может дать информацию не только о локальных полях напряжений, но и о региональном поле напряжений — ориентации его осей и соотношении величин $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$. Из факта существования в зонах разлома локальных полей напряжений следует, что происходящие в зоне разлома или вблизи нее медленные и быстрые (сейсмические) движения могут принадлежать к двум разным генетическим группам. Одни происходят под действием регионального поля напряжений по поверхности основного разлома, другие — под действием локальных полей напряжений различных масштабных уровней по поверхностям вторичных нарушений. Участки сжатия материала около разрыва (в горизонтальной плоскости) должны быть местами локального поднятия, а участ-

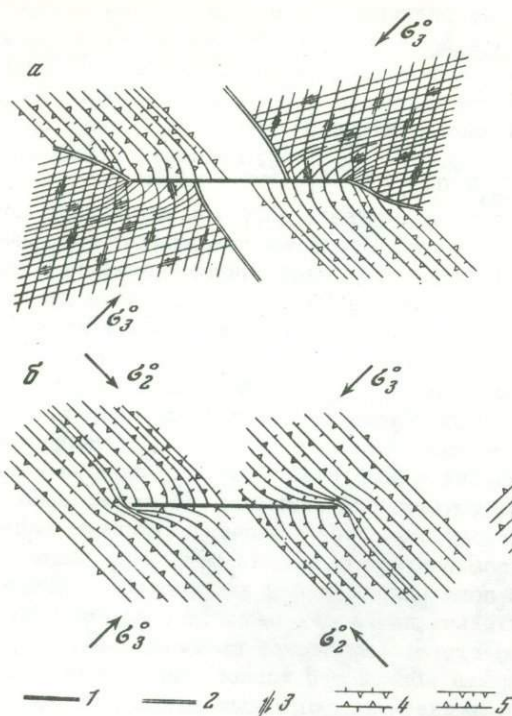


Рис. 8. Расположение в зоне разлома следов ожидаемых вторичных нарушений на плоскости xu ($a, б, в$ соответствуют трем случаям исходного поля на рис. 7)

1 — основной разрыв; 2 — положение линий, разделяющих секторы растяжения и сжатия; 3–5 — вторичные: 3 — "сдвиги", 4 — "надвиги", 5 — "сбросы"

ки растяжения материала — местами локального опускания поверхности. Поэтому система живущих ныне крупных разломов должна вызвать чередование в пространстве участков вертикальных движений различного знака.

Можно ожидать, что подготовка сильного землетрясения, если она включает медленное скольжение по разлому, может вызвать изменение ориентации осей напряжений локального поля и, соответственно, направления смещений по вторичным разрывам, которое может регистрироваться геодезическими методами.

Очевидно, что каждая живущая ныне система разломов является источником закономерно расположенных локальных полей напряжений, деформаций и скоростей деформаций, которые могут определять повышенную трещиноватость и повышенную скорость горизонтальных или вертикальных современных движений поверхности.

ABSTRACT

Connections of characteristics of recent crustal movements with the strained state and breaks in continuity of the Earth's crust are considered. Theoretically and by means of modelling are studied the strained state and velocities of the layer displacement above the displacing blocks of the fundamnt; breaks in continuity are also studied. By means of modelling and theoretical analysis the local field of strains in the vicinity of the tectonic fracture is studied. A prediction is given of possible secondary disturbances caused by the local stress fields and displacements corresponding to the latter.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975.
2. Гзовский М.В., Григорьев А.С., Гущенко О.И. и др. Интерпретация современных движений тектонофизическими методами (вопросы связи с механизмом деформирования и с напряженным состоянием участков коры). — В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: АН ЭССР, 1973, № 5.

3. Григорьев А.С., Шахмурадова З.Е. Теоретическое определение скоростей движения дневной поверхности при некоторых механизмах деформирования земной коры. — Там же.
4. Шахмурадова З.Е. О напряженном состоянии и деформациях слоя при вертикальном перемещении его основания. — Изв. АН СССР, Физика Земли, 1973, № 7.
5. Михайлова А.В., Осокина Д.Н. Изучение соотношений между характеристиками вертикальных перемещений поверхности и величиной деформаций на глубине. — В кн.: Современные движения земной коры, Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1973, № 5.
6. Михайлова А.В. Методика количественной оценки деформаций, напряжений и перемещений в пластических непрозрачных моделях. — В кн.: Тектонофизика и механические свойства горных пород. М.: Наука, 1971.
7. Осокина Д.Н. Пластические и упругие низкомолекулярные оптически активные материалы. М.: Изд-во АН СССР, 1963.
8. Осокина Д.Н., Григорьева А.С., Цветкова Н.Ю. Методы и результаты моделирования перестройки регионального поля и формирования локальных полей тектонических напряжений в окрестностях тектонических разрывов. — В кн.: Механика литосферы. М.: НТО "Горное", 1974.
9. Осокина Д.Н., Григорьев А.С., Гущенко О.И., Цветкова Н.Ю. Возможности изучения современного поля напряжений тектонофизическими методами в связи с задачей прогноза сейсмической опасности. — В кн.: Поиски предвестников землетрясений. Ташкент: Фан, 1976.
10. Данилович В.Н. Метод поясов в исследовании трещиноватости, связанной с разрывными смещениями (методическое руководство). Иркутск, СО АН СССР, 1961.
11. Корчемагин В.А. Трещинная тектоника, механизм и история развития структуры Никитовского рудного поля: Автореф. канд. дис. Донецк, 1970.
12. Гущенко О.И. Анализ ориентировок сколовых тектонических смещений и их тектонофизическая интерпретация при реконструкции палеонапряжений. — Докл. АН СССР, 1973, т. 210, № 2.

УДК 551.24

Л.П. ПЕЛЛИНЕН

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПЛАНЕТАРНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Прогресс геодезических средств как классических, так и в особенности новейших космических, привел в последние годы к быстрому развитию исследований по изучению изменений во времени положений пунктов земной поверхности и элементов земного гравитационного поля. Появился новый раздел — геодинамика [1], лежащий на стыке геодезии, геофизики, астрономии и океанологии и занимающийся изучением указанных изменений (будем называть их геодинамическими явлениями), а также их физической и математической интерпретацией. В своем содержании геодинамика объединяет два круга перспективных задач, сформулированных М.С. Молоденским в 1958 г. как кинематическая геодезия и динамическая геодезия [2].

Классификация геодинамических явлений

Для удобства изложения классифицируем геодинамические явления по их спектру в пространстве [3] (таблица):

- глобальные, относящиеся ко всей Земле в целом, которая при их интерпретации заменяется некоторой идеальной сравнительно однородной моделью;
 - крупномасштабные, относящиеся к областям протяженностью 10^2 – 10^4 км, т.е. имеющие масштабы континентов и океанов или значительных их частей;
 - региональные, относящиеся к областям протяженностью 10^2 – 10^3 км;
 - локальные, относящиеся к областям протяженностью менее 10^2 км.
- Выделим следующие периоды проявления геодинамических явлений во времени.

Классификация геодинамических явлений

Геодинамические явления	Периоды их проявления
Глобальные	
Полярное движение	вГм?с?н*
Неравномерность вращения Земли	ВГМсН
Изменение положения центра и осей инерции Земли	в?г?
Релятивистские космогонические эффекты	в?
Эвстатическое изменение уровня моря	вг?
Глобальные вариации геопотенциала во времени	вг?
Земные и океанические приливы	гМС
Крупномасштабные	
Движение литосферных плит	в
Динамические изменения поверхности морей и океанов	Вгм?с?н?
Крупномасштабные вариации геопотенциала во времени	в?г?н?
Вариации параметров земных приливов	гМС
Региональные	
Региональные изменения положений точек земной поверхности	Вг?м?Н
Вариации: величины и направления силы тяжести	в?г?н?
Локальные	
Локальные движения земной коры	Вгм?Н
Локальные вариации силы тяжести	в?г?н?

*Пояснение см. в тексте.

- вековые (в);
- годовые или порядка нескольких лет (г);
- месячные, полумесячные (м);
- суточные (с);
- нерегулярные, случайные (н).

Указанными первыми буквами соответствующие периоды отмечены в прилагаемой таблице. Наиболее уверенно определяемые из них отмечены прописными буквами, а те, существование которых проблематично, кроме строчной буквы помечены также и знаком вопроса.

Предлагаемая классификация достаточно схематична, так как, например, нередко крупномасштабные и региональные явления четко проявляют себя лишь на границах соответствующих блоков земной коры и в этом случае их трудно отделить от локальных явлений. При современной точности измерений и ограниченном времени их проведения очень трудно отделить друг от друга вековые и нерегулярные явления. В дальнейшем мы ограничимся рассмотрением лишь планетарных геодинамических явлений, к которым будем относить глобальные и крупномасштабные явления в принятой выше терминологии.

Полярное движение

Это геодинамическое явление удавалось определять еще в XIX в. по вариациям широт астрономических обсерваторий. Большой материал наблюдений накоплен с 1899 г. благодаря деятельности Международной службы широты (МСШ) - в дальнейшем Международная служба полярного движения (МСПД). Начиная с 1968 г. регулярные работы ведутся Международным бюро времени (МБВ) с использованием наблюдений не только широт, но и долгот. Оп-

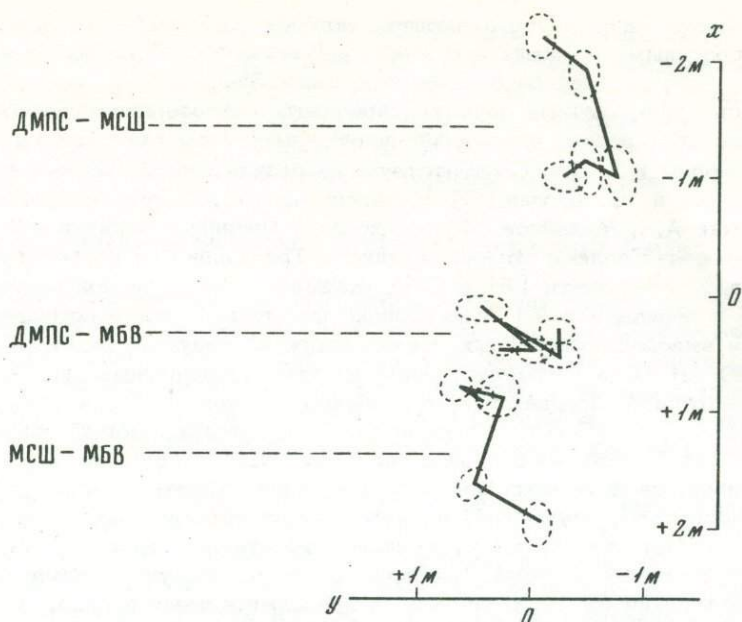


Рис. 1. Среднегодовые расхождения координат полюса по определениям различных служб полярного движения

Пояснения см. в тексте

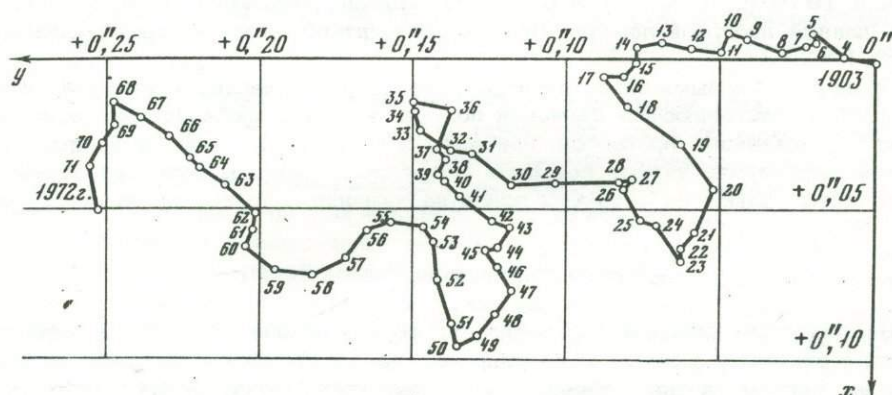


Рис. 2. Вековое движение полюса по данным Международной службы широты

ределения движения полюса по астрономическим данным ведутся в СССР Главной астрономической обсерваторией АН УССР. Опубликован каталог положений полюса с 1890 по 1969 г. [4].

С 1969 г. ведет регулярные определения полюса по доплеровским наблюдениям навигационных спутников системы NNSS Дальгреновская мониторинговая служба полярного движения (ДМПС) в США. С 1972 г. МБВ публикует координаты полюса, полученные как комбинация данных МБВ и ДМПС.

Интересны сравнения результатов определений трех служб ([5], с. 415-432). Систематические эффекты характеризуют среднегодовые расхождения, показанные на рис. 1. Пунктиром обозначены эллипсы ошибок их определения. Результаты МСШ имеют систематический ход на 1,5 м за 4 года относительно выводов двух других служб, которые хорошо согласуются между собой. После снятия годовой составляющей средние квадратические расхождения недельных средних составляют для МБВ-ДМПС 0,4 м, а для МБВ-МСШ и ДМПС-МСШ от 0,7 до 1,2 м. В целом можно считать, что совокупное влия-

яние всех периодических составляющих, включая годичную составляющую, связанную с сезонным перемещением масс, и Чандлеровское движение с периодом в 1,6 года, определено с точностью выше 5%.

Делались неоднократные попытки определить вековое движение полюса путем анализа его средних положений, полученных путем скользящего осреднения по периодам в 5 лет. Соответствующие результаты по данным Е.П. Федорова и др. [4] и С. Джуми [6] приведены на рис. 2. Многие ученые, например академик А.А. Михайлов [7], приходят к мнению о наличии систематического смещения полюса по направлению к Гренландии со скоростью около 10 см/год. У. Марковитц [8] в США указывает также на долгопериодическое изменение с периодом в 24 года. Однако некоторые ученые сомневаются в реальности выводов, основанных прежде всего на результатах МСШ. Н.Т. Миронов (ГАО АН УССР) отмечает значительные "неполярные" изменения координат некоторых обсерваторий, в особенности станции Юкайя в США, входящей в МСШ [5, с. 79-84]. Смещения среднего полюса могут оказаться результатом как "собственных" движений некоторых станций, так и систематических ошибок, свойственных по разным причинам рядам прежних наблюдений. Точные результаты, основанные на наблюдениях независимых служб движения полюса, в которых участвуют многочисленные станции, впервые были получены лишь в семидесятые годы. Необходимо собрать новую информацию об изменении положения среднего полюса за продолжительный период, чтобы решить вопрос о существовании вековой составляющей. В этом отношении важные результаты смогут дать лазерные дальномерные наблюдения спутников, оснащенных уголковыми отражателями. Особый интерес представляет цельнометаллический спутник "Лагос" шаровой формы диаметром 60 см, запущенный в США в 1976 г. на высоту в 5800 км. Ценные результаты смогут также дать данные лазерной локации Луны и радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ).

Наряду с вековыми слабо изучены короткопериодические (суточные) и нерегулярные составляющие движения полюса, которые особенно интересны при изучении механизма процессов, приводящих к сильным землетрясениям. Ожидается, что перечисленные новейшие космические методы позволят определить координаты полюса из суточных рядов наблюдений с точностью выше 20 см.

Неравномерность вращения Земли

Возможности изучения этого явления сильно расширились после появления сначала атомных, а затем молекулярных стандартов времени. Ранее некоторые выводы, причем главным образом о вековых изменениях, могли быть получены лишь из анализа наблюденного движения Луны и планет с привлечением для древних времен летописных сообщений о датах затмения Солнца.

В настоящее время основные данные суждения о неравномерности вращения Земли получают из астрономических определений времени и их сравнения с атомным временем. Согласно Н.Н. Париjsкому [9], хорошо определено вековое замедление вращения Земли, равное (в относительной мере) $\Delta\omega/\omega = (-2,37 \pm 0,55) \cdot 10^{-8}$ в столетие.

Оно представляет собой суммарный эффект торможения за счет приливов (в основном океанических) в $-3,72 \cdot 10^{-8}$ и векового ускорения порядка $1 \cdot 10^{-8}$, механизм которого еще не установлен. Обстоятельно исследованы вариации с периодами от двух недель до одного года, которые вызваны либо сезонными перемещениями масс, либо приливами и имеют амплитуду до $0,6 \cdot 10^{-8}$. Обнаружены значительные, но неясные по происхождению нерегулярные изменения вращения Земли до $2 \cdot 10^{-8}$ на интервалах от 2 до 18 лет.

Возможность оценить суточные вариации вращения Земли появилась в настоящее время с развитием методов лазерной локации Луны и РСДБ. Общей их особенностью является то, что продолжительность суток оказалась одним из наиболее хорошо определяемых параметров, который может быть оценен даже при наличии наблюдений лишь с одной станции локации Луны (или из на-

блюдений одного радиосточника с одной базы интерферометра). Так, по данным лазерной локации Луны с обсерватории Макдональд в США уже достигнута точность определения скорости вращения Земли за одни сутки около $0,6 \cdot 10^{-8}$ (раньше результат сопоставимой точности получали в среднем за несколько недель). Ожидают, что метод РСДБ обеспечит точность определения суточных вариаций вращения Земли в $0,2 \cdot 10^{-8}$.

Изменение положения центра и осей инерции Земли

Речь идет об изучении смещений соответствующих элементов по отношению к системе точек на поверхности Земли, реализующих общеземную систему координат. Если принять центр инерции Земли за начало такой системы (это выгодно при любых выводах, в которых используются данные о гравитационном поле Земли), то определение смещений центра инерции Земли равносильно определению гармоник первого порядка в изменениях координат избранных точек на земной поверхности.

В принципе геометрически наиболее ясные результаты может дать динамический спутниковый метод, в котором используется описание гравитационного поля Земли в указанной геоцентрической системе, в той же системе определяются координаты станций наблюдения искусственных спутников Земли (ИСЗ). Однако точность этого метода в настоящее время недостаточна — наблюдаются расхождения положений этих станций между различными спутниковыми выводами, которым соответствует ложное смещение начала координат до 10 м, что значительно больше, чем можно ожидать по внутренней сходимости выводов [10]. Как перспективный метод рассматривается изучение вариаций силы тяжести на пунктах высокоточной гравиметрической сети, равномерно охватывающей весь мир [11]. Нет ни одной заслуживающей доверия оценки ожидаемых перемещений центра инерции Земли.

Неуверенно определяется положение осей инерции Земли (для Земли, фигура которой близка к фигуре вращения, речь может идти лишь об определении положения полярной оси инерции). Предложены методы определения последней по выводам гармонических коэффициентов силы тяжести или геопотенциала с индексами (2, 1). Однако чувствительность этих методов очень низка. Так, в настоящее время положение полярной оси инерции на поверхности Земли может быть получено с точностью не выше 50 м. Имеются теоретические предложения, согласно которым положению полярной оси инерции Земли хорошо соответствует положение среднего полюса, полученное после осреднения равного рода периодических вариаций оси вращения Земли в ее теле (см. выше), но неясно, в какой мере справедливы эти предложения.

Релятивистские космогонические эффекты

Астрономы и геофизики постоянно возвращаются к обсуждению вопроса о возможном вековом уменьшении универсальной (ньютоновской) гравитационной постоянной во времени. С этим связывают [12, 5, с. 223–234] компоненту векового ускорения долготы Луны, равную $-16'' T^2$ (T выражено в столетиях). Полученное относительное изменение [$\dot{G}/G = (-0,9 \pm 0,3) \cdot 10^{-10}$ в год] согласуется с современными гравитационными теориями. Решающие данные для их проверки предполагается получить из результатов лазерной локации Луны.

Изменения уровня моря

Общее (эвстатическое) изменение уровня моря еще не стало объектом точных геодезических исследований и по другим данным оценивается величиной около дециметра в столетие, что уже вызывает затруднения в определении понятия геоида. В перспективе важнейшим средством определения эвстатических изменений будут радиовысотометрные измерения расстояний до поверхности

океана со спутников, положение которых с необходимой точностью будет определяться в геоцентрической системе координат другими средствами. Метод спутниковой высотометрии окажется основным также и при изучении деталей топографии поверхности морей и океанов и их изменений во времени. Уже достигнута точность этих измерений — выше 2 м во время опытных работ на орбитальной станции США "Скайлэб". [13] и с помощью ИСЗ "Геос-3" [14]. В перспективе после запуска в США спутников серии "Сисэт", на которых будет установлена аппаратура, позволяющая измерить высоту спутника над поверхностью океана с точностью 10 см, откроются возможности тонких исследований топографии поверхности морей и океанов [15; 16].

В настоящее время из сравнения результатов геометрического нивелирования и мареографических наблюдений выявлены систематические расхождения некоторой средней ("стационарной") поверхности морей и океанов и геоида. Так, например, установлено различие уровней Атлантического и Тихого океанов в зоне Панамского канала в 62 см. Сводка других таких определений на 1973 г. опубликована Р.С.Метером [17]. В дополнение к ней укажем, что по данным исследований в СССР [18] уровень Балтийского моря (Кронштадского футштока) выше уровня Черного моря на 30 см, Баренцева — на 50 см и краевых морей Тихого океана — на 70 см. Того же порядка оценки получены путем "объемного" океанографического нивелирования, в котором предполагаются совпадающими поверхности равного давления и потенциала силы тяжести на некоторой глубине и далее рассчитываются расхождения геоида и средней поверхности морей и океанов по данным о температуре и солености морской воды. За исключением приливных вариаций (см. далее), нет уверенных данных об изменениях поверхности морей и океанов.

Неприливные вариации геопотенциала и его производных

До сих пор не получено реальных оценок неприливных глобальных изменений геопотенциала. Поскольку они отражаются на изменениях астрономических координат и силы тяжести, определяемых классическими астрономическими и гравиметрическими методами, весьма желательно сохранение и развитие этих средств в рамках геодинамических программ, несмотря на впечатляющее развитие новейших точных космических средств.

Косвенные суждения о возможных глобальных вариациях геопотенциала, вызванных взаимными долготными перемещениями ядра и мантии, высказываются венгерским геофизиком Барта во многих его работах (см., например, [19]). Такие вариации должны приводить к изменениям силы тяжести во времени, наиболее заметным в экваториальных областях Земли в зонах наибольших производных высот геоида по долготе. Другая оценка, основанная на анализе неравномерностей вращения Земли, дана М.С. и С.М. Молоденскими и Н.Н. Парийским [20]. По их данным, возможны крупномасштабные вариации силы тяжести в несколько десятков микрогал. По оценке М. Бурши [21], должны существовать вариации силы тяжести, превышающие 5 мкгал и связанные с изменениями центробежной силы из-за перемещений полюса.

Годичные изменения силы тяжести порядка нескольких десятков микрогал зарегистрированы в ряде пунктов. Построены даже карты вариаций силы тяжести, которые, однако, носят региональный характер и не нашли физической интерпретации. Одной из возможных причин вариаций могут быть перемещения вод в самых верхних слоях земной коры. По составленным картам были оценены соответствующие вариации направления отвеса [22], которые достигают 0,001 год для ряда пунктов Европейской части СССР и составляют примерно половину реально зарегистрированных вариаций по изменениям астрономических широт ряда обсерваторий. По-видимому, приведенные величины следует рассматривать как верхний предел возможных фактических вариаций элементов гравитационного поля.

Первая попытка определить неприливные вариации геопотенциала по спутниковым данным принадлежит И. Козаи, который по многолетним определениям возмущений долготы восходящего узла и аргумента перигея двух спутников обнаружил годовую вариацию зонального гармонического коэффициента J_2 геопотенциала с амплитудой $(1,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-9}$ и фазой, согласующейся с годовой вариацией скорости вращения Земли [23]. Был сделан вывод о том, что возможной физической причиной этого является сезонное перемещение масс. Однако последующие расчеты М. Рочестера и Д. Смайли [24] показали, что соответствующий эффект должен быть по крайней мере на порядок меньшим.

Необходим более тщательный анализ возможных причин вариаций гармонических коэффициентов геопотенциала, в том числе и негравитационного происхождения. На одну из таких причин недавно указал Ю.М. Манаков [25], который изучил влияние теплового излучения Земли на движение ИСЗ и установил, что оно может быть причиной кажущихся сезонных вариаций зональных гармонических коэффициентов геопотенциала при их определении по возмущениям ИСЗ.

Таким образом, задача изучения неприливных вариаций геопотенциала и его производных в планетарных масштабах весьма сложна. Она может быть решена при использовании оптимальной комбинации наземных и спутниковых средств. Трудности ее решения связаны с необходимостью не только повысить точность используемых измерений, но и учесть влияние различных посторонних факторов, отражающихся на наблюдениях.

Приливные вариации геопотенциала

Регулярная деятельность станций со стационарными высокоточными гравиметрами и наклономерами позволила определить отдельные гармонические члены земных приливов с точностью 0,1–1% [1; 9]. Основываясь на таких измерениях и теоретических работах М.С. Молоденского, Г. Джеффриса и Р.О. Висенте, получены важные результаты о внутреннем строении Земли и, в частности, подтверждено существование жидкого ядра Земли.

В последние годы уделяется большое внимание изучению изменений параметров земных приливов в зависимости от расположения наблюдательных станций и прежде всего – косвенному влиянию океанических приливов на земные, вызванному деформациями земной коры под меняющейся во время приливов нагрузкой воды в океанах. В этом отношении ценные результаты получены в ряде пунктов СССР, удаленных от берегов.

Новый путь в изучении океанических приливов открыли наблюдения приливных вариаций в движении ИСЗ, которые отражают совокупное влияние перемещений масс из-за земных ("твердых") и океанических приливов. Данные для ИСЗ с различными элементами орбит позволяют отдельно определить гармонические составляющие земных и океанических приливов и построить приближенную карту последних в открытом океане [26]. Детальное изучение океанических приливов будет одной из задач, решаемых методом спутниковой высотометрии.

Движение литосферных плит

Из крупномасштабных геодинамических явлений наибольшее внимание в последние годы вызывают перемещения, которые объясняет современная мобилистская теория тектоники плит. Не излагая основ этой теории, ограничимся лишь обзором количественных оценок соответствующих горизонтальных перемещений земной коры.

Изучение остаточного магнетизма и определение возраста горных пород на дне океанов по обе стороны от срединных хребтов позволило получить первые оценки относительных перемещений соседних литосферных плит, примыкающих к срединно-океаническим хребтам. Позднее были получены оценки абсо-

ким примером этого являются известные работы на Гармском геодинамическом полигоне в Таджикистане, проводимые ИФЗ АН СССР и другими организациями [31], и работы в США, в Калифорнии. Подобные работы могут дать очень много при изучении активной тектонической деятельности, приуроченной к границам литосферных плит, и являются важнейшей частью геодинамических исследований, проводимых геодезистами.

В перспективе с развитием передвижных устройств для лазерной локации Луны, длиннобазисной радиоинтерферометрии и наблюдений ИСЗ, обеспечивающих определение положения временных станций с точностью в несколько сантиметров, космические методы смогут оказаться самыми эффективными не только при глобальных, но и при региональных исследованиях в активных зонах, когда расстояния между пунктами наблюдений составят более ста-двухсот километров. Соответствующие проекты предложены для района Калифорнии [32, 16].

Сделаем некоторые общие выводы.

1. При изучении большинства геодинамических явлений речь идет об определении величин порядка 10^{-8} – 10^{-9} в относительной мере или в абсолютной, если за единицу длины принять средний радиус Земли, за единицу ускорения – среднее значение ускорения силы тяжести на поверхности Земли, а за угловую единицу – радиан. Можно ожидать, что в будущем усовершенствованные наземные методы обеспечат требуемую точность при локальных и в некоторой степени при региональных исследованиях, однако в исследованиях планетарного масштаба существенный эффект будет достигнут лишь с привлечением новых видов измерений, прежде всего космических.

2. Необходимость применения новых видов измерений при геодинамических исследованиях связана не только с повышенными требованиями к точности, но и с тем, что на результаты измерений обычно влияет сложная совокупность различных факторов, влияние которых в отдельности иногда вообще невозможно определить, имея измерения лишь одного вида. Из сказанного следует необходимость не только привлечения новых видов измерений, но и сохранения и развития классических методов измерений, поскольку некоторые геодинамические явления, например изменение положения отвесной линии, могут быть определены только с помощью классических методов.

3. Пространственно-временной спектр большинства геодинамических явлений весьма широк. Для уверенного их исследования необходима обширная сеть станций, охватывающая весь земной шар. Требуются длительные однородные ряды измерений, чтобы хорошо изучить вековую и долгопериодическую части геодинамических явлений, и в то же время достаточно плотные, чтобы изучить такие явления, как суточные или недельные вариации. Идеальным решением является создание постоянно действующих геодинамических обсерваторий и служб подобно действующим сейчас службам изучения изменений широты, неравномерности вращения Земли и приливных вариаций. С точки зрения разделения влияния различных геодинамических факторов желательно, чтобы на геодинамических обсерваториях имелся обширный комплекс различных средств наблюдения, как классических, так и новейших космических. Подобные обсерватории уже создаются в ряде стран, в частности в нашей стране. Астрономический совет АН СССР начал работы по созданию такой обсерватории в Крыму, в Симеизе. Необходима координация усилий геодезистов, геофизиков, астрономов, океанологов и специалистов по новейшим космическим методам измерений при изучении планетарных геодинамических явлений, в том числе путем создания комплексных геодинамических обсерваторий.

ABSTRACT

Classification of geodynamic phenomena is given depending on their spectra in space and time. Global geodynamic phenomena referring to the entire Earth on the whole and largescale phenomena referring to the areas 10^3 – 10^4 km in extension such as individual continents or lithosphere plates are called planetary. The data are given

on the modern state and prospects of studies of various planetary geodynamic phenomena; polar motions, irregularity of the Earth's rotation, Earth and oceanic tides, lithospheric plate movements. Information is given on the assessment and prospects of studies of some expected geodynamic phenomena such as variations in the position of the centre of masses and axes of the Earth's inertia, variations of sea and ocean surface and its deviations from the geoid, non-tidal variations of geopotential, relativistic cosmogonic effects.

The role of modern cosmic methods is marked (high-precision observations of satellites, lunar laser ranging VLBI as well as that of classical astronomical observations, gravity measurements and geodetic measurements on geodynamic test-areas in the zones of the highest manifestations of planetary geodynamic processes to study the latter. The necessity of cooperation among geodesists, geophysicists, astronomers, oceanologists and specialists on the newest cosmic methods of measurements is emphasized for studying the planetary geodynamic phenomena, in particular, by means of creation of complex geodynamic observatories.

ЛИТЕРАТУРА

1. Melchior P. Geodynamics a meeting point for Astronomy, Geodesy and Geophysics. — In: 2nd Intern. Symp. "Geodesy and Physics of the Earth". Potsdam: Veröff. Zentralinst. Phys. Erde. 1974, N 30.
2. Молоденский М. С. Современные задачи изучения фигуры Земли. — Геодезия и картография, 1958, № 7.
3. Pellinen L.P. Studies in Geodynamics Area. IAG Section V "Physical Interpretation": Secretary's Rept. XVI Gen. Assembly IUGG (IAG), Grenoble, 1975.
4. Федоров Е. П., Корсунь А. А., Майор С. П. и др. Движение полюсов Земли с 1890 г. по 1969 г. Киев: Наук. думка, 1972.
5. On reference coordinate systems for Earth dynamics: Colloquium N 26, Torun, Poland, Aug. 26–31 1974. Warszawa: 1975.
6. Yumi S. Report of the International Polar Motion Service. (1973. 0–1975.4): — In: XVI Gen. Assembly IUGG (IAG). Grenoble, 1975. Moscow: 1975.
7. Михайлов А. А. О движении земных полюсов. — Астрон. ж., 1971, т. 48, № 6.
8. Markowitz W. Astronomical Programs for the study of secular variations in position. — In: Proc. Symp. on Earth's Gravitational Field and Secular Variations in Position. Sydney, Nov., 26–30, 1973. Sydney, 1974.
9. Pariysky N.N. Earth Rotation and Gravity Variations. — In: 2nd Intern. Symp. "Geodesy and Physics of the Earth". Potsdam: Veröff. Zentralinst. Phys. Erde, 1974, N 30.
10. Burša M. Geocentricity and parameters on recent geopotential models. — Bull. Astron. Inst. Czechosl., 1976, v. 27, N 3.
11. Levallois J.J. Sur la nécessité d'un service international de la mesure absolue de la pesanteur. Paris: UGGI, 1971.
12. Flandern T.C. van. A determination of the rate of change of g . — Eos, 1974, N 4.
13. Marsh J.G., Vincent S. Gravimetric Geoid Computations and Comparisons with Skylab Altimeter Data in the GEOS-C Calibration area. — In: XVI Gen. Assembly IUGG (IAG). Grenoble, 1975. Moscow: 1975.
14. Marsh J.G., Chang E.S. Detailed Gravimetric Geoid Computations in North America: — In: XIX COSPAR Meeting. Philadelphia, 1976.
15. Siry J.W. Gravimetric geodesy and sea surface topography studies by means of satellite-to-satellite tracking and satellite Altimetry. — Geophys. J. Roy. Astron. Soc., 1973, v. 35, N 1/3.
16. Siry J.W., Vonbun P.O. Future applications of laser ranging systems. — In: Proc. Symp. on Earth's Gravitational Field and Secular Variations in Position. Sydney, Nov. 26–30, 1973. Sydney, 1974.
17. Mather R.S. The Influence of Sea Surface Topography on Geodetic Considerations. — In: Proc. Symp. on Earth's Gravitational Field and Secular Variations in Position, Sydney, Nov. 26–30 1973. Sydney, 1974.
18. Борисов Л. А. От чего ведется отсчет высот? — В кн.: Человек и стихия. Л.: Гидрометеиздат, 1975.
19. Barta G. Anwendungsmöglichkeiten der Satellitengeodäsie bei der Erforschung der inneren Struktur der Erde. — In: 2nd Intern. Symp. "Geodesy and Physics of the Earth". Potsdam: Veröff. Zentralinst. Phys. Erde. 1974, N 30.
20. Молоденский М. С., Молоденский С. М., Парийский Н. Н. О возможной связи изменений силы тяжести и скорости вращения Земли. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1975, № 6.

21. Burša M. Variations of the Earth's gravity field due to the free nutation. — Stud. geophys. et geod., 1972, v. 16, N 2.
22. Fایتelson A.S., Mironov A.S., Yurkina M.I. Slow variations of the Earth's gravity field and recent crustal movements: XVI Gen. Assembly IUGG (IAG). Grenoble, 1975.
23. Kozai Y. Seasonal variations of the geopotential inferred from satellite observations. — Spec. Rept Smithsonian Astrophys. Observ., 1970, N 312.
24. Rochester M.G., Smylie D.E. On change in the trace of the Earth's inertia tensor. — J. Geophys. Res., 1974, v. 79, N 32.
25. Мананков Ю.М. Исследование эффектов негравитационных в движении ИСЗ для решения задач космической геодезии: Автореф. канд. дис. М.: МИИГАиК, 1977.
26. Lambeck K., Casenave A., Balmino G. Solid Earth on ocean tides estimated from satellite orbit analyses. — Rev. Geophys. Space Phys., 1974, v. 12, 3.
27. Kaula W.M. Absolute plate motions by boundary velocity minimizations. — J. Geophys. Res., 1975, v. 80, N 2.
28. Kaula W.M. Mantle convective models related to the gravity field and tectonic motion. — In: Proc. Symp. on Earth's Gravitational Field and Secular Variation in Position, Sydney, Nov. 26–30. 1973. Sydney, 1974.
29. Шеглов В.П. Географические координаты и их изменчивость. — В кн.: 100 лет Астрономического института АН УзССР. Ташкент: Фан, 1974.
30. Coates R.L., Clark T.A., Counselman C.C. et al. Very long baseline interferometry for centimeter accuracy geodetic measurements. — Tectonophysics, 1975, v. 29, N 1–4.
31. Буланже Ю.Д. Современные движения земной коры. — Земля и Вселенная, 1976, № 2.
32. Ong K.M. 3-D multilateration for measurement on Earth crustal deformation and network densification. — In: Proc. Symp. on Earth's Gravitational Field and Secular Variations in Position, Sydney, Nov. 26–30 1973. Sydney, 1974.

УДК 550.312:551.242 (571.1/5)

Э.Э. ФОТИАДИ, П.П. КОЛМОГорова, В.Г. КОЛМОГоров,
А.В. ЛАДЫНИН, С.А. ТЫЧКОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ, ИЗОСТАЗИЯ И ПЛОТНОСТНАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЛИТОСФЕРЫ ЮЖНОЙ СИБИРИ

Существенным аспектом проблемы механизма тектонических движений и, в частности, современных вертикальных движений земной коры является вопрос об относительной роли гравитационной неустойчивости литосферы, связанной либо с инверсией плотности, либо с латеральной плотностной неоднородностью земной коры и верхней мантии. Решение этого вопроса возможно на основе комплексного анализа распределения скоростей современных вертикальных движений земной поверхности, вертикальных и латеральных плотностных неоднородностей литосферы, параметров изостазии новейших структур земной коры с результатами математического моделирования процессов гравитационной тектоники (изостатического регулирования). Такой анализ для обширного региона Южной Сибири, включающего Алтае-Саянскую и Забайкальскую горные области, Байкальскую рифтовую зону и прилегающие к ним районы Сибирской платформы, оказался возможным благодаря полученной в последние годы широкой новой информации о строении земной коры и верхней мантии по данным ГСЗ, сейсмологии, гравиметрии — детальному изучению изостазии [9–11], обобщению материалов повторных нивелировок по территории Южной Сибири [12], математическому моделированию новейших и современных движений земной коры [13–14].

1. Обобщение результатов изучения современных вертикальных движений земной коры по материалам повторного нивелирования выявило следующие закономерности: а) относительное прогибание южной части Западно-Сибирской плиты со скоростью 3–6 мм/год; б) возрастание скорости поднятия южной части Западно-Сибирской платформы по направлению к Байкалу до 9 мм/год; в) преимущественно унаследованные поднятия положительных и относительные опускания отрицательных морфоструктур Алтае-Саянской

области с дифференциацией скоростей до 10–15 мм/год; г) интенсивное поднятие Байкальского свода со скоростью 20–25 мм/год и отставание в этом процессе кайнозойских и мезозойских впадин, скорость поднятия которых редко превышает 10 мм/год; д) тесную положительную корреляцию скоростей вертикальных движений с рельефом земной поверхности (коэффициент корреляции 0,7–0,8) и соответственно – отрицательную корреляцию (с коэффициентом около – 0,75) скоростей с аномалиями Буге, отсутствие существенной корреляции в целом по региону между скоростями движений и изостатическими аномалиями, скоростями и глубиной до раздела Мохо (хотя в отдельных районах такая корреляция намечается, для ее надежного установления недостает фактических материалов).

2. Для изучения изостазии новейших структур юга Сибири составлена карта изостатических аномалий силы тяжести, выполнена корреляция изостатических аномалий с гравитационным влиянием компенсационных масс, определена совокупность параметров изостазии (статистических характеристик аномалий, осредненного рельефа, параметров их взаимной корреляции и др.), эти параметры вычислены по площади региона. Их физический и геолого-геофизический смысл такой: Δg_K – среднее значение гравитационного влияния компенсации в пределах элементарной площадки осреднения ($1,6 \cdot 10^5 \text{ км}^2$; другие параметры определены для такой же площадки), $\Delta g_{\text{и}}$ – средняя абсолютная избыточная нагрузка, обусловленная нарушением равновесия и плотностной неоднородностью глубоких частей мантии и определяемая по интенсивности изостатических аномалий, r – коэффициент корреляции аномалий с гравитационным влиянием компенсации, $\Theta_1 = r \sigma_{\Delta g_{\text{и}}} / \sigma_{\Delta g_K}$ – коэффициент локальной недокомпенсации топографических масс, равный коэффициенту пропорциональности между величинами аномалий и влияния компенсации в соответствующем уравнении регрессии, $\Theta_2 = \Delta g_{\text{и}} / \Delta g_K$ – коэффициент региональной перегрузки, $\Delta H = \bar{H} r \sigma_{\Delta g_K} / \sigma_{\Delta g_{\text{и}}}$ – избыточная по отношению к изостатически компенсированной высота рельефа, $\delta r = 1 - \sigma_{\Delta g_{\text{и}}}^r / \sigma_{\Delta g_{\text{и}}}$ – параметр значимости корреляции аномалий с влиянием компенсации, определяемый разностью между стандартным от-

$\Delta g_{\text{и}}$ от линии регрессии изостатических аномалий на влияние компенсации. Эти параметры не являются независимыми, в частности Θ_1 связан с r , Θ_2 с $\Delta g_{\text{и}}$ и Δg_K , ΔH с r и Θ_1 , но каждый из них обладает и специфическими свойствами, дающими возможность более уверенно оценивать особенности изостазии как горных, так и платформенных областей. Ясно, что большое количество параметров приходится использовать именно потому, что не удается найти универсальной характеристики. Некоторые из этих параметров отражают изостатическое состояние крупных структур с типичным размером $L > 400 \text{ км}$, их можно назвать региональными (это $\Delta g_{\text{и}}$, Θ_2 и ΔH), другие характеризуют изостазии локальных структур с $L < 400 \text{ км}$, это r , Θ_1 и δr .

3. Анализ особенностей распределения перечисленных параметров изостазии в Южной Сибири (рис. 1 и 2) по отношению к элементам новейшей структуры показал следующее: а) литосфера юга Сибири уравновешена в среднем на 90% или несколько больше (это определяется по соотношению масс нагрузки и компенсации, отсчитываемых от уровня моря), однако имеющиеся небольшие отклонения от изостазии обнаруживают вполне закономерное распределение по отношению к новейшим структурам; б) основные новейшие структуры юга Сибири проявляют заметную тенденцию к недокомпенсации, что выражается в избытке масс на участках новейших поднятий и их недостатке во впадинах и что может быть связано с преимущественно антиизостатическим характером новейших и современных движений земной коры; в) в Алтае–Саянской горной области отчетливо проявляется недокомпенсация крупных поднятий (Горного Алтая, Кузнецкого Алатау, Восточного Саяна), тогда как прогибы (Кузнецкий, Минусинский, Тувинский, Впадина Больших озер Монголии), тоже недокомпенсированные, все же ближе к равновесию, чем поднятия; по соотношению параметров изостазии с характером изменения во времени вертикальных дви-

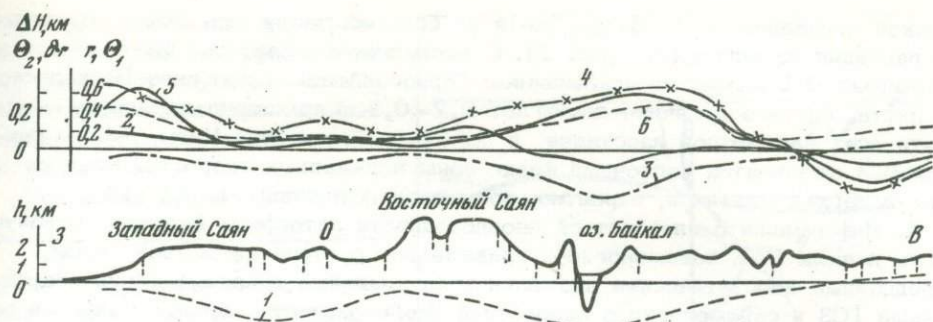


Рис. 1. Параметры изостазии новейших структур юга Сибири (профиль по параллели 52° с.ш.): О - новейшая структура, h - по Н.И. Николаеву и С.С. Шульцу, 1959 г.

1 - $\Delta g_{\text{и}}$; 2 - θ_1 ; 3 - θ_2 ; 4 - r ; 5 - Δh ; 6 - δr

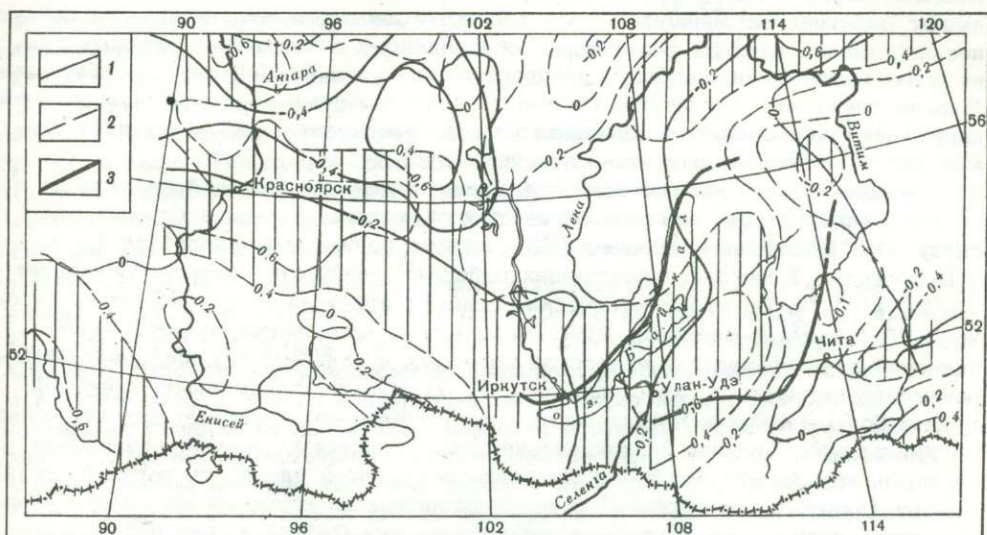


Рис. 2. Распределение коэффициента региональной перегрузки θ_2 и коэффициента корреляции изостатических аномалий с гравитационным влиянием компенсационных масс r в Южной Сибири

1 - θ_2 ; 2 - r (заштрихованы области наибольшей корреляции - положительной и отрицательной); 3 - границы зоны пониженной скорости сейсмических волн в верхах мантии по данным ГСЗ [4]

жений (новейших и современных) указанные поднятия различны: одни из них относительно стабилизированы, как Кузнецкий Алатау, другие интенсивно поднимаются, вовлекая в поднятие прилегающие участки платформы и межгорных впадин, как Горный Алтай и Восточный Саян; г) для Байкальской рифтовой зоны характерна значительная локальная недокомпенсация при общей региональной недогрузке; можно предполагать, что изостатическая характеристика Байкальского рифта определяется комплексом специфических факторов: аномалией плотности верхней мантии, большой мощностью осадков во впадине, что создает значительную корреляцию геологических масс с рельефом и искажает определяемые параметры изостазии, большой вариацией мощности коры. Выделить вклад каждого из этих факторов на современном уровне изученности затруднительно.

На рис. 1 видно, что горные области юга Сибири регионально недогружены ($\Delta g_{\text{и}} < 0$, $\theta_2 < 0$), что в значительной мере обусловлено дефектом плотности глубоких частей мантии, а локальные структуры в их пределах систематически

недокомпенсированы ($\tau > 0$, $\Theta_1 \geq 0$), хотя на большей части территории эта недокомпенсация невелика (см. рис. 2). О последнем говорит тот факт, что $\delta\tau$ не превышает 0,1 везде, за исключением Горного Алтая и особенно Байкальско-го рифта, где его величина достигает 0,2–0,3. Характерно изменение знака почти всех параметров изостазии в Забайкалье, в районе Читы, где по данным ГСЗ отмечается восточный фланг зоны пониженных скоростей упругих волн в верхах мантии и, вероятно, зоны разуплотненной мантии [11].

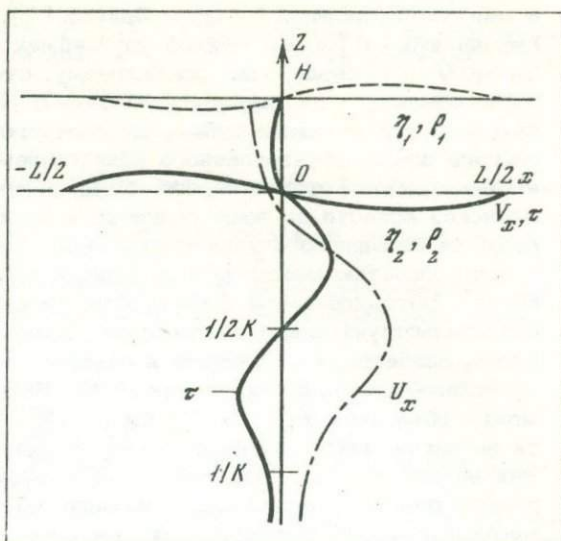
4. Информация о плотностной неоднородности литосферы включает совокупность данных ГСЗ, сейсмологии и гравиметрии о строении земной коры, осредненные изостатические аномалии и спутниковые данные о фигуре Земли, данные ГСЗ и сейсмологии о скоростной неоднородности верхней мантии и результаты специальной оценки латеральных плотностных неоднородностей над-астеносферной ее части [6]. Плотностная неоднородность земной коры определяется главным образом изменением мощности ее консолидированной части, т.е. рельефом поверхности (и мощностью осадочных отложений) и рельефом подошвы коры, а латеральные изменения плотности консолидированной коры имеют подчиненное значение. Существенными являются локальные плотностные неоднородности верхней части коры, образованные в основном крупными гранитными батолитами, наиболее распространенными в Прибайкалье и Забайкалье. Многие такие неоднородности (батолиты и заполненные осадками впадины) обнаруживают корреляцию с рельефом земной поверхности, что затрудняет анализ изостазии соответствующих новейших структур.

В верхней части мантии наиболее существенной плотностной неоднородностью является зона пониженной плотности, соответствующая Байкальскому своду. Она выделена по данным ГСЗ как зона пониженных скоростей (7,8–7,9 против 8,1 км/с в прилегающих районах), мощность которой составляет 17–20 км [7]. По гравиметрическим данным эта зона имеет дефект плотности 0,05 г/см³, а мощность 20–22 км, и она, несомненно, имеет важное значение в распределении скоростей новейших и современных движений. Выделенные по сейсмологическим данным [1, 3] области пониженных скоростей волн в более глубоких частях мантии могут быть интерпретированы как области уменьшения глубины кровли астеносферы и соответственного увеличения ее мощности. Можно предполагать связь пониженной плотности верхней части мантии (включая астеносферу) с разуплотнением ее глубоких горизонтов. Такая зона захватывает почти всю территорию юга Сибири и, как показывают спутниковые данные, распространяется на весь Центрально-Азиатский горный пояс. На основании интерпретации осредненных изостатических аномалий в Сибири выделяются две пересекающиеся зоны пониженной плотности верхней мантии, одна из которых охватывает Алтай-Саянскую и Байкальскую горные области, а другая в виде неширокой (около 500 км) полосы протягивается от Южного Прибайкалья субмеридионально через район Кемпендяйской впадины и Приверхоянский прогиб в направлении рифтового хребта Гаккеля в Северном Ледовитом океане. Последняя зона, судя по интенсивности аномалий, имеет меньшую степень разуплотнения, а в северной части она, по-видимому, не имела существенного влияния на формирование новейших структур. В ее активной южной части отмечается хорошее соответствие восточной границы с границей области пониженных скоростей сейсмических волн, что и дает основание для отождествления разуплотненной зоны с подкоровым волноводом.

5. Для объяснения выявленных соотношений между новейшей структурой, неоднородностью земной коры и верхней мантии и изостатической характеристикой литосферы, для выдвижения конструктивных гипотез о механизме формирования новейших структур и о природе современных движений земной коры было выполнено математическое моделирование процесса изостатического регулирования. Земная кора и верхняя мантия моделировались двухслойной вязкой жидкостью со скачком плотности и вязкости на границе раздела слоев. Для упрощения задачи мы объединили плотностной раздел (Мохо) и границу изменения вязкости (кровлю астеносферы). На этой же границе задавалось начальное возмущение синусоидальной формы, и при условии непрерывности сме-

Рис. 3. Зависимость двухслойной модели земной коры и верхней мантии от глубины касательных напряжений и горизонтальной скорости изостатического регулирования

Пояснение см. в тексте



шений и напряжений из решения уравнения Навье–Стокса определялись скорости движений земной коры (рис. 3). Процесс изостатического регулирования отчетливо подразделяется на две стадии: изостатическое всплытие происходит очень быстро, при вязкости $10^{22} - 10^{25}$ пуаз характерное время составляет $10^3 - 10^6$ лет, а последующее гравитационное растекание имеет характерное время на 3–4 порядка больше. Понижение вязкости подстилающего слоя на 1–2 порядка (для континентальных условий) является достаточным, чтобы его вязкостью можно было пренебречь. Действительно, при $\eta_2 = 0$ (см. рис. 3, где принято: $\rho_1 = 2,8 \text{ г/см}^3$, $\rho_2 = 3,3 \text{ г/см}^3$, $L = 1000 \text{ км}$, $\eta_1 = 10^{24}$ пуаз), имеем $\tau_1 = 10^{10} \text{ с}$ (характерное время всплытия), $\tau_2 = 10^{14} \text{ с}$ (время растекания), а при $\eta_2 = \eta_1 \tau_1 = 10^{41} \text{ с}$, а $\tau_2 = 10^{15} \text{ с}$ (1 год = $3 \cdot 10^7 \text{ с}$), при этом $V_{x \text{ max}} = 10 \text{ см/год}$, а $\tau_{\text{max}} = 100 \text{ кг/см}^2$. Это означает практическую невозможность существования нескомпенсированных неоднородностей земной коры и верхней мантии, и если выявленные плотностные неоднородности мантии оказывают влияние на дальнейшее развитие новейших структур и на распределение скоростей современных движений земной коры, то это объясняется не столько фактом их существования, сколько их развитием, активностью в настоящее время. Этот вывод делает актуальным расширение исследований вековых изменений гравитационного поля, так как другого способа выявления современных изменений мощности и плотности разуплотненных зон верхней мантии, по-видимому, нет. Кроме того, это позволяет объяснить существование отклонений от равновесия только на основе предположения о существовании активных тектонических процессов, определяющих продолжающееся развитие новейших структур. Интенсивность этих процессов, по-видимому, непосредственно определяет скорости современных движений земной поверхности.

Причиной тектонической активизации наряду с разуплотнением верхней мантии может быть и перемещение материала в зоне пониженной вязкости, вызванное конвективной неустойчивостью верхней мантии. Как следует из решения указанной задачи, компенсационное горизонтальное перетекание материала при изостатическом регулировании также происходит в основном в астеносфере, концентрируясь на глубинах около 150–170 км (для структур с характерным размером $L/2 = 500 \text{ км}$). Взаимодействие этого потока с конвективными течениями в астеносфере (а при понижении вязкости последней по сравнению с выше- и нижележащими слоями на 3–4 порядка конвекция практически замыкается в астеносфере) может существенно нарушать изостазию и приводить к образованию поднятий и впадин с размерами порядка мощности астеносферы или больше.

6. На основании изложенного можно сделать некоторые предварительные выводы о механизме развития основных новейших структур Южной Сибири. Общее региональное поднятие Алтае–Саянской области могло быть инициировано образованием и эволюцией разуплотненной области верхней мантии. На это указывает согласие между величиной снижения скоростей сейсмических волн

в мантии по профилю Памир - Байкал [1], региональными изостатическими аномалиями [9] и амплитудой крупнейших новейших поднятий (за исключением Байкальского свода, где, по-видимому, существенное значение имеет процесс горизонтального растяжения литосферы). Конечно, нельзя отрицать и возможную роль интенсивного субмеридионального сжатия Центрально-Азиатского горного пояса, обусловленного надвиганием друг на друга Азиатского материка и Индостанского субконтинента. Следует отметить, что дифференциация Алтае-Саянской области на зоны поднятий и впадин скорее всего имеет иную природу, не связанную с указанными процессами, а обусловленную, прежде всего, неоднородностью механических свойств литосферы (плотности, прочности, вязкости), сформированной предшествующими геологическими процессами, о чем свидетельствует известное явление унаследованности древнего структурного плана, особенно значительное в северной и восточной частях Алтае-Саянской области. Представляется, что развитие Байкальского сводового поднятия также можно объяснить эволюцией зоны разуплотнения верхней мантии, в особенности ее части, расположенной непосредственно под корой, а образование рифтовых впадин явилось следствием растяжения литосферы, вызванного движением разуплотненного материала, имеющего пониженную вязкость, к востоку от жесткой глыбы Сибирской платформы. Геодинамические процессы, связанные с движением переднего фронта разуплотненной мантии (в Забайкалье) требуют специального изучения, в том числе методами математического моделирования. Однако сам факт, что этот фронт отчетливо проявляется в смене характеристик изостатического состояния литосферы, позволяет предположить, что развитие новейших структур Забайкалья, в том числе их значительная унаследованность от мезозойского структурного плана, вряд ли может быть объяснено, как это было сделано Ю.А. Зориным [10], на основе предположения о "вмерзании" мезозойских корней гор при разрушении самих гор и о новейшей их активизации при понижении вязкости верхней мантии. Это сомнение подтверждают и приведенные выше результаты моделирования, которые показывают невозможность длительного существования корней гор даже при весьма большой вязкости литосферы и астеносферы. Этим мы не отрицаем, очевидно, существенного влияния геодинамической обстановки Байкальской рифтовой зоны на эволюцию новейших структур Забайкалья. Напротив, тот факт, что в Западном Забайкалье отмечены наибольшие скорости вертикального поднятия земной коры по данным повторного нивелирования, вряд ли можно интерпретировать вне связи с геофизическими особенностями Байкальского рифта.

В заключение следует отметить необходимость создания геодинамической модели Байкальского рифта, а также всего горного пояса Центральной Азии, что может быть сделано на основе построения их комплексных геолого-геофизических моделей с привлечением методов физического и математического моделирования. Это, очевидно, требует расширения исследований современных движений земной коры не только вертикальных, но и горизонтальных.

ABSTRACT

On the basis of a complex analysis of velocities of recent vertical crustal movements, characteristics of isostatic state of the newest structures and distribution of density inhomogeneities in the lithosphere and also of the results of mathematical modelling of processes of isostatic regulation some assumptions are put forward on the mechanism of formation of the newest structures and on the nature of recent crustal movements in Southern Siberia.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.С., Лаврентьев М.М., Мухаметов Р.Г. и др. Численный метод определения структуры верхней мантии Земли. - В кн.: Математические проблемы геофизики. Новосибирск: Наука, 1971, вып. 2.
2. Алексеев А.С., Ваньян Л.Л., Бердичевский М.Н. и др. Схема астеносферных зон СССР. - Докл. АН СССР, 1977, т. 234, № 4.

3. Бугаевский Г.Н., Нерсесов И.Л., Рогожина В.А. Горизонтальные неоднородности верхней мантии в Центральной Азии. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1971, № 6.
4. Крылов С.В., Голонецкий С.И., Петрик Г.В. Согласование данных сейсмологии и ГСЗ о строении верхов мантии в Байкальской рифтовой зоне. — Геология и геофизика, 1974, № 12.
5. Крылов С.В. О причинах аномальных свойств верхней мантии в рифтовых зонах. — Геология и геофизика, 1976, № 4.
6. Ладынин А.В. К методике изучения плотностной неоднородности верхней мантии. — Геология и геофизика, 1973, № 6.
7. Пузырев Н.Н., Крылов С.В. Основные итоги региональных сейсмических исследований в Сибири. — В кн.: Геофизические методы в познании земной коры в Сибири. Новосибирск: Наука, 1977. (Тр. СНИИГиМС; Вып. 249).
8. Фотиади Э.Э., Ладынин А.В. Состояние и геологические задачи комплексных геофизических исследований глубинного строения литосферы на территории Сибири и Дальнего Востока СССР. — Геология и геофизика, 1974, № 5.
9. Артемьев М.Е. Изостазия территории СССР. М.: Наука, 1975.
10. Зорин Ю.А. Новейшая структура и изостазия Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий. М.: Наука, 1971.
11. Ладынин А.В. Изостатическая характеристика новейших структур Сибири. — В кн.: Геофизические методы в познании земной коры в Сибири. Новосибирск: Наука, 1977. (Тр. СНИИГиМС; Вып. 249).
12. Методические вопросы исследования современных движений земной коры. Новосибирск: Наука, 1975.
13. Артюшков Е.В. Об установлении изостатического равновесия земной коры. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1967, № 1.
14. Тычков С.А. Оценка скоростей в одной модели изостатического регулирования. — Геология и геофизика, 1977, № 12.

УДК 551.79:551.24:551.4

В.Е. ХАИН

НЕОМОБИЛИЗМ И СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ

Изучение современных тектонических движений получило развитие в нашей стране в годы, когда после длительных разногласий в теоретической тектонике, последовавших за крушением контракционной гипотезы, казалось бы, утвердились представления, связывавшие тектоническое развитие Земли с вертикальными движениями, порожденными глубинной дифференциацией мантийного вещества. Соответственно основное внимание было сосредоточено на выявлении именно вертикальных движений, тем более, что техника их регистрации является значительно более простой и дешевой, чем горизонтальных движений. Результаты этих усилий общеизвестны, о них свидетельствует, прежде всего, "Карта современных вертикальных движений Восточной Европы" [1]. Аналогичный подход характеризовал и изучение новейших движений — опубликованная в 1960 г. "Карта неотектоники СССР" [2] это, по существу, также карта новейших вертикальных движений, а не тектонических движений вообще.

Между тем в последние полтора десятилетия в геотектонике, а затем и в теоретической геологии в целом произошли весьма серьезные и знаменательные сдвиги. Представление о всецело господствующей роли в тектонической жизни Земли вертикальных движений и сугубо подчиненной и производной горизонтальных вступило в противоречие с новыми данными о коренных отличиях в строении ложа океанов, с одной стороны, и континентов, с другой, с данными палеомагнетизма — новой отрасли геофизики, возникшей в 50-е годы, с данными сейсмологии, поднявшейся на качественно новый уровень своего развития и др. Эта новая информация заставила многих исследователей отказаться от фиксистских концепций и вернуться к сформулированным еще в десятки годы нашего века мобилистским представлениям, которые и возродились в течение 60-х годов сначала в форме идеи расширения (спрединга) океанов, а затем в форме тектоники плит, или новой глобальной тектоники.

В период после 1968 г., когда идеи новой концепции получили свою законченную формулировку, концепция эта применительно к океанам прошла серьезную проверку и нашла в общем подтверждение в процессе глубоководного океанского бурения с судна "Гломар Челленджер". Некоторые ученые, в особенности в нашей стране, где фиксизм достиг своего расцвета, остались, однако, на прежних позициях, в результате чего между фиксистами и мобилистами в наши дни возник исторический спор — спор, сравнимый с дискуссией между нептунистами и плутонистами в начале XX в.

Современный мобилизм, или неомобилизм, во многих отношениях принципиально отличается от классического мобилизма начала XX в. — гипотезы А. Вегенера и подобных ей. Отличие состоит, прежде всего, в совершенно другом уровне лежащих в основе неомобилизма знаний как по сравнительной геологии континентов и океанов, так и особенно по их глубинному строению, геофизическим полям, геодинамической характеристике и др. В качестве поверхности возможного перемещения материковых (теперь не только материковых!) глыб (плит) ныне принимается поверхность слоя пониженной вязкости в верхней мантии — астеносфере, а причина этого перемещения обычно усматривается в конвекционных течениях в мантии, что гораздо реалистичнее механизма, связанного с осевым вращением Земли, предполагавшегося А. Вегенером. Показано, и это особенно важно, что перемещение жестких и монолитных (относительно!) литосферных плит происходит по строгим законам сферической геометрии. С помощью данных палеомагнетизма, магнитостратиграфии (определения возраста океанической коры по линейным магнитным аномалиям, обусловленным периодическими инверсиями магнитного поля Земли) и глубоководного бурения (возраст осадков, перекрывающих базальтовый слой океанической коры) представилось возможным измерить скорость разрастания (спрединга) дна океанов, оказавшуюся равной нескольким сантиметрам (от 1 до 13) в год, а знание геометрических закономерностей позволило рассчитать эту скорость для участков океанов, где она пока не могла быть определена непосредственно. Установление законов перемещения плит и использование палеомагнитной информации дают возможность восстановить не только относительное положение плит в геологическом прошлом, т.е. в ретроспективе, наиболее точно для последних 160 млн. лет (от которых сохранились линейные магнитные аномалии), но и определить их наиболее вероятное расположение в будущем, т.е. в перспективе, естественно, при условии сохранения современных направлений и скоростей движений. Таким образом, теория неомобилизма приобрела определенную предсказательную силу, что произошло впервые в истории геологии.

Еще одной важной особенностью неомобилизма является его последовательное распространение практически на все науки о Земле — от палеонтологии до геохимии, что делает его частью общей теории Земли.

Вместе с тем приходится признать, что неомобилизм еще не стал такой теорией, причем по трем основным причинам.

Первой из них является большая сложность процессов, происходящих в мантии Земли по сравнению с допускаемой классической тектоникой плит. Выражается она, в частности, в том, что астеносферный слой устанавливается на существенно различной глубине под океанами и континентами (от первых километров до 300–400 км), что степень его выраженности (т.е. понижения вязкости по сравнению с литосферой) сильно варьирует по латерали и что местами наблюдается не один, а несколько астеносферных слоев или линз. Все это должно приводить к более сложному и, вероятно, многоуровневому перемещению плит, чем предусмотрено классической теорией. К этому следует добавить, что сами плиты оказываются не столь жесткими и монолитными, как это предусматривается теорией; первое в особенности касается мелких плит, которые во все большем числе выделяются между крупными (а крупные разбиваются на субплиты).

Второй недостаток современной тектоники плит заключается в том, что механизм их перемещения все еще остается не вполне выясненным. Конвекци-

онные течения в мантии, по мнению многих исследователей, не способны смешать плиты на многие тысячи километров; происходят поиски других, более адекватных механизмов. Далеко не все ясно и в механизме поддвига и поглощения океанических плит по периферии океанов — в так называемом процессе субдукции, призванном компенсировать расширение дна океанов.

Наконец, третий существенный пробел современного мобилизма состоит в неполном объяснении им всех сторон сложного процесса тектогенеза. Это относится, в частности, к явлениям магматизма и крупным поднятиям и опусканиям внутри плит, как океанических, так и континентальных (так называемая внутриплитная тектоника). Эти явления пытаются объяснить прохождением плит над "горячими точками", т.е. восходящими горячими струями в мантии, идущими с большой глубины, и такая точка зрения нашла известное подтверждение в данных глубоководного бурения. Совершенно неясно, однако, как такие струи сочетаются с горизонтальными течениями в верхней мантии. В то же время общее погружение дна океанов, а также континентальных платформ при переходе от доплитного к плитному этапу их развития удовлетворительно объясняется охлаждением литосферы по мере удаления от зон расхождения (дивергенции) литосферных плит, т.е. рифтовых зон с их высоким тепловым потоком.

Мне лично думается, что эти и другие трудности преодолимы и не могут опровергнуть сам принцип мобилизма, т.е. признание возможности крупных, достигающих сотен и даже тысяч километров горизонтальных перемещений блоков земной коры — литосферных плит. Вместе с тем очевидно, что для быстрейшего разрешения фиксисто-мобилистской альтернативы необходимо привлечение новой информации. Одним из важных каналов такой информации и должно быть изучение современных тектонических движений, в первую очередь горизонтальных. Речь идет, по существу, о применении к тектонике метода актуализма, столь успешно примененного в других областях геологии (например, в литологии), о создании нового раздела тектоники — актуотектоники.

Первые данные о проявлении современных горизонтальных движений были получены в результате наблюдений над смещениями, вызванными крупными землетрясениями типа Сан-Францисского землетрясения 1906 г., Гоби-Алтайского 1957 г., Аляскинского 1964 г. и др. При этом выяснилось, что горизонтальные смещения не уступают по амплитуде вертикальным, достигая нескольких метров и изредка превышая даже 10 м.

Проведенные в дальнейшем инструментальные (геодезические) измерения показали, что и в промежутке между землетрясениями вдоль сейсмогенных разломов происходят горизонтальные подвижки [3, 4]. Наиболее изученными являются разлом Сан-Андреас в Калифорнии — 3,5 см/год, Альпийский разлом в Новой Зеландии — до 3,5 см/год, Северо-Анатолийский разлом в Турции — 0,8–3 см/год.

Все эти примеры относятся к категории так называемых трансформных разломов, которые составляют лишь один из трех типов сочленения литосферных плит.

Для другого типа — так называемых дивергентных границ, характеризующихся рифтообразованием, инструментальные данные имеются лишь для Эфиопского рифта. Для этого рифта определена скорость расширения 0,3–1,0 см/год. Косвенные данные имеются для Исландии, Красного моря, Байкала, дельты Лены (продолжение рифтовой зоны хр. Гаккеля в Северном Ледовитом океане); они находятся в пределах 0,1–0,8 см/год.

Что касается третьего типа границ литосферных плит — конвергентных границ (сближения плит), то наиболее показательные данные получены двадцатилетними измерениями на Гармском полигоне в Средней Азии, где скорость сближения оказалась равной 1,5 см/год, а также в Низких Гималаях в Индии — 0,9 см/год.

Несмотря на скудость этих данных, можно сделать два важных заключения.

Первое из них состоит в том, что как направление, так и скорость современных горизонтальных движений совпадают с установленными в тех же регионах для голоцена (имеются и дополнительные данные — для разлома Денали на Аляске — 1–3,5 см/год; для рифта Мертвого моря — 0,7 см/год), а также для периода новейших движений (олигоцен–четвертичных). При этом суммарная величина горизонтальных перемещений вдоль таких крупных сдвигов, как Сан-Андреас, Альпийский и некоторые другие, измеряется уже сотнями километров.

Второй вывод заключается в том, что и направление, и скорость современных движений вполне согласуются с общей картиной движения плит, установленной для кайнозоя, в частности Кс.Ле Пишоном [5]. Несколько более низкие (доли сантиметра) скорости для континентальных рифтов не удивительны, ибо они относятся к границам не основных плит, а составляющих их субплит. Следовательно, современные горизонтальные движения скорее подтверждают, чем опровергают концепцию тектоники плит.

К сожалению, пока не разработаны методы непосредственного определения скорости расхождения или сближения плит в океанах — в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов и в зонах субдукции вдоль островных дуг и континентов. Поэтому особенно заманчивой является перспектива, ставшая уже вполне реальной, измерения относительных движений разделенных океанами континентов или, к примеру, Гавайских островов относительно Азиатского континента с помощью современных методов — лазерных отражателей, установленных на Луне или радиointерферометрии. Эти методы уже находятся на пороге той точности — в пределах сантиметров, которая требуется для проверки предположений о расширении Атлантического и Индийского океанов и сужения Тихого океана. Эта проверка будет, несомненно, иметь критическое значение для разрешения спора между фиксистами и мобилистами. Можно предвидеть, однако, что при получении положительных результатов фиксисты будут утверждать, что их нельзя экстраполировать на все геологическое прошлое, а в случае получения отрицательных результатов мобилисты будут говорить, что они характеризуют лишь современный момент. Поэтому очень важно, чтобы изучение современных движений проводилось не в отрыва, а в комплексе с изучением морфоструктур, молодых — голоценовых, а также новейших движений, не говоря уже о движениях более отдаленного геологического времени [3].

Призывая здесь к усилению внимания к изучению именно горизонтальных движений, не следует недооценивать и продолжение столь успешно начатого в нашей стране изучения движений вертикальных. Необходимо помнить, что вертикальные и горизонтальные движения в земной коре, тектоносфере и земном шаре в целом тесно взаимосвязаны, что поэтому изучение вертикальных движений может косвенно пролить свет на характер горизонтальных движений, и наоборот.

Так, например, поднятие хребтов Тянь-Шаня и Памира (и Центральной Азии в целом) с точки зрения тектоники плит является результатом сближения Индостанской и Евразийской литосферных плит, а погружение дна рифтовых грабенов — следствием растяжения и расширения рифтовых зон в целом. С противоположных позиций надвигание хребтов Тянь-Шаня и Памира на смежные депрессии есть побочное следствие подъема и гравитационного расползания этих хребтов и т.п.

Одним из средств разрешения этих и подобных противоречий является получение не отдельных точечных измерений, а достаточного их числа, чтобы восстановить всю кинематику процесса на площади. Очень важна корреляция современных движений с тепловым потоком, сейсмичностью, изменениями гравитационного поля, строением литосферы и астеносферы и, возможно, другими геофизическими параметрами. Несомненно, что вклад, который может внести исследование современных движений в геодинамику, в перспективе весьма значителен, и следует всячески приветствовать расширение исследований в этом направлении.

ABSTRACT

The conception of neomobilism (or new global plate tectonics) for the recent years has become a part of the general theory of the Earth's development. It originated at the new level of our factual and theoretical knowledge of the globe structure. The solution of the historic argumentation between fixists and mobilists depends largely on the involvement of new information and, in the first turn, that on modern tectonic movements. The question is application of actualism method (successfully used in all other areas of geology) to tectonics and on the creation of a new subdivision of tectonics – actotectonics. Recent vertical and horizontal movements are closely interconnected. If great successes have been recently achieved in the studies of vertical movements, our knowledge of recent horizontal movements is remarkably little. It is very important to perform instrumental studies for all the types of conjunction of lithosphere plates: divergent, convergent, etc., relative displacements of continents, and the like. The study of modern geodynamics will be the most effective if it is of a complex character and includes that of geological movements of different epochs, morphostructures, geophysical parameters and deep structure.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы (1:2 500 000). М.: ГУГК, 1973.
2. Карта новейшей тектоники СССР. М.: Госгеолиздат, 1960.
3. Лилиенберг Д.А. Современные тектонические движения и морфоструктурная дифференциация земной коры. – В кн.: Современные движения земной коры: Тез. докл. VII Всесоюз. совещ. М., 1977, вып. 1.
4. Никонов А.А. Голоценовые и современные движения земной коры. М.: Наука, 1977.
5. Ле Пишон Кс., Франшто Ж., Бонни Ж. Тектоника плит. М.: Мир, 1977.

II КАРТЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ

УДК 551.242

В.Г. КОЛМОГОРОВ, П.П. КОЛМОГОРОВА

КАРТА СОВРЕМЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ ЮЖНОЙ ЧАСТИ СИБИРИ

Региональное геодезическое изучение современных вертикальных движений земной коры Сибири началось в 60-е годы нашего столетия. В настоящее время материал повторного нивелирования по Западной Сибири ограничен соответствующими данными по линии Транссибирской железнодорожной магистрали на участке Челябинск - Красноярск и двух отходящих на юг и одного на север профилей: Петропавловск - Кокчетав - Целиноград, Новосибирск - Барнаул - Семипалатинск и Ачинск - Туруханск - Дудинка.

В Алтае-Саянской горной стране повторное нивелирование II класса к настоящему времени выполнено по следующим линиям: Бийск - Аскиз, Безменово - Бачатский, Кемерово - Топки - Кондомское. Кроме того, нивелированием I класса покрыты старые нивелировки II класса по линиям Култук - Кызыл, Ачинск - Абакан.

На территории Байкальской рифтовой зоны и Забайкалья, кроме линии повторного нивелирования I класса Красноярск - Владивосток, имеется сеть нивелирования II класса, в пределах которой повторные измерения выполнены на семи полигонах (I-VII): Иркутск - Качуг - Зундук - Нижнеангарск - Могойто - Татаурово - Иркутск (I), Култук - Жемчуг - Кяхта - Улан-Удэ - Култук (II), Улан-Удэ - Баляга - Улан-Удэ (III), Улан-Удэ - Могойто - Чита - Улан-Удэ (IV), Чита - Оловянная - Букукун - Хилок - Чита (V), Кайдалово - Чита - Нерчинск - Оловянная - Кайдалово (VI), Могзон - Романовка - Зилово - Могзон (VII).

Кроме перечисленных линий государственного нивелирования, имеются данные систематических наблюдений на профилях Байкальского геодинамического полигона, выполненные Институтом геологии и геофизики СО АН СССР. Общая протяженность рассматриваемых линий около 15 тыс. км. Интервалы времени между повторными нивелировками линий государственной сети от 18 до 30 лет.

В настоящей статье рассматриваются основные результаты обобщения, систематизации и анализа данных повторного нивелирования на территории Сибири.

1. Для доказательства возможности использования геодезических данных с целью изучения современных вертикальных движений земной коры Западной и Восточной Сибири проведен тщательный анализ результатов повторного нивелирования всех указанных выше линий, включающий в себя: а) оценку точности нивелирования; б) построение и анализ графиков накопления разностей прямых и обратных превышений, по которым можно представить характер влияния систематических ошибок на результаты нивелирования; в) построение графиков изменения превышений, характеризующих величину и направление вертикальных движений; г) составление таблиц, в которых дано сравнение изменений превышений на отдельных участках нивелирной линии с остаточным систематическим накоплением ошибок нивелирования, скорости вертикаль-

Таблица 1

Значения невязок относительных скоростей при замыкании полигонов

№ полигона	Невязка скоростей f , мм/год		Периметр полигона, км	Процент разрыва линий повторного нивелирования
	измеренная	допустимая		
I	-6,2	+8,0	2255	0,5
II	+6,7	5,8	1190	0,8
III	-0,9	4,3	780	1,3
IV	-4,1	6,7	1605	1,0
V	+0,7	6,1	1339	0,0
VI	+0,6	3,8	554	0,0
VII	+4,3	6,6	1535	1,3

Таблица 2

Сравнение относительных скоростей вертикальных движений с ожидаемыми ошибками их определения

Название пункта	L , км	V , мм/год	m_V , мм/год
Целиноград	2304	-4,0	+5,8
Дудинка	2180	-17,0	5,7
Курган	2025	-4,0	2,2
Петропавловск	1747	-4,5	2,1
Туруханск	1680	-4,6	5,0
Омск	1465	-4,0	2,0
Новосибирск	1215	-5,7	1,4
Юрга	625	-5,4	1,2
Ачинск	190	-3,2	0,7
Красноярск	0	0,0	0,0
Балай	102	+3,9	0,9
Тулун	721	+6,3	2,4
Иркутск	1114	+8,3	3,2
Баляга	1723	+11,5	3,6
Кяхта	1791	+9,8	3,7
Могойто	1988	+20,9	3,6
Нижнеангарск	2074	+20,1	3,7
Чита	1156	+8,9	3,9
Зилово	2644	+7,9	4,5

Примечание. L - длина участка нивелирной линии от репера в Красноярске до репера названного пункта, V - скорость вертикальных движений на этом участке, вычисленная относительно Красноярска; m_V - средняя квадратическая ошибка определения скорости, вычисленная по формуле $m_V^2 = \pm \frac{\bar{\eta}^2 L}{\Delta t^2}$, где $\bar{\eta}^2 = \eta_1^2 + \eta_2^2$, η_1 и η_2 - средние квадратические случайные ошибки первой и повторной нивелировок, Δt - интервал времени между нивелировками.

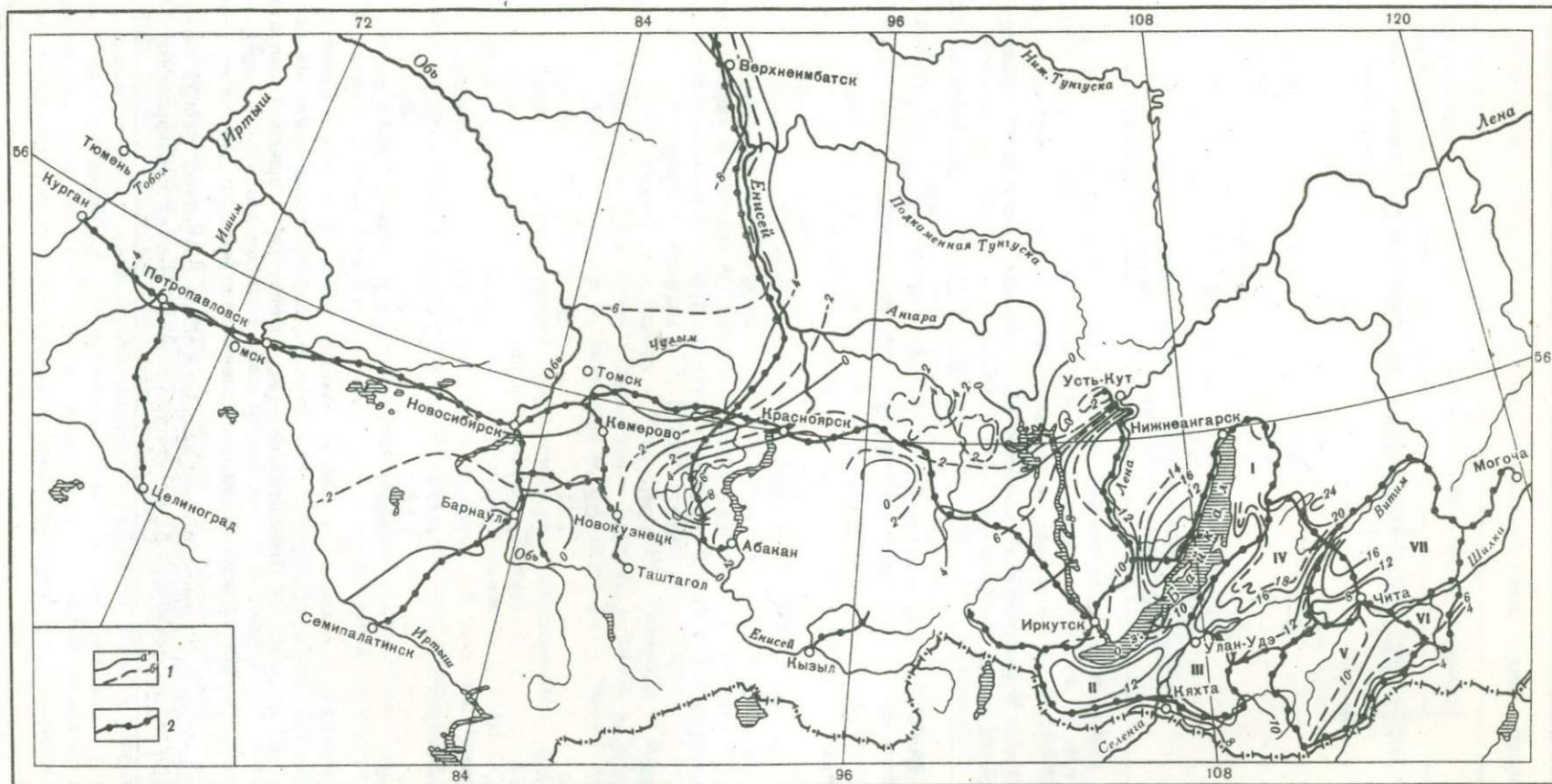


Рис. 1. Схематическая карта современных вертикальных движений земной коры южной части Сибири

1 — изолинии скоростей: а — основные — через 4 мм/год, б — дополнительные — через 2 мм/год; 2 — линии повторного нивелирования; I—VII — номера нивелирных полигонов

ных движений реперов и их средние квадратические ошибки; д) предварительное изучение геолого-геофизических данных. Характеристика любой линии нивелирования сопровождалась анализом ее так называемого "комплексного профиля", на котором показаны геологический разрез, крупные блоки земной коры, рельеф поверхности, амплитуды новейших движений и другие параметры.

Необходимые материалы и основные выводы такого анализа данных на Байкальскую рифтовую зону и сопредельные районы приведены и детально описаны в работах П.П. Колмогоровой [1, 2] при обсуждении "Карты скоростей современных движений земной коры Южного Прибайкалья и Забайкалья". В этих же работах обоснован вывод о возможности использования указанных выше линий повторного нивелирования для изучения площадного распределения скоростей современных вертикальных движений земной коры. В табл. 1 приведены основные характеристики нивелирной сети замкнутых полигонов, покрывающих Прибайкалье и Забайкалье.

Как видно из таблицы, значения невязок (за исключением полигона I) меньше допустимых. Незамыкание этого полигона можно объяснить качеством, не удовлетворяющим требованиям при изучении современных движений, на отдельных участках линии Кяхта - Жемчуг - Култук. Все полигоны были уравнены по способу условных измерений, в результате чего получены вероятнейшие значения скоростей в узловых точках, принятых в дальнейшем за жесткие, получены скорости промежуточных реперов всех линий. Средняя квадратическая ошибка определения скорости, полученная при уравнивании, равна $\pm 0,07$ мм/год на 1 км.

Поскольку результаты повторного нивелирования таких линий, как Курган - Новосибирск, Новосибирск - Семипалатинск - Алма-Ата рассматривались другими исследователями ранее [3, 4], то здесь приведено только сравнение полученных скоростей движений с их возможными ошибками определения (табл. 2). Это сравнение показало, что скорости движений, вычисленные относительно Красноярска, за исключением скоростей в Целинограде, Кургане, Туруханске, в несколько раз больше ошибок их определения.

Подобный анализ результатов повторного нивелирования линий Алтае-Саянской области (Ачинск - Абакан, Бийск - Аскиз, Безменово - Бочатский, Кемерово - Топки - Кондомское), выполненный нами [1] и Л.М. Кнуренко [3], позволил сделать вывод о достоверности полученных значений скоростей современных вертикальных движений и по этим линиям.

2. С целью получения представления о характере и величине современных вертикальных движений земной коры всей Сибири и сравнения между собой ее отдельных регионов, а также для составления карты скоростей современных движений всего обширного региона Южной Сибири за начальный пункт вычисления относительных скоростей принята марка, заложенная в 1906 г. в здании депо ст. Красноярск. Обоснование такого выбора было дано нами ранее [2].

На схематической карте скоростей современных вертикальных движений земной коры южной части Сибири (рис. 1) основные изолинии проведены (с учетом плотности сети повторного нивелирования и средней ошибки определения скорости движений) через 4 мм/год. Положение изолиний равных скоростей отнесено к отрезку времени 1971-1972 гг., когда было завершено повторное нивелирование линий, используемых в качестве основы. При этом методика, разработанная при составлении "Карты современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы" [5], была дополнена более детальным рассмотрением вопроса интерполяции скоростей движений вне линий сети нивелирных полигонов [1].

В распределении современных вертикальных движений земной коры Сибири отмечаются следующие закономерности. Пространственная дифференциация движений и их интенсивность связаны с крупными морфоструктурными областями Сибири: Западно-Сибирской равниной, Сибирской платформой, Алтае-Саянской горной страной, Байкальским сводовым поднятием и Забайкальской складчатой областью.

В пределах Западно-Сибирской равнины скорости вертикальных движений вплоть до Барнаула и Красноярска отрицательны и уменьшаются в направлении на север. Максимальная скорость прогибания отмечается в Приенисейском регионе. Вся центральная часть низменности опускается со скоростью около 4 мм/год относительно Красноярска. Далее на юго-восток от Западно-Сибирской плиты, в пределах Западного Саяна, скорости возрастают до +8 мм/год. Как видно на карте, современное поднятие имеет форму свода с амплитудой изменения скоростей около 10 мм/год относительно прилегающей части Западно-Сибирской плиты. В пределах южных частей Сибирской платформы на протяжении почти 500 км значения скоростей изменяются в пределах от -0,5 до +3,0 мм/год; приближаясь же к Иркутскому амфитеатру, они резко возрастают, достигая в его пределах значений $+8 \div +10$ мм/год и еще более возрастая в Прибайкалье. Максимальные их значения до +20 мм/год относятся к северной части зоны разлома Обручева и зоне новейшего и современного (голоценового) вулканизма в районе Витимского плоскогорья. В Западно-Забайкальской складчатой зоне по мере удаления ее от центральных частей Байкальского свода значения скоростей уменьшаются с северо-запада на юго-восток (от +12 до +8 мм/год).

Далее необходимо подчеркнуть схематичность "Карты скоростей современных вертикальных движений земной коры Южной Сибири": во-первых, при вычислении скоростей принималось допущение, что они изменялись ежегодно одинаково по величине и в одном направлении; во-вторых, определения выполнены в основном по данным только однократного повторного нивелирования явно редкой нивелирной сети; в-третьих, проведение изолиний скоростей осуществлялось главным образом методом линейной интерполяции, в основе которой лежит предположение о плавном изменении этого параметра от одного репера к другому. Создание более детальной карты этой территории требует прежде всего сгущения нивелирной сети и сокращения сроков перенаблюдения.

3. Известно, что комплексное геодезическое, геологическое и геофизическое изучение современной и неотектонической структуры земной коры позволяет высказать суждения о природе современных движений земной коры и некоторой специфике воздействия на них внутрикоровых и подкоровых процессов. В этом аспекте очевидное значение имеет изучение различных связей и корреляционных зависимостей между скоростями современных вертикальных движений, значениями поля аномалий силы тяжести, высотами рельефа земной поверхности (мощностями и расчлененностью земной коры, физическими параметрами вещества, характеризующими процессы в коре и верхней мантии) и особенностями режима развития тектонической структуры.

На рис. 2 помещены графики корреляционной зависимости между скоростями вертикальных движений и различными параметрами, установленными для земной поверхности некоторых районов Сибири. Как видно из рисунка, несмотря на большой разброс отдельных определений, для Западно-Сибирской плиты, Алтае-Саянской складчатой области, юга Сибирской платформы и южной части Байкальской складчатой области обнаруживается общая закономерность (в одних случаях прямая зависимость, в других - обратная): увеличение скорости движений сопровождается увеличением высот рельефа, уменьшением аномалий силы тяжести, увеличением мощности земной коры. Причем эта закономерность, ярко выраженная в целом для всех трех рассматриваемых регионов и менее заметная для каждого в отдельности, в первом приближении имеет линейный характер. Отмечаемая на графиках большая дисперсия точек свидетельствует о существующих местных отклонениях от общей закономерности.

Выявленные взаимосвязи, возможно, обусловлены следующими причинами. Известно, что в силу различного проявления глубинных процессов неотектонические движения привели к неравномерному подъему складчатых областей юга Сибири. Интенсивное воздымание участков земной коры в палеоген-неогеновую эпоху определило здесь как высокий темп, так и характер проявления современных вертикальных движений. Анализ комплекса геофизических данных позволил установить, что все активизированные горноскладчатые области юж-

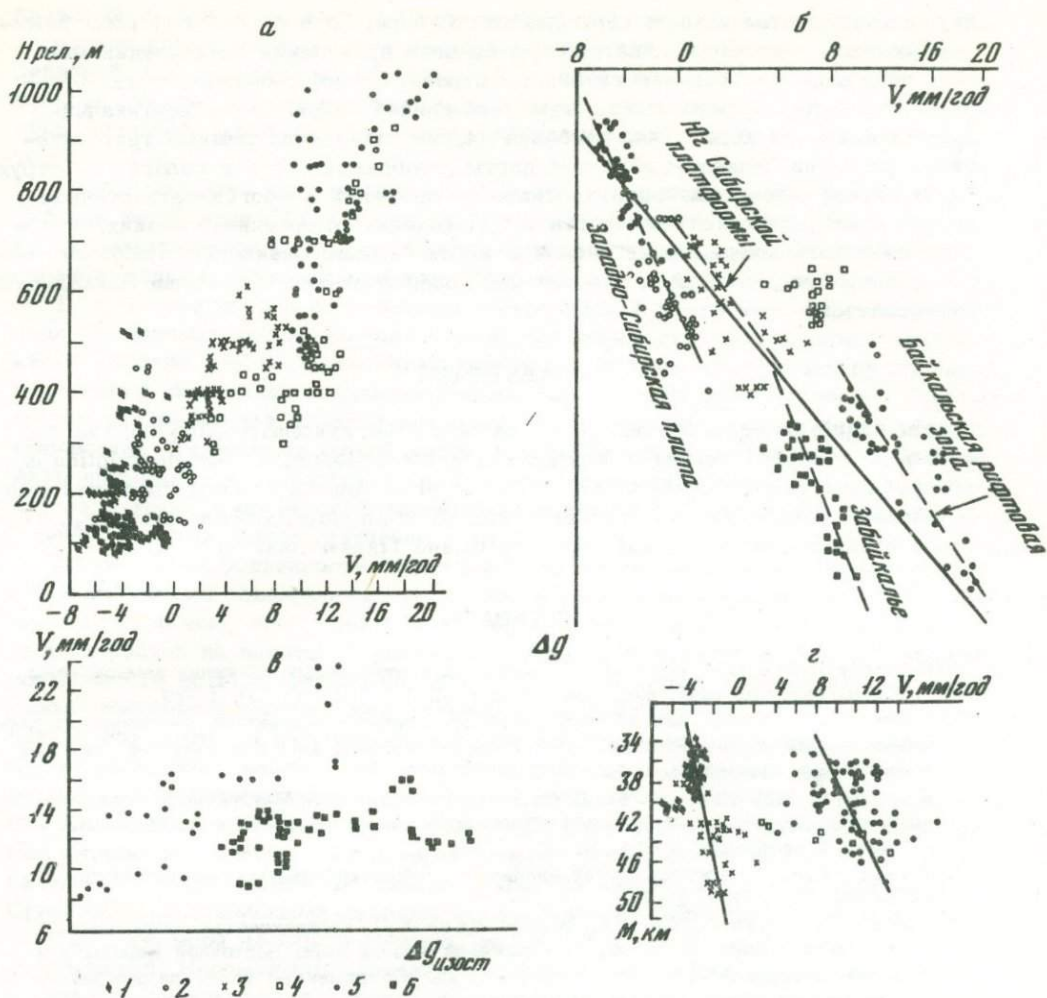


Рис. 2. Графики корреляционной зависимости между скоростью вертикальных движений V (в мм/год) и высотами рельефа $H_{рел}$ (а), аномалиями силы тяжести $-\Delta g$ (б), изостатическими аномалиями (по данным А.В. Ладынина) силы тяжести (в) и мощностью земной коры по данным ГСЗ (г) ГСЗ (г)

1 - Западно-Сибирская плита; 2 - Алтай; 3 - юг Сибирской платформы; 4 - Саяны; 5 - Байкальская рифтовая зона; 6 - Забайкалье

ного обрамления Сибири характеризуются значительным увеличением мощности земной коры и, что особенно важно, мощности ее гранитно-метаморфизованного слоя. Кроме того, по данным геофизических исследований устанавливается существование крупной зоны возможного разуплотнения вещества верхней мантии, простирающейся из южных районов Памира до Забайкалья [6]. Все это объясняет значительное снижение региональных гравитационных аномалий. Следовательно, выявленные прямые соотношения между высотами рельефа земной поверхности и скоростями современных движений и обратные соотношения между последними и значениями аномалий силы тяжести отражают определенные генетические закономерности, связанные с подкоровыми и внутрикоровыми процессами. Именно пониженную плотность верхней мантии многие исследователи принимают за источник интенсивного воздымания юго-восточной части Сибири как в палеоген-неогеновую, так и современную эпохи. Амплитуды и скорость современных движений согласуются не только с размещением

крупных элементов земной коры районов Сибири, но и с особенностями режимов их тектонического развития: чем сильнее проявления активизации мантии, нашедшие отражение в глубинном строении, геофизических полях, рельефе земной поверхности и т.д., тем интенсивнее современные вертикальные движения земной коры. Так, наиболее низкие показатели режима тектонического развития Западно-Сибирской плиты, отображающиеся в пологих ее структурах, относительно слабой интенсивности движений в неоген-четвертичное время, очень слабой сейсмичности и т.д. находят отражение в низких скоростях вертикальных движений и слабой их дифференцированности. Наоборот, высокие скорости движений и сильная дифференцированность присущи Байкальской рифтовой зоне.

ABSTRACT

The article presents the results of summarization, systematization and analysis of data of repeated levelling in Western and Eastern Siberia. A short description is given of the regularity of the area distribution of movements velocity connected with large morphostructural areas of Siberia: West-Siberian plate, Siberian platform, Altay-Sayan mountain country, Baikal arched uplift and Trans-Baikal folded area.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колмогорова П.П. Изучение современных вертикальных движений земной коры Сибири: Автореф. канд. дис. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1977.
2. Колмогорова П.П. Закономерности распределения современных вертикальных движений земной коры в Байкальской рифтовой зоне. - В кн.: Современные движения земной коры. Новосибирск: Наука, 1978.
3. Батугина И.М., Кнуренко Л.М., Лаврентьев А.И. Материалы к познанию современных вертикальных движений земной коры на юго-востоке Западной Сибири. - Геология и геофизика, 1974, № 12.
4. Финько Е.А. Морфоструктурный анализ при изучении современных тектонических движений. М.: Наука, 1973.
5. Энтин И.И., Матцкова В.А., Мешерский И.Н. Геодезическое обоснование "Карты современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы" для территории Европейской части СССР. - В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1973, № 5.
6. Пузырев Н.Н., Мандельбаум М.М., Крылов С.В., Мишенькин Б.П. Глубинное строение Байкальского рифта по данным взрывной сейсмологии. - Геология и геофизика, 1974, № 5.

УДК 528.3:551.24

Т.П. КОРОКИНА

ПРОБЛЕМЫ СОСТАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ КАРТЫ СОВРЕМЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ТЕРРИТОРИЮ ЗАКАВКАЗЬЯ, КАЗАХСТАНА И СРЕДНЕЙ АЗИИ

В СССР составляется карта вертикальных движений земной коры по данным нового повторного нивелирования. К настоящему времени завершена почти вся программа развития сети нивелирования I и II классов, в том числе и повторного нивелирования, одной из основных задач которого является изучение вертикальных движений земной коры. Большая часть Европейской территории Союза покрыта высокоточным повторным нивелированием, оба цикла которого выполнены по современной методике, вошедшей в действующие инструкции с 1945 г. Таким образом, имеются в наличии равноточные по качеству как первые, так и вторые нивелировки. Это должно непременно повысить точность скоростей, величина которых определяется геодезическим методом, пока единственным количественным методом изучения

движений земной коры внутри материков. Кроме того, сетью повторного нивелирования покрыты территории Закавказья, Казахстана, Урала, южной части Западной Сибири и Средней Азии. Это дает возможность впервые составить карты движений на эти районы и включить их в общую карту всей западной части страны. Такая карта охватит почти половину территории СССР.

Общая методика составления новой карты на платформенные районы Европейской территории СССР в основном останется прежней. Создание же карт на Закавказье, Казахстан, юг Западной Сибири и Среднюю Азию является сложной задачей, при решении которой возникает целый ряд проблем.

1. Сеть повторного нивелирования Европейской части непосредственно выходит к морям с севера, запада и юга. При обработке геодезической основы карты издания 1973 г. югосительные скорости уравнивались между постами этих морей. Восточная и юго-восточная стороны сети были свободны, поэтому точность определения абсолютных скоростей снижалась в направлении восток — юго-восток. Территория южной части Западной Сибири, Казахстана и Средней Азии примыкает к европейской сети именно на востоке и юго-востоке и значительно удалена от европейских морей, современные вертикальные движения берегов которых хорошо изучены.

Значительная удаленность азиатской сети повторного нивелирования от европейских морей заведомо снизит точность распространения в ней $V_{абс}$. Задача состоит в том, чтобы найти и исследовать возможность передачи абсолютных скоростей на азиатские районы с наименьшей потерей точности. Такая возможность есть. В настоящее время на постах морей азиатской территории Союза выполнены непрерывные уровнемерные наблюдения в среднем за двадцатилетний период и вычислены скорости вертикальных движений берегов. Кроме того, ряды наблюдений на постах восточного Каспия и Аральского моря, на берега которых непосредственно выходит сеть повторного нивелирования Казахстана и Средней Азии, позволяют получить здесь значения абсолютных скоростей. Многие посты морей севера, северо-востока и востока СССР связаны с сетью повторного нивелирования Западной Сибири, Казахстана и Средней Азии отдельными линиями высокоточного повторного нивелирования: от Карского моря по Оби и Енисею, от моря Лаптевых, от Охотского и Японского морей. Несомненно, передача абсолютных скоростей по протяженным отдельным линиям менее точна, чем непосредственно в сеть повторного нивелирования, выходящим на морские побережья. Однако привязка сети со всех ее сторон к морским уровнемерным постам обеспечит контроль получения $V_{абс}$ во всей сети в целом.

2. Для Европейской части СССР, на которую составлена карта 1973 г., характерно платформенное строение земной коры с медленными вековыми поднятиями или опусканиями. Поэтому при обработке геодезической основы карты была принята гипотеза о постоянстве направления и величины скорости вертикальных движений в интервалах времени между циклами нивелирования и вне их. Это позволило контролировать величины скоростей, полученных из геодезических измерений, по невязкам замкнутых полигонов повторного нивелирования под условием $\Sigma V = 0$. Однако неоднократно вели ины невязок достигали $\pm 7-9$ мм/год в полигонах различных периметров, как малых (около 300-400 км), так и больших (2000-3000 км). Причина возникновения столь значительных невязок приписывалась недостаточному качеству нивелировок. Но вполне вероятно, что одна из причин возникновения больших по абсолютной величине невязок скоростей заключается в том, что линии повторного нивелирования, из которых по частям составлялся полигон, характеризуются значительной разницей величин временных интервалов между циклами измерений. Так, в 11-и полигонах с невязками скоростей от ± 4 до ± 10 мм/год стороны включают в себя линии с интервалами между последовательным нивелированием от 10-15 до 50-70 лет. Этот факт дает основание полагать, что вертикальные движения земной коры в ряде мест территории, охваченной картой 1973 г., неравномерны.

Более сложная, чем в Европейской части СССР, тектоника Закавказья и Средней Азии, высокая сейсмическая активность этих районов, сопровождающаяся резким неравномерным смещением блоков земной коры, не позволяет полностью применить обычный метод обработки геодезической основы карты. Заведомо можно сказать, что в полигонах повторного нивелирования, замыкание которых как в первом, так и во втором цикле выполнялось в течение нескольких десятков лет, возникнут значительные по величине невязки скоростей. Возможно, что для формирования полигона нужно будет подбирать линии повторного нивелирования с близкими интервалами между циклами измерений (несмотря на то, что периметры таких полигонов будут большими) и затем включать их в общее уравнивание сети. Остальные линии можно будет использовать как вспомогательный материал для уточнения рисовки изолиний скоростей.

3. Большие периметры полигонов восточной части сети повторного нивелирования ставят задачу привлечения наиболее эффективных методов заполнения изолиниями скоростей площадей, лежащих внутри этих полигонов. Геолого-геоморфологические методы дают качественную оценку картины движений. Эти методы позволяют корректировать изолинии, проведенные путем линейной интерполяции между скоростями, полученными геодезическими методами. Для больших площадей, ограниченных крупными полигонами, применение только геолого-геоморфологического метода представления скоростей будет мало эффективно. Однако существуют методы предвычисления вероятных значений скоростей, например такой, как использовался для составления "Карты движений Забайкалья" [1] - прогнозирование величины скоростей по значениям аномалий силы тяжести и высот рельефа. Сочетание качественного геолого-геоморфологического метода с количественными геодезическим и геофизическим методами, возможно, даст более надежные результаты для сгущения числовых характеристик карты.

4. При подготовке результатов повторного нивелирования к уравниванию большое внимание уделяется отбору знаков, скорости которых должны приниматься в обработку. Основное значение при этом придается результатам полевого геолого-геоморфологического обследования собственной устойчивости знаков. До полевого обследования обычно производится анализ графиков накопления разностей превышений и графиков относительных скоростей по линиям; намечаются участки трасс, где знаки подвержены влиянию экзогенных процессов. Такие участки и отдельные знаки обнаруживают свою неустойчивость на графиках в виде резких "всплесков" кривых. В платформенных зонах обычно причиной "всплеска" является собственная неустойчивость знака, не связанная с тектоническими процессами. Такие знаки из обработки исключаются. В районах же, отличающихся сейсмической активностью, сложной тектоники и наличием большого числа нарушений в земной коре, "всплески" и резкие изломы кривых на графиках могут указывать на наличие дифференцированных движений по разломам, на местоположение этих разломов. Поэтому для линий повторного нивелирования Азиатской части СССР и Закавказья необходимо более тщательное полевое обследование трасс с привлечением геофизических и геолого-геоморфологических данных.

5. Кроме обычного представления вертикальных движений в виде карт скоростей, существует возможность представления характера движений методом градиентов. Этот метод более приемлем для наиболее активных и сложных по тектонике районов, таких, как Закавказье и Средняя Азия. И в СССР, и за рубежом уже существует опыт графического представления величин градиентов на площадях: "Карта градиентов территории ГДР" [2], "Карта градиентов... Европейской части СССР" [3], "Карты градиентов Закавказья [4] и Забайкалья [1]. Под градиентом скорости подразумевается величина, характеризующая изменение скорости вертикальных движений от знака к знаку вдоль линии повторного нивелирования. При составлении карт градиентов различными авторами было установлено, что для вычисления величин градиентов можно пользоваться неуравненными значениями скоростей, что этот метод свободен

от ошибок передачи высот на большие расстояния, и поэтому значения градиентов равнозначны в любой части изучаемого района.

Таким образом, отпадает трудоемкий процесс уравнивания сети повторного нивелирования, что важно для изучения вертикальных движений земной коры на обширных территориях. На картах градиентов четко проявляются активные геологические структуры. Как правило, зоны максимальных градиентов совпадают с зонами "живых" разломов [1, 4].

Метод градиентов имеет ряд преимуществ перед методом скоростей для районов, где существуют вертикальные движения большой интенсивности.

Обобщенная карта вертикальных движений может быть обогащена врезками карт градиентов активных районов, выполненных в наглядном масштабе. Однако метод градиентов находится пока в стадии исследований и требует дальнейшей детальной отработки.

Несомненно, что новая карта вертикальных движений земной коры Европейской части СССР, Кавказа, Закавказья, Урала, юга Западной Сибири, Казахстана и Средней Азии внесет новый вклад в развитие наук о Земле, так как в мировой практике еще не составлялось подобных карт.

ABSTRACT

Some of the main tasks occurring at compilation of the map of recent vertical crustal movements on the territory of Trans-Caucasus, Kazakhstan and Central Asia are formulated. The ways of possible solution of these tasks are shown.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колмогорова П.П. Изучение современных вертикальных движений земной коры Сибири: Автореф. канд. дис. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1977.
2. Thurm H. Ableitung von Gradienten rezenter vertikaler Erdkrustenbewegungen für das Gebiet der DDR. — Petermanns Geogr. Mitt., 1971, Bd. 115, N. 2.
3. Матцкова В.А. Карта градиентов скорости современных вертикальных движений земной коры Европейской части СССР и исследования периодичности движений. — В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1973, № 5.
4. Meschchersky I.N., Korokina T.P. Some evidence of recent vertical movements of the Earth's surface in the USSR. — In: XVI Gen. Assembly IUGG (IAG). Grenoble, 1975. Moscow: 1975.

УДК 528.9:551.24

Д.А. ЛИЛИЕНБЕРГ

ОПЫТ КОМПЛЕКСНОГО КАРТИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИКИ (на примере Азербайджанской ССР)

Изучение современных тектонических движений в последние годы показало, что проявления геодинамики земной коры весьма многообразны по своему типу и сложны по механизму возникновения. Поэтому их исследования неизбежно должны носить комплексный междисциплинарный характер, так как любой односторонний подход может привести к ошибочным выводам [1].

Многообразие проявлений современной геодинамики требует также использования различных методических приемов, среди которых особое место занимает картографический метод. Он был признан одним из главных научных направлений международного исследовательского проекта "Изучение современных движений земной коры", принятого еще в 1962 г. Картографический метод обладает широкими возможностями: это метод обобщения проявлений современной геодинамики и одновременно форма их картографического отображения, служащая в свою очередь объектом самостоятельного научного анализа. Метод допускает как комплексный (синтетический), так и аналитический под-

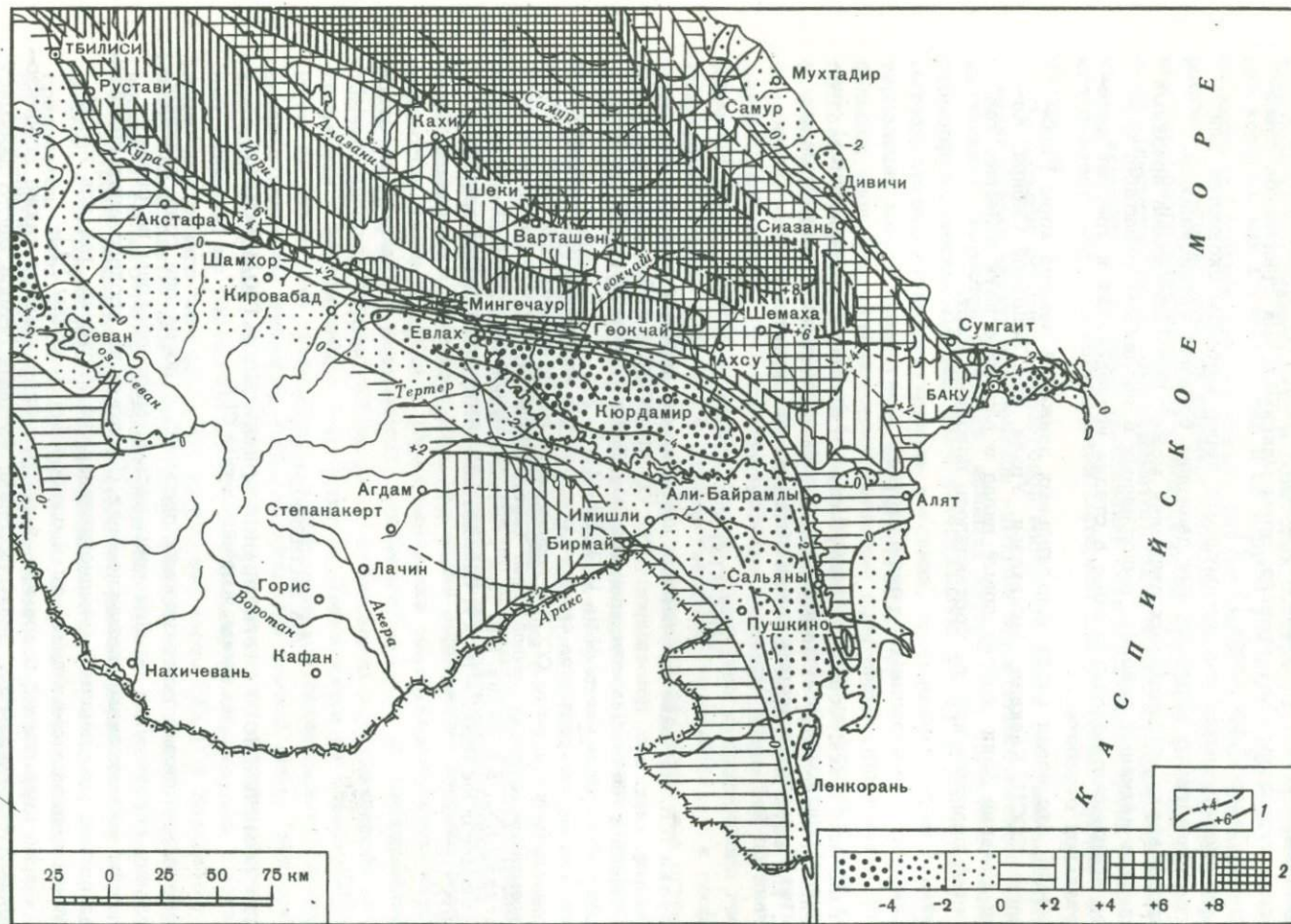


Рис. 1. Карта современных вертикальных движений Азербайджанской ССР для периода с 1910-1914 по 1949-1953 гг. Составили Д.А. Лилиенберг и В.А. Матцкова

1 - изолинии скоростей современных движений, мм/год; 2 - зоны современных движений различной интенсивности, мм/год

ход. Он равно применим для изучения общих закономерностей современной геодинамики и ее частных проявлений или отдельных элементов и их взаимосвязей, что обеспечивает объективность и надежность результатов исследований.

Таким образом, наибольшую научную эффективность дает комплексное картирование современных тектонических движений. Однако, как показывает опыт различных стран, именно комплексность чаще всего отсутствует в практике составления карт современной геодинамики. Обычно карты разного типа создаются не в виде взаимосвязанной серии на одну и ту же территорию, а разрабатываются независимо и разрозненно для различных регионов [2]. Исключения составляют ГДР, некоторые области СССР, США и Японии.

Наибольший опыт комплексного картирования современных тектонических движений в СССР накоплен для территории Восточного Закавказья, где серия взаимосвязанных разнотипных карт была создана первоначально для старейшего в нашей стране Апшеронского геодинамического полигона [3-5], а затем для всего Азербайджана в целом [6, 7].

Выбор территории Азербайджана в качестве своего рода модельной области для комплексного картирования современной геодинамики не случаен. В альпийском орогенном поясе Юго-Восточной Европы это наиболее подвижный регион, выделяющийся максимальными амплитудами новейших, четвертичных и современных тектонических движений, отличающийся сложной морфоструктурной дифференциацией [6, 8]. Он известен своей нефтегазоносностью, грязевым вулканизмом, высокой сейсмичностью. Кроме того, это интересный объект с позиций новой теории литосферных плит: здесь происходит подвиг Куринской микроплиты под сближающиеся края Евроазиатской и Аравийской плит.

Азербайджан и Восточное Закавказье хорошо изучены в геоморфологическом, геологическом и геофизическом отношении, имеют развитую сеть повторного нивелирования, привязанную к равномерным пунктам Каспийского и Черного морей [6-8]. Поэтому комплексное изучение современной геодинамики, проводившееся здесь Институтом географии АН СССР при участии ЦНИИГАиК и Института географии АН АзССР позволило составить серию взаимосвязанных карт современных тектонических движений и геолого-геоморфологических критериев площадной дифференциации их полей как разнопланового синтеза общих закономерностей и основы дальнейшей интерпретации. Карты составлены в масштабах 1:1 000 000 - 1:2 500 000 и представлены следующими типами.

1. *Карты медленных вертикальных движений* (рис. 1, 2) составлены в масштабе 1:1 000 000. Штриховкой на них показаны интенсивность и направленность современных вертикальных движений. Основные изолинии величин скоростей проведены через 2 мм/год, дополнительные - через 1 мм/год.

Инструментальной основой количественной оценки современных тектонических движений явились геодезические и океанографические данные [6, 8-10]. Материалы повторного нивелирования I и II классов были обработаны по методике ЦНИИГАиК [В.А. Матцковой], результаты равномерных измерений на побережье Каспия - по методике ГОИН С.В. Победоносцевым [10]. Для анализа использовались линии повторного нивелирования Тбилиси-Баку-Дербент, Нахичевань-Евлах, Нахичевань-Аляты, Алибайрамлы-Астара, Алибайрамлы-Пушкино-Евлах, Евлах-Закаталы-Кировабад и некоторые другие. В качестве опорного равномерного пункта с длиннорядным циклом наблюдений использовался Баилковский футшток в г. Баку, а также данные мареографов за более короткие интервалы времени в Сумгаите, о-ве Артема, Низовой, о-вах Жилом, Дуванном, устье Куры, Ленкорани и Астаре.

Поскольку материалы инструментальных измерений не дают прямой оценки тектонических движений, а отражают широкий спектр воздействий различных природных факторов, то их предварительные результаты были подвергнуты геолого-геоморфологической фильтрации. С этой целью большинство геодезических знаков и равномерных постов были обследованы в поле Д.А. Лилиенбергом и Г.А. Кошкиной по методике Института географии АН СССР [3, 6, 9].

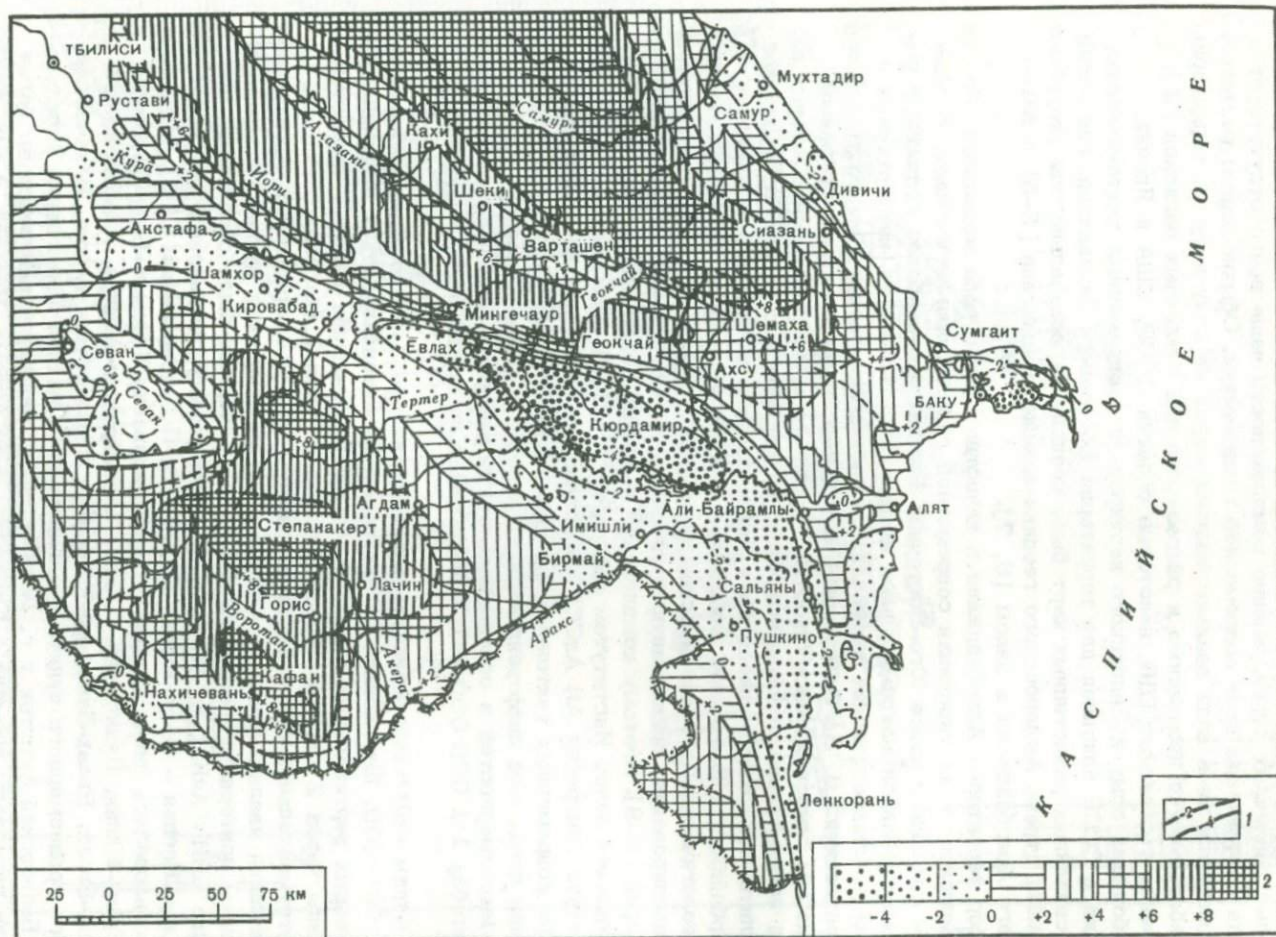


Рис. 2. Уточненная карта вертикальных движений Азербайджанской ССР для периода с 1949-1953 по 1970-1973 гг. Составили Д.А. Лилиенберг и В.А. Матцова
Условные обозначения см. на рис. 1

Неустойчивые знаки из дальнейших расчетов исключались, данные относительно устойчивых — корректировались, частично также исключались. Площадная интерпретация полей современных вертикальных движений производилась на морфо-структурной основе (как наиболее объективной и опосредствующей структурные неоднородности земной коры) с учетом данных о проявлении в рельефе новейших, четвертичных и исторических движений. На общий фон карты наносились тектонические разломы, современная активность которых была зафиксирована геодезическими или сейсмологическими данными.

В качестве приложений к картам были составлены комплексные профили современных тектонических движений, которые позволили выявить конкретные взаимосвязи между современными и новейшими движениями, морфоструктурами разного порядка, геологическим строением. Эти взаимосвязи удалось проследить как для продольных (Белоканы—Шеки, Тбилиси — Евлах—Аляты, Нахичевань—Аляты), так и поперечных морфоструктур (Самур—Баку—Алибайрамлы—Астара, Евлах—Пушкино, Шеки—Агдам—Нахичевань, Закаталы—Кировабад).

Наличие нивелировок за разные годы позволило составить карты современных вертикальных движений для двух эпох: с 1910—1914 по 1949—1953 гг. (см. рис. 1) и с 1949—1953 по 1970—1973 гг. (рис. 2). Хотя обеспеченность линиями нивелировок этих карт и неодинакова, тем не менее они выявили определенные изменения интенсивности вертикальных движений при общей сохранности их тенденций для крупных морфоструктурных областей (Большого и Малого Кавказа, Куринской впадины и т.п.) [8—10].

Как показывает опыт, накопленный на примере Восточного Закавказья, составление разнопериодных поэтапных карт вертикальных движений является обязательным требованием при комплексном картировании современной геодинамики. Можно считать установленным, что линейная модель современных тектонических движений в общих чертах справедлива лишь для вековой тенденции. Для более коротких периодов времени отмечается изменение интенсивности или даже знака движений. Поэтому, скажем, для целей прогноза сейсмичности очень важно установить точное время накопления напряжений в земной коре, которые могут получить разрядку в виде землетрясений различной магнитуды. Однако подобный анализ невозможен без наличия разновременных поэтапных карт.

Примером такого анализа может служить Апшеронский полуостров, для которого в последнее время составлено четыре поэтапные карты современных вертикальных движений для периодов с 1910—1912 по 1928 гг., с 1928 по 1955—1963 гг., с 1910—1912 по 1973—1974 гг. и 1972—1974 гг. [3, 4]. Анализ комплексных профилей современной геодинамики, приложенных к картам Восточного Закавказья, показывает, что вертикальные движения обладают колебательно-волновой природой с периодом порядка 30 лет и поперечником волн в 250—300 км, которые перемещаются с запада на восток вдоль Закавказского межгорного прогиба и с которыми связаны перемещения региональной сейсмической активности [8].

2. *Карты градиентов вертикальных движений* составлены в масштабе 1:2 500 000. Метод градиентов скоростей ($\text{grad } V$) обладает определенным преимуществом по сравнению с методом уравнивания величин скоростей. Прежде всего, величины градиентов получаются из первичных измерений относительных скоростей движений и поэтому свободны от последующих искажений за счет уравнивания. Следовательно, значения градиентов являются равнозначными в любом пункте нивелирной сети. Однако метод градиентов, в свою очередь, не свободен от ошибок за счет разнопериодичности между нивелировками, как это часто считают.

Для Восточного Закавказья было составлено два варианта карты градиентов скоростей: в миллисекундах/год (мс/год) (В.А. Матцковой) и в мм/год на км (Д.А. Лилиенбергом). Для первого варианта значения градиентов вы-

числялись по формуле: $\text{grad } V = \frac{V_1 - V_2}{S_{1-2}} \rho$ с точностью до 0,001 с/год, что

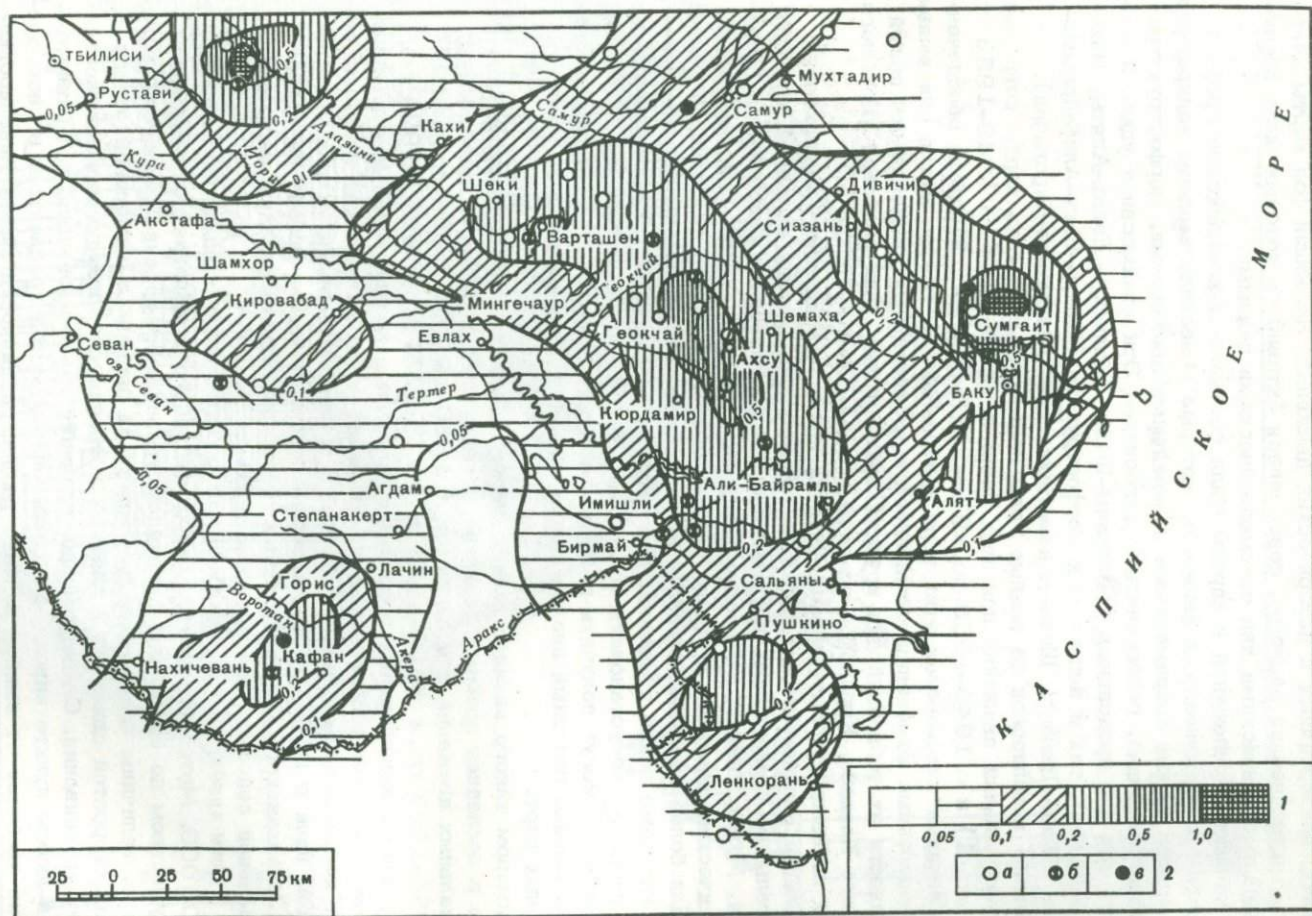


Рис. 3. Карта быстрых (мгновенных) современных движений Азербайджанской ССР [11]
 1 - сейсмическая активность A_{10} ; 2 - эпицентры землетрясений (а, б, в - соответственно 12, 13, 14 класса)

соответствует изменению скорости в 1 мм/год на расстоянии 100 км между знаками. Эти значения были записаны в форме $1 \cdot 10^{-8}$ год⁻¹ в общепринятой системе и нанесены на карту. Они дают представление о динамике и контрастности движений крупных блоков земной коры. В целом значения градиентов изменяются на территории Восточного Закавказья от 0,001 до 0,143 с/год.

На карте были использованы следующие значения градиентов величин скоростей (см. рис. 2): 1) от 0,000 до 0,011 с/год, 2) от 0,012 до 0,030, 3) от 0,031 до 0,070 и 4) более 0,070 с/год, которые позволили выделить четыре типа регионов. При этом достаточно отчетливо устанавливается, что морфоструктуры аккумулятивных равнин и эрозионно-денудационных плоских горных систем характеризуются минимальными градиентами скоростей, обычно не превышающими 0,030 с/год. Для горных регионов преобладают наибольшие величины градиентов. Максимальные градиенты свойственны пограничным зонам горных систем, отличающимся повышенной контрастностью вертикальных движений, а также зонам активизированных тектонических разломов.

Карты градиентов вертикальных движений так же, как карты скоростей движений и комплексные профили, фиксируют в целом блоковое строение земной коры Восточного Закавказья, на фоне которого складчатые деформации носят локальный характер.

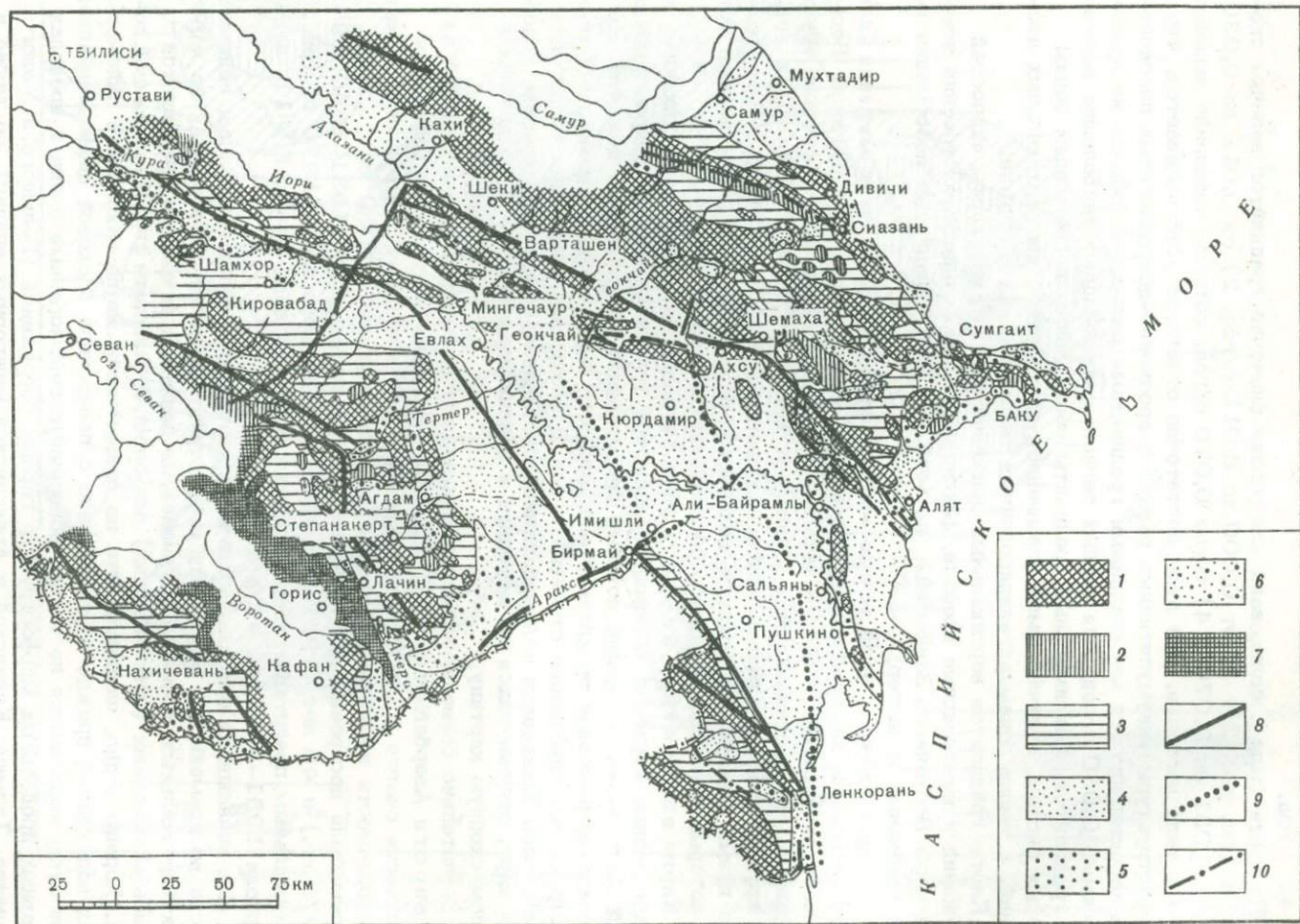
3. *Карты быстрых* (или точнее — мгновенных) *тектонических движений* дают разностороннюю характеристику проявления сейсмичности на территории Восточного Закавказья. Наиболее детально они разработаны для территории Азербайджана, где составляются в масштабах 1:1 000 000–1:2 500 000, а также крупнее и в виде мелкомасштабных картосхем [11, 12; и др.]. В настоящее время разработано большое количество разновидностей сейсмических карт, из которых наиболее важными представляются следующие.

Карты эпицентров землетрясений различных энергетических классов и для разных периодов наблюдений являются традиционными и содержат обильный фактический материал, который представляет определенную ценность для анализа взаимосвязи проявлений сейсмичности с различными элементами морфоструктуры, глубинного строения и т.п. В настоящее время для территории Восточного Закавказья и Азербайджана составлено большое количество подобных карт, отличающихся по методике и принципам построения, но дающих в целом сходную картину.

Значительно более информативными являются карты сейсмической активности Азербайджана [11, 12]. Они строились методом нормирования плотности очагов землетрясений определенного энергетического класса и их повторяемости на единицу площади (в данном случае — 1000 км^2). Такие карты были построены для периодов времени порядка 20 (1931–1950, 1951–1970 гг.) и 40 лет (1931–1970 гг.). Для периода 1931–1970 гг. (рис. 3) минимальным представительным классом землетрясений явился $K > 11$, а для периода 1951–1970 гг. — $K \geq 12$ [12].

Как показывает сопоставление этих карт, существуют флуктуации сейсмичности во времени для различных морфоструктурных зон. Так же как на картах вертикальных движений и градиентов движений отчетливо проявляется связь мгновенных (сейсмических) движений с блоковым строением земной коры. Хорошо видно, например, что на современном этапе накопление сейсмогенных напряжений прежде всего связано с поперечной блоковой дифференциацией. При этом выделяются не только поперечные сейсмогенные блоки в пределах главных продольных морфоструктур горных сооружений (Большого и Малого Кавказа, Тальша, Куринской и Араксинской межгорных впадин), но также и трансрегиональные блоки, охватывающие как горные, так и межгорные морфоструктурные зоны [6, 8, 9].

На базе рассмотренных выше карт и с учетом других сейсмических параметров была построена также серия прогнозных карт: возможных максимальных землетрясений, сотрясаемости, сейсмического районирования и др.



4. *Морфоструктурная карта* является одной из основных для интерпретации современных тектонических движений разного типа с особенностями строения рельефа и земной коры. Если все остальные карты представляют по своей сути аналитические, специализированные произведения, то морфоструктурная карта выступает в качестве синтетического, комплексного, обобщающего произведения. На ее базе возможно выявление разносторонних взаимосвязей и соотношений современной геодинамики с гетерогенными и разновозрастными структурными элементами, получившими прямое выражение в современном рельефе, т.е. отражающими тенденции наиболее поздней перестройки и наиболее молодой активизации движений.

В основу морфоструктурной карты Восточного Закавказья и Азербайджана в масштабах — 1:1 000 000–1:2 500 000 (рис. 4) положено изображение морфоструктур разного типа, возраста и ранга, характеризующих горные сооружения Большого и Малого Кавказа, Тальша, Куринского межгорного прогиба, прилегающих акваторий впадин Южного и Среднего Каспия. Системой значков показаны отдельные морфоструктурные элементы, а также реакция экзогенных рельефообразующих процессов на молодые тектонические движения.

Как горные, так и межгорные морфоструктуры представляют гетерогенные образования. Их единство окончательно оформилось на неотектоническом этапе, причем ведущую роль в этот период играли продольные морфоструктуры, а поперечная дифференциация выступала как бы вторым планом. Однако в течение неотектонического этапа отчетливо проявлялась продолжающаяся перестройка структурного плана, смена продольных ("кавказских") и поперечных ("каспийских") движений. Современная геодинамика унаследовала эти тенденции, и в последние десятилетия мы наблюдаем отчетливую активизацию поперечных блоковых морфоструктур. Поэтому при построении прогнозных карт геодинамики, особенно сейсмичности, следует обязательно учитывать вариации интенсивности и смены ориентации современных тектонических движений.

С позиций новой теории литосферных плит интенсивные воздымания горных сооружений Большого и Малого Кавказа обусловлены дивергенцией Евроазиатской и Аравийской плит, в зоне сближения которых оказалась Куринская микроплита, испытывающая известный двусторонний поддвиг. Вполне естественно, что этот процесс сопровождался активными разноплановыми горизонтальными перемещениями.

Следствием этого является приуроченность ряда относительно глубоких очагов землетрясений к поверхности наклонных блоков кристаллического фундамента, а поверхностных очагов — к подошвам шарьяжных пластин, что хорошо прослеживается на Юго-Восточном Кавказе.

Интересно, что область интенсивного грязевого вулканизма характеризуется значительными вертикальными движениями, но относительно слабой сейсмической активностью. Видимо, возможность пластических деформаций в форме диапиризма и периодические извержения грязевых вулканов служат своеобразным механизмом снятия больших напряжений в земной коре.

5. *Поэтапные карты неотектонических движений* позволяют раскрыть конкретную динамику и перестройку морфоструктур на отдельных этапах позднеальпийского развития, а также установить степень унаследованности или новообразованности современных тектонических движений. Территория Азербайджана

Рис. 4. Морфоструктурная карта Азербайджанской ССР. Составили Д.А. Лилиенберг и Н.Ш. Ширинов

Морфоструктуры: 1–3 — положительные: 1 — прямые (по отношению к структуре чехла), 2 — обратные, 3 — переходного типа; 4–6 — отрицательные: 4 — прямые, 5 — обратные, 6 — переходного типа; 7 — лавовые покровы и пирокластиты с установленным характером развития (в новейшем этапе); 8, 9 — разломы: 8 — глубинные, 9 — погребенные; 10 — разрывы в осадочном чехле

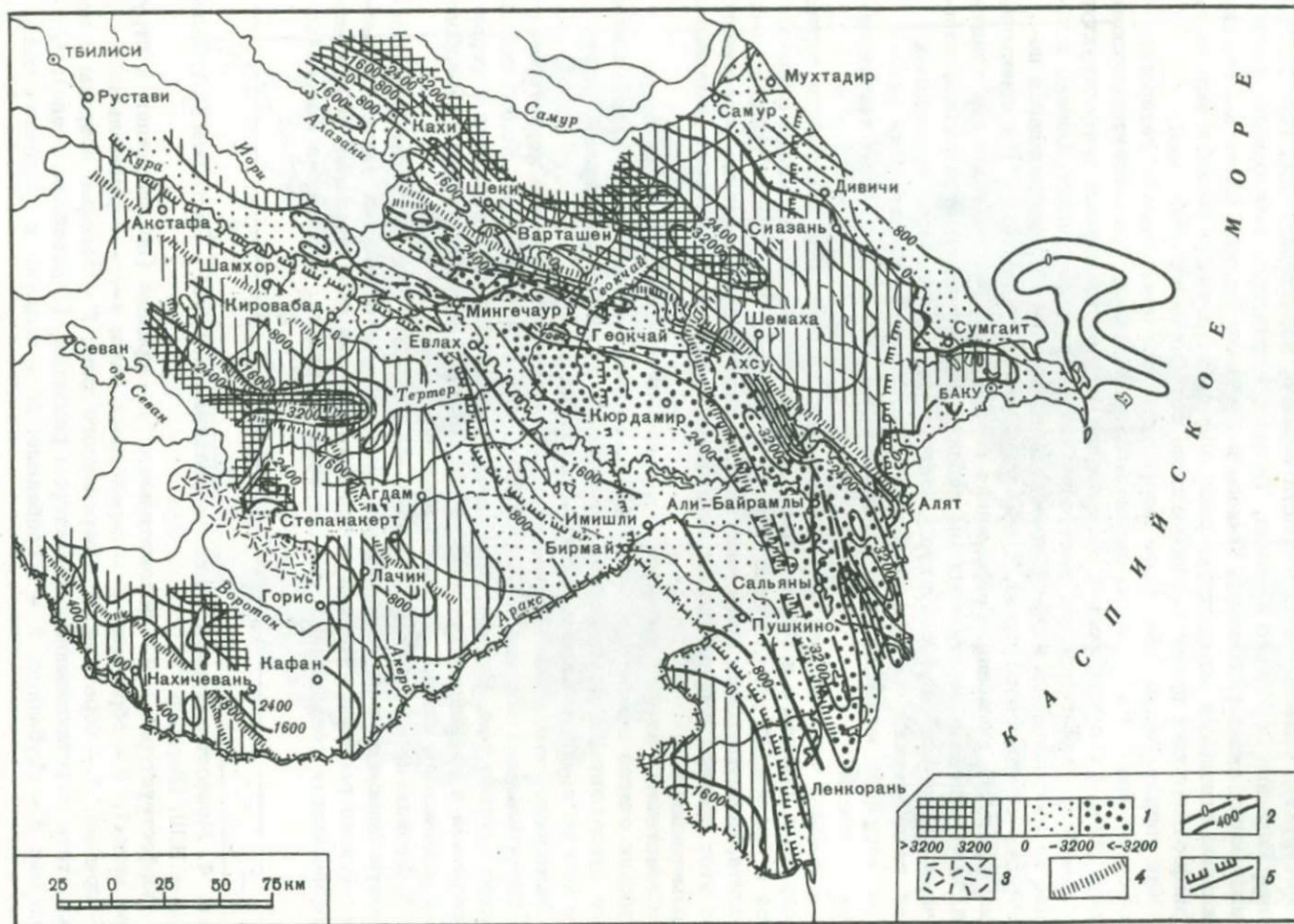


Рис. 5. Карта неотектонических движений Азербайджана [13]

1 - амплитуды суммарных доакчагыльских деформаций (поднятия и опускания, м); 2 - изолинии новейших движений, м; 3 - покровы новейших вулканических лав; 4 - глубинные разломы; 5 - флексуры, разрывы (сбросы, взбросы, надвиги)

на явилась как бы моделью для построения целого ряда неотектонических карт в разных масштабах [13, 14]: суммарных (неоген-четвертичных) тектонических движений (рис. 5), движений отдельных этапов плиоцена (акчагыл, апшерон и др.), за четвертичное время, а также относительной тектонической активности. Все это — прекрасный фактический материал для анализа различных типов взаимосвязей.

6. *Карты глубинного строения и системы разломов различного возраста и глубины заложения*, позволяющие уточнить блоки земной коры и корни участков современной активизации, представляют особую ценность. Подобные карты показали прямую взаимосвязь современных движений не только с дифференциацией земной коры, но и с верхней мантией [1].

Резюмируя все изложенное выше, следует еще раз подчеркнуть, что опыт комплексного картирования современной геодинамики Восточного Кавказа еще раз показал всю сложность процесса современного геотектогенеза, его разностронние связи с различными геологическими, геоморфологическими, геофизическими и другими явлениями, известную унаследованность от древних этапов развития, тенденции новообразования и т.д. Комплексный подход к этой проблеме требует создания не просто серии разных типов карт, но серии взаимосвязанных карт, объединенных единой целевой направленностью и взаимно дополняющих друг друга. Как показывает практика, механическое сопоставление разнотипных карт, не объединенных научно-методическим единством, не дает существенного эффекта в объяснении и понимании механизма современной геодинамики и ее прогноза. В перспективе задача картирования современных тектонических движений отдельных регионов требует создания научных обобщений нового типа — в форме комплексных атласов современной геодинамики.

ABSTRACT

To reveal general regularities of modern tectonics compilation of a series of maps and not of a single one is most effective since only a complex approach can ensure objective and reliable conclusions. In this respect the territory of Azerbaidjan is of specific interest for it is a highly-dynamic in the alpine orogenous belt, sufficiently well and comprehensively studied. The article describes a series of mutually-connected maps and the bases of their further interpretation.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лилиенберг Д.А. Современные тектонические движения и их связь с морфоструктурами. — В кн.: Актуальные вопросы советской географической науки. М.: Наука, 1972.
2. Lilienberg D., Setunskaya L. Maps of modern geodynamics of the relief and their significance for morphostructural analysis. — In: Intern. Conference of Geomorphologic Mapping. Budapest, 1977.
3. Лилиенберг Д.А., Мещерский И.Н. Современные тектонические движения и морфоструктурные особенности Апшеронского полуострова. — В кн.: Современные движения земной коры. М.: 1968, вып. 4.
4. Яценко В.Р. Исследование современных вертикальных движений земной коры геодезическим методом на территории Апшеронского полуострова: Автореф. канд. дис. Баку: Азерб. ун-т, 1975.
5. Лилиенберг Д.А., Ахмедбейли Ф.С., Гусейнзаде О.Д. и др. Научные результаты и перспективы изучения современных тектонических движений на геодинамических полигонах Азербайджана. — В кн.: Современные движения земной коры: Тез. докл. VII Всесоюз. совещ. М.: 1977, вып. 2.
6. Лилиенберг Д.А. Современные тектонические движения и морфоструктурные особенности Восточного Кавказа и Закавказья. — В кн.: Современные движения земной коры. М.: Изд. АН СССР, 1963.
7. Лилиенберг Д.А., Кулиев Ф.Т., Мусеилов М.А. и др. Карты современных тектонических движений и морфоструктур Азербайджана. — В кн.: Современные движения земной коры: Тез. докл. VII Всесоюз. совещ. М.: 1977, вып. 2.

8. Лилиенберг Д.А. Современные тектонические движения Кавказа. — В кн.: Общая характеристика и история развития рельефа Кавказа. М.: Наука, 1977.
9. Лилиенберг Д.А., Матцкова В.А., Горелов С.К. и др. Карта современных вертикальных движений и морфоструктурные закономерности Кавказа. — В кн.: Проблемы современных движений земной коры. — Тр. III Междунар. симпоз. М.: Наука, 1969.
10. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы (1:2 500 000). М.: ГУГК, 1973.
11. Кулиев Ф.Т., Каспаров В.А. Карты сейсмической, неотектонической активности и $K_{\text{тах}}$ Азербайджанской ССР. — В кн.: Вопросы сейсмического режима. Кишинев: Штиница, 1973.
12. Кулиев Ф.Т., Каспаров В.А. Сейсмичность Восточного Кавказа и акватории Каспия. — В кн.: Материалы научной конференции по изучению сейсмичности и глубинного строения Азербайджана. Баку: Элм, 1974.
13. Агабеков М.Г., Ахмедбейли Ф.С. и др. Неотектоническая карта Азербайджанской ССР. Баку: Изд. АН АзССР, 1972.
14. Ширинов Н.Ш. Развитие морфоструктур Кура-Араксинской депрессии на неотектоническом этапе. — Геоморфология, 1973, № 1.

УДК 528.9:551.24

Д.А. ЛИЛИЕНБЕРГ, Л.Е. СЕТУНСКАЯ
ПРОБЛЕМЫ СОДЕРЖАНИЯ, ТИПОЛОГИИ И МЕТОДИКИ
СОСТАВЛЕНИЯ КАРТ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ

Одним из главных научных результатов исследований и одновременно методом изучения современных тектонических движений являются карты динамики земной коры. Среди них выделяются карты современных вертикальных движений земной коры. Первые такие карты были составлены по данным уровневых наблюдений на побережье Балтийского моря в конце прошлого — начале настоящего столетия [1–5]. Позднее также по уровневым данным составлялись и другие карты — Балтийского побережья и обширной области всей Фенноскандии. Наибольшую известность среди них приобрели карты Б. Гутенберга [6] и Р. Виттинга [7].

В конце 40-х — начале 50-х годов были опубликованы первые карты современных вертикальных движений, составленные по материалам анализа повторного нивелирования. Среди них отметим карту Апшеронского полуострова, составленную в СССР на основании данных нивелирования 1910–1912 гг. и 1928 г. [8], карты Финляндии [9], Нидерландов [10]. В этот же период были опубликованы карты современных вертикальных движений Японии, где так же, как и в Скандинавских странах, был накоплен большой материал по современным деформациям земной коры [11, 12].

Событием немаловажного научного значения было создание в Советском Союзе "Карты современных вертикальных движений западной половины Европейской части СССР" [13, 14]. Это была первая в мире карта столь обширной территории, базирующаяся на комплексе океанографических, геодезических, геолого-геоморфологических данных.

К настоящему времени в различных странах мира составлено и опубликовано большое количество карт современных движений земной коры отдельных районов, стран, групп стран. Среди них особое место занимает "Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы" в масштабе 1:2 500 000. Она создана в соответствии с международным исследовательским проектом "Современные движения земной коры" учеными восьми социалистических стран Европы и издана в СССР в 1973 г. Основными материалами для составления карты послужили данные уровневых наблюдений, результаты геодезических и геолого-геоморфологических исследований.

Анализ существующих карт показал, что выделяются следующие основные типы карт: 1) карты направленности современных движений (или качественной характеристики их тенденций); 2) карты амплитуд современных движений; 3) карты скоростей современных движений; 4) карты градиентов скоростей современных движений; 5) комплексные карты современных движений.

Карты направленности современных движений. Основным содержанием являются поля (или ареалы) разной направленности или относительной интенсивности движений. Отражая общую тенденцию современных движений и давая качественную характеристику их интенсивности, они не содержат конкретных количественных показателей. Они составляются либо при очень ограниченном количестве фактических данных о скоростях движений, либо при их полном отсутствии. Материалом для составления карт служат данные геолого-геоморфологических, ландшафтных, геофизических, археологических и других наблюдений. Существенным недостатком карт этого типа является также их несопоставимость друг с другом.

В качестве примера приведем карту "Основные тенденции современных тектонических движений в Румынии" (рис. 1), составленную румынскими учеными в середине 60-х годов [15]. На карте выделены ареалы с тенденцией современного поднятия и ареалы с тенденцией современного опускания по геолого-геоморфологическим, геофизическим и археологическим материалам. Другой пример — карта Заволжья, где на основании анализа форм рельефа и процессов рельефообразования выделены зоны современных поднятий и зоны современных опусканий [16].

На карте современных тектонических движений Западной Башкирии выделены контуры с разной относительной интенсивностью поднятий и опусканий, выделенные на основании анализа специально построенных морфометрических карт — изменения извилистости речных русел, уклонов русел [17].

Карты амплитуд современных движений. Основным исходным материалом для их составления — данные повторного нивелирования и уровневых наблюдений. Карты составляются, как правило, в изолиниях (реже — в векторах) и показывают амплитуду движений за определенный отрезок времени, соответствующий интервалу между двумя нивелированиями (уровневыми наблюдениями), т.е. базируются на количественных данных. В качестве примера приведем несколько карт амплитуд современных движений, составленных в изолиниях: карта Великобритании, где амплитуды современных движений даны (в см) за период с 1912–1921 по 1952–1956 гг. [18], карта Японии с амплитудами движений (в мм) за период с 1900 по 1928 г. [11], карта смещения земной поверхности (в мм) в районе Баскунчакского соляного купола за период с 1951 по 1958 г. (рис. 2) [19].

Своеобразный способ показа амплитуд вертикальных движений был применен на карте "Швейцарская государственная нивелирная сеть. Разница в высотах пунктов нивелирования за последние 50 лет", составленной Швейцарской государственной топографией в 1975 г. Высотные смещения реперов в миллиметрах за 50 лет показаны столбиками, построенными в масштабе и поставленными на карте в соответствующих пунктах. Карта довольно наглядна. Четко выделяется область значительных поднятий (к югу от линии Люцерн — Санкт-Галлен), соответствующая зоне преобладания кристаллических пород, слагающих Альпы и их предгорья, и область относительно стабильная (к северу от этой линии), характеризующаяся развитием молассов.

Основной и существенный недостаток карт амплитуд движений — их несопоставимость между собой. Интервалы времени между нивелированиями не только отдельных линий в разных районах, но и подчас смежных участков одной линии неодинаковы, поэтому амплитуды движений даже в пределах карты одного региона оказываются не приведенными к единому периоду.

Тем не менее в отдельных случаях при региональных исследованиях, когда не ставится задача сопоставления современного тектонического режима разных территорий, карты амплитуд движений могут иметь несомненное преимущество перед картами скоростей движений. Амплитуды движений представляют

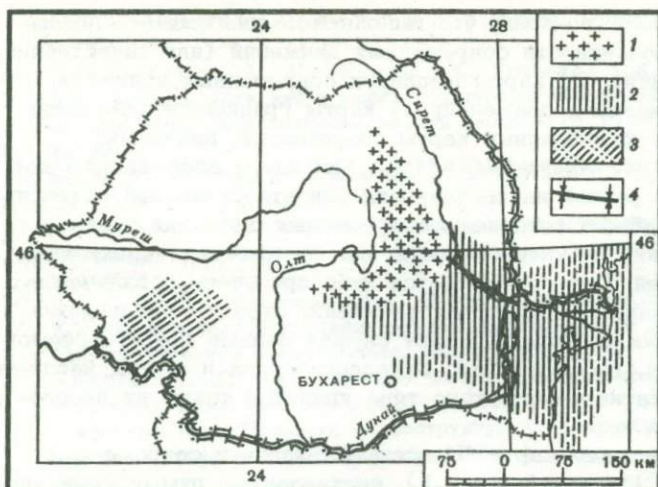


Рис. 1. Основные тенденции современных тектонических движений в Румынии [15]

1 — поднятия; 2 — опускания; 3 — зона активной складчатости; 4 — осевая линия максимального опускания

собой вполне объективный фактический материал. При расчете же скоростей движений условно принимается, что движения за рассматриваемый период были однонаправленными и равномерными, что в действительности имеет место далеко не всегда и не везде.

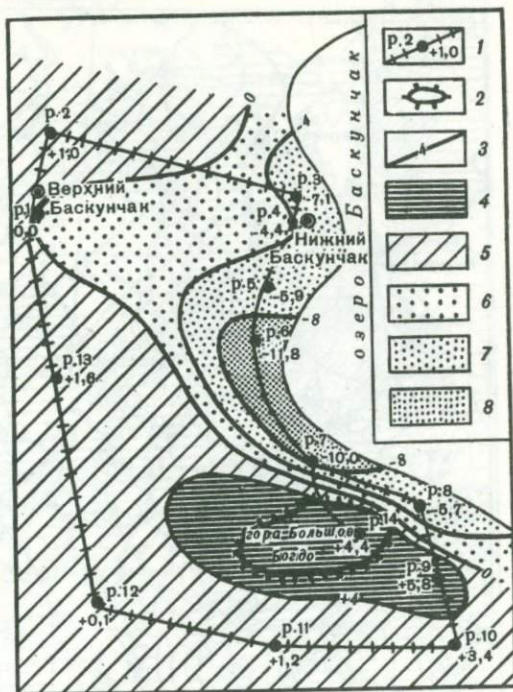
Карты скоростей современных движений. Исходным материалом для их составления служат чаще всего комплексные данные: повторного нивелирования, уровневых наблюдений, геолого-геоморфологического анализа, реже одни только геодезические измерения. По своему содержанию карты этого типа являются наиболее информативными и распространенными. Они дают комплексную (качественную и количественную) характеристику полей современных движений, их площадную дифференциацию, интенсивность, направленность, что обеспечивает возможность широкого использования и интерпретации содержания этих карт смежными науками о Земле. Существуют довольно упрощенные карты скоростей движений, на которых даны скорости движений лишь отдельных пунктов; последними чаще являются уровневые посты. По существу, это рабочие карты фактического материала, который может быть использован в дальнейшем для составления карт полей современных движений.

Наиболее распространены карты скоростей современных движений в изолиниях. Их геодезической основой являются сети повторного нивелирования, для пунктов которых определены скорости движений, выражаемые, как правило, в мм/год (иногда скорости движений приводятся к иным интервалам — 10 или даже 100 лет). Существуют различные методики обработки исходных геодезических данных и проведения изолиний. Однако по своему содержанию и способам передачи явлений все эти карты однотипны. В качестве примера укажем на одну из первых карт скоростей движений, составленных в изолиниях, — карту Финляндии, построенную по данным повторного нивелирования и уровневых наблюдений [9]. Изолинии скоростей проведены через 0,2 мм/год. Другой пример — карта участка побережья Атлантики к югу от Филадельфии (окрестности Чесапикского залива) (рис. 3), построенная также по геодезическим и океанографическим данным с изолиниями через 0,4 мм/год [20]. Вплоть до начала 70-х годов, т.е. до выхода в свет "Карты современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы", упомянутая выше "Карта скоростей вертикальных движений западной половины Европейской части СССР" оставалась уникальной по охвату территории и по комплексности материалов, положенных в ее основу.

Чрезвычайно важен принцип, который кладется в основу реконструкции полей современных движений и проведения изолиний. На многих картах изолинии движений проводятся по чисто математическому принципу — линейной интерполяцией между пунктами внутри полигонов повторного нивелирования. Такой механистический подход является вредным, так как не связывает данные

Рис. 2. Современные тектонические движения района Баскунчакского соляного купола за период с 1951 по 1958 г. Составили Ю.А. Мещеряков и А.К. Певнев [19]

1 — линии повторного нивелирования; реперы, их номера и амплитуды смещений, мм (+1,6—11,8); 2 — контуры горы Большое Богдо; 3 — изолинии амплитуд движений, мм; 4, 5 — поднятия, мм: 4 — свыше 4; 5 — от 4 до 0; 6—8 — опускания, мм: 6 — от 0 до -4; 7 — от -4 до -8; 8 — свыше -8



о современных движениях с конкретными геологическими структурами, что приводит к ошибочной интерпретации их специалистами смежных наук — тектоники, геофизики, сейсмологии и др. Современные движения по своей сущности не отличаются от геологических движений других эпох. Поэтому реконструкция их площадной дифференциации и рисовка изолиний внутри полигонов повторного нивелирования должна проводиться на основе комплексного морфоструктурного анализа с учетом новейших и голоценовых движений, современных рельефообразующих процессов и т.п. Именно по такому принципу составлена карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы в масштабе 1:2 500 000 (рис. 4). По существу это первая карта, на которой дифференциация полей скоростей современных движений проведена на основе глубокого морфоструктурного анализа [21].

Известны опыты составления карт, где скорости и направленность движений показываются с помощью векторов. Однако этот прием распространен ограниченно и чаще применяется для передачи горизонтальных движений.

Карты градиентов скоростей современных движений. Исходным материалом при вычислении градиентов скоростей движений могут служить либо первичные данные — неуровненные значения скоростей, либо уравнированные значения скоростей, либо карты скоростей современных движений. Принципиальной разницы в использовании уравнированных или неуровненных значений скоростей нет, так как экспериментально доказано, что поправки, получаемые при уравнивании скоростей, не оказывают влияния на величину градиента, вычисленного с точностью до 0,001 с/год [22]. Метод градиентов практически свободен от ошибок, связанных с различиями в расстояниях между пунктами, для которых вычисляются градиенты. Как показали исследования Л.Н. Былинской и Ю.А. Мещерякова [23], колебания расстояний в пределах 3—50 км не сказываются заметно на величинах градиентов скоростей движений. Расстояния же, превышающие 50 км, встречаются не часто. Однако метод градиентов не исключает ошибок, возникающих в связи с различиями в периодах между нивелированиями.

Градиенты, вычисленные по картам скоростей движений, менее точны. Все обобщения, генерализация, присущие исходной карте, сказываются на величинах градиентов и, естественно, передаются на карту градиентов скоростей движений. По существу составленная таким путем карта является преобразованной картой скоростей движений.

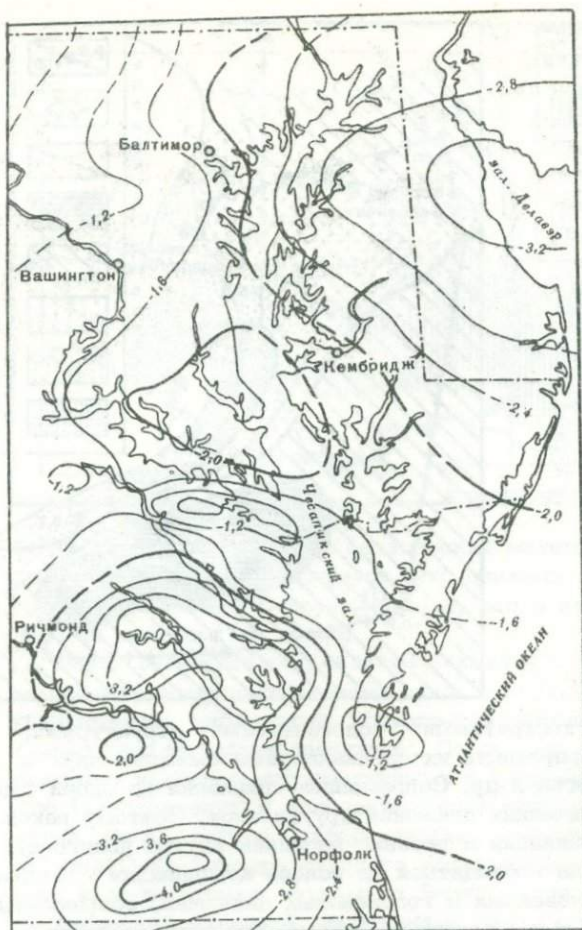


Рис. 3. Карта скоростей современных вертикальных движений (мм/год) побережья Атлантики к югу от Филадельфии [20]

Градиенты скоростей движений могут быть выражены в различных единицах: мм/год на км, угловых единицах – мс/год, с/год. Используются разные способы изображения величин градиентов движений – изолинии, ареалы, значки.

Карты градиентов скоростей вертикальных движений такого широкого распространения, как карты скоростей движений, пока еще не получили. Однако ряд интересных карт опубликован. Укажем в первую очередь на карту градиентов скоростей движений западной половины Европейской части СССР, составленную Л.Н. Былинской и Ю.А. Мешеряковым [23] расчетным путем по неуровненным значениям скоростей движений. Градиенты выражены в мс/год и показаны изолиниями с сплошной штриховкой градаций

(рис. 5). Аналогичным расчетным путем составлена карта градиентов скоростей движений В.А. Матцковой [22]. При ее составлении были учтены и все новые линии повторного нивелирования, выполненного и обработанного уже после работы Л.Н. Былинской и Ю.А. Мешерякова. Поэтому карта охватывает значительно большую площадь – ее границы продвинулись дальше на север и восток. Градиенты выражены в с/год и показаны ареалами (зонами) в основном вдоль линий повторного нивелирования. Значительные площади внутри полигонов остались "белыми пятнами".

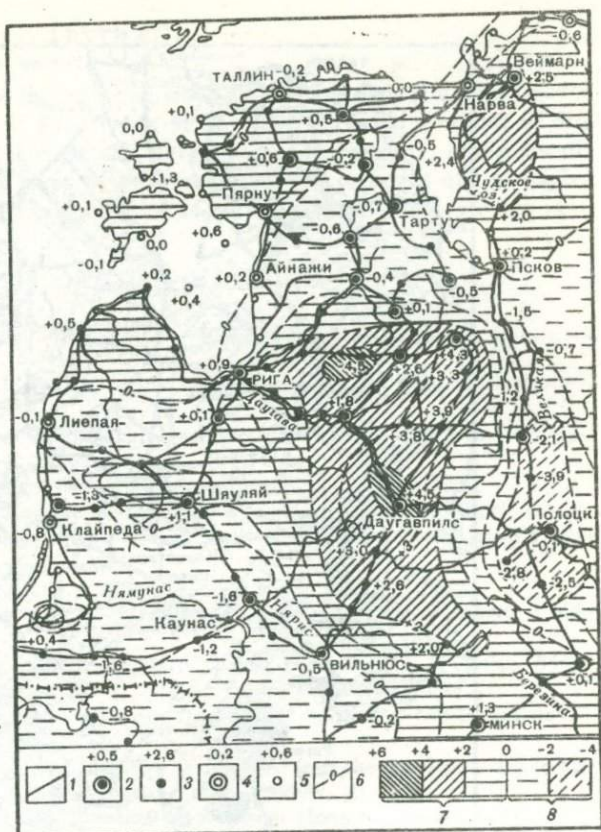
Опубликована карта градиентов скоростей [24], составленная графическим путем по "Карте современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы". Градиенты выражены в мм/год на 100 км и показаны способом цветного (штрихового) фона по градациям.

Определенный интерес представляет "Карта градиентов скоростей современных вертикальных движений ГДР", составленная расчетным путем по данным скоростей движений. Градиенты выражены в мм/год на км и показаны значками (равнобедренные треугольники). Вершина треугольника направлена в сторону увеличения градиентов, основание треугольника соответствует величине градиента, медиана треугольника – протяженности отрезка [25].

Карты градиентов скоростей движений имеют важное прикладное значение, в частности при сейсмическом районировании территории, при прогнозе сейсмичности. Важное значение имеет анализ градиентов при морфоструктурных исследованиях. Поэтому составлению карт градиентов скоростей движений должно быть отведено заметное место в комплексе исследований современных движений земной коры.

Рис. 4. Фрагмент "Карты современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы" (скорости в мм/год)

1 — линии повторного нивелирования; 2 — пункты, скорости которых уравнены совместно, и значения их скоростей; 3 — характерные пункты сети и их скорости; 4 — исходные уровнемерные пункты и их скорости; 5 — прочие уровнемерные пункты и их скорости; 6 — изолинии скоростей вертикальных движений; 7 — поднятия, мм/год; 8 — опускания, мм/год



Комплексные карты современных движений. Сочетают характеристику современных движений (интенсивность и направленность) с рядом других показателей — морфоструктурными условиями, проявлением современных экзогенных процессов, сейсмичностью, геофизическими полями, глубинным строением и др.

Существуют два пути показа современных движений в комплексе с другими тесно связанными с ними явлениями — это, с одной стороны, составление комплексных карт современных движений и, с другой — создание целостной серии тематических карт, которые в сумме дают комплексную характеристику современного тектонического режима.

В настоящее время комплексное картографирование современных движений находится в стадии разработки. Имеются отдельные комплексные карты (в основном достаточно простого содержания) сравнительно небольших территорий. Так, например, карты соотношения современных движений с миоценовыми и с плиоценовыми движениями [26]. Содержание карт составляют изолинии скоростей современных движений и контуры поднятий и опусканий миоценового (соответственно плиоценового) возраста с характеристикой их относительной интенсивности. Другим примером являются карты соотношения современных движений с гравитационным полем Донбасса, соотношения современных движений с тектоническим строением Белоруссии, приведенные в работе А.Т. Донбедова и В.А. Сидорова [27].

Примером комплексной карты с более полной и многосторонней характеристикой современной тектоники может служить карта современных тектонических движений Кавказа, составленная Н.В. Думитрашко и Д.А. Лилиенбергом [28]. На карте показаны районы проявления голоценовых и современных движений, выделенных по геолого-геоморфологическим признакам, и дана характеристика их относительной интенсивности, показаны скорости современных движений (по принятым градациям), амплитуды суммарных неотектонических движений, амплитуды плейстоценовых движений, эпицентры землетрясений. Таким образом, карта, отражая характер и интенсивность современных движений на территории Кавказа, в известной мере передает закономерности их проявления и связь с разновозрастными неотектоническими структурами.

Второй путь комплексной характеристики современных движений — это, как

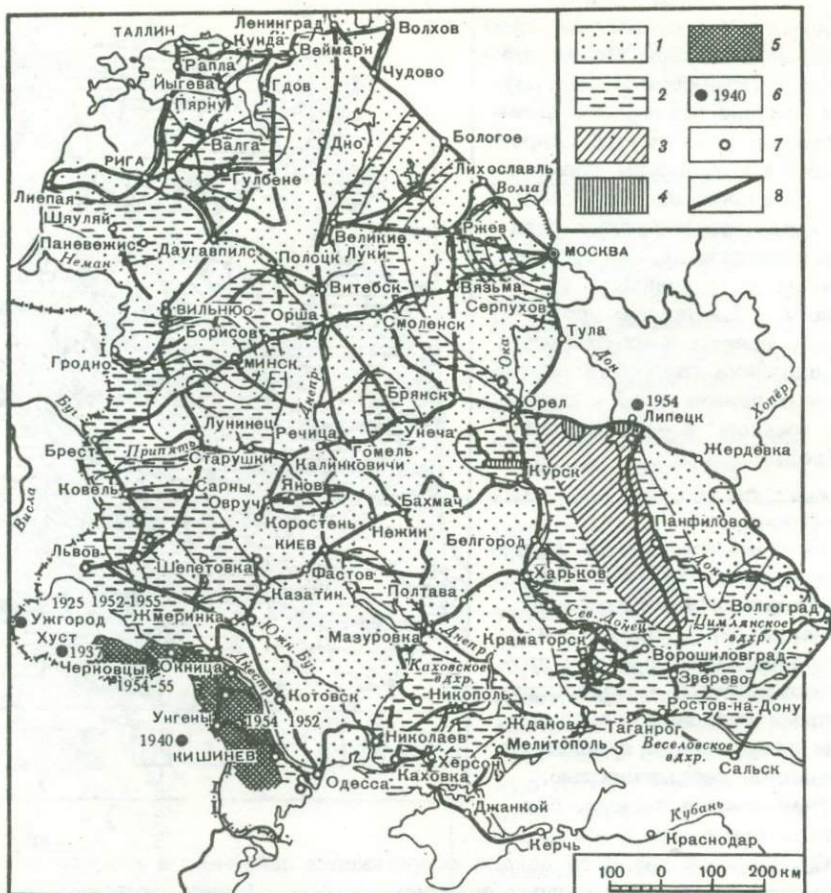


Рис. 5. Карта градиентов скоростей современных вертикальных тектонических движений западной половины Европейской части СССР. Составили Л.Н. Былинская и Ю.А. Мещеряков [23]

1-5 - величины градиентов в мс/год: 1 - 0-10, 2 - 11-30; 3 - 31-50; 4 - 51-90, 5 - 91-200; 6 - эпицентры землетрясений, зарегистрированных телесеизмической сетью, и год землетрясения; 7 - пункты, в которых ощущались землетрясения; 8 - линии повторного нивелирования

было отмечено выше, составление серии тематических карт на единой основе, в одном масштабе с единым подходом к изображению и генерализации явлений. Пока, насколько нам известно, имеется лишь один пример подобной серии, созданной немецкими учеными на территорию ГДР [29, 30]. Серия включает десять карт: 1) "Современные вертикальные движения земной коры"; 2) "Сеть повторного нивелирования и ее характеристика"; 3) "Геологическая карта"; 4) "Карта аномалий силы тяжести"; 5) "Карта магнитного поля движений"; 5) "Карта сейсмичности"; 7) "Карта градиентов скоростей современных движений"; 8) "Карта глубины залегания подошвы четвертичных отложений"; 9) "Карта линий повторного нивелирования со значениями скоростей в пунктах на северо-восточную часть ГДР"; 10) "Детальная карта современных движений на северо-восточную часть ГДР".

Карты вместе с текстом заслуживают положительной оценки. Однако существенным недостатком серии является отсутствие морфоструктурных и геоструктурных карт, карт новейших и голоценовых движений, карты современных экзогенных процессов. Следует продолжить разработку серий тематических карт, включив в них карты, позволяющие дать геолого-геоморфологическую и морфоструктурную интерпретацию современных движений.

ABSTRACT

On the basis of an analysis of the existing maps of recent vertical crustal movements their classification is given. Five types of maps are revealed as those of direction of movements, amplitudes of movements, velocities of movements, gradients of velocities of movements, complex maps of movements. Characteristics and examples of each type of maps are given. The importance of elaboration of complex maps is specifically emphasized.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sieger R. Seeschwankungen und Strandverschiebungen in Skandinavien. — Z. Ges. Erdk. Berlin, 1893, Bd. 28.
2. Blomqvist E., Renqvist H. Wasserstrandsbeobachtungen an den Küsten Finnlands. — Fennia, 1914, v. 37, N 1.
3. Witting R. Hafsyttan, geoidytah och landhöjningen utmed Baltiska hafvet och vid Nord-sjön. — Fennia, 1918, v. 39, N 5.
4. Witting R. Le soulèvement récent de la Fennoscandie. — Geogr. Ann., 1922.
5. Bergsten F. Changes of level on the coast of Sweden. — Geogr. Ann., 1930, H. 1.
6. Gutenberg B. Changes in sea level, postglacial uplift and mobility of the earth's interior. — Bull. Geol. Soc. Amer., 1941, v. 52.
7. Witting R. Landhöjningen récent de la Fennoscandie. — Geogr. Ann., 1922.
8. Бре́рман Г.Р. Геодезические высоты в связи с проблемой уровня Каспия. — Ме-теорол. и гидрол., 1947, № 1.
9. Kääriäinen E. On the recent uplift of the Earth's crust in Finland. — Fennia, 1953, v. 77, N 2.
10. Edelman T. Tectonic movements as resulting from the comparison of two precision levellings. — Geol. en mijnbouw, 1954, v. 16, N 6.
11. Miyabe N. Vertical earth movements in Japan as deduced from the results of rerunning the precise levellings. — Bull. Earthquake. Res. Inst., 1952, v. 30, pt 2.
12. Nakano T. Crustal movements and shoreline development along the Pacific coast of Japan since Holocene period: A report on the geomorphological studies of lowlands of Japan. — Bull. Geogr. Surv. Inst., 1954, v. 4, pt 1.
13. Современные вертикальные движения земной коры. М.: Геодеиздат, 1958. (Тр. ЦНИИГАиК; вып. 123).
14. Мещеряков Ю.А. Современные движения земной коры. — Природа, 1958, № 9.
15. Constantinescu L. Evidence of recent crustal movements in Roumania and problems facing their research. — In: Proc. of the 2-d Intern. Sympos. on Recent Crustal Movements. Helsinki, 1966.
16. Востряков А.В. Геолого-геоморфологические признаки проявления современных движений земной коры в южном Заволжье. — В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1965, № 2.
17. Рождественский А.П., Журенко Ю.Е. Современные тектонические движения Западного Приуралья и прилегающей части Южного Урала. — В кн.: Современные тектонические движения земной коры и методы их изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
18. Edge R.C.A. Some Considerations Arising from the Results of the Second and the Third Geodetic Levellings of England and Wales (Printed of XI Gen. Assembly IUGG), 1957.
19. Певнев А.К. Результаты повторного нивелирования в районе Баскунчакского соляного купола. — В кн.: Современные движения земной коры и методы их изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
20. Meade V.K. Geodetic surveys for monitoring crustal movements in the United States. — Tectonophysics, 1975, v. 29.
21. Лилиенберг Д.А., Сетунская Л.Е., Благоволин Н.С. и др. Морфоструктурный анализ современных вертикальных движений Европейской части СССР. — Геоморфология, 1972, № 1.
22. Матцкова В.А. Карта градиентов скорости современных вертикальных движений земной коры Европейской части СССР и исследования периодичности движений. — В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1973, № 5.
23. Былинская Л.Н., Мещеряков Ю.А. О связи градиентов скоростей вертикальных тектонических движений земной поверхности с сейсмичностью на примере западной половины Европейской части СССР. — Докл. АН СССР, 1964. т. 154, № 3.

24. Гофштейн И.Д. Карта градиентов скоростей современных вертикальных движений Европейской части СССР. — Геоморфология, 1975, № 2.
25. Thurm H. Ableitung von Gradienten rezenter vertikaler Erdkrustenbewegungen für das Gebiet der DDR. — Petermanns Geogr. Mitt., 1971, Bd. 115, H. 2.
26. Горелов С.К., Матцкова В.А. О соотношении современных и новейших вертикальных движений земной коры на юго-востоке Русской равнины. — В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1965, № 2.
27. Донабедов А.Т., Сидоров В.А. О соотношениях между современными вертикальными движениями земной коры, геофизическими полями и геоструктурными элементами на территории Европейской части СССР. — В кн.: Современные движения земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1963, № 1.
28. Думитрашко Н.В., Лилиенберг Д.А. Современная тектоника Кавказа. — В кн.: Современные движения земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1963, № 1.
29. Vorläufige Karte der rezenten vertikalen Krustenbewegungen in der DDR (Bericht der Arbeitsgruppe Rezente Krustenbewegungen des Nationalkomitees für Geodäsie und Geophysik der DDR). — Petermanns Geogr. Mitt., 1965, H. 2.
30. Neue Aspekte rezenter Erdkrustenbewegungen im Gebiet der DDR (Bericht der Arbeitsgruppe Rezente Krustenbewegungen des Nationalkomitees für Geodäsie und Geophysik der DDR). — Petermanns Geogr. Mitt., 1971, Bd. 115, H. 2.

III СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА И РЕЛЬЕФ

УДК 551.241:551.435

С.К. ГОРЕЛОВ, Р.Е. ПЕРЕСЛЕГИНА,
С. ТАГИЕВ, С.С. ЧЕЛПАНОВ

**ВЫРАЖЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ
В ИНТЕНСИВНОСТИ И ДИНАМИКЕ РАЗВИТИЯ
ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**
(на примере Центрального Копетдага)

Как известно, современные движения земной коры проявляются повсеместно, т.е. они устанавливаются везде, где проводится их изучение инструментальными методами. Поэтому логично предположить, что эти движения находятся во взаимосвязи с ведущими экзогенными процессами, преобразующими основные черты современного рельефа земной поверхности. Этот теоретичес-

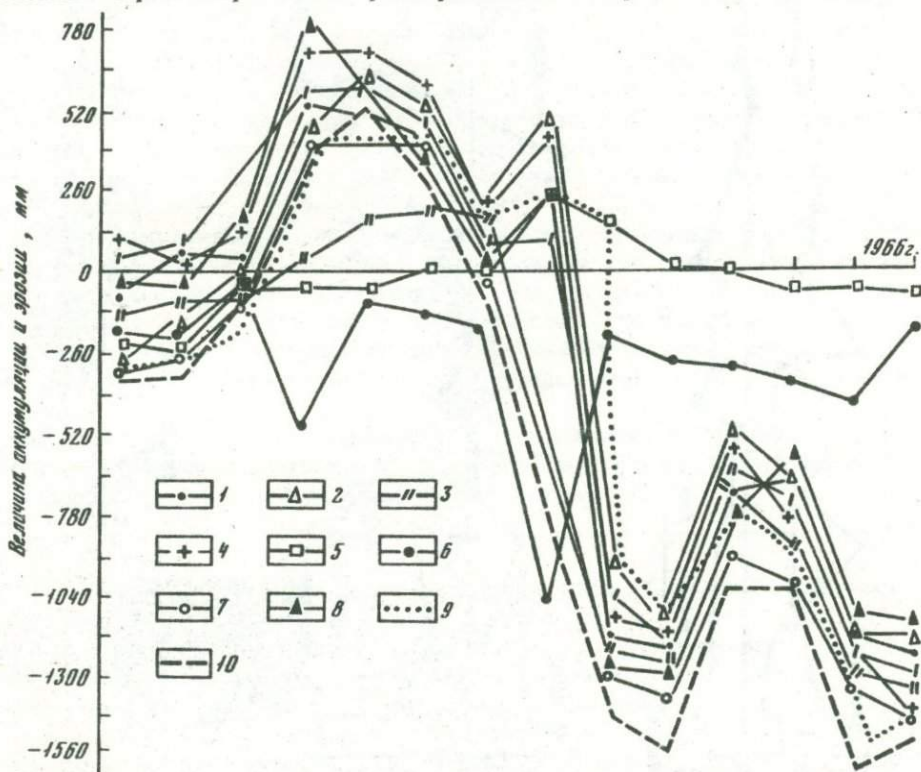
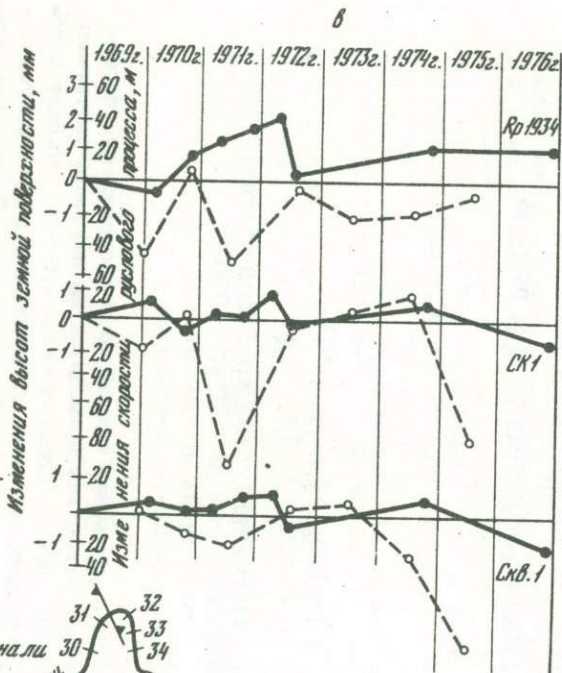
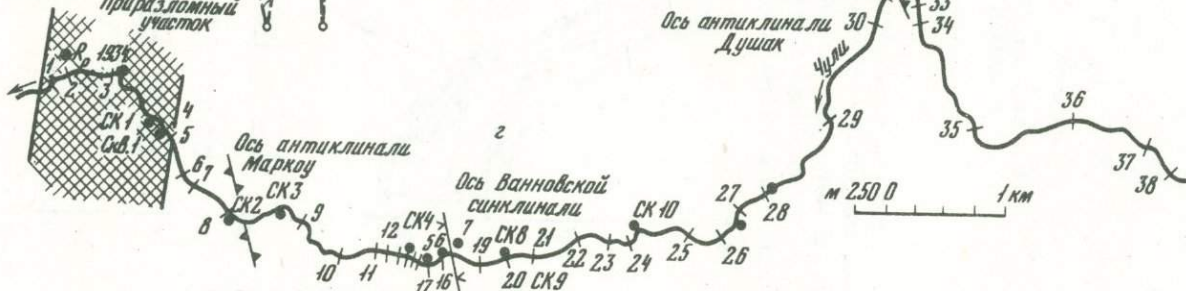
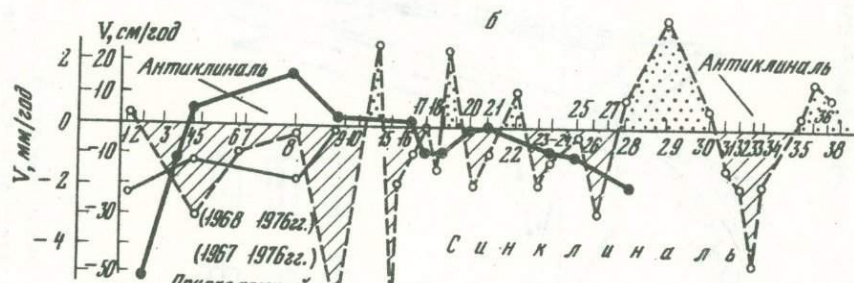
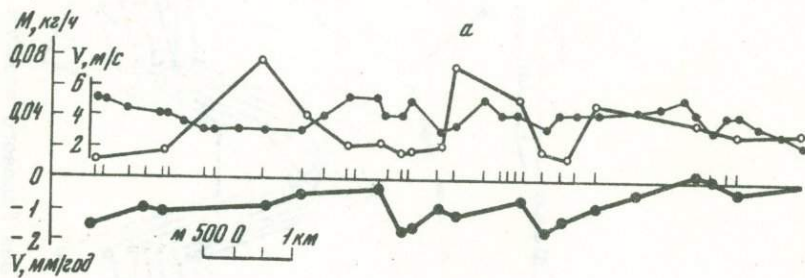


Рис. 1. Изменение поперечного профиля р. Чули в зоне Главного надвига. Копетдага. Составили С.К. Горелов и С. Тагиев

Периоды наблюдений: 1 - 1967 г. (весна); 2 - 1967 г. (осень); 3 - 1968 г. (осень); 4 - 1969 г. (осень); 5 - 1970 г. (весна); 6 - 1970 г. (осень); 7 - 1971 г. (осень); 8 - 1972 г. (лето); 9 - 1974 г. (лето); 10 - 1975 г. (лето)



кий постулат уже нашел частичное фактическое подтверждение, например при специальных сопоставлениях геодезических данных с геоморфологическими данными об аномальных изменениях современных уклонов речной сети, в изменении интенсивности современных русловых процессов в зонах с различной скоростью современных поднятий и опусканий земной поверхности и других [1].

Следует, однако, подчеркнуть, что проблема связи между современными движениями земной коры и экзогенными процессами в сущности еще не разработана. Во многом это объясняется еще недостаточной инструментальной оснащенностью геоморфологических работ и, пожалуй, недостаточным вниманием к инструментальным наблюдениям со стороны некоторой части геоморфологов.

Как бы там ни было, но в настоящее время отсутствует строго разработанная теория взаимодействия современных эндогенных и экзогенных процессов. Очень важную роль в этом отношении, безусловно, должны сыграть комплексные инструментальные геоморфологические и геодезические наблюдения за деформациями земной поверхности в условиях различной новейшей морфоструктуры. Подобные наблюдения в течение десяти лет (1966–1976 гг.) были осуществлены в различных районах Центрального Копетдага, характеризующихся четким выражением геологических структур в рельефе, высокими амплитудами молодых движений земной коры различного знака и высокой сейсмичностью. В настоящей статье кратко излагаются результаты этих наблюдений и те выводы, которые могут быть сделаны на их основе.

Прежде всего, необходимо отметить общее сходство в динамике развития современных движений земной коры, русловых и склоновых процессов. Изменения высот земной поверхности, определяемые по данным повторных нивелирований, и вариации поля силы тяжести, выявленные по данным повторных гравиметрических наблюдений, в пределах рассматриваемой территории носят ясно выраженный короткопериодический характер. Периоды колебаний высот земной поверхности и вариаций гравитационного поля составляют менее одного года. Однако по результатам многолетних измерений наблюдается тенденция общего сохранения знака вертикальных движений земной поверхности и поля силы тяжести, которая в целом согласуется с геологическими и морфо-структурными особенностями территории [2].

То же самое можно отметить и в отношении современной динамики русловых процессов и отчасти склоновых процессов. На рис. 1 приведены кривые многолетних систематических наблюдений этих процессов в долине р. Чули, расположенной в зоне главного надвига Копетдага. На профилях довольно отчетливо выражается короткопериодический ("колебательный") характер современного проявления указанных процессов и наличие определенной тенденции в их развитии.

Возникает вопрос, являются ли подобные изменения русловых процессов тектоническими или они отражают сумму различных, в том числе чисто внешних (гидрологических и др.), влияний на эти процессы?

Рис. 2. Результаты наблюдений в бассейне р. Чули. Составили С.К. Горелов и С.С. Челпанов

a – профили короткопериодических наблюдений; *b* – комплексный продольный профиль долины; *в* – временные графики наблюдений на приразломном участке (сечения русла 1, 4, 5), *г* – схема расположения реперов

1–4 – количественные изменения: 1 – высот земной поверхности (по данным повторных нивелирований (V , мм/год); 2 – скорости руслового процесса (V , см/год), 3 – твердого стока (M , кг/ч), 4 – скорости течения (V , м/с); 5 – участки преобладающей эрозии русла; 6 – участки преобладающей аккумуляции русловых отложений; 7 – геодезические реперы; 8 – геоморфологические профили; 9 – приразломный участок; 10, 11 – оси: 10 – антиклиналей, 11 – синклинали; R_p 1934 – грунтовый репер; $\xi k1$ – $sk10$ – скальные реперы; 1–38 – поперечные сечения русла

Рассмотрим в качестве примеров результаты комплексных геоморфологических и геодезических наблюдений в долинах рек Чули и Секиз-Яб. Они пересекают различные структурные элементы земной коры, отмеченные интенсивными молодыми тектоническими деформациями, и характеризуются постоянными расходами воды в течение года.

Исключением являются весьма кратковременные периоды весенних и осенних паводков, после которых обычно быстро восстанавливается прежний общий профиль равновесия рек.

В долине р. Чули, несмотря на сложную динамику руслового процесса, в течение последних десяти лет сохранялась общая тенденция врезания русла на участках поднимавшихся (по данным повторного нивелирования) структур и тенденция преобладавшего накопления русловых отложений на участках относительно опускавшихся прогибов (рис. 2, б). Подобный эффект был получен и в результате короткопериодических наблюдений на всех поперечных профилях долины. При этом обнаружилась некоторая корреляция (прямая) между изменением величины твердого стока и скоростью потока (см. рис. 2, а), а также при составлении временных графиков между движениями отдельных реперов и скоростью русловых процессов в приразломной зоне главного надвига Копетдага (см. рис. 2, в).

В долине р. Секиз-Яб инструментальные наблюдения были более детальными; была осуществлена более тесная связь наблюдений во времени и на участках геоморфологических и геодезических измерений. В целом результаты этих наблюдений не только подтвердили указанную выше закономерность в развитии русловых процессов и современных движений земной коры, свойственную для долины р. Чули, но и позволили высказать предположение о возможности использования результатов систематических детальных наблюдений за развитием русловых процессов при изучении режима современных движений земной коры. В этом отношении наиболее показательны, пожалуй, временные (по годам) изменения знака и скорости руслового процесса. Судя по данным повторного нивелирования в долине р. Секиз-Яб, на участке главного надвига Копетдага и Ульдепинской антиклинали произошло ослабление темпа современного поднятия территории где-то между 1971 и 1976 гг. (рис. 3, а). Сопоставление кривых эрозионно-аккумулятивной работы реки за различные годы наблюдений по особенностям распределения участков эрозии русла и аккумуляции русловых осадков позволяет сделать предположение, что ослабление поднятия произошло, скорее всего, в 1971 г. Комплексные временные графики значений H , см/год и V , мм/год для приразломной зоны главного надвига Копетдага (см. рис. 3, б) позволяют сделать вывод, что подобная тенденция движений земной коры сохранялась и в периоды, когда не было геодезических наблюдений.

Результаты наблюдений за скоростью развития склоновых процессов оказались менее "информативными" в геодинамическом отношении, что, видимо, объясняется большой ролью экзогенных процессов и литологического фактора в развитии склонов в отличие от более "геодинамичных" русловых процессов. Наиболее интересные данные были получены в результате определения средних значений скорости склоновых процессов за длительные промежутки времени (от 100-150 до 400-500 лет) путем анализа обнаженных корневых систем арчевников [3]. В целом эти измерения, проведенные в различных районах Центрального Копетдага и в большом количестве (до 800 замеров), позволяют сделать вывод о довольно тесной и прямой корреляции между величинами скорости плоскостного смыва и неотектоническими (по-видимому, весьма молодыми) движениями земной поверхности в пределах крупных положительных морфоструктур Копетдага. Скорость размыва нарастала на участках новейших перекосов земной поверхности, в том числе независимо от современных ее уклонов.

Таким образом, были получены данные, позволяющие сделать вывод о существовании в Копетдаге, видимо, весьма тесной связи между динамикой современных движений земной коры и русловых процессов. Характер этой связи

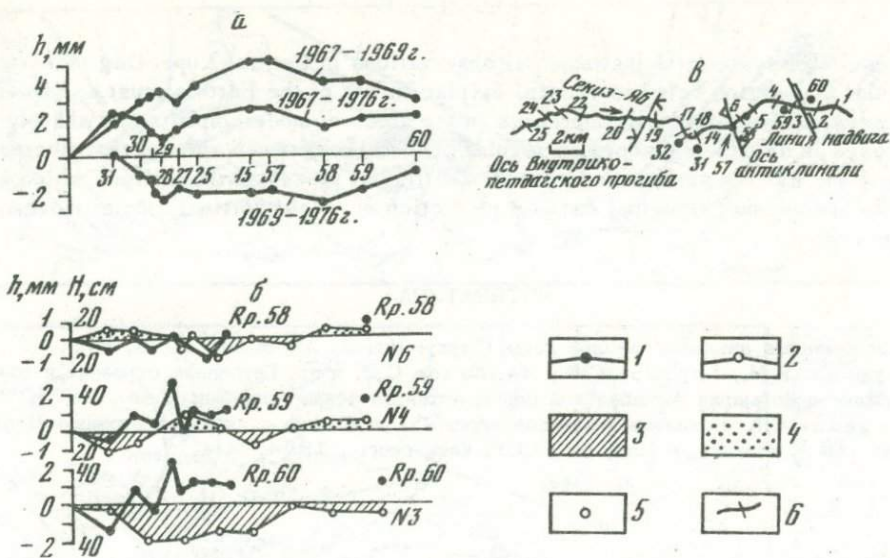


Рис. 3. Результаты наблюдений в долине р. Секиз-Яб. Составили С.К. Горелов и С.С. Челпанов

a — изменение высот земной поверхности (по данным высокоточного повторного нивелирования); *b* — изменение высот земной поверхности и направленности руслового процесса; *v* — местоположение реперов и поперечных сечений русла

1, 2 — кривые изменений: 1 — высот земной поверхности (h , мм), 2 — величин эрозии и аккумуляции русловых отложений (H , см); 3 — участки преобладающей эрозии русла; 4 — участки преобладающей аккумуляции русловых отложений; 5 — геодезические реперы; 6 — геоморфологические профили

указывает на возможность использования результатов систематических инструментальных наблюдений за экзогенными процессами для прогноза современных тектонических деформаций земной поверхности.

Следует, однако, подчеркнуть, что речь идет главным образом о динамике развития современных деформаций земной поверхности. Вычисление конкретных значений скорости современных поднятий и опусканий земной поверхности по геоморфологическим данным пока еще невозможно, ввиду того что скорость эрозионно-аккумулятивных русловых склоновых процессов на несколько порядков превышает скорость движений земной коры. Но геоморфологические данные имеют существенное значение для установления возможного порядка скорости современных движений земной коры, что также очень важно при разработке различных проблем современной геодинамики. Судя по приведенным выше данным, распределение скорости и знака современных движений земной коры в пределах рассматриваемой территории Копетдага было весьма неравномерным не только во времени, но и в пространстве. При этом результаты инструментальных наблюдений за русловыми процессами (в комплексе с геодезическими данными) позволяют уточнить возможный характер проявления движений земной коры в долинах рек Чули и Секиз-Яб, в том числе в районах, для которых отсутствуют данные повторного нивелирования. В частности, изучение устойчивых деформаций русла под влиянием эрозионных и аккумулятивных процессов позволяет сделать выводы о более активном современном поднятии южных крыльев антиклинальных структур передовой тектонической зоны Копетдага (участки максимального врезания), а также о нарастании темпа (напряженности) современных тектонических движений вдоль главного надвига Копетдага.

ABSTRACT

Results of systematic instrumental observations in Central Kopet-Dag indicate a regular connection between vertical displacements of the Earth's crust and fluvial processes. Erosion intensity increases in the areas of modern uplifts and sharply decreases in subsidence zones. A regular connection between short-period fluctuations of the Earth's surface and dynamics of fluvial processes is outlined which allows to use geomorphological data for prediction of recent vertical crustal movements in this region.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1973, № 5.
2. Курбанов М., Горелов С.К., Челпанов С.С. и др. Глубинное строение и новейшие деформации Ашхабадской сейсмоактивной зоны. Ашхабад: Ылым, 1973.
3. Горелов С.К. Развитие процессов плоскостного сдвига и линейной эрозии в Центральном Копетдаге. - Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1974, № 4.

УДК 551.24 .

Л.К. ЗЯТЬКОВА

МЕТОДЫ СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Достижения в области структурно-геоморфологических исследований с применением аэрокосмических материалов позволяют использовать новейшую информацию при изучении современных тектонических движений [1-5]. При комплексном изучении современных тектонических движений в пределах горных и равнинных областей Западной Сибири применялись геолого-геофизические и геоморфологические методы. Большое внимание уделялось дешифрированию аэрокосмических материалов с целью изучения характера выраженности в современном рельефе разрывных нарушений и проявления по ним современных тектонических движений в пределах районов сопряжения Алтае-Саянской горной области с Байкальской рифтовой зоной (рис. 1).

В комплекс исследований входило: анализ поперечных профилей долины Енисея и его притоков; анализ площадного распространения пойм, изменения литологического состава, высоты доколей и ширины пойм: выделение аномальных участков пойм; анализ ориентировки спрямленных участков речных долин; анализ склоновых процессов [6].

Проведенное дешифрирование телевизионных космических снимков позволило выявить наибольшую активизацию современных тектонических движений в районах стыков разнонаправленных глубинных разломов. Это субширотные - Окинский, Тункинский, Каахемский глубинные разломы, пересеченные Шишехидгольским и Хубсугульским глубинными разломами субмеридионального простирания. Эти движения как бы способствуют "выклиниванию", "выпираанию" тектонических блоковых поднятий Алтае-Саянской горной области (рис. 2) и образованию серии активных морфоструктурных "узлов", к которым приурочены эпицентры землетрясений. Морфоструктурные "узлы" на аэроснимках представляют собой перекрещивание линейновытянутых спрямленных элементов рельефа, речных долин, которые большей частью подчеркивают основное направление разломов. Особое внимание следует уделять морфоструктурным "узлам", унаследовавшим свою активность от древних геологических структур. Для изучения современных тектонических движений необходимо выделять такие участки, где четко прослеживаются: характерные признаки морфоструктурных "узлов" - тип сочленения линеаментов в узле; число линеаментов, сходящихся в морфострук-

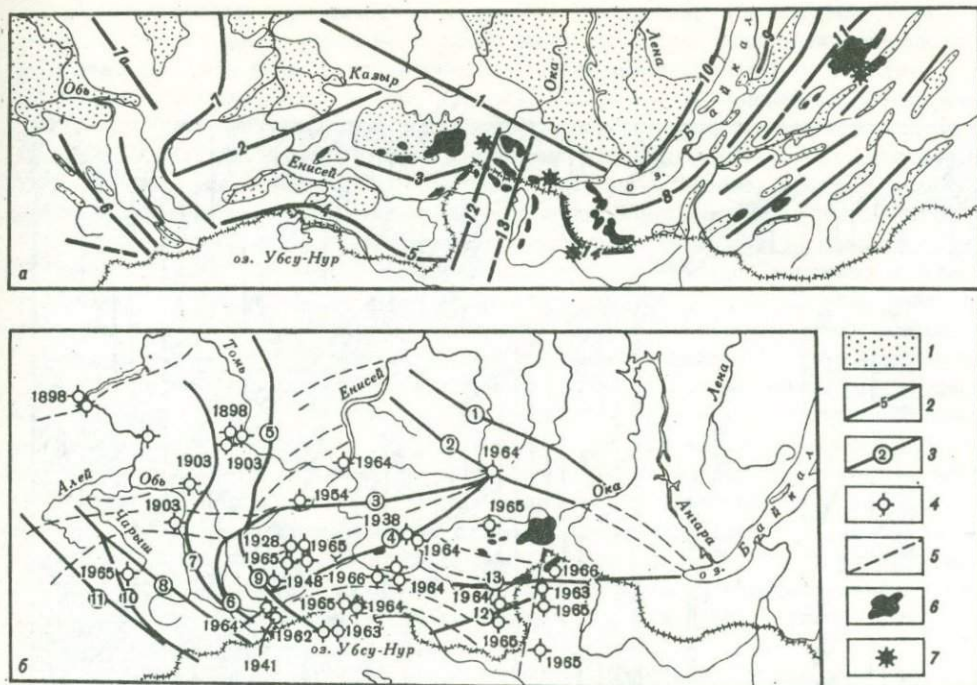
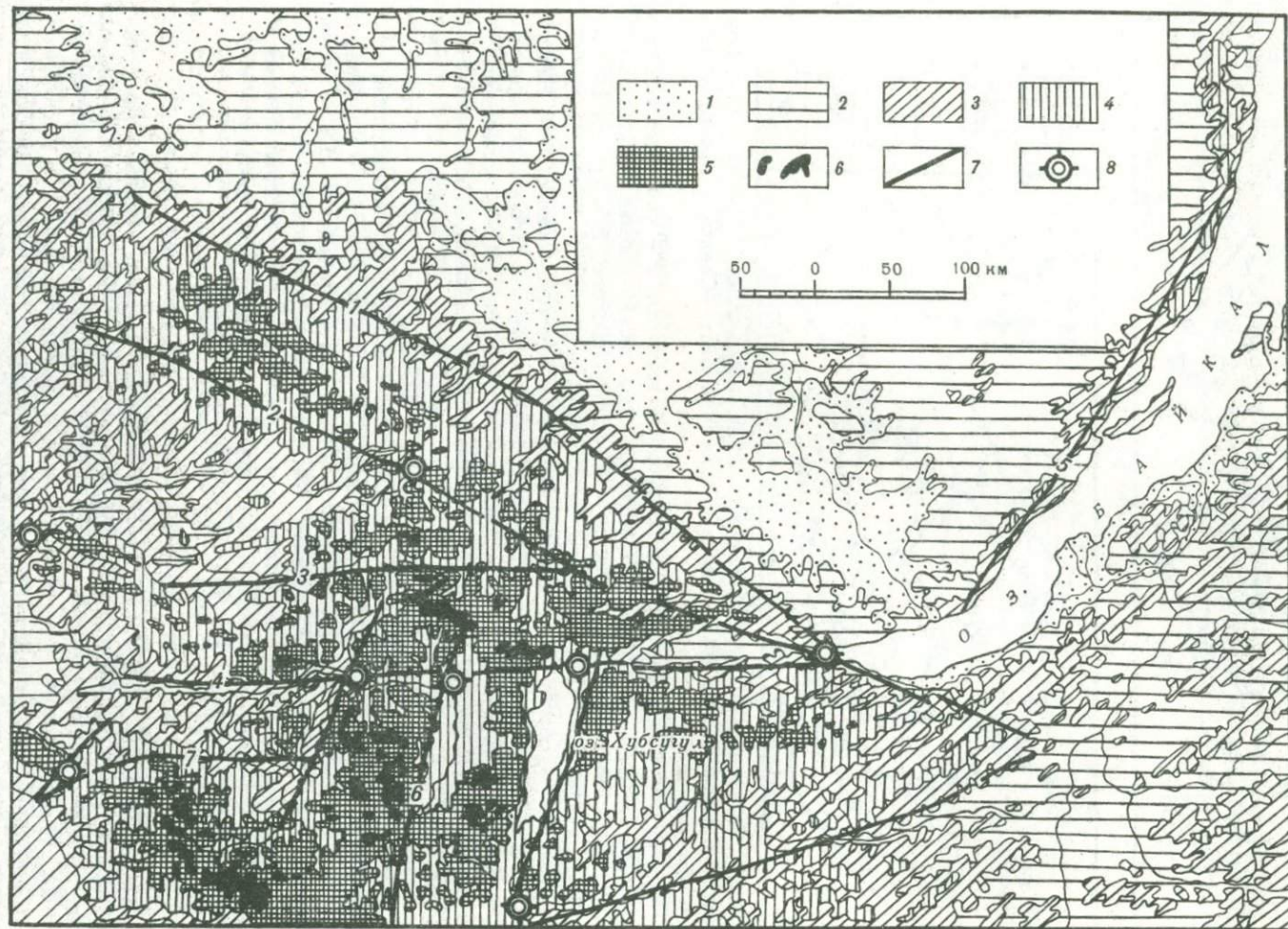


Рис. 1. Схема расположения основных осей современных поднятий (а) и эпицентров землетрясений (б) района сопряжения Алтае-Саянской горной области и Прибайкалья

1 - внутригорные, межгорные, предгорные впадины; 2 - основные оси современных поднятий, четко фиксируемые на космических снимках (цифры на схеме): 1 - Восточно-Саянского, 2 - Западно-Саянского, 3 - хребта академика Обручева, 4 - Таннуольского, 5 - Сангиленского, 6 - Алтайского, 7 - Кузнецко-Алатауского, 7а - Салаирского, 8 - Хамардабанского, 9 - Баргузинского, 10 - Байкальского, 11 - оси поднятий Витимского плоскогорья, 12 - Западно-Дархатского, 13 - Хардык-Сардыкского, 14 - Джидинского; 3 - основные глубинные активные разломы, предопределившие новейший структурный план (цифры в кружках): 1 - Главный Восточно-Саянский, 2 - Сисимо-Казырский, 3 - Саяно-Минусинский, 4 - Саяно-Тувинский, 5 - Кузнецко-Алатауский, 6 - Чокракский, 7 - Сарасинско-Курайский, переходящий в Салаирский, 8 - Чарышко-Теректинский, 9 - Шапшальский, 10 - глубинный разлом Северо-Восточной зоны Рудного Алтая, 11 - Иртышский, 12 - Агордагский, 13 - Каахемско-Окинский; 4 - зафиксированные землетрясения силой более 7-8 баллов (рядом годы землетрясений); 5 - оси современных поднятий, слабо фиксированные на космических снимках; 6 - третичные и четвертичные базальты; 7 - конусы потухших вулканов

турном "узле"; тип и ярусы рельефа; абсолютные высоты, особенно там, где сочленение гор и прилегающих впадин бывает резкое, без предгорных делювиально-пролювиальных шлейфов, конусов выноса. Выделение морфоструктурных "узлов" по аэрокосмическим материалам для оценки современных тектонических движений позволяет проводить более конкретные геоморфологические исследования с целью прогноза мест возможных сильных землетрясений.

Близость сейсмически активной Байкальской внутриконтинентальной рифтовой зоны оказывает большое влияние на проявление современных тектонических движений в пределах Алтае-Саянской горной области; на активизацию зон глубинных разломов, сопровождаемую излиянием четвертичных базальтов; на проявление землетрясений; на перестройку древних структурных планов, что свидетельствует о продолжении горообразовательных процессов, изучение кото-



рых требует особых методических подходов. На основании дешифрирования аэрокосмических материалов на рассматриваемой территории четко выявлено несколько крупных блоков, ограниченных глубинными разломами, создавших мозаичное строение региона (см. рис. 2). Это Восточно-Саянский приподнятый блок с ярусами рельефа 2000–3000 м над уровнем моря; Сангиленско-Хамардабанский приподнятый блок с ярусами рельефа 2500–3000 м, с серией субмеридионально вытянутых приразломных впадин-грабен, занятых оз. Хубсугул, и расширенными участками речных долин Шишехид-гол, Шаргаин-гол. Четко проявляются морфоструктурные "узлы", расположенные на продолжении Байкальской рифтовой зоны в субширотном направлении по Окинскому и Каахемскому, Тункинскому, Агордагскому глубинным разломам. В этих районах известны частное проявление землетрясений, излияние неоген-четвертичных базальтов, вулканические конуса. Особый интерес в районе сопряжения Алтае-Саянской горной области и Прибайкалья представляют поперечные структуры, осложненные по краям глубинными разломами. Иногда к ним приурочены центры вулканических излияний; эти поперечные поднятия характеризуются повышенной сейсмичностью. Кроме того, особый интерес представляют места пересечения глубинных разломов разных направлений, поскольку в этих местах нередко развиваются значительные дифференцированные тектонические движения, которые могут явиться предвестниками землетрясений. В результате активизации серии молодых разломов, главным образом субмеридионального направления, образовался ряд узких грабен и горстов, таких, как внутригорные впадины Восточно-Тувинского нагорья и Сангилена.

В зоне сопряжения Алтае-Саянской горной области и Прибайкалья вдоль Каахемского, Тункинского, Саяно-Тувинского глубинных разломов наблюдаются рифтообразные впадины "эмбрионального" состояния, не закончившие своего развития. Они относятся к системе впадин Байкальской рифтовой зоны, являясь как бы отголоском байкальского рифтообразовательного процесса. Это подтверждается следующими фактами, наблюдаемыми в Западном Саяне и в Туве: образованием грабен на сводовых поднятиях; формированием и развитием внутригорных приразломных впадин; проявлением вулканизма; излиянием четвертичных базальтов в Уюкском, Каахемском, Бийхемском районах Восточно-Тувинского нагорья. Характер смещений при сводовых поднятиях и образование грабенообразных структур показало, что грабены находятся в состоянии растяжения. Зоны "растяжения" на границе резких поднятий и опусканий благоприятны для образования очагов землетрясений, что дает возможность "прогнозировать" расположение сейсмически опасных зон.

На космических снимках четко фиксируются оси современных поднятий, стыки разновозрастных структур, направление глубинных разломов. По космическим снимкам можно определять не только динамику отдельных "живущих" зон глубинных разломов, но и особенности современного развития целых тектонически активных крупных блоков, их сопряжения с крупными различными разновозрастными структурами. Такие исследования являются перспективными и со временем будут необходимы для выяснения динамических и структурных особенностей, для решения ряда практических задач, в том числе и для целей сейсмического районирования.

Рис. 2. Структурно-геоморфологическая схема с элементами новейшей тектоники района сопряжения Алтае-Саянской горной области и Прибайкалья (составлена автором с использованием аэрокосмических материалов)

1–6 – ярусы рельефа (в абс. м): 1 – от 200 до 500, 2 – от 500 до 1000, 3 – от 1000 до 2000, 4 – от 2000 до 2500, 5 – от 2500 до 3000, 6 – свыше 3000; 7 – глубинные разломы, разрывные нарушения, четко фиксированные на космических снимках (цифры на схеме): 1 – Главный Восточно-Саянский, 2 – Сисимо-Казырский, 3 – Окинский, 4 – Каахемско-Тункинский, 5 – Байкальский, 6 – Шишихидгольский, 7 – Агордагский, 8 – морфоструктурные "узлы", районы сопряжения стыков разнонаправленных элементов рельефа

ABSTRACT

In complex studies of modern tectonic movements within mountain and plain conditions of Western Siberia geological-geophysical and geomorphological methods were used. A great attention was paid to deciphering of aerocosmic materials with the aim of studying the character of dislocations with a break in continuity in modern relief within the Altay-Sayan mountain area and its conjugation with the Baikal rift zone.

The studies performed allowed to reveal the highest activation of modern tectonic movements in the regions of joints of diversely-directed deep faults. These movements as if contribute to the "protrusion" of tectonic block-wedges creating the mosaic structure of horst-block uplifts of the Altay-Sayan mountain area.

Further the analysis of deciphering of aerocosmic materials is necessary at complex structural-geomorphological studies to reveal the dynamics of modern tectonic movements, to estimate the role of faults in formation of modern structural plan of both plain and mountain areas of Siberia.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдель-Гавад М., Сильверстейн Дж. Применение снимков ERTS при изучении землетрясений и разведке полезных ископаемых в Калифорнии. - В кн.: Геологические исследования из космоса. М.: Мир, 1975.
2. Ананьин И.В., Трифионов В.Г. Сопоставление сейсмичности с элементами дешифрирования космических изображений. - В кн.: Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. М.: Наука, 1976, т. 5.
3. Богородский С.М., Хаин В.Е., Кац Я.К. и др. Некоторые аспекты дешифрирования космических и телевизионных снимков отдельных регионов Альпийского складчатого пояса и Туранской плиты. - Изв. вузов. Геология и разведка, 1974, № 8.
4. Лукашев Г.Н. Дешифрирование кольцевых структур на космических фотоснимках юга Алтае-Саянской складчатой области. - В кн.: Докл. сов. ученых на совещ. советско-американской рабочей группы. М.: Наука, 1974, т. 2.
5. Макаров В.И. Дешифрируемость тектонических структур областей молодого эпиплатформенного горообразования на космических снимках Тянь-Шаня. - Изв. вузов. Геология и разведка, 1973, № 7.
6. Зятькова Л.К. Новейшая тектоника Западного Саяна. Новосибирск: Наука, 1973.

УДК 551.28.2 (575)

Г.А. МАВЛЯНОВ, Д.Х. ЯКУБОВ,
А.Р. ЯРМУХАМЕДОВ, Г.Ф. ТЕТЮХИН

О ЧЕТВЕРТИЧНОЙ И СОВРЕМЕННОЙ АКТИВИЗАЦИИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ КАЗЫЛКУМАХ

Центральные Кызылкумы расположены в Средней Азии между Амударьей и Сырдарьей в области погружения к западу и северо-западу горных сооружений Тянь-Шаня и представляют собой горно-останцовый район со сложным рельефом. Здесь группа скалистых возвышенностей (Букантау, Тамдытау, Ауминзатау, Кульджуктау и др.) резко выступает на фоне песчаной пустыни. Последняя представлена грядово-ячеистыми песками и в меньшей мере барханами.

Несогласно залегающие на палеозойском фундаменте осадочные породы мезо-кайнозоя образуют пологие складки. В зонах крупных разломов угол наклона крыльев мезозоя-кайнозоя достигает десятков градусов. Движения по региональным разломам неотектонического этапа подтверждены амплитудами смещений по кровле зеленых глин верхнего эоцена.

Район Центральных Кызылкумов, относимый к эпиплатформенным орогеническим областям, на новейшем и современном этапах геологического развития отличается от других частей Туранской плиты большей активизацией и контрастными вертикальными движениями.

В связи с ростом гражданского и промышленного строительства, созданием всевозможных гидротехнических сооружений весьма важно выявление особенностей новейших и современных движений и сейсмотектонической обстановки данной территории. Особый интерес представляют закономерности процессов трещинообразования и сейсмичности (особенно после Кызылкумского 1968 г. и Газлийского 1976 г. землетрясений) в ряде мест Центральных Кызылкумов.

Новейшие и современные движения земной коры Центральных Кызылкумов в региональном масштабе изучены и изложены в ряде работ [1-16].

На базе известных фактических материалов и по результатам личных наблюдений нами составлена схематическая карта четвертичной и современной активности тектонических движений Центральных Кызылкумов. Эта карта может быть использована при региональном и микросейсмическом районировании, а также при проектировании геодезических работ и интерпретации их результатов.

На составленной карте (рисунок) выделены участки с различными скоростями современных вертикальных движений¹. Для этой цели результаты повторного нивелирования сопоставлялись с геолого-геоморфологическими материалами, в том числе с оценкой средних градиентов новейших движений и распределением значений коэффициентов интенсивности расчленения рельефа. В целом конфигурация выделенных участков в плане отражает структурные особенности фундамента, сложившиеся в неоген-четвертичное время [2]. Как видно из карты, величина скорости современных движений постепенно уменьшается от приподнятой (или обнаженной) части фундамента к пониженным участкам последнего. Увеличение скорости отмечается в обновленных древних и молодых зонах разломов - Северо-Тамдынского, Букантауского, Южно-Тяньшаньского и др. К современным проявлениям тектонической активности относятся эпицентральные зоны землетрясений, участки трещиноватости, кластические дайки, солончаки.

В условиях Кызылкумов мощность четвертичного покрова в общем невелика (на рисунке она передана в изолиниях), поэтому при характеристике движений данные по мощностям могут дать лишь дополнительную информацию. При выявлении участков трещиноватости в пределах золотого рельефа более эффективны не прямые, а косвенные признаки (характер засоления, такырообразование, циркуляция грунтовых вод по трещинам с образованием чакалаков на поверхности, формы рельефа).

Известные проявления трещиноватости на поверхности приурочены к предгорным шлейфам, равнинам и участкам равнины, где золотые песчаные аккумулятивные формы рельефа имеют подчиненное значение. Районы трещиноватости приурочены к зонам развития тектонических нарушений с резко активизированным динамическим режимом начиная с позднего голоцена. В частности, зоны трещиноватости райцентра Тамды приурочены к пересечению крупных разрывных нарушений северо-западного и северо-восточного простирания, активизированных в голоцене. В пунктах Тамдыбулак, Тамдыкудук, Чарыкты, Тойтубе простирание зон интенсивных проявлений трещиноватости совпадает с направлениями разломов, активизировавшихся в позднечетвертичное и голоценовое время.

Признавая тектоническую природу трещинообразования и его прямую зависимость от тектонической активизации, нельзя не принимать во внимание другие факторы, влияющие на данный процесс. Об этом свидетельствует разнотипность процесса в отдельных районах Кызылкумов (райцентр Тамды, г. Зеравшан), на что указывают Н.П. Петров, М.З. Закиров и Б.А. Петрушевский [3]. Действительно, в этих районах, в том числе в пос. Уч-Кудук, наблюдает-

¹ При вычислении скоростей современных движений Ш.У. Арсланбековым и А.П. Райзманом использованы результаты нивелирования III и II классов с интервалом в 17-25 лет относительно условного нуля на станции Аральское море.



Карта четвертичной и современной активизации тектонических движений Центральных Кызылкумов (составили Д.Х. Якубов, А.Р. Ярмухамедов, Г.Ф. Тетюхин с использованием материала Б.Б. Ситдикова, Ш.У. Арсланбекова, А.П. Райзмана)

1 - выходы палеозоя на дневную поверхность; 2 - разломы; 3 - изолинии мощности четвертичных отложений, м; 4-6 - скорости современных вертикальных движений, мм/год: 4 - менее 15, 5 - 15-20, 6 - 20 и более; 7 - участки выявленной трещиноватости; 8 - границы участков с различными скоростями современных вертикальных движений

ся частая приуроченность участков трещинообразования к населенным пунктам или к местам наиболее интенсивной хозяйственной деятельности. Кроме того, трещинообразование на поверхности вызывается набуханием бентонитовых (монтмориллонитовых) глин, а также процессом литогенеза [17].

Приведенный небольшой перечень возможных причин образования трещин ставит новые вопросы: какие же из них непосредственно вызывают этот процесс, обуславливают его активизацию? По мнению авторов, главный путь решения этой проблемы - выделение тектоногенных и техногенных зон трещиноватости.

Изучение разрывной тектоники данного региона показало, что преобладают системы северо-западных и субширотных нарушений. В меньшей мере развиты системы северо-восточных и субмеридиональных разломов. Изучение субширот-но ориентированных систем разломов показало, что проявление их неравномерное и в основном зависит от направленности величины амплитуд, скорости новейших и современных тектонических движений. Как показывает анализ геолого-геоморфологических, геодезических, деформометрических, сейсмических и других геофизических (радиометрических) материалов, Северо-Тамдынский, Тамды-Карачатырский, Бесопан-Южно-Ферганский и Южно-Тяньшаньский разломы являются "живучими" на современном этапе геологического развития.

За последние 100 лет в районе Центральных Кызылкумов [4, 5] отмечено до 20 землетрясений с магнитудой 4,5, в том числе Газлийское землетрясение 1976 г. с магнитудой 7,0 и 7,3. Сопоставление эпицентров землетрясений с разрывными нарушениями показывает пространственную приуроченность очагов к разрывам земной коры.

Одним из активных субширотных региональных глубинных разломов является Южно-Тяньшаньский, разграничивающий территории с различным тектоническим режимом. Этот разлом прослеживается южнее Кульджуктауской, Зиаэтинской, Каратюбинской антиклиналей, Южно-Кызылкумской синклинали и проходит южнее городов Самарканд, Навои, севернее поселка Газли и др. По геолого-геофизическим данным (Ш.Д. Давлятов и Т. Эргашев и др.) и аэрокосмическими снимками (О.М. Борисов, А.К. Глух) в районе Газли устанавливаются широкие ослабленные разломоподобные зоны субмеридионального простирания, Персидско-Балхашский линеймент, который пересекается Южно-Тяньшаньским и другими субширотными разломами. Эпицентры Газлийских землетрясений 1976 г. приурочены к одному из пересечений данной зоны с Южно-Тяньшаньским разломом, т.е. к тектоническому узлу. Аналогичные узлы устанавливаются в западном и восточном отрезках Южно-Тяньшаньской и Южно-Ферганской зон разломов.

Особо следует отметить тектонический узел, расположенный южнее Самарканда. Здесь Южно-Тяньшаньский глубинный разлом пересекается так называемым Поперечно-Тяньшаньским разломом (О.М. Борисов) и ослабленной зоной субмеридионального направления, установленной методом дешифрирования аэрофотоснимков. Кроме того, геолого-геоморфологическими и геодезическими исследованиями установлено, что северный блок Южно-Тяньшаньского разлома поднимается, вовлекая в поднятие относительно стабильный южный блок. Известна приуроченность эпицентров сильных землетрясений к данной зоне разлома. Исходя из сеймотектонической обстановки, можно заключить, что наиболее сейсмопасной зоной является отрезок Южно-Тяньшаньского разлома в районе г. Самарканда и восточный фланг зоны, где могут произойти сильные землетрясения.

Таким образом, район Центральных Кызылкумов, относимый к эпиплатформенным орогеническим областям, на современном этапе геологического развития отличается от других частей Туранской плиты большей активизацией и контрастными движениями неотектонического и современного этапа развития. Средние скорости вертикальных современных движений составляют: в горах - до +12-15 мм/год, в зонах разломов - до +18-22 мм/год, на равнине - от +2-3 до +4 мм/год. В зависимости от складчато-глыбового характера фундамента Центральных Кызылкумов новейшие и современные движения в разных его частях получили неодинаковое отражение в рельефе. Это связано с различной степенью переработки древнейших структур и характером распространения неоген-четвертичных отложений. Известные пункты проявления трещиноватости на поверхности приурочены либо к участкам повышенных градиентов новейших движений или современных движений, часто унаследованных, либо к пересечению разломов, активизировавшихся в позднечетвертичное и голоценовое время, либо к участкам перехода от поднятий к опусканиям.

Интенсивность, контрастность, дифференцированность новейших и современных движений, "живучесть" древних северо-западных и обновленных субширот-

ных разломов в голоцене и наличие "трансорогенных" поперечных разломоподобных зон приводит нас к заключению, что Центральные Кызылкумы следует рассматривать как сейсмоактивный район Туранской плиты. Это заключение подтверждается проявлениями высокобалльных землетрясений и зон трещиноватости. Исходя из этого, потенциально сейсмоопасными зонами могут явиться тектонические узлы, распрлагающиеся на пересечении "живучих" субширотных и субмеридиональных глубинных разломов, а также участки перехода от поднятий к опусканиям.

ABSTRACT

On the basis of geological-geomorphological, geodetic materials and personal observations of the authors a schematic map of quarternary and modern activation of the Earth's crust in Central Kyzyl-Kum is compiled. The sites of recent vertical movements are outlined on the map characterized by the velocities of less than 15 mm/year, 15 mm/year, 20 mm/year and more. To manifestations of modern tectonic activity also refer the sites of jointing, takyr, clastic dikes, solonchaks. The known points of manifestation of jointing are situated at the sites of increased gradients of the newest and recent movements; to marginal zones of the sites of uplifts and subsidences; to the crossing of faults activated in Late-Quaternary and Holocene time.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арсланбеков Ш.У., Райзман А.П. Некоторые данные о современных тектонических движениях краевых частей Кызылкумской платформы. - Узб. геол. журн., 1968, № 4.
2. Арсланбеков Ш.У. Современные вертикальные движения на территории Кызылкумов и их отражения в рельефе: Автореф. канд. дис. Ташкент, 1971.
3. Петрушевский Б.А. Некоторые уроки Кызылкумских землетрясений. - Бюл. МОИП. Отд. геол., 1977, т. 52, № 1.
4. Уломов В.В. Районирование сейсмической опасности территории Центральных Кызылкумов. - Узб. геол. журн., 1976, № 3.
5. Уломов В.И., Вишняцкий Г.Б., Жумабеков У. Инструментальные наблюдения за развитием трещиноватости в зоне Центрально-Кызылкумских поднятий. - Узб. геол. журн., 1976, № 6.
6. Давлятов Ш.Д. Тектоника нефтегазоносных районов Западного Узбекистана. Ташкент: Фан, 1971.
7. Ибрагимов Р.Н., Якубов Д.Х., Ахмеджанов М.А. Сейсмотектонические особенности и развитие новейшей структуры Центральных Кызылкумов. Ташкент: Фан, 1973.
8. Каржаув Т.К., Уломов В.И. Проявление современной тектоники и сейсмичности Кызылкумов. - Узб. геол. журн., 1966, № 3.
9. Костенко Н.П. Развитие рельефа горных стран. М.: Мысль, 1970.
10. Николаев Н.И. Неотектоника и ее выражение в структуре и рельефе территории СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1962.
11. Мавлянов Г.А., Ибрагимов Р.Н., Якубов Д.Х., Худайбергенов А.М. Характер проявления современных тектонических движений в Узбекистане. - В кн.: Современные движения земной коры. М.: 1968, № 4.
12. Попов В.И. О постановке поисков пресных восходящих вод в рифтовом поясе Навликина. - Узб. геол. журн., 1975, № 6.
13. Герасимов И.П., Чихачев П.К. Геологический очерк Кызылкумов. - Тр. Геол.-развед. упр. ВСНХ, 1931, вып. 82.
14. Пятков К.К., Пяновская И.А., Бухарин А.К., Быковский Ю.К. Геологическое строение Центральных Кызылкумов. Ташкент: Фан, 1967.
15. Ситдиқов Б.Б. Суммарные амплитуды неотектонических движений в Центральных Кызылкумах. - Узб. геол. журн., 1968, № 5.
16. Тетюхин Г.Ф., Арсланбеков Ш.У. Примеры проявления новейшей и современной тектоники в рельефе Кызылкумов. - В кн.: Современные движения земной коры. М.: 1968, № 4.
17. Шульц С.С. Планетарная трещиноватость. - В кн.: Планетарная трещиноватость. Л.: Изд-во ЛГУ, 1973.

**ВЫЯВЛЕНИЕ МОРФОСТРУКТУРНЫХ УЗЛОВ КАК МЕТОД
СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ
В СЕЙСМОАКТИВНЫХ ГОРНЫХ СТРАНАХ**

Данная работа отражает опыт морфоструктурного районирования горных стран с целью выделения территорий, различающихся по тектонической активности, прежде всего современной, поскольку работа велась в рамках проблемы сейсмического прогноза. При этом данные о тектонических движениях сопоставлялись с сейсмичностью и проводилось распознавание мест возможных сильных землетрясений с помощью ЭВМ. Для того чтобы данные морфоструктурного районирования оказались более объективными и обеспечивалась воспроизводимость результатов, была произведена формализация методики районирования, т.е. были установлены четкие признаки выделения морфоструктур в однозначно определенной системе районирования. Формализация разработана совместно с математиками И.М. Гельфандом и его учениками [1].

В основу формализации положена схема, первоначально созданная для Тянь-Шаня и Памира, а затем и для других территорий [2-5]. Охарактеризую вкратце принципиальную схему морфоструктурного районирования (МСР). Были выделены морфоструктуры трех категорий: 1) территориальные единицы, условно названные "глыбами"; 2) линейные зоны, ограничивающие их, или "морфоструктурные линеаменты", названные так по предложению И.П. Герасимова [2]; 3) места пересечения морфоструктурных линеаментов - "морфоструктурные узлы". Оказалось, что тектоническая активность линеаментов выше, чем глыб, а узлов - выше, чем линеаментов. Так, к узлам приурочены все сильные землетрясения ($M \geq 6,5$). В узлах градиент современных движений высокий, и они наиболее интенсивны и контрастны. Скорость движений в пределах узлов подвержена скачкообразным изменениям, что обусловлено высокой степенью тектонической раздробленности узлов и свидетельствует о дифференцированных движениях входящих в них блоков.

МСР, проведенное согласно изложенной схеме, позволяет разделить изучаемую территорию на участки с различным характером тектонических движений. Такое подразделение существенно как для понимания особенностей движений на геодинамических полигонах, так и при составлении карт современных тектонических движений. Поэтому целесообразно хотя бы коротко остановиться на методике составления схем МСР. Прежде всего следует отметить, что проводимое МСР является иерархически упорядоченным, предусматривает выделение морфоструктурных глыб трех рангов: глыбы высшего (первого) ранга - "горные страны" - включают глыбы второго ранга - "мегаблоки", которые подразделяются на глыбы третьего ранга - "блоки". Ранг линеаментов (далее мы будем, ради краткости, называть так морфоструктурные линеаменты - в данном контексте это не ведет к путанице), соответствует наивысшему рангу ограничиваемых им глыб. Однако для характеристики линеаментов оказался существенным не их ранг или протяженность, а их положение относительно крупных элементов рельефа. Линеаменты, примерно параллельные господствующему в данном районе простираению осей морфоструктур крупных элементов рельефа - хребтов, котловин и внутригорных впадин, продольных долин, - получили наименование "продольных". Обычно они включают зоны крупных разломов и в нашей системе районирования проходят вдоль границ хребтов и котловин или вдоль продольных долин между хребтами. Линеаменты, ориентированные косо или перпендикулярно относительно указанных элементов рельефа, получили наименование "поперечных". Обычно они представлены прерывистыми формами. В особую группу линеаментов выделены "главные сдвиги". Как и продольные линеаменты, они выражены непрерывной зоной разлома. Однако происходящие по такому разлому горизонтальные смещения создают в зоне сдви-

га собственные, параллельные этой зоне морфоструктуры, косо ориентированные относительно крупных элементов рельефа прилегающих глыб. Ввиду этого главные сдвиги всегда относят к линеаментам первого ранга. Существенно, что зоны линеаментов, имеющие от 10 до 40 км в ширину, обладают специфическими признаками, благодаря которым их можно отделить от разделяемых ими глыб.

Наиболее важными для МСР являются три момента: 1) определение ранга глыб; 2) выделение поперечных линеаментов; 3) определение границ морфоструктурных узлов. Остановимся на них несколько подробнее.

1. Ранг глыбы устанавливается исходя из определенной системы признаков. Чем выше ранг, тем более общие геоморфологические понятия используются для характеристики соответствующей глыбы. Так, при выделении горных стран учитывается тип горообразования (эпиplatformенное, эпигеосинклинальное, вулканическое, континентальное рифтообразование) и облик рельефа. В данном случае облик рельефа определяется высотным уровнем горной страны, характером сочетания крупных элементов рельефа, их господствующим простиранием, а также их очертаниями, обусловленными степенью консолидации горных пород. При выделении мегаблоков в пределах горной страны исходят из того, что количественные показатели крупных элементов рельефа данного мегаблока изменяются закономерно; при переходе к соседнему мегаблоку данная закономерность нарушается.

При подразделении мегаблока на блоки решающее значение имеют резкие существенные изменения хотя бы одного из количественных показателей крупных элементов рельефа на рассматриваемой территории. К существенным изменениям мы относим: изменение средней высоты осевой части хребта более чем на $1/10$; уменьшение максимальной ширины котловины или мощности ее осадков более чем на $1/3$; изменение простирания оси хребта более чем на 20° ; изменение возрастной группы пород в одноименных элементах рельефа. Например, существенные изменения считаются резкими (скачкообразными), если различия происходят в двух соседних пиках и сохраняются по обе стороны разделяющей их седловины на протяжении более $1/3$ осевой части хребта. Тогда такой хребет будет разделен на два блока.

Таким образом, к отдельному блоку может быть отнесена часть крупного элемента рельефа. Блок может состоять и из одного крупного элемента рельефа (если на его протяжении не происходит резких существенных изменений его показателей) и даже из системы однородных крупных элементов рельефа. Так, несколько близпараллельных хребтов, имеющих примерно одинаковый высотный уровень, тянущихся без резких изменений простирания и разделенных котловинами, ширина и уровень дна которых также не претерпевает резких изменений, будут отнесены к одному блоку. При этом породы, образующие хребты, должны относиться к одной возрастной группе, а мощности осадков в котловинах не должны претерпевать резких изменений. Отметим, наконец, что постепенное изменение какого-либо из количественных показателей на протяжении одного крупного элемента рельефа не дает основания разделять эту морфоструктуру на отдельные блоки, даже если суммарное изменение данного показателя достигает существенной величины.

2. При выделении поперечных линеаментов отметим две группы признаков.

Это, во-первых, признаки, характерные для поперечной зоны как таковой. К ним относятся прерывистые прямолинейные участки долин (в частности, долины прорыва), отдельные поперечные гряды и даже хребты, геологически или морфологически выраженные линии дизъюнктивных нарушений и флексур (в частности, тектонические уступы), а также линейные интрузивные тела и контакты разновозрастных пород поперечного простирания. Перерывы в проявлении указанных форм могут в своей совокупности составлять значительную часть общей протяженности линеамента.

Во-вторых, при пересечении предполагаемым поперечным линеamentом продольных морфоструктур должны отмечаться существенные их изменения, благодаря которым, собственно, и уточняют границы (блоков, на которые разбивают

мегаблок. К таким изменениям относятся: а) резкое изменение азимута оси или линии подножия хребта, а также аналогичное изменение простирания прилегающей к хребту продольной долины или линеамента; б) резкое изменение высоты осевой части хребта; в) окончание крупных элементов рельефа и продольных разломов — они подходят к одной из сторон зоны поперечного линеамента, но не продолжают по другую ее сторону; г) значительное различие мощности отложений в межгорных котловинах по разные стороны от предполагаемого поперечного линеамента. Иногда продольный хребет или разлом не оканчиваются у поперечного линеамента, но кулисно замещаются по другую сторону его зоны; такое замещение может происходить и с котловинами или продольными долинами. Нередко в зоне поперечного линеамента происходят смещения оси и линии подножия хребта, направленные в одну сторону. Величина смещения обычно не превышает двух-пяти километров.

В целом для выделения морфоструктурных линеаментов необходимо не только выявить зону на основе ее признаков, но и установить, что территории, расположенные по обе стороны от нее, могут быть отнесены к разным морфоструктурным глыбам. Это важно учитывать при дешифрировании космических снимков, на которых видно много линий, полос потемнения и посветления. Так, если при наземных исследованиях элементы поперечной зоны всегда выражены прерывисто, то на космических снимках такие зоны предстают часто в виде непрерывных линий. Только при переносе таких линий на топографическую основу и последующем изучении каждой линии с учетом сказанного выше можно установить, является ли данная поперечная полоса зоной морфоструктурного линеамента.

3. Границы морфоструктурных узлов определяются при полевых исследованиях. Следуя вдоль зоны каждого из пересекающихся линеаментов, устанавливают место, начиная с которого нарушается линейность зоны, что указывает на вступление в узел. Рельеф приобретает при этом мозаичность, дробность. В узле сочетаются контрастные типы рельефа, такие, как горные склоны и подгорные равнины; границы типов рельефа приобретают ломаную форму; появляются линейные формы рельефа различных простираний, соответственно пересекающимся в узле линеаментам. Состав геологических пород становится пестрым, причем типичны контакты древних и молодых пород. Все эти признаки созданы молодыми активными тектоническими движениями по линиям нескольких простираний.

Прекрасной иллюстрацией высокой тектонической активности разломов разных простираний в узлах являются данные о скоростях современных движений, полученные на Алма-Атинском и Гармском полигонах, расположенных в пределах узлов (соответственно 1 и 24 на рисунке). Высокие градиенты современных движений характерны здесь для линий повторных нивелирований, расположенных как вкрест, так и вдоль простираний современных морфоструктур. Такое распределение скоростей движений свидетельствует о высокой активности современных тектонических движений по продольным и поперечным разломам в пределах узлов [6, 7].

На схеме морфоструктурного районирования востока Средней Азии выделен сорок один морфоструктурный узел (см. рисунок). Яркие проявления активных тектонических движений в узлах приводят к неповторимому своеобразию облика рельефа каждого узла. Именно к узлам приурочены крупнейшие долины прорыва Тянь-Шаня и Памира: Сарыджаза (узел 41), Чу в Боамском ущелье (узел 5), Нижнего Нарына (узел 15), Обихингоу (узел 26). Возникновение этих долин в значительной мере связано с активностью движений в поперечных зонах.

В узлах отмечаются резкие увеличения числа и высоты низких террас, причем в некоторых узлах увеличение высоты террас происходит чрезвычайно стремительно (на 30 м на протяжении 1 км для второй террасы в долине р. Шахристан-Сай в узле 38). Деформации низких террасовых уровней отмечены в пределах и других узлов [8-10]. Молодыми и современными блоковыми движениями в некоторых узлах созданы тектонические перемычки в доли-

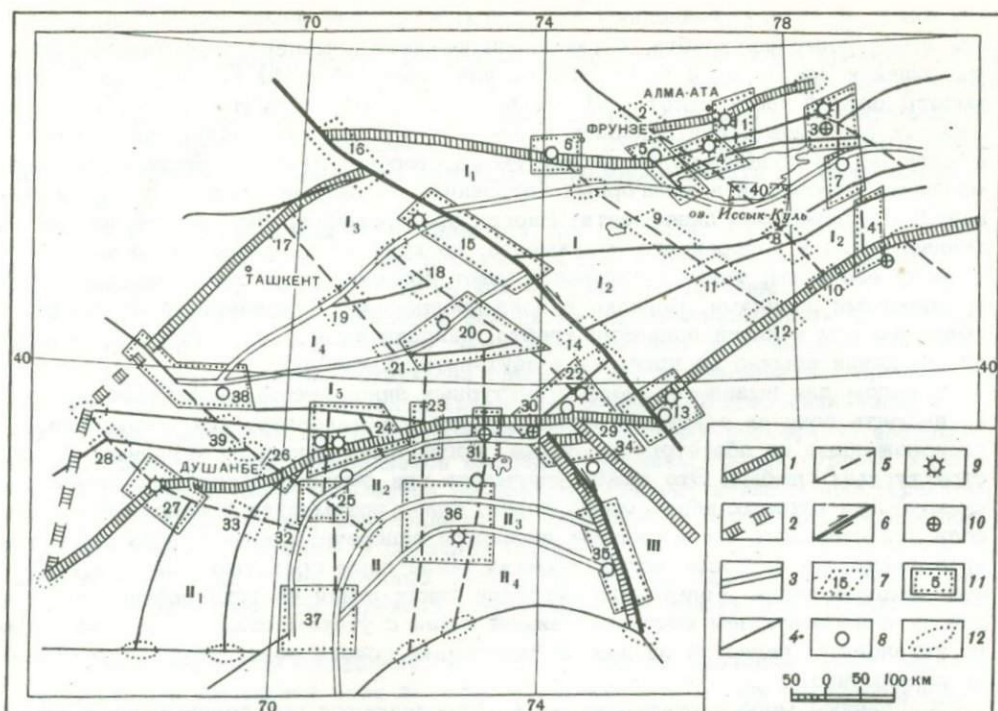


Схема морфоструктурного районирования Тянь-Шаня и Памира

1-6 - морфоструктурные линейменты: 1 - продольные первого ранга, 2 - поперечные первого ранга, 3 - продольные второго ранга, 4 - продольные третьего ранга, 5 - поперечные третьего ранга, 6 - главные сдвиги; 7 - границы морфоструктурных узлов и их номера; 8-10 - эпицентры сильных землетрясений: 8 - магнитудой (M) от 6,5 до 6,9, 9 - $M \geq 7$, 10 - землетрясений после 1970 г.; 11 - узлы, в которых возможны сильные землетрясения, согласно распознаванию [3]; 12 - пересечения линейментов, которые не рассматривались как морфоструктурные узлы и не были включены в распознавание; I-III - морфоструктурные глыбы (горные страны): I - Тянь-Шань, II - Памир, III - Западный Кунь-Лунь; мегаблоки: I₁ - Северный, I₂ - Центральный, I₃ - Чаткальский, I₄ - Ферганский, I₅ - Алайский, II₁ - Памиро-Алайский, II₂ - Северо-Памирский, II₃ - Центральнo-Памирский, II₄ - Южно-Памирский

Морфоструктурные узлы: 1 - Алмаатинский, 2 - Кастекский, 3 - Чиликский, 4 - Чон-Кеминский, 5 - Боамский, 6 - Киргизский, 7 - Восточно-Терскайский, 8 - Акшийрякский, 9 - Сонкельский, 10 - Кокшаальский, 11 - Атбашинский, 12 - Аксайский, 13 - Кашгарский, 14 - Ферганский, 15 - Чаткальский, 16 - Каратауский, 17 - Арысский, 18 - Наманганский, 19 - Северо-Ферганский, 20 - Андижанский, 21 - Южно-Ферганский, 22 - Улугчатский, 23 - Алайский, 24 - Хаитский, 25 - Дарвазский, 26 - Сурхоб-Обихингоуский, 27 - Карадагский, 28 - Западно-Гиссарский, 29 - Кызылсуиский, 30 - Сарыкольский, 31 - Заалайский, 32 - Пянджский, 33 - Вахшский, 34 - Куньлуньский, 35 - Ташкурганский, 36 - Центральнo-Памирский, 37 - Файзабадский, 38 - Туркестанский, 39 - Зеравшанский, 40 - Южно-Иссыккульский, 41 - Сарыджазский

нах рек, выше которых возникли такие крупные озера, как Сарычелек (узел 15), Иссык (узел 1), Яшилькуль на Памире (узел 36). Общей чертой рельефа всех узлов является обилие в них следов гравитационно-тектонических перемещений масс на склонах. Некоторые из этих обрущений произошли при катастрофических землетрясениях XX в., другие сохранились в виде обвальнo-скальных барьеров в долинах рек. Их приуроченность к узлам обусловлена

как повышенной сейсмичностью узлов, так и наличием большого количества размельченного материала в местах пересечения активных разломов разных простираний.

В итоге подчеркнем, что яркое и непосредственное выражение в рельефе сейсмоактивных узлов молодых тектонических движений позволяет наметить места, в которых следует ожидать и наиболее интенсивные современные движения.

ABSTRACT

Main principles of formalized morphostructural zoning are considered in the article. At zoning the sites with different degree of activity of modern tectonic movements are distinguished. The points of intersection of linear zones different in range and striking — morphostructural knots appeared to have the highest activity. Epicenters of all strong earthquakes (M 6.5) are situated here. The article is illustrated by a scheme of morphostructural zoning of the Tien-Shan and Pamirs.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеевская М.А., Габриэлов А.М., Гвишиани А.Д. и др. Морфоструктурное районирование горных стран по формализованным признакам. — Вычислительная сейсмология, 1977, вып. 10.
2. Герасимов И.П., Ранцман Е.Я. Морфоструктура горных стран и их сейсмичность. — Геоморфология, 1973, № 1.
3. Гельфанд И.М., Губерман Ш.А., Извекова М.Л. и др. Распознавание мест возможного возникновения сильных землетрясений. I. Памир и Тянь-Шань. — Вычислительная сейсмология, 1973, вып. 6.
4. Гельфанд И.М., Губерман Ш.А., Жидков М.П. и др. Распознавание мест возможного возникновения сильных землетрясений. II. Юго-Восточная Европа, Малая Азия и Закавказье. — Вычислительная сейсмология, 1974, вып. 7.
5. Гельфанд И.М., Губерман Ш.А., Кейлис-Борок В.И. и др. Условия возникновения сильных землетрясений (Калифорния и другие регионы). — Вычислительная сейсмология, 1976, вып. 9.
6. Атрушкевич П.А. Современные движения земной коры на Алма-Атинском полигоне по данным повторных нивелировок. — В кн.: Современные движения земной коры на геодинамических полигонах. Ташкент: Фан, 1972.
7. Финько Е.А., Энман В.Б. Современные движения земной поверхности в зоне Сурхобского разлома. — Геотектоника, 1971, № 5.
8. Калецкая М.С., Ранцман Е.Я. Морфоструктурные особенности района Сарыкамьшского землетрясения. — В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1973, № 5.
9. Жидков М.П., Малиновская Л.Н. Позднеплейстоценовые и голоценовые тектонические движения в зоне сочленения Заилийского Алатау и Илийской впадины. — Геоморфология, 1975, № 4.
10. Былинская Л.Н. О строении долины реки Чилик (Северный Тянь-Шань). — В кн.: Землеведение. М.: Изд-во МГУ, 1977, Нов. сер., т. 12 (52).

УДК 551.24 (471.2)

Л.Р. СЕРЕБРЯННЫЙ, Л.Е. СЕТУНСКАЯ

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ТЕКТониКИ СЕВЕРО-ЗАПАДА РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Современные тектонические движения территории Северо-Запада СССР, и особенно Прибалтики, изучены гораздо лучше по сравнению с другими районами нашей страны. Этому способствует достаточно густая сеть линий высокоточного повторного нивелирования и уровневых пунктов. Рассматриваемая территория непосредственно примыкает к Фенноскандии, "классической области" изучения неотектоники, для которой впервые были составлены карты

современных движений земной коры (по уровнемерным данным). Естественно, что и в Прибалтике довольно давно сложились определенные подходы к изучению современных вертикальных движений. Исследования велись в двух направлениях. Движения прибрежных районов выявлялись путем анализа рядов многолетних уровнемерных наблюдений, для остальных территорий основу составили материалы обработки повторных нивелирований.

Впервые систематизированные данные о современных тектонических движениях всей территории Северо-Запада СССР представлены на карте скоростей современных тектонических движений западной половины Европейской части СССР, приведенной в коллективной монографии [1]. Опубликован ряд карт отдельных районов Прибалтики: Эстонской ССР [2-4], юго-запада Прибалтики [5, 6], всей территории Прибалтийских республик [7, 8] и др. Известны схемы изобаз современных вертикальных движений земной коры побережья Балтийского моря [9, 10]. Наконец, последней сводной работой, положенной в основу этой статьи, является "Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы" в масштабе 1:2 500 000 [11]. Она создана в соответствии с международным исследовательским проектом "Современные движения земной коры" учеными восьми социалистических стран Европы.

Нами для этой карты подготовлен макет территории Прибалтийских республик и смежных районов РСФСР и БССР. В основу его положены геодезические и океанографические данные и материалы геолого-геоморфологических исследований, включая результаты личных полевых наблюдений как вдоль линий, так и внутри полигонов повторного нивелирования. Краткое предварительное сообщение по итогам проведенной работы было опубликовано нами ранее [12]. В нем основное внимание было обращено на закономерности распределения полей скоростей современных движений. Корреляция современных движений с движениями голоценового возраста освещена в другой статье [13]. Настоящее сообщение посвящено в основном выявлению связи современных движений с новейшими и более древними.

Наши исследования в целом подтвердили унаследованность современных движений от движений предшествовавших им эпох (рис. 1, 2).

Область Балтийской синеклизы преимущественно испытывает современное погружение, причем наибольшие скорости отмечены вдоль нижнего течения р. Неман (Нямунас), на Куршской косе и на северном побережье Калининградского (Самбийского) полуострова. В этой наиболее прогнутой части синеклизы нисходящие движения носят унаследованный характер. Кровли поверхности фундамента и дочетвертичных пород здесь глубоко опущены, характерны значительные мощности дочетвертичных отложений, причем их разрез отличается полнотой, необычной для территории северо-запада Русской равнины.

Тенденция к погружению в этом районе проявлялась и в четвертичный период, о чем свидетельствует наличие разновозрастных морских межледниковых горизонтов [14]. О недавних отрицательных движениях земной коры свидетельствуют данные о деформациях голоценовых береговых линий, а также высокая заболоченность устьев Немана и Преголи, развитие мелководных лагун с мощными аккумулятивными формами — песчаными косами и другие морфологические признаки.

На общем фоне современного погружения Балтийской синеклизы можно выделить дифференцированные движения отдельных структур. Так, например, Б.Н. Можаяв [15], ссылаясь на геоморфологические и геофизические данные, выделяет Клайпедское поднятие. На составленной нами карте значения скоростей в Клайпедском отрицательном, однако меньшей величины, чем в более северных и более южных пунктах побережья. Об относительном поднятии района Клайпеды свидетельствуют также известные нам по личным наблюдениям глубоко врезанные долины р. Данге и ее притоков.

В противоположность основной части Балтийской синеклизы расположенный в ее северной части Курземский выступ испытывает современное поднятие, которое унаследовано, по крайней мере, с древнего голоцена. Во всяком случае, об этом убедительно свидетельствуют деформации береговых линий поздне-

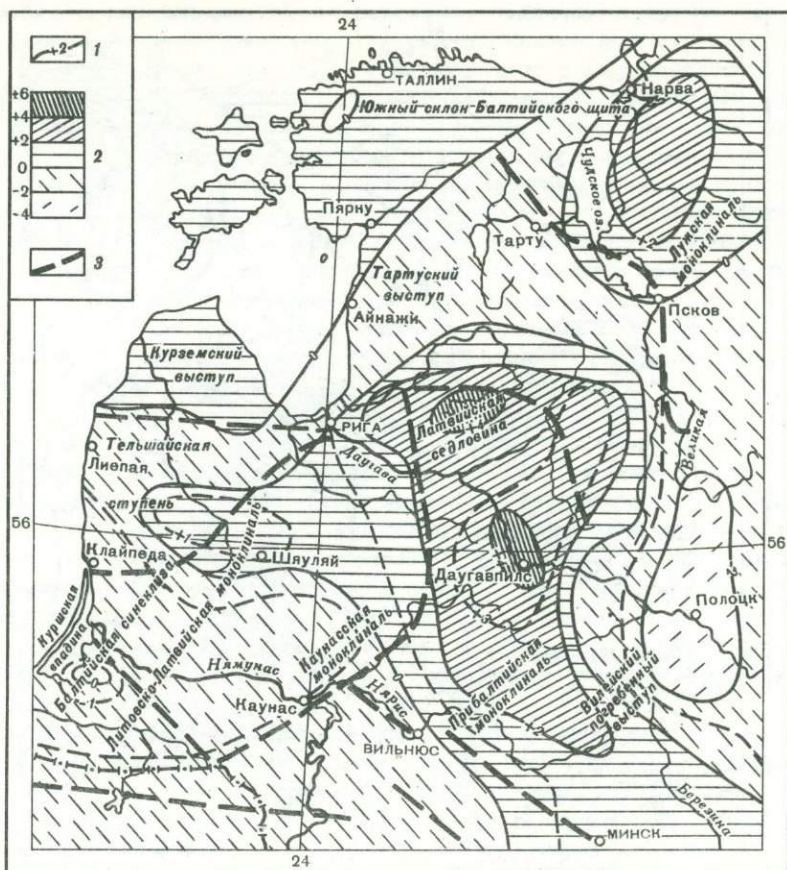


Рис. 1. Соотношение современных вертикальных движений с рельефом кристаллического фундамента северо-запада Русской платформы

1 — изолинии скоростей современных вертикальных движений, мм/год;
 2 — области поднятий и опусканий разной интенсивности; 3 — зоны глубинных разломов фундамента

и послеледниковых водоемов [16]. На общем фоне Курземского поднятия удалось выявить несколько локальных пликативных структур, которые выражены в рельефе поверхности фундамента и в вышележащих осадочных толщах. В некоторых случаях рост этих структур подтвержден материалами повторного нивелирования: в районе Кулдингского поднятия зафиксированы скорости современных движений до 2 мм/год, в районе Пилтенского — до 1,5 мм/год.

Курземское поднятие, по всей вероятности, следует рассматривать как часть более крупной области поднятия, охватывающей Балтийский щит и его платформенное обрамление. В пределы этой же области попадает и Северо-Эстонское поднятие, впервые выделенное А. Таммеканном [17] под названием Эстонской антиклинали. Унаследованный характер этого поднятия подтверждается данными о деформациях береговых линий поздне- и послеледниковых водоемов. Наиболее полный спектр этих линий представлен на северо-западе Эстонии, по направлению к югу и востоку высоты этих линий последовательно уменьшаются, а число их сокращается. Судя по многочисленным литературным данным [18, 19 и др.], изобазы разновозрастных голоценовых береговых линий Балтики отличаются сглаженной концентрической формой и взаимной параллельностью.

На фоне общего современного поднятия, охватывающего северную Эстонию, проявляются и локальные движения разной направленности. Например, довольно четко обособляются Тапаский и Улястеский блоки, ограниченные разлома-

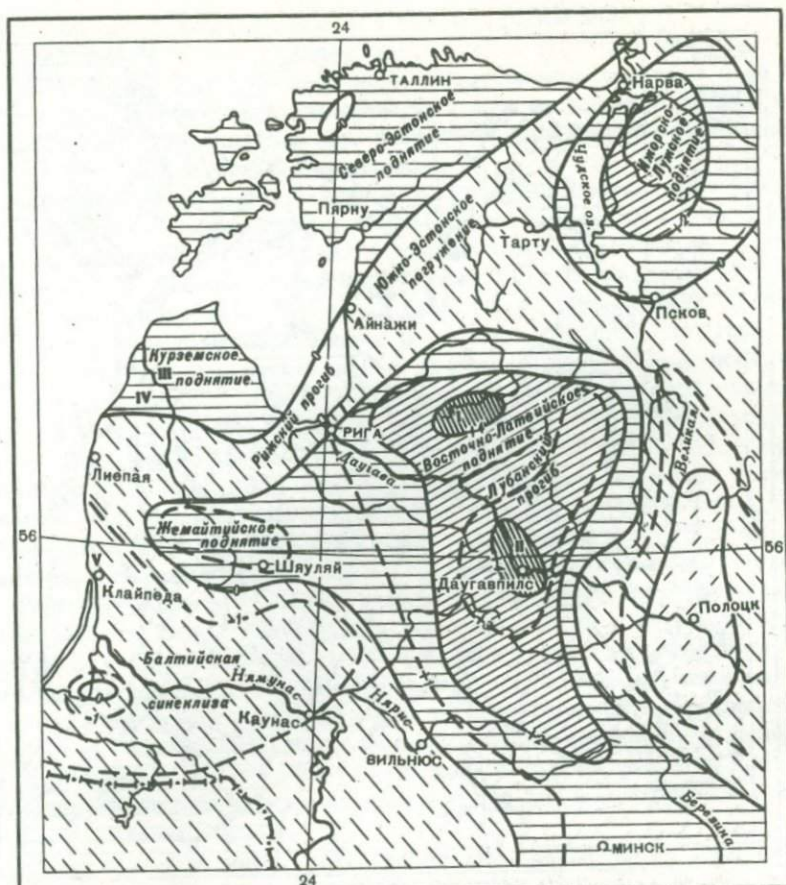


Рис. 2. Соотношение современных вертикальных движений со структурами осадочного чехла северо-запада Русской платформы

I-V — локальные поднятия осадочного чехла: I — Эрглинское, II — Даугавпилское, III — Пилтенское, IV — Кулдигское, V — Клайпедское
Условные обозначения см. на рис. 1

ми и окаймленные зонами повышенной тектонической активности Ахтме-Вийвиконне и Канткола-Йыгева. На рубежах блоков скорости современных вертикальных движений резко меняются [20].

Нулевая изобазы пересекает территорию Эстонии с юго-запада на северо-восток. В пределах Южно-Эстонской области погружения, охватывающей почти весь Тартуский выступ фундамента, оказываются низины Псковского и Чудского озер, а также озера Виртсъярв с окружающими возвышенностями Сакала, Отепя, Хаанья. Последняя в основном сопоставляется с унаследованным Локновским поднятием. Однако в современной тектонике здесь, очевидно, имеет место инверсия по отношению к древнему структурному плану.

Южно-Эстонская область современного погружения резко обрывается перед куэстовым уступом на контакте песчано-глинистых и карбонатных пород верхнего дерева [21]. Уступ ограничивает с севера полосу древних поднятий, которые проявляются и в современный период. Вероятно, рубеж между областями современного поднятия и опускания также связан с Валмиерско-Локновским валом. Восточная часть вала на протяжении платформенного этапа развития преимущественно поднималась, а в современный период испытывает опускание; напротив, в западной части вала, где в прошлом восходящие движения были менее интенсивны, проявляется современное поднятие.

Восточно-Латвийская область современного поднятия, приуроченная к Латвийской седловине, включает серию крупных положительных структур с признаками глубокой унаследованности. Особо выделяются Даугавпилское и Эрглинское поднятия, где скорости современных движений превышают +4 мм/год. Обе структуры выражены в рельефе фундамента и в строении осадочного чехла. В частности, антиклинальные формы в толщах верхнего девона вскрываются по берегам Даугавы, которая энергично врезается в районах этих поднятий.

На общем фоне преобладания восходящих движений в Восточно-Латвийской области имеются и локальные прогибы. Среди них выделяется Лубанский прогиб, в центральной части которого находится одноименное озеро, окаймленное заболоченными низинами. Лубанский прогиб прослеживается и в структурном плане верхнего девона. Относительное погружение этой территории отражается в строении речных долин. Однако материалов повторного нивелирования недостаточно, чтобы четко выделить здесь зону современного опускания.

Непосредственным продолжением Южно-Эстонской области опускания можно считать Рижский прогиб, выраженный и в современном рельефе, и в дочетвертичной поверхности. В этой же области прослеживается прогиб в кровле кристаллического фундамента с отметками порядка - 1400 м северо-западнее Риги. Признаки современного погружения неоднократно отмечались для района Риги по неравномерным данным и материалам повторного нивелирования [9, 22], однако непосредственно к югу от этого района в современном тектоническом плане выражено поднятие, охватывающее равнины Земгале. При сопоставлении результатов повторного нивелирования 30-х и 60-х годов выяснилось, что район Плявиньской ГЭС по отношению к Риге поднимается со скоростью порядка 1 мм/год [23].

Современным поднятием охвачена вся Ижорская возвышенность, причем на этом фоне контрастно выделяются локальные растущие структуры типа Мишиногорской трубки взрыва близ Гдова, Нарвского купола и др. Обычно такие структуры оказывают влияние на строение долин в окружающих районах.

Для восточной половины рассматриваемой территории характерно, как отмечалось выше, современное опускание. На общем фоне относительно слабых (до 1 мм/год) опусканий выделяется несколько районов, где интенсивность опускания возрастает до 2,5 мм/год, а иногда и более. Это прежде всего меридиональная зона, примыкающая с востока к области Восточно-Латвийских поднятий и сопряженная с ней. Ось зоны проходит через Лепель - Полоцк - Опочку на Псков. В тектоническом отношении зона главным образом приурочена к Латвийской седловине, к ее восточной части. Другая зона относительно интенсивного современного погружения - Ильмень-Онежская [19]. Она приурочена к юго-восточной периферии и склону Балтийского щита и протягивается в северо-восточном направлении до Ветреного пояса. На юге эта зона смыкается с Полоцко-Псковской зоной опускания. В качестве компенсационной ей противостоит зона современных поднятий Валдайской возвышенности, протягивающаяся строго параллельно ей с юго-восточной стороны. На фоне общего современного погружения Ильмень-Онежской зоны выражены отдельные участки, испытывающие относительное поднятие. Таково, например, Дедовичское поднятие к востоку от Судомской возвышенности, прослеживаемое также в строении осадочной толщи девона и четвертичных отложений [15].

Крупная субмеридиональная полоса поднятий Восточной Латвии продолжается от Латвийской седловины на юг в пределы Вилейского погребенного выступа и частично Прибалтийской моноклинали, выделяемых по кровле нижнего кембрия. На этой территории скорости современных восходящих движений достигают 2, а местами 3 мм/год, что Э.А. Левков считает максимальными значениями для всей Белоруссии [24]. В поднятие втягивается и большая часть Белорусской антеклизы, включая в основном ее центральный массив, где скорости восходящих движений, впрочем, не превышают 1 мм/год. Самые значительные скорости установлены в районе Бобруйска (+2,2 мм/год), где находится погребенный докембрийский выступ, составляющий периклинальное окончание Белорусской антеклизы.

Западная часть этой антеклизы испытывает современное погружение со скоростями $-0,1$, $-0,7$ мм/год, образуя единый структурный комплекс с Балтийской синеклизой. По Э.А. Левкову, вся эта территория приурочена к области активного проявления разломной тектоники в четвертичный период. Заметим, что на протяжении по крайней мере позднечетвертичного времени Балтийская антеклиза целиком была охвачена значительным поднятием, которое в определенной мере препятствовало распространению последнего ледникового покрова в южном направлении. В настоящее время поднятие проявляется в центре и еще более активно на востоке антеклизы, тогда как западные районы погружаются.

В целом полученные сравнительные данные показывают, что современные тектонические движения обнаруживают значительную унаследованность от более древних. Эта тенденция довольно четко выражена для крупных структурных элементов, тогда как для элементов более низких рангов выявлены самые разные соотношения современных и древних движений. Причины здесь, видимо, во многом кроются в колебательном характере современных движений и узости их временного диапазона.

ABSTRACT

Modern tectonic movement of North-West of the USSR manifest some features inherited from Holocene, newest and more ancient movements. It is especially sharply displayed for large structural elements. For the elements of lower orders such inherited properties are not always manifested; even in contiguous regions different correlations of ancient and modern movements are often expressed.

The deeply inherited character of modern submersion in the area of the Baltic syncline is unquestionable. The modern uplift is typical for the Belorussian-Lithuanian anteklise and the Baltic crystalline shield with its platform framing. Differentiation of modern movements of individual sites is connected with large blocks of the fundament and structures of sedimentary cover.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные вертикальные движения земной коры. - Тр. ЦНИИГАиК, 1958, вып. 123.
2. Желнин Г.А. Точность и возможность метода повторного нивелирования. - В кн.: Современные и новейшие движения земной коры в Прибалтике. Вильнюс: Изд-во АН ЛитССР, 1964.
3. Zhel'nnin G. On the recent movements of the Earth's surface in the Estonian SSR. - In: Proceedings of the Second intern. sympos. on recent crustal movements. Helsinki, 1966.
4. Валлнер Л.А., Желнин Г.А. Новая карта изобаз территории ЭССР. - В кн.: Современные движения территории Прибалтики. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1975.
5. Лесис И.П. Современные движения земной коры на территории Прибалтики по данным точных и высокоточных нивелировок. - В кн.: Неотектонические движения в Прибалтике. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1960.
6. Лесис И.П. Современные вертикальные движения земной коры на территории юго-восточной Прибалтики по данным высокоточных нивелировок. - В кн.: Современные движения земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1963, № 1.
7. Рандярв Ю.Ю. Характер и скорости современных движений земной коры в Прибалтике. - В кн.: Современные движения земной коры, М., 1968, № 3.
8. Рандярв Ю.Ю. Вертикальные движения земной коры в Прибалтике по данным высокоточных нивелировок 1930-1970 гг. - В кн.: Труды Литовской сельскохозяйственной академии. Елгава. 1975, т. 5.
9. Якубовский О.В. Вертикальные движения земной коры на побережье Балтийского моря. - В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во ЭССР, 1965, № 2.
10. Якубовский О.В. Уточненная карта вертикальных движений земной коры побережья Балтийского моря. - В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во ЭССР, 1973, № 5.

11. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы. М.: ГУГК, 1973.
12. Серебрянный Л.Р., Сетунская Л.Е. Современные тектонические движения северо-запада Русской платформы. - В кн.: Современные движения земной коры: Тез. докл. VI Всесоюз. совещ. Таллин: Изд. АН ЭССР, 1972.
13. Серебрянный Л.Р., Сетунская Л.Е. О геолого-геоморфологической интерпретации "Карты современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы" в пределах территории Прибалтики. - В кн.: Современные движения территории Прибалтики. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1975.
14. Вонсавичюс В.П. Строение четвертичных отложений юго-западной Прибалтики: Автореф. канд. дис. Вильнюс, 1969.
15. Можяев Б.Н. Новейшая тектоника северо-запада Русской равнины. Л.: Недра, 1973.
16. Гринбергс Э.Ф. Позднеледниковая и послеледниковая история побережья Латвийской ССР. Рига: Изд-во АН ЛатвССР, 1957.
17. Таммекапп А. The Baltic Glint. A geomorphological Study, pt. 1. Tartu, 1940. (Publ. Inst. Geogr. Univ. Tartuensis; N 24).
18. Орвику К.К. О неотектонических движениях в Эстонской ССР на основе геологических данных. - В кн.: Неотектонические движения в Прибалтике. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1960.
19. Мешеряков Ю.А. Молодые тектонические движения и эрозионно-аккумулятивные процессы северо-западной части Русской равнины. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
20. Хейнсалу Ю., Сильдвэе Х. О связях между неотектоническими и современными дифференцированными движениями и зонами разломов в северо-восточной Эстонии. - Изв. АН ЭССР. Сер. химия - геология, 1971, т. 20, № 3.
21. Инданс А.П., Ковалевский М.И., Спрингис Е.Н. Неотектонические движения на примере Латвийской ССР. - В кн.: Неотектонические движения в Прибалтике. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1960.
22. Jakubovsky O. Vertical movements of the Earth's crust on the coasts of the Baltic sea. - In: Proceedings of the Second intern. sympos. on recent crustal movements. Helsinki, 1966.
23. Озол Л.П., Крупен Р.В. Изучение вертикальных движений земной коры в 1963-1964 гг. в районе Плявинской ГЭС. - В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1965, № 2.
24. Тектоника Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1976.

IV СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА И ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ

УДК 551.436.1(474.2)

Х.Х. СИЛЬДВЭЭ, А.М. МИЙДЕЛ

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ЭСТОНИИ

Основой для количественной оценки современных движений земной поверхности на территории Эстонии служат данные повторных нивелирований и равномерные наблюдения. По данным повторных нивелирований (рис. 1) установлено постепенное и более или менее равномерное поднятие территории, увеличивающееся с юго-востока на северо-запад [1, 2]. Уровнемерные данные о современных движениях земной поверхности часто противоречивы и не всегда согласуются с геодезическими и геолого-геоморфологическими данными.

Основным применяемым нами методом интерпретации схем современных движений является сравнительный комплексный анализ геодезических, геофизических и геолого-геоморфологических данных. Анализ проведен как территориально, так и по трассам повторного нивелирования.

По схемам современных движений земной поверхности [1, 2] территорию Эстонии можно разделить на две крупные части. Граница между ними, проходящая примерно по линии Пярну-Тапа (см. рис. 1), имеет северо-восточное простирание и частично согласуется с тектонически активной зоной, так называемой шарнирной линией [3], установленной по геолого-геоморфологическим данным. К этой зоне приурочен также ряд тектонических нарушений в палеозойских породах тоже северо-восточного простирания (см. рис. 1). Юго-восточная часть территории испытывает значительно более интенсивные по амплитуде движения (от $-1,0$ до $+1,0$ мм/год), чем северо-западная (от $1,0$ до $2,0$ мм/год).

Проведенный анализ показал, что отсутствуют ясные признаки связи между общим характером современных вертикальных движений земной коры и региональными геолого-геофизическими структурами (мегаблоками, которые установлены на территории республики; мощностью земной коры и т.д.). Это значит, что современные движения регионального характера, по-видимому, связаны с процессами, происходящими на больших глубинах и являющимися общими для всей области поднятия Фенноскандии.

Однако сопоставление карт разломной тектоники и блокового строения фундамента, которые составлены по геофизическим данным, с дифференцированными движениями, выявленными анализом смещений реперов на трассах повторного нивелирования, позволило установить между ними определенную связь. Оказалось, что участки с разнонаправленными современными вертикальными движениями (или участки с разными скоростями однонаправленных движений) приурочены к разломам или к зонам разломов. Главными из них являются Палдиско-Псковская, широтная - о-в Сааремаа - г. Муствээ и дугообразная зона вокруг Пярнуского залива (рис. 2). Хорошо выделяются в дифференциальных движениях Тапаский, Министеский и Мяръямааский блоки фундамента.

Новым доказательством тектонической активности некоторых разломов и дифференциально-блокового характера современных движений является Осмус-

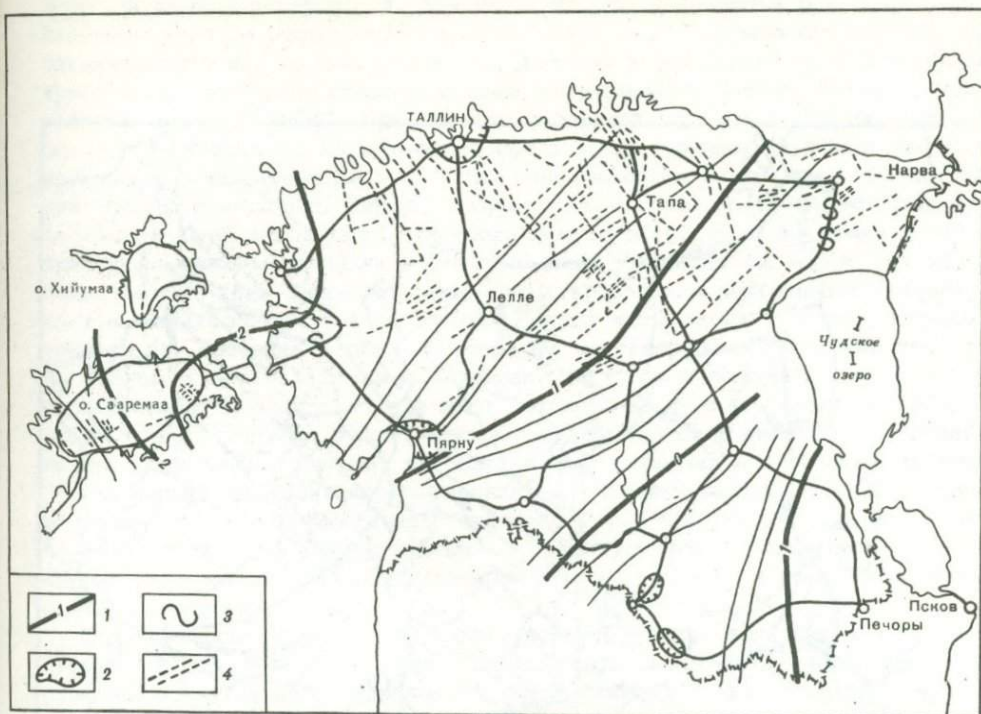


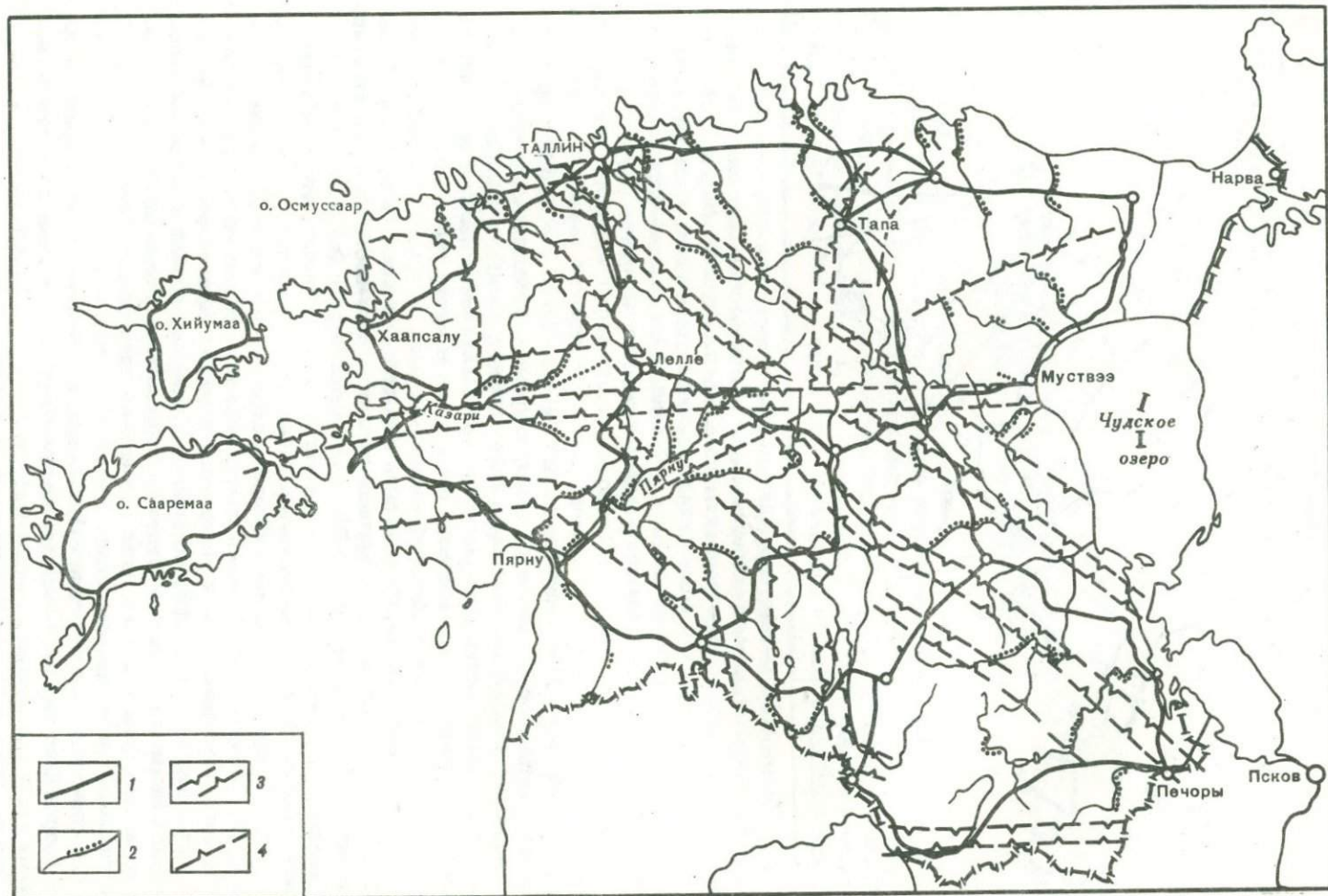
Рис. 1. Схема современных движений земной поверхности, по Л.А. Валлнер и Г.А. Желнину [2], и распространение зон тектонических нарушений и трещиноватости в палеозойских отложениях, по Ю. Хейнсалу и Р. Вахеру [9]

1 - изобазы скоростей современных движений, в мм/год, с интервалом 0,2 мм/год; 2 - участки локального опускания; 3 - районы чередования поднятия и опускания; 4 - зоны тектонических нарушений и трещиноватости

саарское (см. рис. 2) землетрясение 25 октября 1976 г. Судя по карте изосейст, активными являются разломы, например, на северо-западной границе Тапаского блока, разломы южнее Матсалуского залива и в средней Эстонии [4]. И само местоположение эпицентра заслуживает особого внимания. Можно предположить, что эпицентр расположен в месте пересечения двух зон разломов. Одна из них - Палдиско-Псковская зона. О другой прямых данных нет, но ее существование здесь весьма вероятно. Не исключено, что в районе о-ва Осмуссаар продолжается крупный разлом северо-восточного простирания, который, по данным М. Хярме [5], на северном берегу Финского залива у Порккалы погружается в воды Балтийского моря. Возможно, что влиянием этого разлома объясняется и некоторая вытянутость изосейст вокруг острова с северо-востока на юго-запад. Осмуссаарское землетрясение доказывает, что в Эстонии современные движения приурочены к разломам не только северо-восточного простирания, но и северо-западного. В связи с этим очень интересны данные Х. Паармы [6] об эпицентрах землетрясений в устье Финского залива. Они расположены как будто на продолжении Палдиско-Псковской зоны в заливе. Если это так, тогда налицо еще одно доказательство современной подвижности указанной зоны.

Геолого-геоморфологические данные (древние береговые линии приледниковых озер и Балтийского моря) указывают на унаследованный характер современных движений земной поверхности.

Для изучения дифференцированных движений были использованы также различные данные по геоморфологии долин (строение поймы, глубина вреза и т.д.), но наилучшие результаты дал анализ продольных профилей рек, которые по возрасту в наибольшей степени сопоставимы именно с современными дви-



жениями земной поверхности. Как видно на рис. 2, участки рек с аномальным падением нередко расположены в зонах глубинных разломов фундамента, либо заканчиваются или начинаются в них. Так как и смещения групп реперов на трассах нивелирования связаны с теми же разломами, очень вероятно, что разломы также "живые". Примером этого может служить р. Пярну, протекающая с северо-востока на юго-запад почти вдоль границы двух вышеуказанных крупных блоков. Аномальные участки расположены в основном в нижнем течении правых притоков р. Пярну, которые, таким образом, врезаются к юго-восточный край поднимающегося блока земной коры. В то же время на левые притоки, в нижнем течении которых падение уменьшается, оказывает влияние поднятие этого же блока, благодаря чему эрозионная деятельность их затухает в северо-западном направлении. Полоса аномальных участков в среднем течении рек бассейна Казари расположена на северной границе широтной зоны разломов о-ва Сааремаа-г. Муствээ. На трассах повторного нивелирования, пересекающих эту зону, в ряде мест установлены резкие скачки реперов, что вместе с данными о распространении сейсмической энергии Осмусаарского землетрясения указывает на современные подвижки в этой зоне. Влияние современного опускания хорошо проявляется в нижнем течении рек, впадающих в южные части озер Выртсъярв, Чудского и Псковского. Область наименьших падений рек в окрестностях южных берегов Чудского и Псковского озер совпадает с областью наибольшего современного опускания и с самой погруженной частью фундамента.

Однако перспективы использования продольных профилей рек в будущем ограничены из-за широкого размаха мелиоративных работ, приводящих к нарушению естественного гидрологического режима рек и изменению их продольных профилей.

Необходимо еще отметить, что использование морфометрического анализа дочетвертичного рельефа для выявления тектонических движений затруднительно. Неоднократные материковые оледенения на территории Эстонии местами сильно перерабатывали дочетвертичный рельеф. По новейшим исследованиям, ледниками унесен слой коренных пород мощностью 40-60 м, местами даже до 100 м [7, 8], что при разных морфометрических построениях весьма сложно учесть.

Для установления возможных блоковых или локальных дифференцированных современных движений разные карты геофизических полей, карты строения и тектоники кристаллического фундамента и осадочного чехла сопоставлялись с геодезическими и геоморфологическими данными. Среди палеозойских (в основном песчаники и известняки с общей мощностью от 100 до 700 м) преобладают породы с медленно изменяющимися физическими свойствами.

В связи с этим отдельные структуры осадочного чехла в геофизических полях отражаются слабо как по вертикальной, так и по горизонтальной плоскостям. Из приведенного ясно, что основная часть геофизической и частично также геологической информации, используемая для сравнительного анализа, имеется только по фундаменту и по поверхностной части (рельеф, четвертичные отложения и тектонические нарушения в коренных породах).

В Северной Эстонии нередко встречается приуроченность локальных движений к зонам разломов, развитых в фундаменте и осадочном чехле. В Южной Эстонии, где по геодезическим данным можно предполагать ряд живущих зон северо-восточного простирания (см. рис. 1), установить связь этих зон с конкретными тектоническими нарушениями осадочного чехла весьма трудно. Это обусловлено частично тем, что тектоническое строение Южной Эстонии, где развиты терригенные девонские отложения, изучено еще слабо.

Рис. 2. Схема сопоставления разломов кристаллического фундамента и участков рек с аномальным падением

1 - трассы повторного нивелирования; 2 - участки рек с аномальным падением; 3 - зоны глубинных разломов; 4 - разломы

Как показал опыт, сравнительный анализ геолого-геоморфологических, геофизических и геодезических данных можно успешно проводить в масштабе 1:5 000 000 и меньше, но в масштабе карт 1:200 000 и крупнее имеющаяся густота реперов на трассах (через 1,5-2 км) и густота самой нивелирной сети для этой цели уже не достаточны. Для преодоления этих трудностей создан ряд мелких полигонов, но, несмотря на это, необходимо в дальнейшем усовершенствовать нивелирную сеть. Для успешного изучения современных движений земной поверхности важно также усилить и исследования структуры толщи палеозойских отложений, тектонически изученных пока крайне неравномерно.

ABSTRACT

Comparative analysis of geophysical materials on fault tectonics and the structure of the fundament and the data of repeated levelling has stated the differentiated recent movements to be situated at the faults or their zones. This is confirmed also by the Osmussaar earthquake of 1976 whose epicenter is situated at the point of intersection of two zones of faults. In fault zones the parts of rivers with anomalous fall are often situated. The attention is drawn to the little knowledge of the tectonic structure of Southern Estonia not allowing to interpret reliably the scheme of recent movements.

ЛИТЕРАТУРА

1. Желнин Г.А. Точность и возможность метода повторного нивелирования. - В кн.: Современные и новейшие движения земной коры в Прибалтике. Вильнюс: Изд. АН ЛитССР, 1964.
2. Валлнер Л.А., Желнин Г.А. Новая карта изобаз территории ЭССР. - В кн.: Современные движения территории Прибалтики. Тарту: Изд. АН ЭССР, 1975.
3. Орвику К.К. О неотектонических движениях в Эстонской ССР на основе геологических данных. - В кн.: Материалы совещания по вопросам неотектонических движений в Прибалтике. Тарту: Изд. АН ЭССР, 1960.
4. Клааманн Е. Koigi aegare tugevaim maavarin Eestis. - Eesti loodus, 1977, N 6.
5. Härgе M. On the fault lines in Finland. - Bull. Comm. Geol. Finlande, 1961, N 196.
6. Paarma H. On the tectonic structure of the Finnish basement, especially in the light of geophysical maps. - Fennia, 1963, N 1.
7. Исаченков В.А. Плейстоценовая экзарация и происхождение котловин крупных приледниковых озер северо-запада Русской равнины. - В кн.: Природа и хозяйственное использование озер северо-запада Русской равнины. Л.: 1976, вып. 1.
8. Маккавеев А.Н. О роли плейстоценовых оледенений в создании низменностей северо-запада Русской равнины: Тез. докл. V Всесоюз. совещ. по изучению краевых образований материковых оледенений. Киев: Наук. думка, 1976.
9. Хейнсалу Ю., Вахер Р. Зоны трещиноватости карбонатной толщи Северной Эстонии. - В кн.: Региональная тектоника Белоруссии и Прибалтики. Минск: Наука и техника, 1977.

УДК 551.24:551.794.528

Э.Э. ФОТИАДИ, Н.П. ЕСИКОВ,
П.А. ОСТРОПИКО, С.И. КЕСЕЛЬМАН

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

К настоящему времени накоплен большой материал систематических наблюдений за вертикальными движениями на геодинамических полигонах нашей страны, созданных, как известно, в сейсмоактивных регионах с целью изучения связи между медленными движениями коры и сейсмичностью, а также для разработки методов прогноза землетрясений. Однако пока не решены вопросы наиболее полного и эффективного использования этих наблюдений. Остается неясным, как идет процесс накопления медленных деформаций верхней час-

ти земной коры в наиболее характерных сейсмоактивных районах, является ли этот процесс равномерным или он флуктуирует во времени, как различаются тектонические районы по типу деформаций их интенсивности и развитию во времени и т.д.

С целью получения подобной информации были изучены два параметра, инвариантные относительно начала координат и характеризующие вертикальные деформации земной поверхности:

$$\gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{V_k - V_{k-1}}{\Delta S_{k; k-1}} + \frac{V_{k+1} - V_k}{\Delta S_{k+1; k}} \right),$$

$$\theta = \frac{1}{2} \left(\frac{V_k - V_{k-1}}{\Delta S_{k; k-1}} - \frac{V_{k+1} - V_k}{\Delta S_{k+1; k}} \right),$$
(1)

где V — перемещения трех смежных реперов, расположенных на прямолинейном отрезке профиля; ΔS — расстояния между ними.

Очевидно, что параметр γ представляет собой полусумму "разделенных разностей первого порядка" и, стало быть, характеризует первую производную функции V в окрестности промежуточного репера с номером k и приближенно равен тангенсу угла наклона касательной к кривой V в данной точке. Запомним, что в модели однородного деформирования подобная характеристика отражает сдвиговую компоненту деформации в плоскости вертикального разреза приповерхностной части земной коры.

Как видно из (1), параметр θ равен полуразности "разделенных разностей первого порядка". Действительно, если имеется функция $y = f(x)$, то, как известно, кривизна K определяется через первую и вторую ее производные следующим образом:

$$K = \frac{y''}{(1 + y'^2)^{3/2}}.$$
(2)

Поскольку $y' \approx \gamma$ составляет практически величину порядка $10^{-6} - 10^{-7}$ в год, то ее квадратом по сравнению с единицей можно пренебречь, и

$$K \approx y'' \sim \theta \cdot \text{const.}$$
(3)

Однако параметр θ может быть обусловлен только процессом изгиба в практически мало вероятном случае распределения вертикальных перемещений, когда эпюра перемещений точек поверхности в точности повторяет эпюру перемещений точек на глубине. В общем случае распределения скорости по глубине генезис параметра θ будет связан не только с изгибовой деформацией в окрестности промежуточной точки с номером k , но и с деформацией растяжения-сжатия, приводящей при рассмотрении отдельного конечного элемента вертикального разреза коры к относительному изменению его площади. Очевидно, что без знания закона изменения вертикальных перемещений с глубиной, который, кроме того, может изменяться и в латеральном направлении, невозможно отдельно оценить вклад в рассматриваемый параметр собственно дилатации и изгибовой деформации.

Интерпретация этой характеристики усложняется при наличии горизонтальных перемещений вдоль профиля повторного нивелирования. Действительно, при определенном распределении вертикальных перемещений на глубине, отличающемся от поверхностного распределения, и при наличии сжимающих горизонтальных смещений вдоль профиля относительного изменения площади отдельного конечного элемента вертикального разреза может и не произойти. В подобном случае параметр θ может быть обусловлен лишь изгибовой деформацией. При наличии же растяжения вдоль профиля и при эпюрах вертикальных

перемещений, как и в случае сжатия, параметр θ вновь будет носить сложный характер.

Таким образом, однозначная физическая интерпретация природы параметра θ без знания условий на глубине невозможна. Однако во всех случаях рас-пределения вертикальных перемещений точек разреза коры он генетически связан с процессами изгиба и относительного расширения-сжатия рассматриваемого участка. Для краткости указанные параметры γ и θ будем называть соответственно наклоном и изгибом.

Ниже рассмотрен временной ход указанных характеристик по данным повторных нивелировок на Алма-Атинском [1], Байкальском и Гармском геодинамических полигонах. На рис. 1, 2 приведены значения накопленных эффектов наклона и изгиба и абсолютных значений последних в среднем по каждому полигону.

Как видно из рис. 1, а, на Алма-Атинском полигоне процесс нарастания параметра γ до 1969 г. сменился затем его убыванием. Общий спад за указанный период времени аппроксимируется прямой зависимостью

$$\gamma = 3,9 - 0,2T \quad (T - \text{в годах}).$$

Остаточная кривая за 1968-1975 гг. может быть представлена процессом затухающих колебаний с периодом около трех лет и с логарифмическим декрементом затухания около 0,35. Особенностью изменения годовой интенсивности деформации на данном полигоне было систематическое ее уменьшение (см. рис. 2, а). Абсолютное значение наклона к 1974 г. уменьшилось в 4 раза, а подобное значение изгибовых деформаций - в 5 раз. Скорость спада постепенно уменьшалась, и кривые к периоду 1973-1974 гг. начали выполаживаться. При этом величина отношения наклона к изгибу в течение 5 лет, с начала наблюдений и до 1972 г., почти линейно нарастала, т.е. процесс наклона, можно сказать, вел себя более консервативно, чем процесс изгиба. Начиная с 1972 г. при продолжающемся общем спаде интенсивности обеих компонент упомянутое отношение начало флуктуировать.

Сейчас, конечно, трудно сказать, является ли выполаживание кривых началом спокойного периода или уже в последующие годы возможно увеличение интенсивности деформаций. Это существенно в связи с тем, что область непосредственной подготовки сильного землетрясения может характеризоваться спадом фона деформирования на общем возрастающем фоне в смежных районах. К сожалению, о подобных деформациях сопредельных территорий сведений не имеется. Данные за 1974-1975 гг. показывают некоторое повышение годовой интенсивности деформации.

Анализ накопленных значений параметров γ и θ на Байкальском полигоне (см. рис. 1, б) показывает, что наклон за период с 1968 по 1976 г. имел достаточно четкую тенденцию к увеличению. При этом два периода (1968-1970 и 1973-1976 гг.) почти с одинаковой скоростью эффекта накопления разделены интервалом времени 1970-1972 гг., когда накопления не происходили, а интегральный эффект относительно 1968 г. даже несколько уменьшился. Изменения изгибовой деформации, как видно из рисунка, носили ритмичный характер, что является отражением знакопеременности этой компоненты.

Годовая интенсивность изгибовой деформации развивалась ритмично с квазипериодом примерно в три года. Подобная характеристика наклона менялась незначительно, достигнув максимальных значений в 1970 и 1976 гг. (см. рис. 2, б).

Таким образом, по Селенгинскому профилю [2] Байкальского полигона в целом за период 1968-1976 гг. наблюдались ступенчатообразное возрастание наклона земной поверхности в сторону оз. Байкал и ритмичные изменения изгибовой компоненты.

Для Гармского полигона параметры γ и θ рассчитаны по литературным данным [3-5]. На рис. 1, в приведены значения наклона, полученные по нивелировкам с интервалом в один год. Очевидно, что накапливаемый эффект наклона

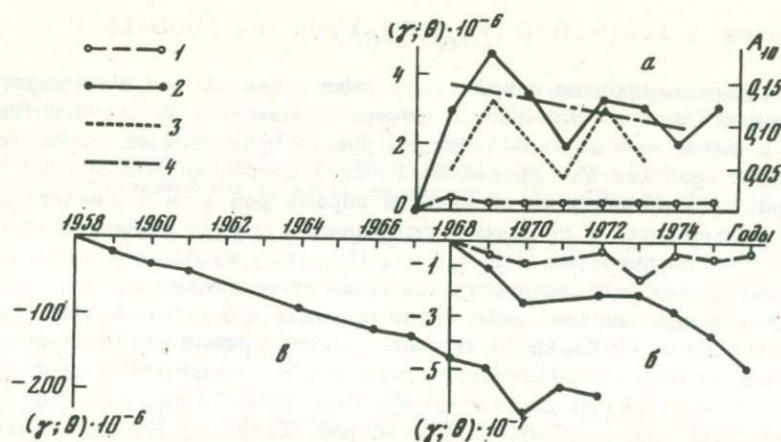


Рис. 1. Развитие во времени алгебраически накапливаемого эффекта деформации земной поверхности в целом по полигонам: а - Алма-Атинскому, б - Байкальскому (Селенгинский профиль), в - Гармскому

1 - изгиб; 2 - наклон; 3 - сейсмическая активность на уровне К-10; 4 - аппроксимирующая прямая

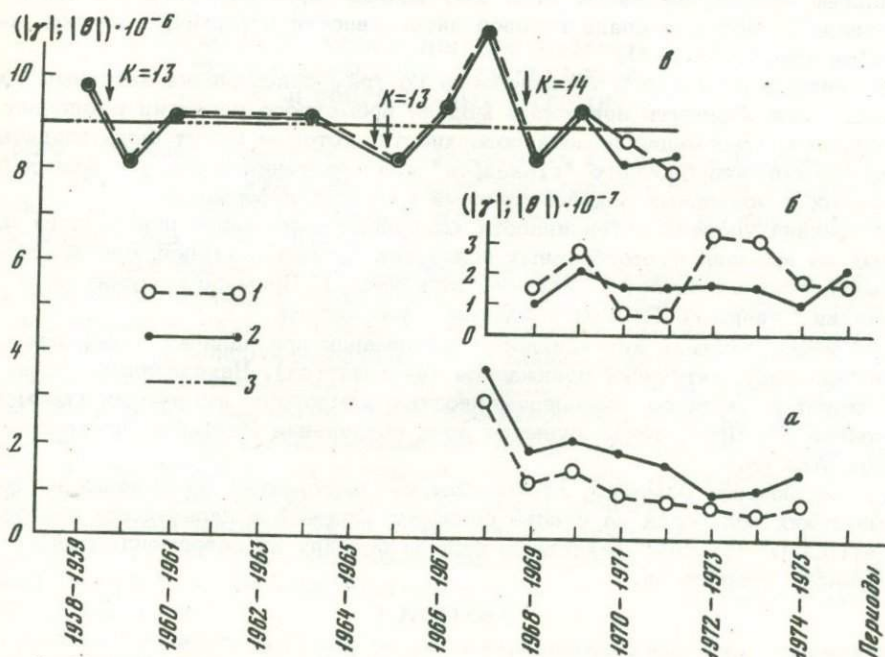


Рис. 2. Изменение во времени годовой интенсивности деформаций земной поверхности в среднем по полигонам: а - Алма-Атинскому, б - Байкальскому (Селенгинская депрессия), в - Гармскому

1 - изгиб; 2 - наклон; 3 - средний уровень интенсивности деформаций на Гармском полигоне

на в среднем по полигону в течение всех 14 лет неуклонно нарастал со средней скоростью $4 \cdot 10^{-6}$ /год. Так как участки полигона в какой-то степени чередуются, то в среднем происходит компенсация изгиба и алгебраически накапливаемый эффект по всей территории оказывается близким к нулю.

Годовая интенсивность компонент деформации на этом полигоне (см. рис. 2, в) менялась весьма значительно. Максимальные значения ее наблюдались в периоды 1960-1961 гг., 1963-1964 гг. и 1967-1968 гг. Минимумы

мы приурочены к 1959-1960 гг., 1961-1962 гг., 1965-1966 гг. и 1968-1969 гг.

Таким образом, процесс современной деформации земной поверхности в зоне сочленения Южного Тянь-Шаня с Северным Памиром по своей интенсивности намного выше, чем в Алма-Атинском районе и на порядок превышает подобные характеристики для Усть-Селенгинской депрессии Байкальской рифтовой зоны. Характер изменения интенсивности параметров γ и θ свидетельствует о наличии ритмичности в процессе современного деформирования земной поверхности с квазипериодами в 2-4 года. При этом на Алма-Атинском и Байкальском полигонах направленность движений знакопеременна.

Сопоставление компонент деформации с данными о сейсмичности показывает, что в период 1968-1973 гг. наблюдалась прямая связь накопленных значений наклона по Алма-Атинскому полигону с сейсмической активностью на уровне $K=10$ (A_{10}) для Северного Тянь-Шаня в пределах координат $41^{\circ}40' - 44^{\circ}30'$ с.ш. и $75-80^{\circ}$ в.д. (см. рис. 1, а) [6]. Возникновение Саракамышского землетрясения приурочено к спаду годовой интенсивности деформаций.

Развитие деформации в Усть-Селенгинской депрессии Байкальской рифтовой зоны в период 1968-1973 гг. протекало синхронно с изменением уровня общей активности всего региона, увеличивавшейся от 1968 г. до 1970 г. и затем уменьшившейся в последующие два года [6].

Сильные землетрясения ($K=13, 14$) вблизи Гармского полигона были приурочены ко времени спада годовой интенсивности деформации земной поверхности (см. рис. 2, в).

Изложенные результаты исследований по трем сейсмически активным районам позволяют наметить некоторые модели временного развития компонент вертикальных деформаций земной поверхности, которые могут быть приняты в качестве ориентировочного "стандарта" для сравнения с ним различных региональных и локальных закономерностей развития деформаций.

1. Средний уровень интенсивности компонент деформации при наличии локальных во времени бухтообразных всплесков постоянен. Накопленный эффект систематически нарастает (возможна флуктуация). Примером служит зона сочленения Северного Памира с Южным Тянь-Шанем.

2. Средний уровень интенсивности деформации при наличии локальных отклонений систематически понижается (повышается). Накопленный эффект флуктуирует в связи со знакопеременностью компонент деформации (возможно нарастает). Прототипом является зона сочленения Илийской впадины с Заилийским Алатау.

И в заключение заметим, что обобщение многолетних наблюдений на геодинамических полигонах на основе подобных моделей в дальнейшем позволит систематизировать сейсмоактивные районы по типу их современных деформаций земной поверхности.

ABSTRACT

By the data of many-year repeated levellings on the Alma-Ata, Baikal and Garm geodynamic test-areas the development in time of inclination and curvature of the Earth's surface finite elements as the components of pure deformation is analyzed. A number of peculiarities in the development of the accumulated effect of deformations and their annual intensity is revealed, in particular, the cyclicity of inclination on the Alma-Ata test-area with the change of the sign, its development in one direction at the Garm test-area, the bend cyclicity in Ust-Selenga depression of the Baikal test-area, etc. The temporal behaviour of the accumulated effect of deformations and their annual intensity is compared with the development of seismic activity. A connection of the accumulated effect of the deformation on the whole with the territory of the Alma-Ata test-area with the seismic activity at the level of $K=10$ is established. Development of deformations in Ust-Selenga depression proceeded simultaneously with variation of the level of the total activity of the region. Strong earthquakes ($K=13, 14$) near the Garm test-area occur in the period characterized by the fall of annual intensity of the Earth's crust deformations.

1. Антрушкевич П.А., Алма-Атинский полигон по изучению современных движений земной коры. — В кн.: Геология, Алма-Ата: Изд-во МВнССР КазССР, 1969, вып. 5.
2. Колмогоров В.Г., Колмогорова П.П. Характер проявления вертикальных движений земной поверхности на Селенгинском профиле. — В кн.: Методические вопросы исследования современных движений земной коры. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1975.
3. Буланже Ю.Д., Певнев А.К. О характере вертикальных смещений на Гармском полигоне. — В кн.: Предвестники землетрясений. М.: ВИНТИ, 1973.
4. Певнев А.К., Финько Е.А., Шатский В.И., Энман В.Б. Многолетние геодезические исследования на Гармском полигоне и их геолого-геоморфологическая интерпретация. — В кн.: Современные движения земной коры. М.: 1968, № 4.
5. Финько Е.А., Энман В.Б. Современные движения земной поверхности в зоне Сурхобского разлома. — Геотектоника, 1971, № 5.
6. Землетрясения в СССР. М.: Наука, 1970-1973.

УДК 551.242

Э.Э. ФОТИАДИ, Н.П. ЕСИКОВ, В.Г. КОЛМОГОРОВ,
П.П. КОЛМОГорова, С.И. КЕСЕЛЬМАН

СОВРЕМЕННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Количественные характеристики современных деформаций земной коры рифтовых зон и прилегающих к ним районов представляют особый интерес, поскольку подобные зоны относятся к важнейшим объектам исследования специалистов различных наук о Земле.

В настоящей статье рассматривается латеральное распределение современных деформаций земной поверхности по ряду региональных профилей повторного нивелирования, секущих южную часть Сибирской платформы, Байкальскую рифтовую зону и Западно-Забайкальскую глыбово-волновую зону (рис. 1).

Южная часть Сибирской платформы. Профиль Красноярск — Иркутск проходит вдоль железнодорожной магистрали и пересекает юго-западную окраину Сибирской платформы. Исходными данными для определения современных деформаций земной поверхности служили результаты нивелировок, выполненных геодезической службой нашей страны в 1937-1943 гг. Компоненты изгиба (θ) и наклона (γ) земной поверхности определялись по данным повторных нивелировок 1961-1965 гг. по методике, изложенной в работе Н.П. Есикова [1]. На (рис. 1, см. вкл.) приведены значения параметров γ и θ , накопленные в среднем за 22 года.

Как видно из этого рисунка, на рассматриваемой территории выделяется пять аномальных зон достоверных деформаций. Подобные зоны, за исключением Канско-Тайшетской, имеют примерно одинаковую длину — 75-90 км, и четко разделены недеформируемыми зонами несколько большего масштаба — 100-130 км.

Балай-Заозерная активизированная зона простирается по участкам юрских и девонских отложений. Нивелирный профиль здесь почти субширотен и в районе пос. Заозерный сечет продолжение глубинного разлома, имеющего северо-западное направление. Величина накопленных деформаций, находящаяся на грани ошибок в районе пос. Балай ($1,2 \cdot 10^{-6}$), увеличивается в районе пос. Заозерный до средней ($4 \cdot 10^{-6}$).

Вторая весьма слабо активизированная зона протяженностью около 100 км расположена между Канском и Тайшетом. Первая ее часть проходит по южному борту юрских отложений Канско-Тасеевской впадины и затем сечет прерывисто распространенные девонские и ордовикские отложения. Деформирование верхних горизонтов коры здесь начинается непосредственно в районе раз-

лома, проходящего несколько восточнее Канска. Однако деформация достигает всего $2 \cdot 10^{-6}$, а местами находится в пределах ошибок определения. Указанные слабо активизированные участки поверхности разделены зоной полного отсутствия деформирования. В плановом отношении к последней приурочен Канский выступ фундамента Сибирской платформы.

Следующая активизированная зона протяженностью около 85 км располагается между Нижнеудинском и пос. Утай (см. рис. 1). Весь этот участок профиля северо-запад-юго-восточного направления проходит по юрским отложениям северо-западной части Иркутского прогиба и только своим юго-восточным концом захватывает ордовик. Величина накопленного эффекта деформаций здесь также незначительная ($2 \div 4 \cdot 10^{-6}$), однако заметно выше, чем в зоне Канск - Тайшет. По обеим сторонам Нижнеудинск-Утайской зоны располагаются участки полного отсутствия деформаций: Тайшет-Нижнеудинская и Утай-Мингатуйская. Следует заметить, что первая из них (участок профиля) имеет направление, параллельное простиранию поверхностных структур.

Наибольший интерес вызывают две следующие зоны, названные нами Мингатуйской и Черемховской, разделенные между собой спокойным участком. Величина накопленных за 22-летний период времени параметров изгиба и наклона в первой из них достигла $30 \cdot 10^{-6}$, во второй - $17 \cdot 10^{-6}$. Подобный уровень деформаций обусловлен, видимо, активностью современных глубинных процессов в зонах контакта структур кристаллического фундамента платформы. По данным К.А. Савинского [2] и Э.Э. Фотиади [3], в районе несколько восточнее Черемхова стыкуются глубинные разломы, отделяющие древнюю Ангарскую глыбу от Присаянского мобильного пояса [2]. Видимо, этот контакт на современном этапе является весьма активным.

Однако, как уже было отмечено, зоной самых больших деформаций является территория, расположенная восточнее пос. Мингатуй. Рассматриваемый профиль здесь проходит по юрским отложениям Иркутского прогиба. Активность этой территории, видимо, также связана с зоной разрывных нарушений фундамента платформы, простирающейся вплоть до границы Иркутского выступа фундамента [2].

Таким образом, рассмотренные данные по профилю Красноярск-Иркутск показывают, что поле современных деформаций земной поверхности южной части Сибирской платформы характеризуется четкой морфологической зональностью - чередованием деформируемых и недеформируемых участков. Подобная зональность, видимо, обусловлена в первую очередь активностью зон разломов кристаллического фундамента платформы и опосредуется через строение осадочного чехла прилегающих к ним участков. Следует особо подчеркнуть исключительно высокую активность юго-восточных зон (Мингатуйской и Черемховской) по сравнению с северо-западными зонами профиля.

По профилю Иркутск-Качуг, простирающемуся в северо-восточном направлении субпараллельно Байкалу, деформации недостоверны. Только в трех небольших зонах их значения выходят за пределы ошибок. Однако из-за большого расстояния между реперами в этой части профиля (до 25 км) и малых значений параметров γ и θ их приуроченность к тектоническим структурам не рассматривалась.

Рифтовая зона и западное Забайкалье. Профиль Слюдянка-Чита пересекает Байкальскую рифтовую зону и Забайкальскую глыбово-волновую зону [4]. Как видно из рис. 1, участок Слюдянка-Татаурово, имеющий протяженность свыше 400 км и проходящий субпараллельно простиранию рифтовой зоны, деформируется весьма слабо. Здесь выделяются только две достаточно узкие аномальные зоны, приуроченные к бортам Усть-Селенгинской и Селенгино-Итандинской впадин, разделенных Твороговским поднятием. Сама Селенгино-Итандинская впадина, хотя и является пограничной структурой в системе Байкальского рифта, не подвержена современным деформациям. Однако ее восточный борт, ограничением которого является Татауровский надвиг, совпадает с началом мощной Татаурово-Улан-Удинской зоны современных деформаций. Профиль здесь проходит перпендикулярно рифтовой зоне. Скорость деформаций достигает

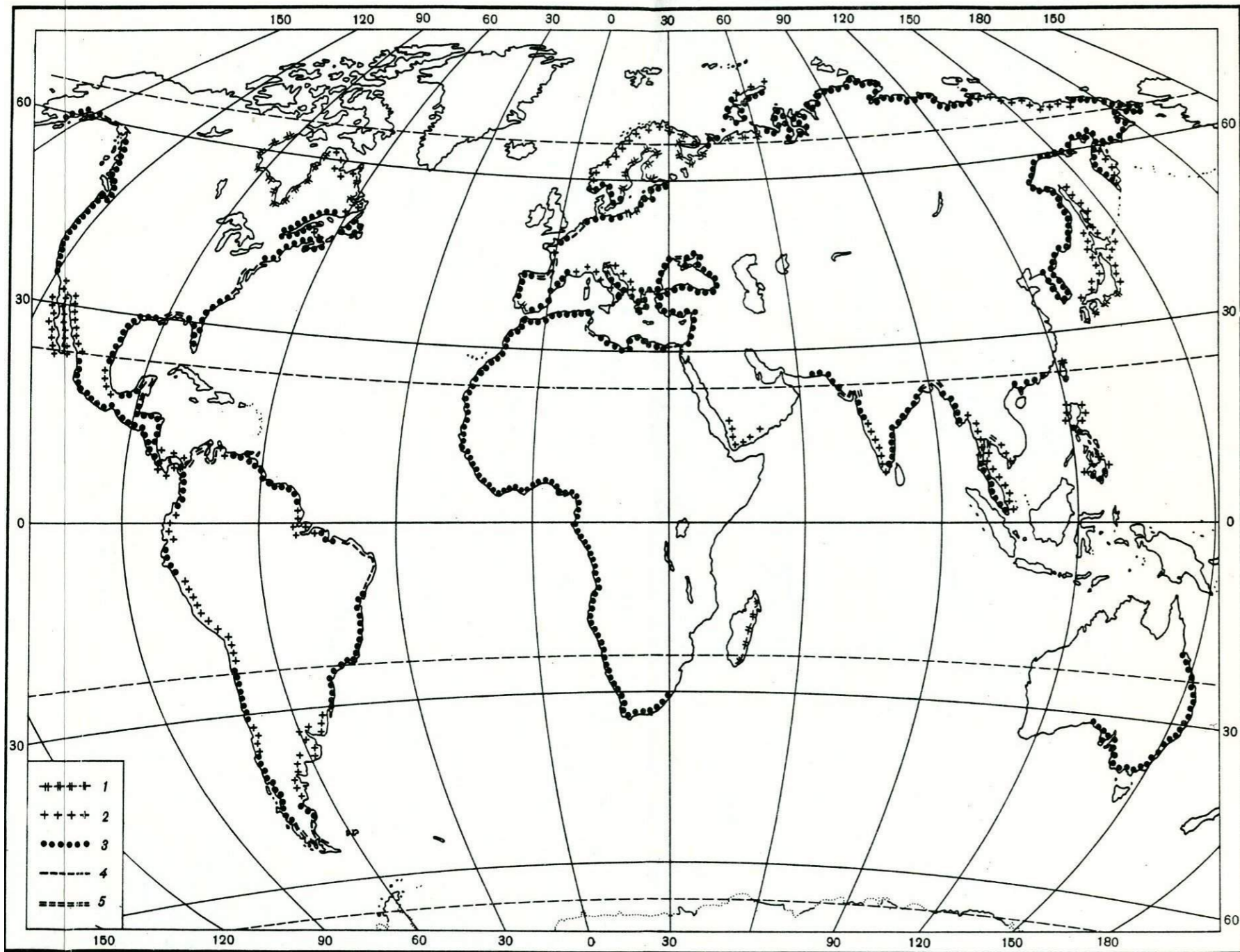


Рис. 2. Возможные вертикальные изменения берегов Мирового океана в текущем столетии

1, 2 - поднятия: 1 - со скоростью более 2 мм/год, 2 - со скоростью от 1 до 2 мм/год; 3 - стабильные берега ± 1 мм/год; 4, 5 - опускания: 4 - со скоростью от 1 до 2 мм/год, 5 - со скоростью более 2 мм/год

Скорости (в год) максимальных современных деформаций наклона и изгиба приповерхностной части земной коры по профилям Байкальской рифтовой зоны и сопредельным территориям

Название профиля	Название или номер зоны деформаций	Скорость максимальных деформаций в год	Период
Красноярск - Иркутск	Балай-Заозерная	$2 \cdot 10^{-7}$	1937-1943; 1961-1965 гг.
	Канск-Тайшетская	$1 \cdot 10^{-7}$	
	Нижнеудинск-Утайская	$2 \cdot 10^{-7}$	
	Мингатуйская	$1 \cdot 10^{-6}$	
	Черемховская	$0,8 \cdot 10^{-6}$	
Слюдянка - Чита	I	$2 \cdot 10^{-7}$	1937-1943; 1961-1965 гг.
	II	$3 \cdot 10^{-7}$	
	Татаурово-Улан-Удинская	$1 \cdot 10^{-6}$	
	III	$3 \cdot 10^{-7}$	
Хилок - Оловянная	Хилок-Могзонская	$2 \cdot 10^{-7}$ - $4 \cdot 10^{-6}$	1938-1972 гг.
	I* - Малханская	$0,5 \cdot 10^{-6}$	
	II* - Борщовочная	$0,4 \cdot 10^{-6}$	
Баляга - Кяхта	-	$2 \cdot 10^{-7}$	1936-1972 гг.
	-	0	
Кяхта-Улан-Удэ	-	0	1937-1971 гг.
Иркутск - Качуг	-	$1 \cdot 10^{-7}$	1938-1970 гг.
Кяхта - Жемчуг	-	$1-2 \cdot 10^{-7}$	1937-1971 гг.
Спицино - Чара	В среднем по профилю	$0,7 \cdot 10^{-6}$	1968-1974 гг.

* См. рис. 2.

$1 \cdot 10^{-6}$ /год (таблица). Видимо, названная зона деформаций обусловлена не только собственно вертикальными движениями блоков коры, но и горизонтальными, формирующими надвиг в бортовой зоне Селенгино-Итандинской впадины.

Восточнее описанной зоны, между Удинской и Хилокской впадинами, предполагаются два недеформируемых блока, разделенных непротяженной зоной деформации со скоростью $3 \cdot 10^{-6}$ /год, приуроченной к зоне разлома. Еще более мощная зона современных деформаций протяженностью порядка 200 км относится к районам Хилокской и Могзонской впадин. Ее начало совпадает примерно с западным бортом Хилокской впадины. В самой зоне достаточно четко выделяются два участка пониженной интенсивности деформирования, соответствующие в плане упомянутым впадинам. Наибольшая же скорость деформирования (до $4 \cdot 10^{-6}$) относится к восточной части Могзонской впадины, к району Яблонового хребта. Видимо, процесс развития этого района идет в настоящее время в сторону усложнения поля структур в связи со значительными изгибовыми деформациями, обуславливающими зоны растяжения и сжатия.

Юго-восточная часть Забайкалья. В данном районе рассмотрено четыре профиля: Кяхта - Жемчуг, Кяхта - Улан-Удэ, Кяхта - Баляга и Хилок - Оловянная. В ряде мест эти линии не совсем уверенно привязаны к местности, что затрудняет сопоставление зон деформации, выделенных на профилях, с тектоническими структурами, хотя общее соотношение подобных зон в поле текто-

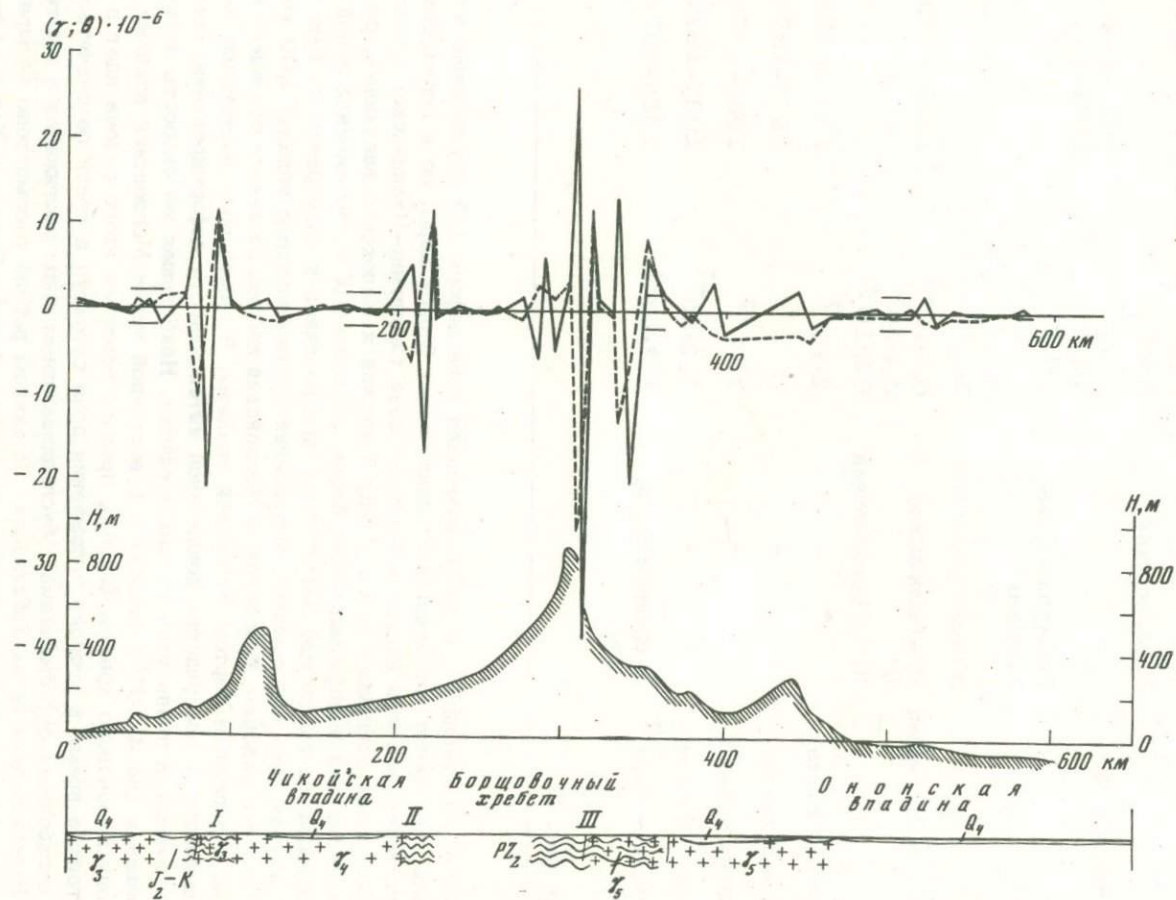
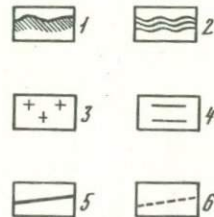


Рис. 2. Современные деформации земной поверхности по профилю Хилок-Оловянная за период около 22-х лет

1 - рельеф по профилю;
 2 - активизированные зоны в верхней части коры; 3 - границы; 4 - граница достоверных значений γ и θ ; 5 - изгиб; 6 - сдвиг

I-III - зоны разломов (см. текст)



нических структур не вызывает сомнения. Три зоны достоверных деформаций наклона и изгиба по профилю Кяхта — Жемчуг достаточно уверенно отождествляются с зонами разломов. Единственная зона деформаций по профилю Кяхта — Баялга приурочена к зоне разломов в районе между Урлукской и Кударинской впадинами. На остальной части профиля наблюдаются большие разрывы между сохранившимися реперами из первоначальной нивелировки.

Весьма большая интенсивность деформирования со скоростью $0,8 \cdot 10^{-6}$ /год наблюдается на трех участках профиля Хилок — Оловянная (рис. 2), они также приурочены к известным зонам разломов, в частности I — к Монголо—Онотскому, а III — к Онон—Туранскому (примерно половина этого профиля имеет почти южное простирание, вторая — северо—восточное).

Определенный интерес вызывает профиль Кяхта — Улан—Удэ, проходящий по Боргойско—Гусино—Иволгинской системе впадин [4]. По данным ряда исследователей [4—6], не вызывает сомнения, что в кайнозой здесь происходили значительные перемещения и деформации. Наличие сейсмогенных структур, выделенных В.С. Хромовских [4], и современная сейсмическая активность являются показателем живой тектоники этого района. Кайнозойская активность при-суща не только главным линейаментам Гусино—Удинской системы разломов, но и оперяющим разрывам. Однако вдоль профиля Кяхта — Улан—Удэ, пересекающего Гусино—Иволгинскую систему, за период с 1937 по 1971 г. не произошло накопления ни изгибовых деформаций, ни наклона. Не исключено, что отсутствие деформаций объясняется тем, что его направление субпараллельно основным структурам данного района, в основном определяющим поле современных деформаций.

Северо-восточная часть рифтовой зоны. Профиль Спицино — Чара, совпадающий в районе р. Куанды с трассой БАМ, пересекает Муйско—Чарскую горную перемышку и северо—восточной частью выходит в Чарскую впадину. Зоны сочленения Чарской и Куандинской впадин с Муйско—Чарской горной перемышкой здесь четко фиксируются минимумом интенсивности деформации наклона. На перемышке и во впадинах наклон достигает максимальных значений. Деформация изгиба недостоверна по всему профилю, за исключением зоны сочленения Каундинской впадины с упомянутой горной перемышкой.

Приведенные результаты исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. Южная часть Сибирской платформы в современную эпоху характеризуется определенной зональностью деформаций, объясняемой приуроченностью подобных зон к системам глубинных разломов. Заслуживающими детального изучения здесь являются два участка (Мингатуйский и Черемховский) особенно интенсивных накоплений деформаций. Они в плане соответствуют поперечному сечению субмеридиональных зон аномалий гравитационного и магнитного полей, имеющих прямое отношение к зонам глубинных разломов фундамента, ограничивающих древнюю Ангарскую глыбу [2].

2. Из анализа таблицы следует, что величина скорости современных деформаций не всегда может быть принята безусловным индикатором сейсмоактивности того или другого района. Примером тому служит наличие на асейсмичной Сибирской платформе упомянутых выше зон со среднегодовой скоростью деформаций, на порядок превышающей таковую в сейсмически активной Селенгинской впадине. Иными словами, на ряде участков Сибирской платформы современные деформации верхней части земной коры накапливаются значительно быстрее, чем в Байкальской рифтовой зоне. Видимо, свойствами пластичности деформирования в большей степени обладают определенные осадочные толщи платформенной области.

3. Скорость современных деформаций в южной части Байкальской рифтовой зоны на порядок ниже, чем по трассе БАМ.

4. Исключительно высокой скоростью современных деформаций изгиба и наклона охвачена Хилок—Могзонская зона (см. таблицу), относящаяся к Забайкальской глыбово—волновой зоне. Современный процесс здесь наследует тип интенсивных изгибовых деформаций кайнозоя [4].

И в заключение отметим, что процесс необратимых изменений макроформы особенно сложных по структуре тел связан с нарушением внутренней сплошности материала в результате возникновения множества локальных микро-разрывов, что в конечном счете приводит к постепенному разрыхлению материала [7-9] и, следовательно, к увеличению его проницаемости. Поэтому выделение зон интенсивных деформаций с учетом, что современные деформации, как правило, наследуют деформации прошлых геологических эпох, имеет важное прогностическое значение в связи с тем, что подобные зоны могут служить каналами миграции флюидов и, в частности на Сибирской платформе, каналами миграции нефти из ее северных районов в южные [2].

ABSTRACT

The Earth's surface bend and inclination deformations are analyzed along the regional profiles of repeated levelling crossing the Siberian platform, the rift zone and the Baikal zone. Two zones of rather intensive deformation with the velocity exceeding that of deformation in the rift zone are stated to be observed at an aseismic platform characterized by alternation of deformed and undeformed sites extended for 75-130 km. The deformation velocity along the BAM trajectory is much higher than that in the southern part of the rift zone. The Hilok-Mogzon site of the West-Transbaikal block-wave zone is subjected to the most intensive deformations.

ЛИТЕРАТУРА

1. Есиков Н.П. Об изучении инвариантов современных движений земной коры. - В кн.: Современные движения земной коры. Новосибирск: Наука, 1978.
2. Савинский К.А. Глубинная структура южной части Сибирской платформы. М.: Недра, 1964.
3. Фотиади Э.Э. Крупные черты тектонического строения Сибири в свете региональных геологических и геофизических данных. - В кн.: Материалы по региональной геологии Сибири. Новосибирск, 1967. (Тр. СНИИГГиМС; Вып. 57).
4. Солоненко В.П., Тресков А.А., Жилкин В.М. и др. Сейсмоструктура и сейсмичность рифтовой системы Прибайкалья. М.: Наука, 1968.
5. Замараев С.М. Тектоническое строение и история геологического развития юго-восточной части Сибирской платформы. - В кн.: Геофизические исследования и проблемы нефтегазоносности юга Сибирской платформы. М.: Гостехиздат, 1962.
6. Флоренсов Н.А. О неотектонике и сейсмичности Монголо-Байкальской горной области. - Геология и геофизика, 1960, № 1.
7. Кузнецов К.И. Закономерности разрушения упруго-вязких тел и некоторые возможности приложения их к сейсмологии. М.: Наука, 1969.
8. Макклиток Ф. Пластические аспекты разрушения. - В кн.: Разрушение. М.: Мир, 1976, т. 3.
9. Роней М. Усталость высокопрочных материалов. - Там же.

СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА И УРОВЕНЬ МОРЯ

УДК 551.462.2:551.24

Р.К. КЛИГЕ

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ БЕРЕГОВ И ДНА МИРОВОГО ОКЕАНА

В настоящее время на побережье Мирового океана существует обширная сеть уровенных постов, на которых ведутся многолетние систематические измерения морского уровня. Для выявления характера и величин колебаний средних годовых уровней были использованы материалы более 1500 морских станций, период наблюдений на которых составляет от 2-3 до 160 лет.

На основной массе постов (около 65%) наблюдения продолжаются не более 20 лет, около 20% постов имеют период наблюдений в пределах от 20 до 50 лет и лишь на 27 (0,3%) наблюдения ведутся более 80 лет. Наиболее длительные периоды наблюдений относятся к таким пунктам, как Брест во Франции, Свиноуйсьце в Польше, Кронштадт в СССР, Стокгольм в Швеции, Хельсинки в Финляндии, Хеллеутслейс в Голландии, Бомбей в Индии, Сан-Франциско в США и некоторые другие [1-4].

Наблюдается большая неравномерность расположения постов по океанскому побережью. Около 60% постов находятся в северном полушарии, причем основная их масса приходится на 30-60° северной широты. Очень мало (1-2%) постов расположено в полярных широтах, а в южном полушарии, южнее 70°, постов практически нет.

В результате тщательного исследования материалов по изменению уровня моря для анализа его годовых изменений было выбрано около 300 морских станций, по возможности равномерно расположенных по берегам Мирового океана, с достаточной надежностью данными и наиболее длительными периодами. Для контроля и уточнения привлекались дополнительные пункты с более короткими рядами наблюдений. Преимущественно выбирались станции открытых океанских побережий.

Анализ материалов наблюдений за уровнем океана показывает, что в последние 250-300 лет наблюдались отдельные многолетние повышения и понижения уровня (в среднем $\pm 3-4$ см) приблизительно через каждые 33 года на общем фоне слабого неуклонного повышения уровенной поверхности, которое составило приблизительно 1 мм/год. Начиная с текущего столетия темп подъема морского уровня стал постепенно возрастать. Наиболее интенсивный подъем уровня Мирового океана наблюдался в период с 1924 по 1948 г., когда его скорость достигала около 3 мм/год. После 40-х годов темп подъема уровня океана несколько снизился, но подъем неуклонно продолжается и в настоящее время, со средней скоростью приблизительно 1,4 мм/год [5].

Многолетние изменения уровня океана в текущем столетии определялись в первую очередь изменениями в системе глобального водообмена, которые были тесно связаны с колебаниями термических условий. Поэтому повышение уровня океана происходило одновременно с потеплением на нашей планете, которое составило почти 1°С, причем изменение уровня запаздывает относительно изменения температуры примерно на 19 лет. Повышение температуры воздуха вызвало интенсивное таяние ледниковых покровов Земли, что привело к их сокращению почти на 16 000 км³, одновременно наблюдалось увеличенные сухости материков, которое выразилось в сокращении объема озер почти

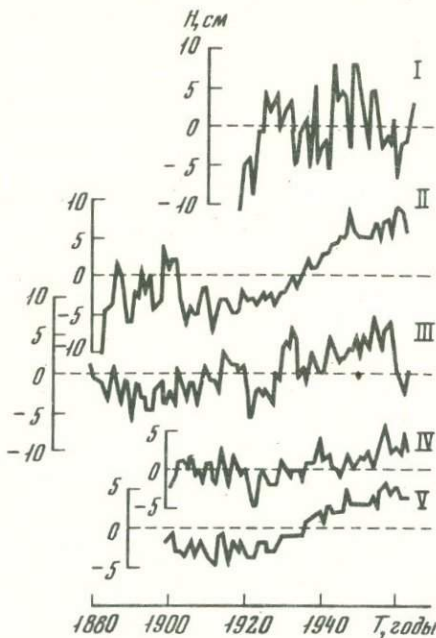


Рис. 1. Изменения среднего уровня Северного Ледовитого (I), Атлантического (II), Индийского (III), Тихого (IV) и Мирового (V) океанов

на 4000 км³ и подземных вод почти на 20 000 км³. Эти обстоятельства привели к определенному изменению водного баланса Земли, которое отразилось на положении уровня Мирового океана [6].

Существуют определенные различия в изменении уровня отдельных океанов как по величине, так и по скорости изменения, но общий характер этих изменений все же сохраняется. Это дает возможность рассчитать обобщенные колебания уровня океана в целом (рис. 1, табл. 1).

Анализ мареографических данных показал, что при использовании информации для оценки скорости и направленности современных вертикальных движений земной коры, в особенности когда морской уровень принимается за поверхность относимости, необходимо учитывать скорость и направленное изменение уровня в каждый определенный момент времени и в конкретном районе; это имеет большое значение, поскольку существуют достаточно крупные многолетние изменения уровня моря длительностью около 33 лет, и особенно резкий подъем уровня поверхности в текущем столетии.

Исследование современных движений морских побережий показало, что эти движения в различных районах могут иметь как положительные, так и отрицательные значения, которые в большинстве случаев чередуются. Поэтому можно ожидать, что если эти движения осреднить при достаточно большой длине участка морского побережья, то будет происходить постепенная компенсация разнонаправленных современных движений. Для выяснения этого обстоятельства по "Карте современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы" [7] была проанализирована связь между математическим ожиданием коэффициента корреляции, определенного при вычислении автокорреляционной функции, и длиной участка осреднения. Этот анализ показал, что при длине участка в 1200 км математическое ожидание коэффициента корреляции падает до 0,5, а при длине около 4000 км не превышает 0,1. В то же время при длине участка осреднения более 6000 км средняя скорость современных вертикальных движений не превышает 0,1 мм/год, а при длине более 40 000 км — 0,01 мм/год [8].

Анализ данных "Карты современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы" [7] для участков побережья Балтийского и Черноморско-Азовского бассейнов показал, что среднее значение скорости опускания побережий составляет -0,65 мм/год. В то же время анализ движений побережий в зависимости от длины участка осреднения показывает, что при длине участка около 2000 км средняя скорость становится постоянной и составляет для балтийского побережья 0,3 мм/год и для черноморско-азовского — 1,0 мм/год. Полученные результаты в значительной степени могут находиться под влиянием современного интенсивного подъема уровня моря.

Проведенные исследования колебаний морского уровня на отдельных станциях позволили составить схему его изменения в текущем столетии (1900-1975 гг.) вдоль побережья Мирового океана. Она показывает, что на 4,7% побережья уровень понижается со скоростью более 2 мм/год, на 7,9% побережья понижается — до 2 мм/год, на 24,9% побережья данные морских стан-

Таблица 1

Изменения уровня океанов за период с 1900 по 1975 г.

Океан	Площадь, н.10 ⁶ км ²	Количество станций, ис- пользованных в расчете	Изменение уровня, мм	
			общее	среднее за год
Тихий	178,7	77	68,4	+0,9
Атлантический	91,6	118	144,4	+1,9
Индийский	76,2	22	45,6	+0,6
Северный Ледови- тый	14,8	70	114,0	+1,5
Мировой	361,3	287	106,4	+1,4

Таблица 2

Вертикальные изменения дна океана

Пределы из- менения, км	Площадь участка дна		Пределы из- менения, км	Площадь участка дна	
	млн. км ²	%		млн. км ²	%
+1	5,6	2	-1-2	145,2	40
+0-1	41,5	12	-2	48,4	13
-0-1	120,5	33			

ций свидетельствуют о достаточно стабильном положении уровня; на 48,2% побережья наблюдается подъем уровня со скоростью до 2 мм/год, а на 14,3% побережья подъем составляет более 2 мм/год.

Зная современные эвстатические изменения уровня Мирового океана и отдельных его частей в результате термических нарушений глобального водообмена, можно ввести соответствующие поправки в показания отдельных морских станций и с учетом изменения гидрометеорологических условий получить возможные вертикальные изменения берега в том или ином районе. При исследовании многолетних колебаний уровня Мирового океана и вертикальных изменений побережья были учтены работы Л.А. Борисова [9, 10], Н.М. Мустафина [11], С.В. Победоносцева [12, 13], Г.В. Леннона [14], Ю.Р. Росситера [15] и многих других.

В результате проведенных расчетов была составлена карта возможных современных вертикальных изменений берегов Мирового океана в текущем столетии, на которой достаточно четко выделяются зоны поднятия (около 10% побережья), приуроченные преимущественно к районам, подверженным гляциостазии (Фенноскандия, Канада), и зоны опускания берега, которые составляют около 13% побережья, охарактеризованного данными наблюдений (рис. 2, см. вкл.). На схеме четко выделяются опускающиеся устья крупнейших рек мира.

Для анализа возможных изменений вертикальных движений за длительные отрезки времени и в геологическом прошлом под руководством О.К. Леонтьева был произведен анализ структурно-геоморфологических особенностей побережья и дна Мирового океана [16], при этом учитывались данные по находящимся на различных глубинах в ряде районов плосковершинным горам - гайотам; на основе материалов глубоководного бурения выявлены зоны мелководных осадков и эвапоритов, а также зоны нахождения уровня карбонатной ком-

пенсации; использованы данные о распределении на различных глубинах коралловых образований, о мощности кайнозойских осадков, данные изотопного датирования отложений и различных образований. Все это позволило выявить существенные различия в характере и интенсивности тектонических движений земной коры, оценить изменения объема океанических впадин в мезозое-кайнозое (табл. 2).

Подсчет площадей дна Мирового океана, отличающихся различным характером и интенсивностью вертикальных движений земной коры за кайнозой в целом по океану, показал, что за исследуемый период времени преобладала тенденция к прогибанию морского дна, которое составило в среднем около 1 км.

ABSTRACT

A possibility of estimation of recent vertical movements of sea shores is analyzed by the data of observations after the sea level. A necessity is marked to take into account the phases of the long-period variations of sea-level at studying vertical movements by means of geodetic levelling. An estimation of vertical change of the ocean bottom during the Cenozoic is given.

ЛИТЕРАТУРА

1. Monthly and Annual Mean Heights of Sea-Level. Liverpool; Oslo; Göteborg; Paris, 1936-1975.
2. Cahiers oceanographiques. Paris, 1966-1975.
3. Tidalrecord, Tokio, 1965-1975.
4. Vedenkorkensarvoja. Helsinki, 1965-1975.
5. Клиге Р.К. Изменение уровня океана. - В кн.: Человек и стихия. Л.: Гидрометеоздат, 1976.
6. Клиге Р.К. Некоторые вопросы глобального водообмена. - В кн.: Проблемы гидрологии. М.: Наука, 1978.
7. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы. М.: ГУГиК, 1971.
8. Калинин Г.П., Клиге Р.К., Шлейников В.А. К вопросу учета современных движений морских побережий при исследовании уровня Мирового океана. - В кн.: Колебания уровня Мирового океана и вопросы морской геоморфологии. М.: Наука, 1975.
9. Борисов Л.А. Изменения среднего уровня Восточно-Сибирского, Чукотского и Берингова морей. - Океанология, 1975, т. 15, № 6.
10. Борисов Л.А. Современные изменения средних уровней Карского и Баренцева морей. - Океанология, 1976, т. 16, № 2.
11. Мустафин Н.В. Итоги практического применения и перспективы развития методов прогноза уровня в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском. - В кн.: Проблемы Арктики и Антарктики. 1966. (Тр. ААНИИ; Вып. 22).
12. Победоносцев С.В. Океанографическое обоснование карты современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы для побережья морей Европейской части СССР. - В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1973, № 5.
13. Победоносцев С.В. Современные вертикальные движения побережья морей, омывающих Европейскую территорию СССР. - Океанология, 1972, т. 12, № 4.
14. Lennon G.W. An investigation of secular variations of sealevel in European waters. - Suomalais tiedevät, loimituks, Discuss. Ser. A, 1966, т. III, N 90.
15. Rossiter G.R. An analysis of annual sea-level variation in European. - Waters Geophys. J. Roy. Astron. Soc., 1967, vol. 12, N 3.
16. Клиге Р.К., Леонтьев О.К., Никифоров Л.Г. и др. Уровень берега и дно океана. М.: Наука, 1978.

С.В. ПОБЕДОНОСЦЕВ

СОВРЕМЕННЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПОБЕРЕЖЬЯ МОРЕЙ АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ СССР

Вертикальные движения земной коры определяются тремя независимыми методами: 1) геоморфологическим — по геолого-геоморфологическим признакам устанавливаются направления вертикальных движений, происходящих в течение нескольких тысячелетий; 2) геодезическим — по данным геометрического нивелирования между геодезическими пунктами (реперами). За время, прошедшее между двумя нивелированиями, происходят изменения в высотах реперов. Эти изменения определяются как относительные вертикальные движения; 3) океанографическим — по уровню моря. Медленные многолетние изменения уровня отражают вертикальные движения репера (наблюдения над уровнем привязываются к реперу, тем самым появляются кажущиеся изменения уровня моря, на фоне которых происходят колебания уровня от года к году). Изменения уровня определяют "абсолютную" скорость и характер вертикальных движений побережья в пункте наблюдений.

Изучению современных вертикальных движений побережья морей Азиатской части СССР океанографическим методом посвящено несколько работ [1-9]. В них даны абсолютная скорость и направление вертикальных движений, полученные по многолетним рядам средних годовых уровней (иногда сглаженных по скользящим 5- или 11-летним периодам с целью повышения точности определения вертикальных движений).

По сравнению с европейскими морями, где наблюдения над уровнем ведутся более ста лет, на морях Азиатской части СССР наблюдения над уровнем составляют несколько десятилетий. Относительно короткие ряды наблюдений сдерживали исследования вертикальных движений океанографическим методом [10].

Известно, что качество исследований зависит от достоверности исходных данных. Поэтому была произведена проверка уровней, особенно полученных на арктических морях, где наблюдения связаны с большими трудностями. Анализ уровней выполнен по единой методике [11, 12] с учетом гидрометеорологических условий каждого моря: на арктических морях — в Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте (АНИИ), по дальневосточным морям — под руководством Дальневосточного научно-исследовательского гидрометеорологического института (ДВНИГМИ). В этой статье использованы данные, относящиеся в основном к 1950-1975 гг.

Известно, что вертикальные движения земной коры характеризуются обычно линейной тенденцией среднего значения скорости и направления движения за период исследований, хотя они могут иметь более сложный характер, например, циклические изменения, происходящие на фоне линейных [13]. Изучение таких колебаний вертикальных движений побережий Азиатской части СССР ранее не производилось.

Для определения характера вертикальных движений океанографическим методом необходимы синхронные и одинаковые по величине колебания уровня в исследуемых пунктах наблюдений над уровнем моря. В пределах каждого моря, как правило, средние годовые уровни меняются синхронно. Установление одинаковой величины колебаний уровня моря осуществляется путем подбора пунктов наблюдений, которые, как правило, располагаются в определенном районе моря. Максимально допустимое отклонение уровня в пункте от общей величины колебания в районе моря ± 2 см. Таким образом, осуществляется районирование моря по величине колебания уровня.

В результате районирования в арктических морях выделено девять районов, в дальневосточных морях — три (из них один — в Японском море, два района по берегам СССР) (рис. 1). Некоторые пункты наблюдений над уровнем дальневосточных морей не могут быть объединены в отдельные районы моря по

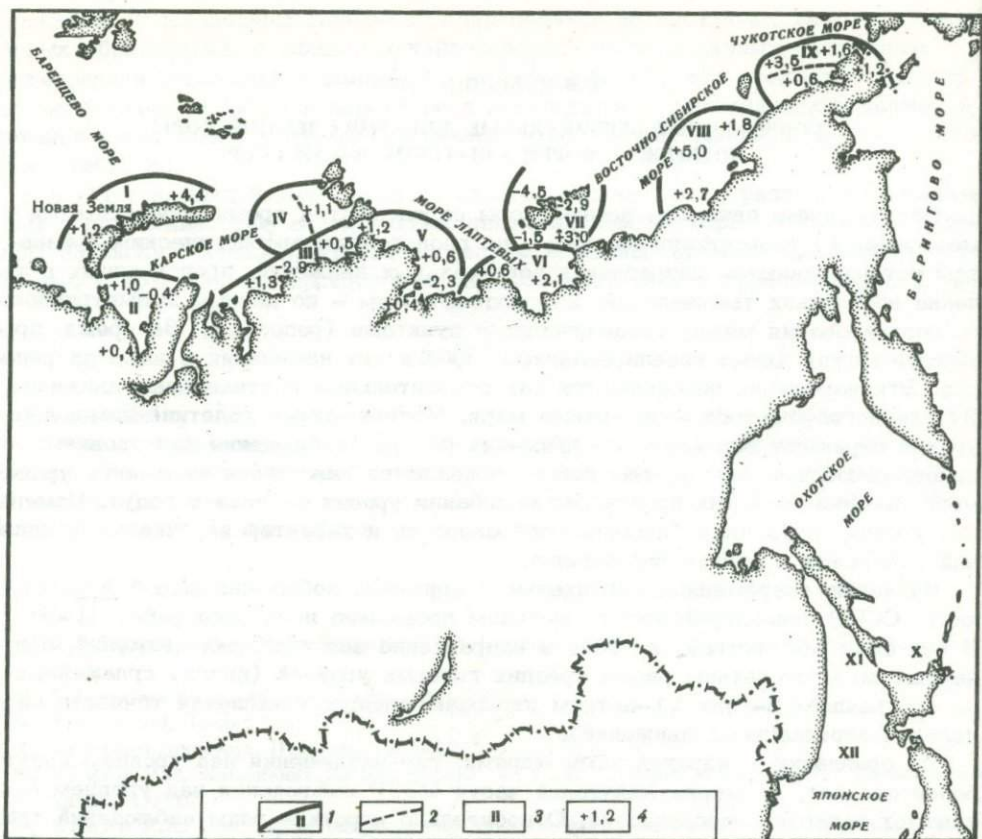


Рис. 1. Схема расположения районов с одинаковой величиной колебаний средних годовых уровней моря

1, 2 - границы: 1 - районов моря, 2 - подрайонов моря; 3 - номер района; 4 - вертикальные движения, мм/год

изложенному принципу, поэтому в дальнейших вычислениях они не использовались.

Районирование показало, что на каждом море может быть выделено 2-3 района при величине колебания уровня между районами до 5-15 см. В пределах выделенных районов средние годовые колебания уровня согласуются между собой, но в отдельных пунктах в течение некоторого времени (1-3 года) наступает отклонение уровня (аномалия) от общей тенденции, достигающее 5-10 см. Затем снова колебания уровня согласуются по всем пунктам наблюдений. Пункты с аномалиями уровня выделялись в подрайоны.

Происхождение этих аномалий может быть связано с быстрыми вертикальными смещениями земной коры сначала в одном, затем (через 1-3 года) в противоположном направлении. Возможны также в течение нескольких лет нарушения в привязках наблюдений к реперам и в обработке исходных данных. Таким образом, колебания уровня, величина которых выходит за установленные пределы, требует дальнейших исследований для установления их происхождения.

Методика, применяемая ранее на морях Европейской части СССР, позволяет определить характер вертикальных движений в пунктах наблюдений над уровнем и на морях Азиатской части СССР. В соответствии с этой методикой производились вычисления среднего годового расчетного уровня выделенного района моря. Расчетный уровень получался как средний для каждого года из средних годовых уровней в пунктах наблюдений, вошедших в выделенный район моря. Разность между исходным (наблюденным) уровнем и расчетным уровнем на каждый год представляет величину годового вертикального смещения

побережья в исследуемом пункте моря. Хронологический ход годовых величин вертикальных смещений позволяет определить характер современных вертикальных движений. Более подробно вопросы районирования и вычисления годовых величин вертикальных смещений побережий рассмотрены на примере морей Европейской части СССР [13].

Отличие данной работы от ранее выполненных по Европейской части СССР состоит в том, что характер изменений вертикальных движений здесь приводится для каждого выделенного района моря, а не для отдельных пунктов, входящих в район. Работа выполнялась так.

Для каждого района вычислялась сумма годовых величин вертикальных смещений, полученная путем сложения этих величин в пунктах, вошедших в выделенный район моря (рис. 2). Эти величины дают более четкое представление о характере вертикальных движений в каждом выделенном районе моря и возможность сравнивать их с движениями в других районах моря.

Рассмотрим ход годовых (суммарных) смещений побережий (см. рис. 2).

В районе I (западное побережье о-ва Новая Земля) и в районе II (юго-западная часть побережья Карского моря) происходят вертикальные смещения в противоположных направлениях, что особенно заметно к середине 50-х годов. В остальные годы смещения менее заметны, хотя имеют движения в противоположном направлении.

Наиболее заметны вертикальные движения, происходящие на юго-восточном побережье Карского моря (район III) и на его островах (район IV). В этих районах противоположные движения достигают наибольших значений к середине и концу 60-х годов. Так как район IV расположен к северо-западу от материкового побережья, а район III — в основном это побережье, то, по-видимому, вертикальные движения между ними происходят в противоположных фазах; волна от островов переходит к юго-западному побережью моря (к западному побережью Таймыра) и далее в район V, расположенный на восточной стороне этого полуострова. Отсюда можно сделать вывод, что острова Карского моря и восточное побережье п-ва Таймыр тектонически перемещаются в одной фазе, а западное побережье полуострова (юго-восточное побережье Карского моря) — в противоположном направлении.

В море Лаптевых вертикальные смещения южного побережья (район VI) достигают наибольших значений к концу 50-х и к концу 60-х годов, а наименьших — к середине 50-х и к середине 60-х годов: четко прослеживается период в изменении вертикальных движений, равный 11–12 годам. В районе Новосибирских островов (VII) годовые суммарные изменения вертикальных смещений незначительны, поэтому скорости вертикальных движений малы и колебания побережья малозаметны.

На побережье Восточно-Сибирского и Чукотского морей (районы VIII и IX) характер вертикальных движений до конца 50-х годов одинаков: происходит понижение побережья, затем подъем, однако этот подъем в VIII районе с начала 60-х годов переходит в медленное опускание, которое продолжается и в середине 70-х годов. В районе IX подъем, начавшийся в 60-е годы, продолжается и в середине 70-х годов.

Побережье Японского моря испытывает колебательные движения, которые находятся в противоположных фазах (районы XI и XII): с повышением северо-восточного побережья (включая западное побережье о-ва Сахалин) происходит понижение побережья северо-западной части Приморья (СССР), и наоборот. При этом можно отметить сдвиг во времени наступления наибольшего или наименьшего значений вертикальных смещений между этими районами на 3–4 года.

Юго-восточная часть побережья Сахалина и южные Курильские острова (район X) испытывают колебательные (волновые) движения, хорошо согласующиеся с вертикальными движениями побережья Приморья (район XII).

Колебательный характер вертикальных движений проверяется путем сравнения данных, полученных океанографическим и геодезическим методами. Для европейских морей сравнения вертикальных движений побережий, полученные этим методами, показали, что расхождения скоростей не более $\pm 0,4$ мм/год на 100 км [10].

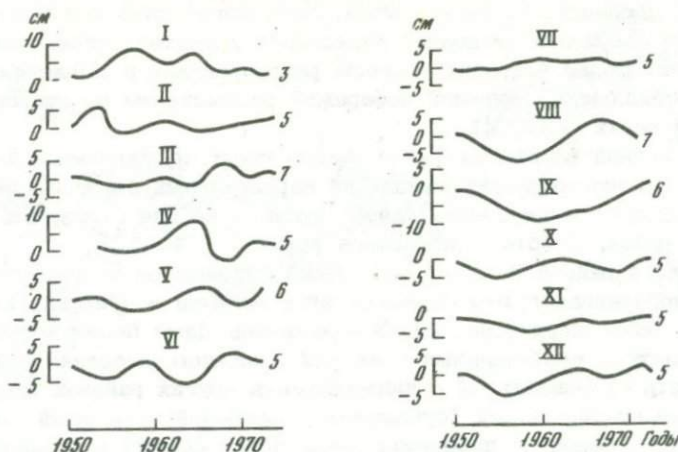


Рис. 2. Графики годовых суммарных величин вертикальных смещений берегов (в см) в выделенных районах арктических (I-IX) и дальневосточных (X-XII) морей; справа - число урвненных пунктов в каждом районе моря

Подобный анализ для побережий морей Азиатской части СССР к настоящему времени не производился. Однако, учитывая одинаковый метод обработки исходных данных (средних годовых уровней моря), следует ожидать, что приведенные вертикальные смещения и анализ характера вертикальных движений выполнены с достаточной точностью.

Указанные скорости и направления вертикальных движений показывают, что в пределах каждого района можно обнаружить разные скорости, а в ряде районов - и противоположные вертикальные движения.

Характер вертикальных движений за 1950-1975 гг. показывает, что эти движения развиты повсеместно и захватывают огромные пространства Азиатской части СССР. Для большей части побережья характерны колебательные движения, которые происходят на фоне линейных изменений. Колебательные движения изменяются примерно через равные промежутки времени - 11-12 лет. Подобные периоды отмечены в отдельных районах побережья Балтийского моря [13].

Характерным для побережий западной половины арктических морей и для части дальневосточных морей является чередование подъема и опускания побережья, причем одинаковые (синхронные) колебания побережья происходят примерно через 700-800 км.

Вместе с тем направление пространственно-временных изменений в вертикальных движениях в ряде районов побережья Азиатской части СССР определить довольно сложно из-за редкой сети урвненных постов и коротких рядов наблюдений над уровнем моря.

Значения линейных изменений вертикальных движений побережья арктических и дальневосточных морей приведены в ряде работ [3-9.] Для иллюстрации выбраны данные, характеризующие предельные значения вертикальных движений в выделенных районах моря (см. рис. 1).

ABSTRACT

By the data of many-year observations of the level of the Asian part of the USSR zoning of seas is made according to a similar value of the level oscillation. Nine regions for the Arctic and three for the Far-East seas are determined. In each region annual values of vertical displacements are calculated obtained as the mean ones of the annual values of displacements of points constituting the selected region of the sea. A chronological way of these displacements allows to define the character of vertical movements which for all the points of the shore of seas in the Asian part of the USSR is an oscillatory one.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беликова Т.Л., Дворкин Е.Н. Современные вертикальные движения берегов района Новосибирских островов. — Тр. ААНИИ, 1976, т. 319.
2. Борисов Л.А. Современные вертикальные движения побережья моря Лаптевых. — Океанология, 1973, т. 13, № 5.
3. Борисов Л.А. Изменения среднего уровня Восточно-Сибирского и Баренцева морей. — Океанология, 1975, т. 15, № 6.
4. Борисов Л.А. Современные изменения средних уровней Карского и Баренцева морей. — Океанология, 1976, т. 16, № 2.
5. Дворкин Е.Н. К методике определения современных вертикальных движений берегов. — Тр. ААНИИ, 1976, т. 319.
6. Захаров В.К., Василенко Н.Д., Семакин В.П., Якушко Г.Г. Современные движения земной коры Приморья и Сахалина. — В кн.: Тез. докл. III советско-японского симпозиума по геодинاميке и вулканизму зоны перехода от азиатского континента к Тихому океану. Владивосток: ДВНЦ СахКНИИ АН СССР, 1976.
7. Захаров В.К., Сарычева Р.А., Семакин В.П., Якушко Г.Г. Современные вертикальные движения на юге Сахалина, их связь с тектоникой и неотектоникой. — В кн.: Геофизические исследования строения земной коры в верхней мантии в зоне перехода от азиатского континента к Тихому океану. Владивосток, 1975. (Тр. ДВНЦ СахКНИИ; Вып. 30).
8. Семакин В.П., Юркевич Н.Е., Якушко Г.Г. Современные вертикальные движения побережья Сахалина по данным морских уровенных наблюдений. — В кн.: Земная кора и верхняя мантия Азиатской части Тихоокеанского кольца. Южно-Сахалинск, 1975. (Геофиз. сб. № 5; Вып. 37.)
9. Якушко Г.Г., Юркевич Н.Е. Средний уровень моря и современные тектонические движения побережья в Холмске, Невельске и Корсакове. — В кн.: Геофизические исследования строения земной коры и верхней мантии в зоне перехода от азиатского континента к Тихому океану. Владивосток, 1975. (Тр. ДВНЦ СахКНИИ; Вып. 30).
10. Победоносцев С.В. Применение расчетного среднего годового уровня для определения современных вертикальных движений земной коры. — Геодезия и картография, 1971, № 3.
11. Методические указания ГОИН. М.: Гидрометиздат, 1960, вып. 18.
12. Победоносцев С.В. Использование метода водного нивелирования для проверки сомнительных и восстановления пропущенных значений уровня моря. — Тр. ГОИН, 1977, вып. 137.
13. Победоносцев С.В. Океанографическое обоснование карты современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы для побережья морей Европейской части СССР. — В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1973, № 5.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ И В ОТДЕЛЬНЫХ РЕГИОНАХ

УДК 551.241

Н.С. БЛАГОВОЛИН, С.К. ГОРЕЛОВ,
В.А. ФИЛЬКИН, Е.А. ФИНЬКО

ЗНАЧЕНИЕ, МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ

В учении о современных движениях земной коры направление, посвященное геодинамическим полигонам, является наиболее молодым. Его становлением можно считать 1962 г., когда на I Международном симпозиуме в Лейпциге советскими учеными Ю.А. Мещеряковым и Ю.Д. Буланже был выдвинут Международный исследовательский проект, содержащий одним из главных пунктов детальное изучение современных движений во времени на специальных полигонах. К тому периоду был уже накоплен фактический материал — в основном данные двукратного нивелирования — для различных территорий мира, позволявший наметить первые пространственные закономерности проявления современных движений. Однако во временном аспекте характер современных движений оставался совершенно неясным.

Геоморфологические исследования, ставящие основной задачей выявление природных феноменов — индикаторов современных движений земной коры и морфоструктурную интерпретацию инструментальных (геодезических и геофизических) данных, в последние годы проводились на многих геодинамических полигонах СССР, представляя неотъемлемую часть комплекса выполняемых там работ. В настоящей статье суммирован опыт исследований на некоторых полигонах, где работали геоморфологи Института географии АН СССР: Крымском, Ашхабадском, Гармском и Донбасском. В процессе этих исследований сложились методика работ и последовательность применения различных методов [1, 2].

Методика работ и набор применяемых методов в значительной степени определяются конкретными условиями каждого из полигонов.

Так, например, на Крымском полигоне большое внимание уделялось детальному анализу речных долин (изучению пойм, низких террас, аномальных участков русел). Так как большое развитие на Южном берегу Крыма получили оползни, обусловленные спецификой геологического строения Главной гряды, то особо изучалась возможность объяснения современных движений этой территории нетектоническими (гравитационными) причинами. С целью оценки активности современных экзогенных процессов разрабатывалась методика высокоточных инструментальных наблюдений за этими процессами с помощью наземной стереофотограмметрической съемки (НСС).

В Донбассе использовалась методика сгущения геодезических данных по современным вертикальным движениям земной коры на основе их корреляции с суммой геоморфологических и ландшафтных признаков (характеристика строения пойменного аллювия, высотное положение и морфологические особенности поймы и первой террасы; ширина поймы, ее заболоченность).

На Ашхабадском полигоне главное внимание было уделено систематическим инструментальным наблюдениям над экзогенными процессами на участках современного поднятия и опускания земной поверхности. Ставилась зада-

ча комплексного изучения временных вариаций современных эндогенных и экзогенных процессов в связи с сейсмичностью.

На Гармской группе полигонов применялись различные приемы структурно-геоморфологического анализа по выявлению тенденций развития отдельных блоковых морфоструктур в голоцене и на современном этапе и их точной количественной оценке. Для этого выполнено инструментальное продольное профилирование террас основных речных долин района, частично на основе фотогеодолитной съемки. Для датирования возраста деформаций использовались радиоуглеродные определения древесины из озерных отложений, залегающих на высоких террасовых уровнях р. Сурхоб.

Необходимо подчеркнуть, что на первом этапе — при выборе территории полигона, линий повторного нивелирования, мест закладки реперов — геоморфологические исследования должны предшествовать всем остальным. Их цель — наметить оптимальные (с учетом требований специалистов другого профиля) варианты размещения полигона и линий повторного нивелирования, характерные и в то же время наиболее ярко оттеняющие специфику данного структурно-геоморфологического региона (рис. 1–3). При этом желательно наличие на территории полигона таких геоморфологических реперов, как уверенно датированные поверхности выравнивания, морские, речные или озерные террасы и т.п.

Следующий этап — детальное геоморфологическое изучение территории полигона, а при необходимости — и соседних районов, имеет конечной целью составление серии карт: средне- или крупномасштабной геоморфологической, новейших и молодых (голоценовых) тектонических движений, а также карты падений рек, на которой выделяются аномальные участки и зоны [3]. Особенно детально обследуется полоса вдоль линий повторного нивелирования; при этом характеризуются инженерно-геологические условия мест закладки реперов.

Весьма важный раздел геоморфологических исследований на полигонах — изучение современных экзогенных рельефообразующих процессов как индикаторов тектонических движений. Особого внимания заслуживает разработанный в Институте географии АН СССР метод использования геолого-геоморфологических и ландшафтных показателей для количественной оценки современных вертикальных движений. Надо, однако, учитывать, что этот метод применим лишь в определенных районах, которые характеризуются унаследованностью современных движений от голоценовых, которая выражается в сохранении знака движений в течение тысячелетий, и что геолого-геоморфологические показатели применяются лишь посредством использования корреляционного и регрессионного анализов. Хотя метод еще находится в стадии разработки, первые опыты его применения на Донбасском полигоне [4] и в центральной части Среднерусской возвышенности [5] доказали его перспективность.

Наиболее ответственным этапом работ на полигонах является сводка и комплексная интерпретация результатов применения геоморфологических, геодезических и геофизических методов изучения современных движений и глубинного строения территории полигона и сопредельных районов. Эта работа должна проводиться с участием специалистов различного профиля.

Остановимся на наиболее интересных результатах, полученных геоморфологическими методами на полигонах. Важное место в этих исследованиях занимала интерпретация геодезических данных о современных вертикальных движениях. В этом отношении представляют определенный интерес результаты работ на Крымском полигоне. Изучение деформаций поверхностей выравнивания и речных террас, а также анализ детальной карты падений рек дают однозначное представление о характере новейших и молодых движений [6]. В соответствии с этими данными Главная гряда Крымского полуострова представляет собой наиболее высоко поднятый блок, предгорные гряды — моноклиналильные блоки, поднимающиеся с меньшей интенсивностью, а Южный берег — зону относительных опусканий (см. рис. 1, а). Поэтому несколько неожиданными оказались результаты трехкратного нивелирования линий, пересекающих эти морфоструктуры [7]. Они в значительной мере противоречат геоморфологическим данным, в частности указывают на современное опускание Главной гряды (Ялтинской яйлы) по отношению к Южному берегу.

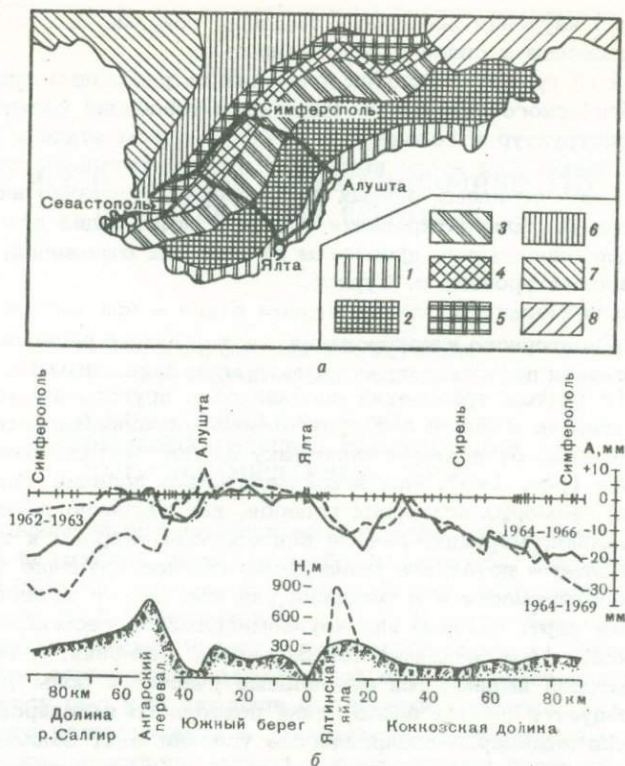


Рис. 1. Структурно-геоморфологическое положение и результаты повторного нивелирования трассы Крымского геодинамического полигона

a — структурно-геоморфологическая схема полигона:

- 1 — Южный берег — мелкоблоковая зона структурно-денудационного холмогорья;
- 2 — сводово-блоковое поднятие Главной гряды Горного Крыма;
- 3 — структурно-денудационное Южное продольное понижение в зоне глубинного разлома;
- 4 — блоково-моноклиналиное поднятие Внутренней гряды;
- 5 — структурно-эрозионная Северная продольная долина;
- 6 — полого-моноклиналиное поднятие Внешней гряды;
- 7 — аккумулятивная равнина Альминской платформенной впадины;
- 8 — аккумулятивная равнина Индольского предгорного прогиба

Толстой линией показана трасса повторного нивелирования; засечки на горизонтальной проекции трассы — пункты повторного нивелирования

b — результаты повторного нивелирования (за условный 0 принят футшок в Ялте); нижний профиль — схематическое изображение рельефа трассы; в районе Ялтинской яйлы, где трасса проходит по водоводному тоннелю, рельеф земной поверхности показан пунктиром

Детальный анализ литолого-структурных особенностей региона позволяет объяснить это явление следующим образом. Зона опускания соответствует в поперечном сечении не всей Главной гряде, а той ее части, которая сложена массивными верхнеюрскими известняками значительной мощности. Там, где из-под известняков появляются пластичные глинистые сланцы таврической серии (нижний структурный этаж Горного Крыма), к северу и югу от Ангарского перевала, а также в южной части Коккозской долины — намечается зона относительных, а местами и абсолютных современных поднятий. Можно предположить, что современное опускание Главной гряды Крымского полуострова и поднятие участков Южного берега имеют атектоническую природу. Они связаны, вероятно, с перепадом давлений в осадочной толще, вызванным погружением плотных верхнеюрских известняков в осадки таврической серии в пределах Главной гряды и выпучиванием пластичных пород этой серии (из-

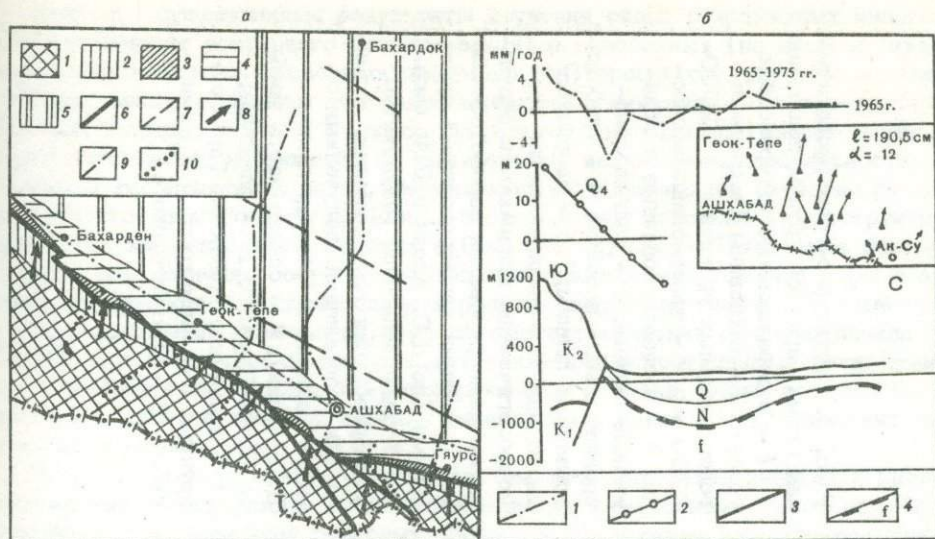


Рис. 2. Структурно-геоморфологическая схема, современные и голоценовые движения земной коры Ашхабадского геодинамического полигона

a – структурно-геоморфологическая схема Ашхабадского геодинамического полигона: 1–4 – зоны преобладающего развития: 1 – новейших морфоструктур сводово-блокового типа, 2 – линейных морфоструктур типа хребтов-антиклиналей и понижений-синклиналей, 3 – линейных морфоструктур типа асимметричных хребтов и гряд-моноклиналей, 4 – пологих субмеридиональных поднятий и опусканий в краевом Предкопетдагском прогибе – на подгорной равнине Копетдага; 5 – северная часть эпигерцинской платформы Турана; 6 – региональные новейшие разломы, выраженные в рельефе Копетдага; 7 – субширотные глубинные разломы, предполагаемые по геофизическим данным; 8 – направления предполагаемых новейших и современных горизонтальных движений земной коры; 9 – профили повторного нивелирования; 10 – региональные профили повторных наблюдений за развитием русловых процессов

b – современные и голоценовые движения земной коры и геологический профиль района Ашхабада: 1 – кривая изменения высот земной поверхности (по данным высокоточного повторного нивелирования); 2 – кривая изменения суммарных амплитуд голоценовых движений земной коры (1–2 тыс. лет); 3 – зона регионального разлома; 4 – кровля фундамента

На врезке: векторы смещения триангуляционных пунктов в районе Ашхабада при землетрясении 1948 г. (по В.А. Колибаеву)

под толщи известняков) на Южном берегу. Установлено, что действительный контакт этих толщ в ряде районов находится глубже видимого [8]. Подобные явления отмечены и в других горных сооружениях, характеризующихся наличием двух структурно-литологических этажей, нижний из которых представлен пластичными породами [9].

Заслуживают внимания результаты применения геоморфологических методов для количественной оценки современных движений земной коры на Донбасском полигоне [4]. Обнаружилась высокая степень корреляции показателя E , полученного по сумме геоморфологических признаков, со скоростями вертикальных движений (коэффициент корреляции до 0,9). Это раскрывает большие возможности геоморфологических методов для оценки современных тектонических движений Донбасса (имеются в виду медленные, вековые тенденции развития). Для Донбасса это весьма существенно потому, что здесь наряду с тектоническими широко проявляются нетектонические движения земной поверхности, вызванные отбором угля в шахтах [10].

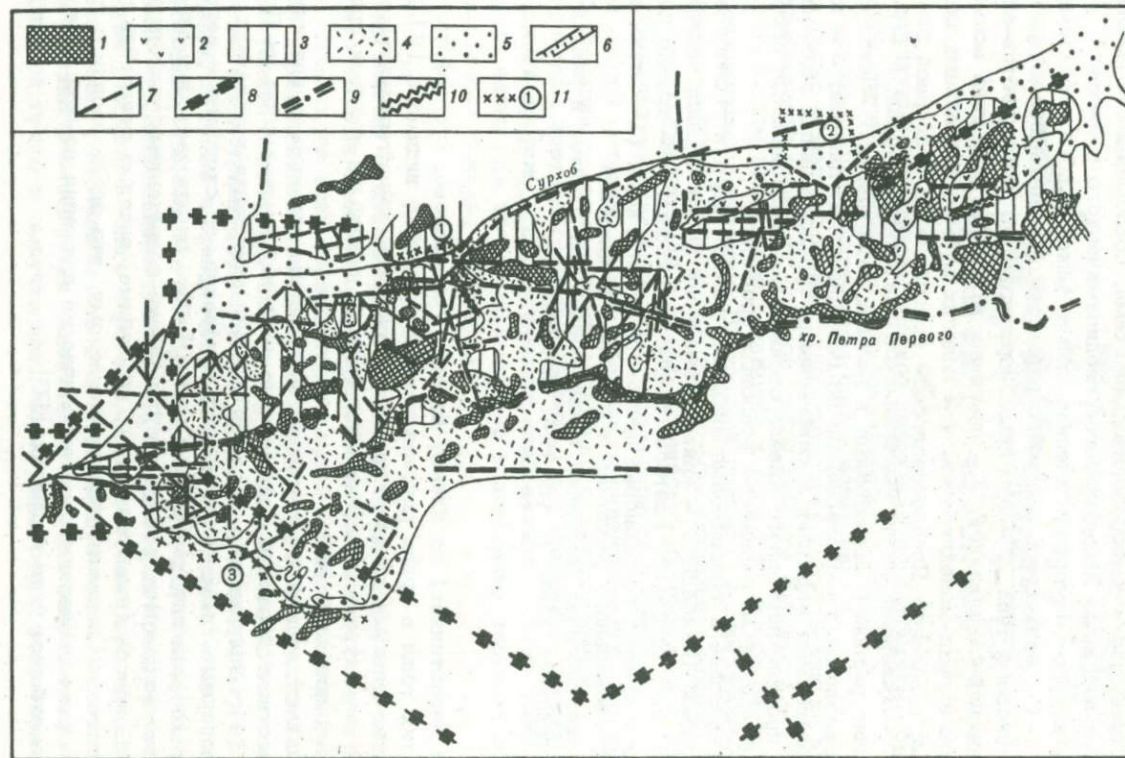


Рис. 3. Структурно-геоморфологическая схема Гармской группы полигонов

1 - водораздельные и террасовые уровни; 2 - котловины (в системе водораздельных уровней с $H = 2000 - 2200$ м); 3 - задернованные склоны; 4 - полуздернованные и обнаженные склоны; 5 - аллювиально-пролювиальные равнины; 6 - глубоко-врезанные долины; 7, 8 - разрывные нарушения: 7 - выделенные по геоморфологическим признакам и результатам дешифрирования аэрофотоснимков с четкими дешифровочными признаками (по Д.С. Асоян и Е.А. Финько), 8 - выделенные по результатам дешифрирования телевизионных космических изображений, полученных с ИСЗ "Космос" и "Метеор" (по Д.С. Асоян); 9 - осевая часть хребта Петра Первого; 10 - флексуры; 11 - положение полигонов Гармской группы: 1 - Гармского, 2 - Нимичского, 3 - Обихингоуского

Наиболее существенные результаты изучения связи современных эндогенных (по данным повторного нивелирования) и экзогенных (по инструментальным наблюдениям за русловыми деформациями) процессов получены на Ашхабадском полигоне, причем эта связь выявлена в динамике — во временном аспекте. Начиная с 1966 г. здесь проводятся многократные высокоточные инструментальные наблюдения за изменениями высот земной поверхности; вариациями геофизических полей, интенсивностью и динамикой развития русловых и склоновых процессов по профилям, пересекающим основные морфоструктурные и сейсмические зоны Копетдага (см. рис. 2) [11]. Территория благоприятна для изучения соотношения современных движений земной коры с экзогенными (русловыми) процессами: в рельефе выражены многочисленные признаки этих движений, включая крупные сейсмотектонические разрывы начала 1970 г., а небольшие речки обладают удивительно постоянными расходами воды в течение года, исключая кратковременные паводки, после которых быстро восстанавливается прежний профиль равновесия в связи с исключительно подземным питанием рек [12].

Результаты десятилетнего цикла систематических геодезических и инструментальных геоморфологических наблюдений за изменениями высот земной поверхности и динамикой русловых процессов обнаружили непосредственную зависимость между колебаниями высот отдельных реперов и изменением знака (направленности) руслового процесса в этих пунктах: короткопериодическому поднятию реперов соответствует врез, опусканию — аккумуляция русловых осадков, хотя скорости этих процессов различны. Подобная зависимость устанавливается на протяжении всей речки в течение короткого (1—1,5 недели) периода наблюдений. При этом она подтверждается закономерным (с точки зрения связи с колебаниями высот земной поверхности) изменением твердого стока и скорости водных потоков.

Зависимость между знаком современных вертикальных движений земной коры и русловыми процессами обнаруживается как в различные промежутки наблюдений, так и в суммарной оценке за 10 лет. Последняя, естественно, выражена наиболее четко, хотя сопоставление профилей различных временных вариаций русловых процессов позволяет наметить наиболее вероятные рубежи короткопериодических изменений современного тектонического и сейсмотектонического режима в зоне Главного надвига Копетдага [13]. Таким образом, исследования на Ашхабадском полигоне позволяют предположить принципиальную возможность использования систематических инструментальных наблюдений за русловыми процессами для выявления короткопериодической динамики современных движений земной коры, а следовательно, для их прогноза во времени.

Полигоны Гармской группы (собственно Гармский, Нимичский и Обихингуоский) характеризуют современные движения очень активной в тектоническом и сейсмическом отношении горной территории — хребта Петра Первого, относящегося к системе Памиро-Алая (см. рис. 3). Морфоструктурная позиция полигонов, вопросы геолого-геоморфологической интерпретации инструментальных данных на них неоднократно освещались в печати [14—17]. Здесь установлена четкая морфоструктурная обусловленность современных движений. В условиях мозаичной блоковой морфоструктуры наибольшие современные поднятия приурочены к блокам, испытавшим максимальные поднятия в голоцене. Наиболее ярко это проявилось в пределах основного кольца Гармского полигона. Наибольшие современные вертикальные движения со скоростями 10—15 мм/год отмечаются на активно растущем Чорчорогском блоке, который, согласно геоморфологическим данным, испытал активное поднятие и резкое эрозионное расчленение в позднем голоцене. О высоких темпах поднятия свидетельствуют отложения террасового уровня р. Сурхоб, богатые органическим веществом, с абсолютным возрастом 5450 (± 80) лет (ГИН обр. № 1188), расположенные ныне на относительной высоте над руслом в 200 м. В присурхобской части Чорчорогский блок прорезан глубокими оврагами, средняя скорость снижения поверхности склонов которых составляет 7,0—7,5 м за 20 лет (по данным

аэрофотосъемки) или 35 см/год [18]. Приведенные цифры указывают на высокую активность в голоцене Чорчорогского блока, где расположены "быстрые" реперы Гармского полигона.

Данные геодезических наблюдений на Гармской группе полигонов свидетельствуют о том, что максимальные скорости поднятий не превышают здесь 15 мм/год; при этом скорости движения во времени меняются. При частоте опроса до 10 раз в году выявилась картина, которую трудно интерпретировать с геолого-геоморфологических позиций. Вместе с тем осредненные геодезические данные хорошо согласуются с результатами морфоструктурного анализа. Все это позволяет на основе геоморфологических исследований в орогенных областях выделить из спектра движений, установленных по инструментальным геодезическим наблюдениям, составляющую, связанную с ходом медленных (вековых) движений.

Формулируя задачи геоморфологических исследований на геодинамических полигонах, следует подчеркнуть, что существуют три группы современных движений земной коры: 1) медленные, или вековые (с периодом колебаний более 700 лет); 2) быстрые — сейсмические; 3) сложные короткопериодические колебания земной коры и земной поверхности, накладывающиеся на движения первых двух групп. Выделив эти три группы движений, Ю.А. Мешеряков [19] подчеркивал их генетические различия: он считал, что импульсы вековых движений и сейсмических явлений исходят из глубин земной коры и, возможно, верхней мантии, в то время как короткопериодические колебания отражают разнородные влияния суммы внешних факторов. На геодинамических полигонах мы имеем дело с движениями всех трех групп; однако при их изучении геоморфологический метод эффективен в разной степени.

Важнейшей задачей собственно геоморфологических исследований мы считаем изучение движений двух первых групп, т.е. выявление общего тектонического фона развития рельефа. При этом, как, в частности, показывает опыт работ на Крымском и Донбасском полигонах, необходима тщательная геолого-геоморфологическая интерпретация геодезических данных с целью выявления тектонических и атектонических составляющих современных вертикальных движений.

При изучении короткопериодических колебаний наиболее эффективны геодезические (повторное нивелирование с различной частотой опроса), а также океанографические методы. Поиски геоморфологических и ландшафтных индикаторов короткопериодических колебаний являются интересной, но весьма сложной и трудоемкой задачей. Первые попытки ее решения предприняты на Ашхабадском полигоне [13].

ABSTRACT

The most important task of geomorphological studies proper at geodynamic test-areas is the study of slow or secular and quickseismic movements, i.e. revelation of a general tectonic background of the relief development. A great significance is attached to geological-geomorphological interpretation of geodetic data with the aim of revelation of tectonic and atectonic components of modern vertical movements. The results and methods of works at the Crimean, Garm and Ashkhabad test-areas are characterized. A necessity of the search of geomorphological indicators of shortperiod oscillations of the Earth's surface is emphasized and the experience of such studies at the Ashkhabad test-area is described.

ЛИТЕРАТУРА

1. Благоволин Н.С., Горелов С.К., Лилиенберг Д.А., Финько Е.А. Методика геоморфологических исследований на геодинамических полигонах. — В кн.: Проблемы современных движений земной коры: Таллин: Валгус, 1975. (Тр. IV Междунар. симпоз.).
2. Благоволин Н.С. Некоторые итоги и важнейшие задачи комплексных исследований на Крымском геодинамическом полигоне. — В кн.: Геофизический сборник АН УССР. Киев: Наук. думка, 1975, вып. 68.

3. Благоволин Н.С., Смирнова И.П. Карта падений рек Крыма и ее структурно-геоморфологический анализ. - В кн.: Комплексные исследования Черноморской впадины. М.: Наука, 1970.
4. Филькин В.А. Методы и точность геоморфологического обоснования составления детальной карты современных вертикальных движений Донбасса. - В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1973, № 5.
5. Былинская Л.Н. Изучение современных тектонических движений геоморфологическими и статистическими методами. М.: Наука, 1974.
6. Благоволин Н.С. Морфоструктуры и современные вертикальные движения земной коры. - В кн.: Земная кора и история развития Черноморской впадины. М.: Наука, 1975.
7. Grimean Geodynamic Polygon: Excurs. Guide-book XV JUGG Gen. Assembly, Moscow, 1971.
8. Пчелинцев В.Ф. Образование Крымских гор. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962.
9. Благоволин Н.С., Пшенин Г.Н., Финько Е.А. Об учете гравитационного фактора при геолого-геоморфологической интерпретации результатов повторного нивелирования горных районов. - В кн.: Современные движения земной коры: Тез. докл. VII Всесоюз. совещ. М.: Наука, 1977, вып. 2.
10. Вереда В.С., Юрченко Б.К., Суровцев В.Г. и др. О характере техногенных движений земной поверхности на Донбасском геодинамическом полигоне. - В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1973, № 5.
11. Курбанов М.К., Горелов С.К., Челпанов С.С. и др. Глубинное строение и новейшие деформации Ашхабадской сейсмоактивной зоны. Ашхабад: Ылым, 1973.
12. Криста Б.Г. Гидрологические особенности западных районов Средней Азии. Ашхабад: Ылым, 1976.
13. Горелов С.К., Тагиев С.Г., Переслегина Р.Е. Выражение современных тектонических движений сейсмоактивной территории в динамике и скорости развития экзогенных процессов (по данным многократных инструментальных наблюдений в Копетдаге): - В кн.: Современные движения земной коры: Тез. докл. VII Всесоюз. совещ. М.: Наука, 1977, вып. 2.
14. Певнев А.К., Финько Е.А., Шатский В.Н., Энман В.Б. Многолетние геодезические наблюдения на Гармском полигоне и их геолого-геоморфологическая интерпретация. - В кн.: Современные движения земной коры. М.: Наука, 1968, № 4.
15. Финько Е.А., Энман В.Б. Современные движения земной поверхности в зоне Сурхобского разлома. - Геотектоника, 1971, № 5.
16. Nam, Nimich, Obihingouss Geodynamic Polygons: Excurs. Guide-book XV JUGG Gen. Assembly. Moscow, 1971.
17. Финько Е.А., Асоян Д.С. Соотношение современных вертикальных движений с морфоструктурными условиями на геодинамических полигонах Таджикистана. - В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1973, № 5.
18. Финько Е.А., Цветков Д.Г. Изучение некоторых экзогенных процессов в горном районе Таджикистана аэрофотограмметрическим методом. - Геоморфология, 1976, № 3.
19. Мещеряков Ю.А. Вековые движения земной коры. Некоторые итоги и задачи исследований. - В кн.: Современные движения земной коры. М.: Наука, 1963, № 1.

УДК 528.3:551.241

Н.Ф. ВАСИЛЕНКО, В.К. ЗАХАРОВ,
И.М. КОНОПАЛЬЦЕВ, Г.Г. ЯКУШКО

ИЗУЧЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ОСТРОВАХ САХАЛИН И ШИКОТАН

В настоящее время Сахалинский КНИИ проводит изучение горизонтальных движений земной коры на трех локальных плановых геодезических сетях, две из которых располагаются в южной части о-ва Сахалин, третья - на о-ве Шикотан.

Плановые сети о-ва Сахалин "Тепловодская" и "Южная" были созданы в 1974 г. в зоне Центрально-Сахалинского разлома на приуроченных к нему поперечных разломах северо-западного простирания, совпадающих с долинами рек Сусуя и Лютога [1]. Сеть "Южная" состояла из четырех пунктов, образующих геодезический четырехугольник со сторонами 2,6-4,4 км. Сеть "Теп-

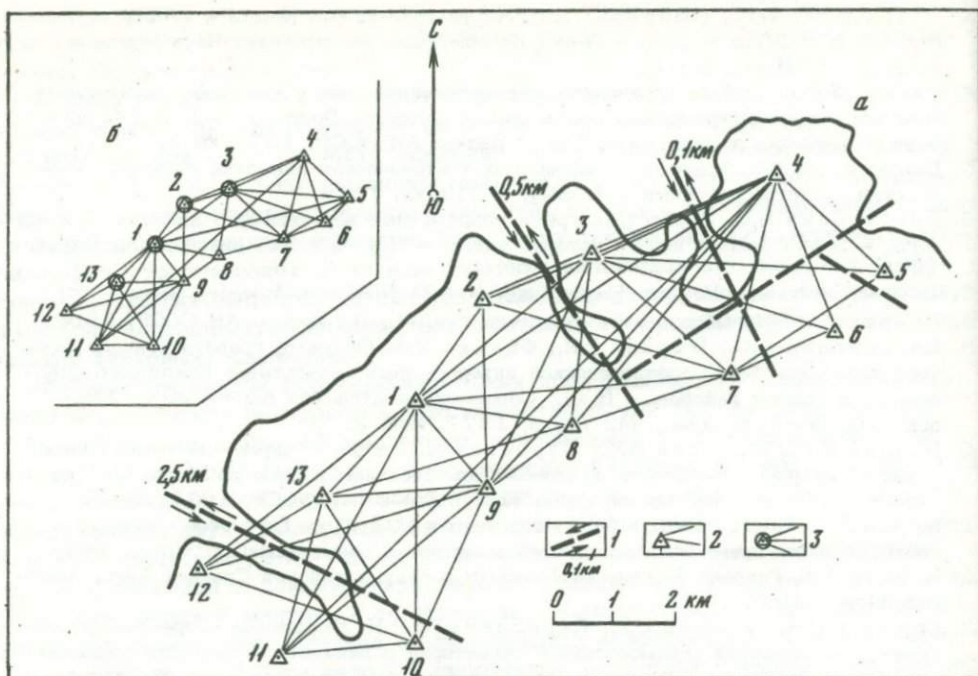


Рис. 1. Схема плановой геодезической сети на о-ве Шикотан
 а - расположение пунктов сети и разломов в земной коре (показаны линии, измеренные в 1976 г.); б - оптимальный вариант линейно-угловых измерений
 1 - разломы и величина горизонтальных перемещений, установленные по геолого-геоморфологическим данным; 2 - пункты наблюдения и измеренные стороны; 3 - пункты с измеряемыми направлениями

ловодская" представляла собой почти правильный шестиугольник со всеми возможными диагоналями и длинами сторон от 1,3 до 2,4 км. В 1975 г. сети были дополнены новыми пунктами. Работы 1974-1975 гг. на о-ве Сахалин проводились совместно с экспедициями МИИГАиК.

На о-ве Шикотан с 1973 г. экспедициями Института физики Земли АН СССР и Сахалинского КНИИ выполнялись светодоальномерные измерения на трех отдельных линиях [2, 3]. В 1976 г. была создана новая сеть из 13 пунктов (рис. 1, а), в состав которой вошли две линии (4-11, 4-6), измерявшиеся ранее. Пункты наблюдений размещались с учетом положения разрывных нарушений в земной коре, представленных разломами (северо-восточного) и поперечного простираний [4]. Конфигурация вновь созданной сети предусматривает возможность наиболее детального изучения горизонтальных перемещений по поперечным разломам. Построение имеет вид ряда треугольников с возможностью организации большого числа дополнительных геометрических связей. Ширина ряда около 3 км, длина - 12 км.

Поперечные разломы являются в целом более молодыми, чем продольные. Наиболее значительные сдвиговые перемещения по ним происходили после формирования тектонических структур и основных элементов рельефа острова. С поперечными разломами связано образование узких (300-500 м) бухт, ориентированных в северо-западном направлении и заходящих в глубину острова на 3-4 км. Величины горизонтальных перемещений, определенных по смещению в плане одновозрастных геологических границ, составляют в бухте Малокурильской около 0,1 км, в бухте Отрадной - 0,5 км, в бухте Крабовой - 2,5 км [5].

В созданных сетях используются знаки трех типов: бетонные монолиты с площадками для принудительной центровки приборов, грунтовые центры трубчатой конструкции и скальные марки. Все пункты на о-ве Шикотан и частично на о-ве Сахалин оборудованы запасными центрами.

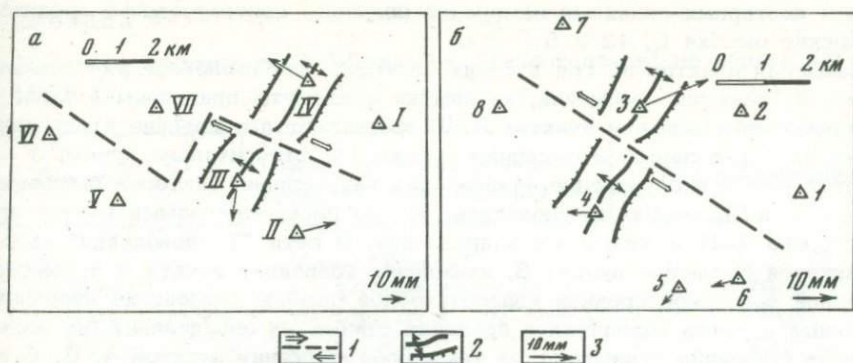


Рис. 2. Плановые геодезические сети для изучения горизонтальных движений на юге о-ва Сахалин

a - сеть "Южная", *б* - сеть "Тепловодская" I-VII и 1-8 - пункты сетей
 1 - разлом и направление смещения по геолого-геоморфологическим данным; 2 - сеть новейшего поднятия и подножие уступа в рельефе; 3 - вектор смещения и его величина (в масштабе)

Часть пунктов сахалинских сетей (рис. 2) входит в состав нивелирных профилей для периодического слежения за вертикальными движениями земной коры (пункты I, II; 1, 5, 6). Высоты их получены прецизионным геометрическим нивелированием. Превышения остальных пунктов определены двухсторонним одновременным тригонометрическим нивелированием. Ошибки уравниваемых высотных отметок не превышают 1 см. Высоты пунктов 3, 4 и 9 на о-ве Шикотан получены геометрическим нивелированием III классов от реперов нивелирной линии II класса. Отметки остальных пунктов будут получены при последующих измерениях.

Угловые измерения в сетях выполнялись по программе I класса теодолитами OT-02 M и T-05 видоизмененным способом круговых приемов И.М. Конопальцева [6]. Линейные измерения выполнялись светодальномером СГ-3. Для более точного учета температуры по трассе распространения луча на концах измеряемой линии с помощью терморезисторов производились измерения градиентов температуры в 12-метровом приземном слое воздуха с погрешностью $\pm 0,04^{\circ}\text{C}$.

Уравнивание сетей было выполнено параметрическим методом с использованием программы строгого уравнивания комбинированных сетей [7]. Сети рассматривались как свободные, координаты одного пункта и одно из направлений на нем принимались за исходные (пункт I и направление I-IV в сети "Южная", пункт 1 и направление 1-2 в сети "Тепловодская", см. рис. 2).

В 1974 г. в сети "Тепловодская" были измерены четыре диагонали шестиугольника и все направления. Средняя квадратическая ошибка уравниваемого угла - $0,43''$, уравниваемой стороны - 3,5 мм. В 1975 г. в сети проведено измерение всех линейных элементов и выполнены по две программы угловых измерений I класса на каждом пункте. Предварительное раздельное уравнивание триангуляции и трилатерации показало, что средняя квадратическая ошибка уравниваемого угла равна $0,22''$, а средняя квадратическая ошибка линейных измерений, считая их равноточными - 1,5 мм, что составляет $0,45 \cdot 10^{-6}$ для средней длины линии в сети. Учитывая геометрию и размеры сети, целесообразно для измерения ее в дальнейшем применять как более точный и экономичный метод трилатерации.

В сети "Южная" в 1974 г. выполнены две программы угловых измерений I класса на каждом пункте и измерены пять сторон (кроме стороны III-IV). Средняя квадратическая ошибка угла по результатам уравнивания - $0,25''$, линии - 5,0 мм. В 1975 г. из одной первоклассной программы угловых изме-

рений и повторных линейных измерений получены соответственно средние квадратические ошибки 0,42 и 5,0 мм.

Смещения пунктов за год в сетях "Южная" и "Тепловодская" показаны на рис. 2. Значения смещений, их ошибки и азимуты приведены в табл. 1. В первой сети смещения пунктов II, III превышают две средние квадратические ошибки их определения, а смещение пункта IV относительно пункта I определяется еще более уверенно. Анализируя направления векторов смещений пунктов II и III, можно предполагать, что за рассматриваемый период исходная сторона I-IV меняла свое направление. В сети "Тепловодская" уверенно фиксируется смещение пункта 3, изменение координат пункта 4 сравнимо с удвоенной величиной средней квадратической ошибки. Изменение координат остальных пунктов находится в пределах ошибок их определения, но азимуты векторов смещения указывают на тенденцию движения пунктов 4, 5, 6 в западном направлении. Как видно из рис. 2, наблюдаемые движения пунктов в обеих сетях имеют инверсионный характер по отношению к смещениям, установленным по геолого-геоморфологическим данным.

Сеть на о-ве Шикотан измерялась осенью 1976 г. в благоприятный в сейсмическом отношении период. По данным сейсмостанции "Шикотан" с 20 августа по 30 октября было зарегистрировано всего 8 толчков интенсивностью до 3 баллов, в том числе за период измерений сети, который длился немногим более месяца, два толчка интенсивностью до 2 баллов. Можно надеяться, что смещения пунктов за время наблюдений не превышали ошибок определения координат.

В сети производились только линейные измерения: было измерено 40 линий (см. рис. 1, а). Для линий 4-6 и 4-11 эти измерения были выполнены в четвертый раз. Они приведены в табл. 2. Привлекает внимание неравномерное и знакопеременное изменение их длины, что, по-видимому, связано с происходящими в этот период землетрясениями.

Измерения 1973 г. проведены после серии Шикотанских землетрясений, происшедших 17, 24 и 26 июня (удаленность эпицентров порядка 120 км, глубина очагов $H = 50$ км, магнитуды 8; 7,5 соответственно). Все три толчка сопровождалось значительным сейсмическим эффектом, достигавшим на о-ве Шикотан силы 7-8 баллов [8]. За полтора месяца между первым и вторым измерениями линий было зарегистрировано несколько афтершоков указанных землетрясений энергетического класса $K = 10$ с глубиной очага $H = 40-50$ км и эпицентрами, удаленными от измеряемых линий на 30-50 км. В районе о-ва Шикотан они ощущались силой до 3 баллов.

Изменения длин линий с августа по октябрь 1973 г. имеют инверсионный характер по отношению к направлениям главных осей напряжений, обусловивших Шикотанские землетрясения [8]. Видимо, эти изменения можно отнести к разрядке напряжений в земной коре после землетрясений. Сжатие рассматриваемых линий к 1974 г. и их растяжение к 1976 г., вероятно, обусловлено Шикотанским землетрясением 10 июня 1975 г., когда наблюдались 4 сейсмических толчка с $M = 6,3-7,2$, которые проявились на о-ве Шикотан силой в 3-5 баллов (расстояние до эпицентра около 115 км, $H = 50$ км).

Наблюдавшиеся измерения длин линий указывают на связь их с происходящими землетрясениями, но, поскольку измерений мало и выполнены они с большими интервалами, характер связи установить трудно. Необходимо проведение более частых измерений отдельных линий в зонах активных разломов, где движения земной поверхности могут быть более интенсивными. Выявление зон активных движений - ближайшая цель проводимых исследований.

Из-за отсутствия высотных отметок пунктов уравнивание линейных измерений в 1976 г. не выполнялось. Однако предрасчет точности показывает, что ошибка взаимного положения наиболее удаленных пунктов сети "Шикотан" не будет превышать 12-15 мм. С целью оптимизации наблюдений в сети "Шикотан" выполнен предрасчет точности планового положения пунктов в зависимости от количественного сочетания измеряемых линейных и угловых элементов в сети. За основной метод измерений как наиболее точный и экономичный

Таблица 1

Смещение пунктов сетей "Южная" и "Тепловодская" за период 1974-1975 гг.

Пункты	Смещения и их средние квадратические ошибки, мм	Азимут смещения, °
Сеть "Южная"		
II	16,3±6,7	79
III	13,1±6,4	189
IV	19,8±2,5	301
Сеть "Тепловодская"		
2	0±2,6	-
3	17,1±3,6	68
4	5,0±2,8	270
5	2,8±4,3	224
6	4,1±4,8	255

Таблица 2

Изменение длин линий плановой сети "Шикотан" за период 1973-1976 гг.

Линия	Время измерения	Длина линии, мм	Изменение длины линии за период между наблюдениями и средняя квадратическая ошибка, мм	Исполнители
4-6	17-18. VIII 1973 г.	2 581 772	+8±5	ИФЗ
	29. IX 1973 г.	780	-14±5	СахКНИИ
	IX 1974 г.	766	+8±5	ИФЗ
	IX 1976 г.	774		СахКНИИ
4-11	20. VIII 1973 г.	10 949 732	-9±7	ИФЗ
	5-6. X 1973 г.	723	-22±7	СахКНИИ
	IX 1974 г.	701	+29±7	ИФЗ
	IX 1976 г.	730		СахКНИИ

была принята трилатерация. Анализ показал, что оптимальным следует признать вариант из 36 линий и углов на пунктах 1, 2, 3, 13 (см. рис. 1, б), которые можно измерить за 25-30 дней при обычных метеорологических условиях. В этом случае модуль вектора ошибки самого удаленного пункта в сети (пункт 5) относительно исходного (пункт 1) не будет превышать 8±1 км. Смещение западной части сети относительно восточной может быть определено с погрешностью до 10 мм.

Для определения относительных смещений по поперечным разломам достаточно проводить только линейные измерения в четырехугольниках или пятиугольниках. Ошибки определения относительного положения пунктов не будут превышать 2-4 мм.

Принимая во внимание полученные скорости горизонтальных движений, достигающие 2–3 см/год, следует признать целесообразным выполнять повторные измерения всех трех сетей с периодичностью один раз в 2–3 года. Наблюдения же на пунктах, разделенных активными разломами, необходимо проводить ежегодно, а на отдельных линиях – по нескольку раз в год.

Выводы

1. Предварительный анализ результатов измерений показывает, что скорости относительных горизонтальных движений в сетях достигают 29 мм/год. Учитывая реальные ошибки наблюдений, измерения сетей целесообразно проводить один раз в 2–3 года.

2. Измерение длин линий на о-ве Шикотан указывает на возможную связь их с происходящими землетрясениями. Для поиска предвестников землетрясений линейные измерения в зонах активных разломов необходимо проводить ежегодно, а на отдельных линиях – по нескольку раз в год.

3. С целью оптимизации наблюдений при изучении горизонтальных движений необходимо предварительно рассчитать количественное сочетание угловых и линейных измерений.

ABSTRACT

Methods and results of linear-angular measurements of two planned geodetic networks on the Sakhalin and Shikotan islands are analyzed. By the results of measurements of 1974–1975 relative point displacements are obtained on the Sakhalin island and their accuracy is estimated. The results of repeated measurements of two lines are considered as performed by the SG-3 geodimeter on the Shikotan island in 1973 (twice), 1974 and 1976 as well as their association with strong earthquakes that occurred in the region of the Minor Kuril range. The planned network for a more detailed study of horizontal movements and search of earthquake forerunners is described. A preliminary calculation is made of the accuracy on the basis of which the periodicity of observations of networks on the whole and their individual sections is recommended.

ЛИТЕРАТУРА

1. Василенко Н.Ф., Медведев В.Г. О наблюдениях за горизонтальными движениями земной коры на Сахалинском геодинамическом полигоне. – В кн.: Современные движения земной коры на геодинамических полигонах. Новосибирск: Наука, 1978.
2. Одинов Н.Н., Сапрыкин Г.В. Светодальномерные измерения на острове Шикотан в 1973–1974 гг. – Там же.
3. Василенко Н.Ф. Электро-оптические измерения на геодинамическом полигоне о-ва Шикотан. – В кн.: Восьмая конф. молодых ученых и специалистов, посвящ. 250-летию АН СССР: Тез. докл. Южно-Сахалинск, 1974.
4. Сергеев К.Ф., Стрельцов М.И. К вопросу о тектонике и геологической истории Малой Курильской гряды. – В кн.: Геология и геофизика Тихоокеанского пояса. Новоалександровск, 1970. (Тр. СахКНИИ; Вып. 25).
5. Стрельцов М.И. Дислокации южной части Курильской островной дуги. М.: Наука, 1976.
6. Конопальцев И.М. К вопросу о едином способе измерения углов. – Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1969, № 5.
7. Сафонов А.Е. Программа расчета инженерно-геодезических и аналитических сетей на ЭВМ "Минск-22" (РИГАС). М.: Госстрой СССР, 1971.
8. Оскорбин Л.С., Леонов Н.Н., Поплавская Л.Н., Бойчук А.Н. Июньские землетрясения и цунами в районе Малой Курильской гряды в 1973 г. – В кн.: Землетрясения в СССР в 1973 г. М.: Наука, 1976.

М.К. КУРБАНОВ, В.И. ЛЫКОВ, Б.И. ГАИПОВ,
А.И. СТАРЧЕНКО, С.С. ЧЕЛПАНОВ, Э.Л. ШИХАНОВИЧ

НАПРАВЛЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВРЕМЕННОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА АШХАБАДСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

Сейсмическая активность Ашхабадского района обуславливается тектоническим взаимоотношением Туранской и Иранской плит, причем обе плиты смешаются по Передовому глубинному разлому Копетдага и его подразделениям. Очаговые зоны сильнейших землетрясений приурочены к местам осложнений контактной плоскости, порождающих аномальные поля касательных тектонических напряжений [1] и "запрещающие" сдвиговые перемещения (рис. 1). Наличие участков с ярко выраженной сдвиговой характеристикой, упоров с разветвленными структурами надвигания, мест разветвлений разломов, их хорошо развитого оперения определяет контрастность и разнотипность тектонических движений и сопровождающих их явлений. В то же время относительная простота морфологии основного разлома позволяет обоснованно планировать эксперимент и облегчает интерпретацию материалов.

Ашхабадский геодинамический полигон занимает площадь, охватывающую участок Передового разлома Копетдага от Келятинского до Гяурсдагского надвига. Основной объем наблюдений приходится на зону сочленения Гяурсдагского надвига с линейной частью Передового разлома генерального северо-западного простирания. Гяурсдагский надвиг — это поверхностное выражение деформационных процессов, происходящих в зоне упора, запрещающего сдвижения крыльев Передового разлома. Территория полигона пересекается двумя транстуркменскими нивелирными профилями, имеется также ряд пунктов повторной триангуляции. В результате получена уникальная информация о движениях блоков во время землетрясения 1948 г. [2]. Детальное изучение современных движений и тектонической активности было начато в 1965 г. с постановки гравиметрических работ, изучения вертикальных движений и постоянного магнитного поля; в последние годы получили развитие изучение горизонтальных движений современными методами с помощью лазерных дальномеров, изучение электрической активности зон разломов и изменения электросопротивления зон растяжения и сжатия. Управлением геологии СМ ТССР ведутся исследования содержания радона, изменения дебита естественных источников и изменения уровня ювенильных вод глубоких скважин, изменения их химического состава; расширяется использование сейсмологических данных.

Многолетнее изучение неприливных изменений силы тяжести в Ашхабадской сейсмоактивной зоне приводит к выводу, что сила тяжести в зоне непостоянна и может меняться в течение нескольких месяцев на величину порядка 100 мкгал. Периодичность и интенсивность такого рода изменений на площади неодинакова, и нами выделены локальные аномальные участки, изменение силы тяжести на некоторых из них показано на рис. 2. Соответствие вариаций силы тяжести изменениям других физических параметров и значимый порядок величины не позволяют объяснить это явление погрешностями аппаратуры, изменением высоты репера и изменениями физических свойств приповерхностной толщи отложений.

Общий фон вертикальных тектонических движений территории полигона определяется нивелированием (погрешность метода $\pm 0,5$ мм/км) и многолетними наклономерными наблюдениями. Как и предполагалось (по геологическим данным), под действием регионального поля сжимающих усилий Копетдаг испытывает систематическое поднятие, нарушаемое в отдельные моменты. Скорость воздымания достигает 2 мм/год. В общий ход поднятия Копетдага основной вклад вносится движением блоков, разделенных разрывными нарушениями различного масштаба.

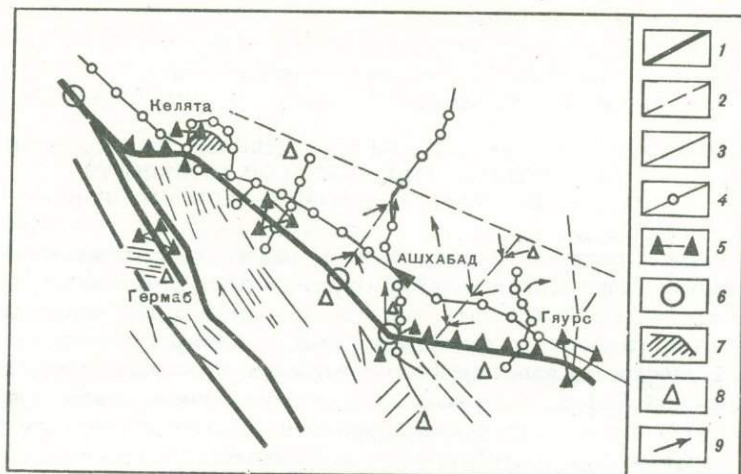


Рис. 1. Схема Ашхабадского геодинамического полигона

1-3 - разломы: 1 - глубинные, 2 - фундамента, 3 - осадочного чехла; 4 - профили нивелирования и гравимагнитных наблюдений; 5 - пункты трилатерации; 6 - районы наблюдений по скважинам; 7 - водохранилище; 8 - сейсмические станции; 9 - направление движения блоков в 1948 г.

Измерение горизонтальных движений позволило обнаружить интересное явление, заключающееся в быстрых знакопеременных изменениях длин баз, пересекающих глубинные разломы и разрывы осадочного чехла. Величина относительного изменения длины достигала $\pm 3 \cdot 10^{-4}$, величина скорости - 10^{-6} с^{-1} .

Анализ материалов за период после 1948 г. позволяет высказать предположения о коренном изменении тектонической ситуации в канун 1968-1970 гг. Действительно, в этот период изменились знаки на графиках многолетнего расхода минеральной воды источника Арчман (по устному сообщению М.Р. Милькиса) и выделения сейсмической энергии. С 1957 по 1965 гг. знаки составляющих наклона в пос. Кеши были: С-Ю - на север, В-З - на запад. Эта точка на профиле нивелирования, проходящем вдоль железной дороги, соответствует максимальному градиенту вертикальных смещений земной поверхности. Направление градиента - юго-восток - следствие события 1948 г. Поэтому можно предполагать, что в период 1957-1965 гг. наблюдался процесс релаксации аномальных напряжений, который продолжался до 1970 г., так как наблюдения в пос. Берзенги дали те же знаки по составляющим наклона.

Наиболее динамичным процессом разрядки было землетрясение в Ашхабаде 15 ноября 1968 г. с магнитудой 5,6, большим сейсмическим моментом и 30-километровой протяженностью очага. 30 июля 1970 г. произошло землетрясение с магнитудой 6,7 на стыке последней и предпоследней кулис левых сдвигов на Иранской территории. Судя по тому, что знак составляющей наклона В-З изменился, можно предположить, что это землетрясение есть момент прекращения процесса разрядки напряжений в очаговой зоне ашхабадских землетрясений. По сравнению с 1967 г. репер, находящийся в Копетдаге, уже в 1971 г. поднялся относительно прогиба на 12 мм и продолжал подниматься до начала 1976 г. (см. рис. 2).

С 1970 г. азимут многолетнего хода наклонов по обеим составляющим стал 76° СВ. т.е. общее воздымание Копетдага свидетельствует о процессе нагрузки, в результате чего блоки прогиба начали деформироваться. Уровень воды в скв. 8 (Харварский разлом - Ашхабадское месторождение минеральных вод) поднялся с 20 м (1969 г.) до 0,5 м (конец 1974 г.) от дневной поверхности; в скв. 15 (в 20 км северо-западнее скв. 8 вдоль Передового разлома - Фирюзинское месторождение минеральных вод) - с 33,5 м (1960 г.) до 30,5 м (конец 1974 г.).

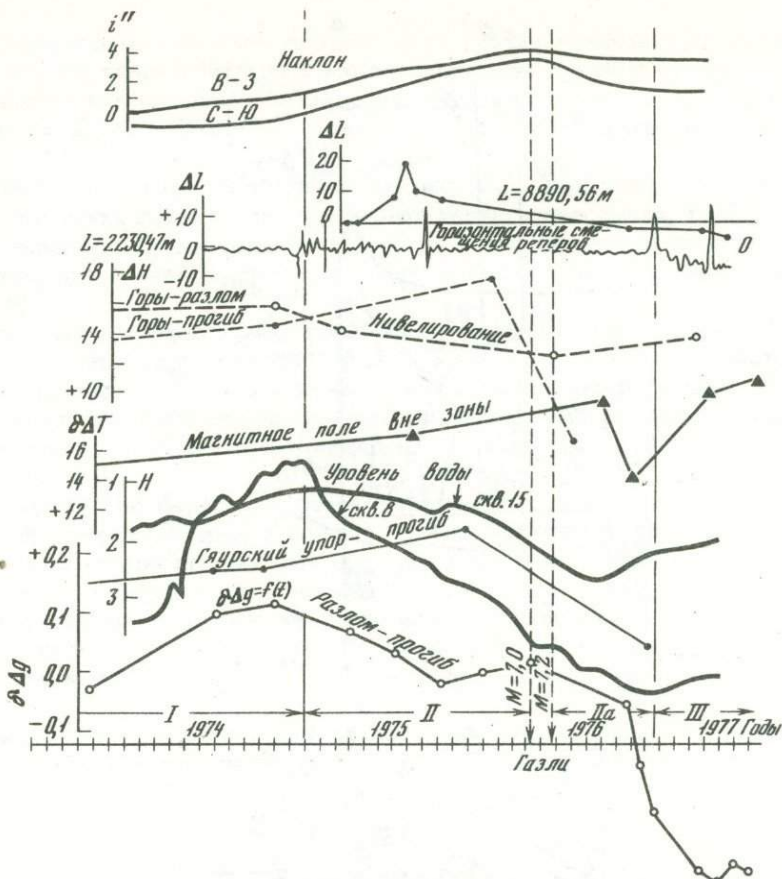


Рис. 2. Сводный график временных изменений комплекса параметров
I-III - возможные стадии по ЛНТ - лавинные неустойчивые трещинообразования [3]

i'' - наклоны, секунды дуги; L - расстояние между реперами, м; ΔL - величины горизонтальных смещений реперов, см; ΔH - величины вертикальных смещений реперов нивелирного хода, мм; $\delta\Delta T$ - вариации постоянного магнитного поля, γ ; H - изменение уровня ювенильных вод в глубоких скважинах, м; $\delta\Delta g$ - вариации поля силы тяжести, мгл

Окончание 1974 г. характеризуется рядом ярких событий. В конце ноября светодальномерными наблюдениями, проводимыми ежедневно на Ашхабадском узле геодинамического полигона, впервые зафиксированы быстрые знакопеременные движения реперов. В декабре 1974 г. начался период систематического снижения уровня воды в глубоких скважинах. Изменился общий ход наклона - увеличился наклон на север. Последнее сопровождалось неравномерным проседанием на юг копетдагского крыла Передового разлома. Создается впечатление, что зона разлома разуплотнилась. Несколько раньше, т.е. в 1973 г., начал снижаться расход воды источника Арчман (120 км от Ашхабада на северо-запад).

Снижение уровня воды и быстрые тектонические движения свидетельствуют, с нашей точки зрения, о падении напряжения и возникновении неустойчивого состояния в зоне Передового разлома. Этот этап (стадия II), по-видимому, закончился в конце 1976 г., когда светодальномерами зафиксировано постоянное сжатие в зоне разлома, а уровни в обеих скважинах начали подниматься. Возможно, что изменение ситуации каким-то образом связано с газлийскими событиями 1976 г. Такое положение сохраняется до сих пор.

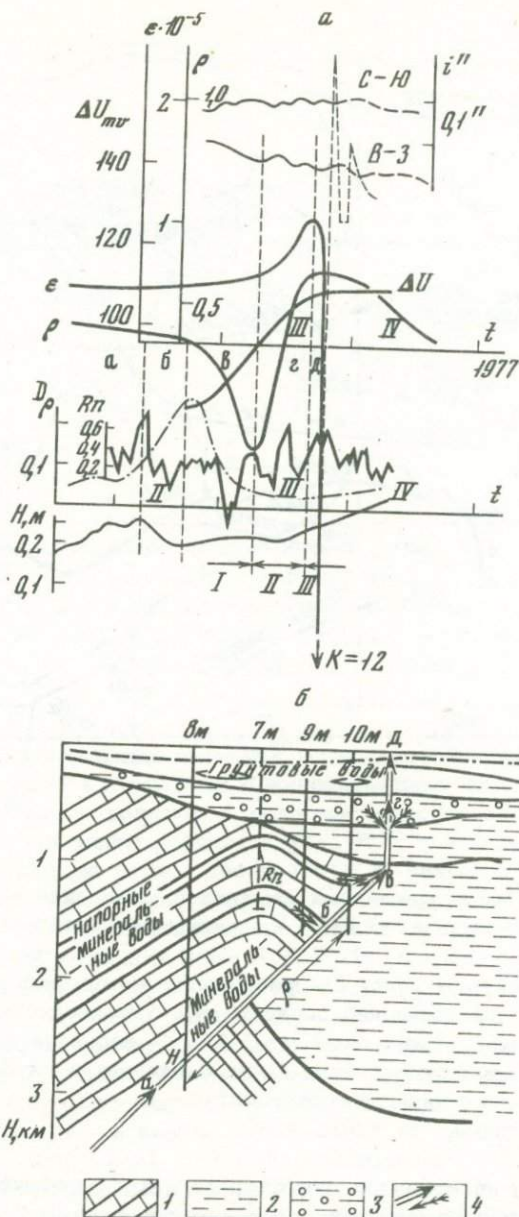


Рис. 3. Изменение комплекса параметров перед местным землетрясением 25. III 1977 г. ($K=12$) (а), схематический геологический разрез и стадии вскрытия разлома (б)

1 - известняки, 2 - глины, 3 - валуно-галечник, 4 - предполагаемое направление движения подземных вод; а-д - стадии вскрытия разлома, I-IV - возможные стадии по ЛНТ [3]

$\epsilon \cdot 10^{-5}$ - величина деформации по направлению, пересекающему разлом; ΔU_{mv} - величина естественного потенциала в межскважинном пространстве, мв; ρ - кажущееся сопротивление, измеряемое в межскважинном пространстве между скв. 8 м и скв. 10 м, используемых как электроды, ом; D_{ρ} - удельное сопротивление, ом; i'' - наклоны, секунды дуги; Rn - вариации эманыции радона, эмали (по скв. 7); H_m - изменение уровня воды в глубокой скважине, м; 7 м - 10 м - нумерация гидрогеологических глубоких скважин

В настоящее время на базе Ашхабатского геодинамического полигона создается система территориально и методически совмещенных систем наблюдений, в результате чего мы надеемся получить информацию о физике процессов, протекающих в зоне разломов, и взаимно проталонировать методы исследований.

Пример такого подхода приведен на рис. 3, а. Как видно из графиков различных физических параметров, они имеют характерные точки, благодаря чему удается выделять стадии развития процесса и представить механизм, вызывающий изменение в виде последовательного вскрытия разлома снизу вверх (рис. 3, б).

Особое место в комплексе исследований занимают сейсмические наблюдения. На территории очаговой зоны Ашхабадских землетрясений в настоящее время функционируют 8 сейсмических станций. По предварительным данным на территории полигона отмечается сейсмическое затишье, зато резко повысилась активность Восточного Копетдага, где максимальный класс землетрясений достиг 13.

На повестку дня вынесены вопросы автоматизации и оптимизации систем наблюдений, заложение эпох в основных узлах тектонической структуры региона, получение набора предвестниковых признаков для формирования методических принципов интерпретации полигонных материалов.

Конкретизацию представлений о глубинном строении земной коры взяли на себя подразделения Управления Геологии СМ ТССР, а изучение современных движений крупнейших тектонических элементов — предприятие ГУРКа.

Мы надеемся, что получаемый объем информации позволит обоснованно проводить строительство стационаров прогностического полигона республики.

ABSTRACT

Tectonic elements of the test-area, system of observations and their distribution over the test-area territory are briefly described. Up to 1965 only the data on vertical movements along the two profiles and one repetition of triangulation measurements are available.

Since 1965 a detailed study of tectonic activity has started. A conclusion is drawn that the process of removal of surplus stresses took place during the period of 1948–1970, compression of Kopetdag was observed from 1970 to 1976, the zone of the Fore fault of Kopetdag being characterized by unstable state in 1975–1976 which was expressed in fast movements of individual points of the Earth's surface and the fall of stresses in the inner points of the medium. The tasks of further studies are defined.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков В.И., Осокина Д.Н., Одеков О.А. и др. Тектоническое обоснование постановки комплекса прогностических наблюдений в Предкопетдагском сейсмоактивном регионе. — В кн.: Поиски предвестников землетрясений. Ташкент: Фан, 1976.
2. Курбанов М., Горелов С.К., Челпанов С.С. и др. Глубинное строение и новейшие деформации Ашхабадской сейсмоактивной зоны. Ашхабад: Ылым, 1973.
3. Мячкин В.И., Костров Б.В., Соболев Г.А., Шамина О.Г. Основы физики очага и предвестники землетрясений. — В кн.: Физика очага землетрясений. М.: Наука, 1975.

СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА И МОРФОСТРУКТУРНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ КУБИНСКОГО АРХИПЕЛАГА

(в свете новых геодезических и геоморфологических данных)

Изучение современного тектогенеза Земли показывает, что это сложный процесс, требующий широкого комплексного подхода. Одной из главных проблем в данном комплексе является установление взаимосвязей между проявлением современной геодинамики и современным рельефообразованием, в первую очередь — с морфоструктурной дифференциацией земной коры как синтетическим, опосредствующим звеном взаимодействия [1-3]. Накоплен значительный опыт анализа морфоструктурных взаимосвязей современных тектонических движений для различных типов платформенных равнин, древних кристаллических массивов, молодых и древних орогенных сооружений, континентальных рифтовых зон и т.п. Каждый тип морфоструктуры отличается своей спецификой геодинамики, позволяющей по-новому оценить общие закономерности тектогенеза. С этих позиций несомненный интерес представляют данные о современной активности островных дуг межматериковых морей.

В последние десятилетия все большее внимание представителей различных наук о Земле привлекает Карибский межматериковый бассейн и гетерогенные морфоструктуры Кубы. Этот регион является колыбелью современной теории глобальных литосферных плит и идей неомобилизма. Имеются данные о том, что Кубинская микроплита испытывает определенное ротационное движение и продолжает перемещаться по отношению к микроплите Кокос со скоростью порядка 9 см/год, а величина поддвига достигает 1 см/год [4]. Здесь установлены огромные горизонтальные смещения, широко развиты покровные морфоструктуры разного порядка, сложная неотектоническая перестройка рельефа.

Учитывая эти особенности геодинамики Кубинского архипелага, составявшего часть Антильской островной дуги, Институты географии АН СССР и АН Кубы и Кубинский институт геодезии и картографии в 1971-1973 гг. начали специальные инструментальные исследования и организовали Советско-Кубинскую геоморфологическую экспедицию. Предварительные результаты работы были доложены на XVI Генеральной ассамблее Международного геодезического и геофизического союза (МГТС) в Гренобле [5, 6], а в более обобщенном виде — на VII Всесоюзном совещании по современным движениям земной коры во Львове [7-9].

Общие особенности морфоструктуры

На протяжении всего 10-15 лет представления о тектоническом строении Кубы и ее морфоструктурной дифференциации претерпели коренную перестройку. Были высказаны противоречащие друг другу взгляды от классических фиксистских до новейших мобилистских [10-12 и др.]. Многочисленные геологические геоморфологические и геофизические данные позволяют сейчас рассматривать современную морфоструктуру архипелага как межплитовое шовное образование. Узкая северная периферия архипелага заложена на континентальной коре мощностью 20-25 км (при толщине гранитного слоя порядка 10-15 км) и соответствует южной окраине Багамской платформы. Вся основная часть архипелага и островного шельфа имеет кору переходного (субконтинентального) типа мощностью до 30 км с примерно равной толщиной базальтового и гранитного слоев. Эти две морфоструктурные области разделяются транскоровым Главным Кубинским швом, вдоль которого горизонтальные перемещения с юга достигают 30-80 км и на поверхность выведены породы офиолитового комплекса — фрагменты океанической коры, соответствующие древней зоне Беньофа. Южно-Кубинский транскоровой шов отделяет область Юкатанской впа-

дины уже с корой океанического типа мощностью 10–15 км. Таким образом, Кубинский архипелаг в общем виде может рассматриваться как самостоятельный межплитовый морфоструктурный блок (микроплита) с переходной корой субконтинентального типа.

В мезозое в межплитовой шовной области устанавливается геосинклинальный режим, причем на южной периферии Багамской платформы формируется миогеосинклиналь, а к югу от Главного шва — эвгеосинклиналь [11, 12]. Эпигеосинклинальный орогенез проявлялся на фоне нарастающего сжатия вдоль межплитовой шовной зоны, в результате чего на раннеорогенной стадии (поздний эоцен — олигоцен) возник Центрально-Кубинский моновергентный мегантиклинорий протяженностью около 1300 км, а на позднеорогенной стадии (плиоцен — плейстоцен) произошло общее поднятие и неотектоническая перестройка области, мелкоблоковое дробление, завершение формирования современной многоярусно шарьированной морфоструктуры архипелага [12, 13]. При этом в результате поддвига Багамской платформы под Кубинскую микроплиту миогеосинклинальная зона оказалась в значительной мере перекрытой эвгеосинклинальным аллохтоном (мощностью до 3–4 км), а затем и неоаллохтоном. На фоне формирования покровно-надвиговой морфоструктуры произошли левосторонние сдвиги к северо-востоку отдельных поперечных блоков архипелага, отчетливо выраженные в рельефе суши и конфигурации бровок островного шельфа [14], с суммарной амплитудой до 350 км [12]. Не исключено, что за счет смещения Кубинского архипелага к северу ускорилось раскрытие желоба Бартлета.

В результате направленного усложнения морфоструктуры Кубы сложился современный мелко дифференцированный рельеф архипелага. Здесь выделяются поперечные и продольные блоки разного порядка (Пинар-дель-Рио, Гавана-Матансас, Лас-Вильяс, Камагуэй, Ориенте и др.), различные типы горных морфоструктур (Гуанигуанико, Гуамауяя, Ниппе-Баракоа, Сьерра-Маэстра), возвышенностей и мелкогорий (Гавана-Матансас, Эскамбрай, Сьерра-де-Кубитас, Маниабон и др.), пластовых плато (Гуантанамо), выработанных, пластовых и аккумулятивных равнин [13, 14].

Региональные типы геодинамических взаимосвязей

Геоморфологический анализ морфоструктурной дифференциации современных вертикальных движений предварялся полевой оценкой стабильности геодезических знаков и репрезентативности нивелирных линий по методике Института географии АН СССР [15]. Все неустойчивые и часть относительно устойчивых знаков из дальнейших расчетов исключались. После инженерно-геологической фильтрации инструментальных данных проводился морфоструктурный анализ проявлений современной геодинамики. Поскольку обработка нивелирных материалов осуществлялась выборочно, то ниже рассматриваются региональные типы взаимосвязей в относительных значениях скоростей вертикальных движений.

Горы *Гуанигуанико* на западе Кубы достигают высот 400–600 м. Обладают покровно-надвиговой блоковой морфоструктурой на эпимеогеосинклинальной основе, сложены юрскими и меловыми отложениями и ограничены Южно-Пинарской ветвью Главного тектонического шва Кубы. Их границы с прилегающими равнинами резко контрастны, с градиентами изменения высот до 300–500 м на км. В отличие от других молодых горных систем на современном этапе для них характерны не интенсивные поднятия, а движения нейтрального типа (от +0,5 до –0,5 мм/год) или даже слабые опускания (до –1 ÷ –2 мм/год) по отношению к равнинам Пинар-дель-Рио (рис. 1, 2). Подобная инверсия движений в известной мере может быть обусловлена многоярусной покровно-надвиговой морфоструктурой, когда значительная часть вертикальной составляющей поднятий, по-видимому, компенсируется горизонтальной составляющей [7]. Вероятнее всего, эта инверсия отражает короткопериодные вариации

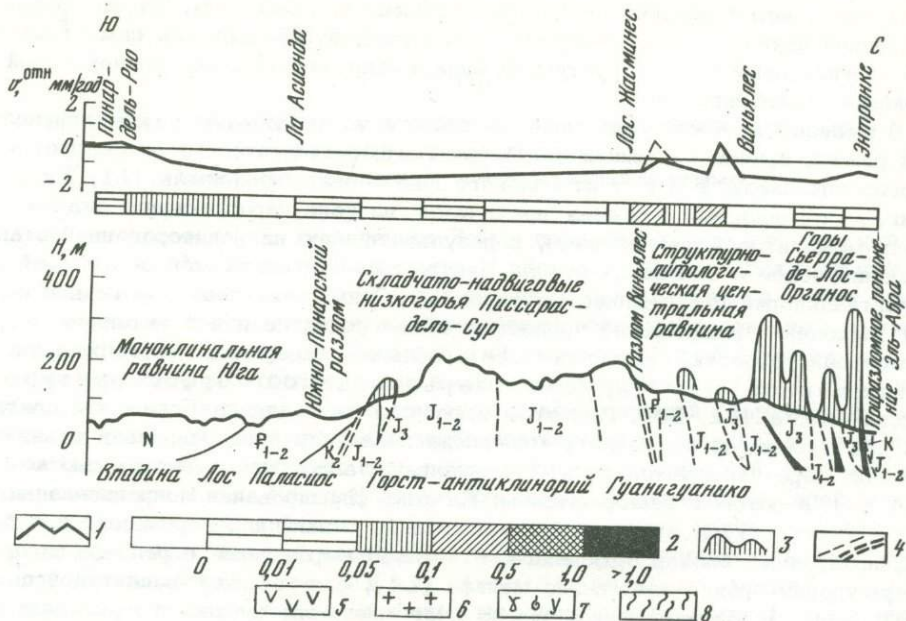


Рис. 1. Комплексные профили современных вертикальных движений и морфоструктур гор Гуанигуанико (район Виньялес)

Условные обозначения к рис. 1-7

1 - кривая скоростей вертикальных движений; 2 - градиенты вертикальных движений, мм/год на км; 3 - профиль сопутствующего рельефа; 4 - разломы разного порядка; 5 - эффузивные комплексы; 6 - граниты; 7 - интрузивные комплексы разного состава; 8 - серпентиниты

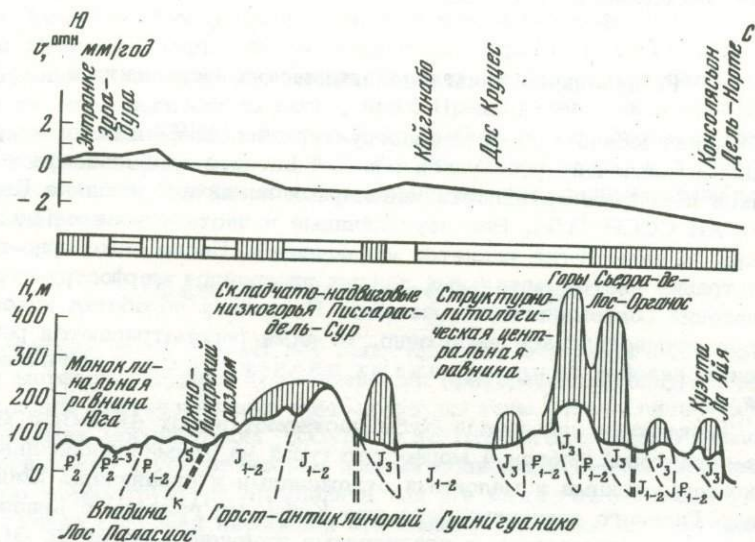


Рис. 2. Комплексные профили современных вертикальных движений и морфоструктур гор Гуанигуанико (центральная часть)

Условные обозначения см. на рис. 1

ции скоростей во времени, но не исключено влияние и вековой тенденции. Кроме того, активизация современных поднятий южной равнины Пинар-дель-Рио по отношению к горной системе Гуанигуанико вдоль Главного тектонического шва, возможно, отражает продолжающуюся субдукцию Багамской платформы под Кубинскую микроплиту [16].

Локальная дифференциация современной геодинамики связана с отдельными новейшими морфоструктурными блоками и покровными пластинами. Диагонально-сдвиговым линеаментом горы Гуанигуанико разделяются на два крупных поперечных блока. Для западного блока Де-Лос-Органос характерны относительные опускания, причем их величина нарастает с запада на восток от $+0,5$ до $-1,5 \div -2$ мм/год. Известные "моготы", рассматриваемые обычно геоморфологами как типичные формы тропического карста, в действительности оказались тектоническими блоками во фронтальных частях шарьяжных пластин и выделяются на общем фоне небольшими локальными поднятиями до $0,5-1,0$ мм/год (Ла-Эсмеральда, Лас-Пуэртектас, Эль-Робустан, Де-Ла-Сьерра, Сумидеро, Калиентес, Сан Карлос, Пескьера и др.). Градиенты смещений вдоль частных разломов (Сан Карлос, Эль-Кангре и др.) составляют $0,5$ мм/год на км, внутреннего разлома Виньялес 1 мм/год на км, а для Южно-Пинарского разлома $0,5-2,0$ мм/год на км [7].

Восточный поперечный блок Дель-Росарио отличается большей активностью. Его центральная и южная части имеют нейтральные движения, а северная зона относительно поднимается до $3-4$ мм/год. Соответственно увеличиваются и градиенты смещений: по северному фронтальному разлому — до 7 мм/год на км, по внутреннему Эль-Робле до 4 и по Южно-Пинарскому разлому — до 3 мм/год на км.

Равнины Пинар-дель-Рио окружают горы Гуанигуанико. Они отличаются существенными различиями в морфоструктуре, тенденциями к относительным поднятиям и умеренным характером вертикальных движений (до $3-4$ мм/год). Северная равнина выработана в покровно-надвиговых моноклиналильных морфоструктурах эпимиеогеосинклинальной зоны и выделяется наибольшей мозаичностью и контрастностью движений (см. рис. 1). Диагонально-сдвиговым линеаментом она разделяется на две части: а) восточную — сопряженную с блоком Дель-Росарио со скоростями современных относительных поднятий до $2-3$ мм/год, б) западную — сопряженную с блоком Де-Лос-Органос, со скоростями поднятий $1-2$ мм/год. Повторные нивелировки фиксируют здесь дифференцированные контрастные смещения (на $1-2$ мм/год) отдельных блоковых морфоструктур размером до $10-15$ км (Кабаньяс, Ороско, Баия Онда, Лас-Посас, Кахальбана, Ла-Махагуа, Эль-Манакес, Сан Каэтано, Санта Люсия, Де-Баха, Димас и др.), а также ряда мелких блоков до $2-4$ км. Градиенты смещений по разломам в восточной части не превышают 1 мм/год на км, а в западной части колеблются от $0,5$ до $2-3$ мм/год на км (низовья р. Векита).

Западная моноклиналиная равнина Гуане соответствует блоку наложенных новейших опусканий. На участках погребенного продолжения морфоструктур Гуанигуанико наблюдаются нейтральные движения или слабые опускания ($0 \div -0,5$ мм/год), а на пересечении к п-ову Гуанаакабисес — слабые относительные поднятия с мелкоблоковой дифференциацией.

Южная равнина Пинар-дель-Рио соответствует северному полого-моноклиналильному крылу молодой наложенной на эвгеосинклинальную основу впадины Лос-Паласиос. На раннеотектоническом этапе она испытала опускания до $1-1,5$ км, а в конце плейстоцена была втянута в поднятия. Эта тенденция сохраняется и на современном этапе. При этом восточная часть, примыкающая к блоку Дель-Росарио, поднимается менее интенсивно ($0 \div +1,5$ мм/год), чем западная ($2-2,5$ мм/год), примыкающая к Альтурас-Писсарас-дель-Сур. По сравнению с северной равниной современные движения здесь монотонны и характеризуются в основном крупными блоками ($10-15, 30-40$ км и более). Градиенты смещений минимальны — до $0,1$ мм/год на км, лишь в зонах разломов достигают $0,5$ мм/год на км. Следует отметить, что на участке Сан Кристо-баль-Канделярия, где зарегистрированы сильные землетрясения в 1852 и

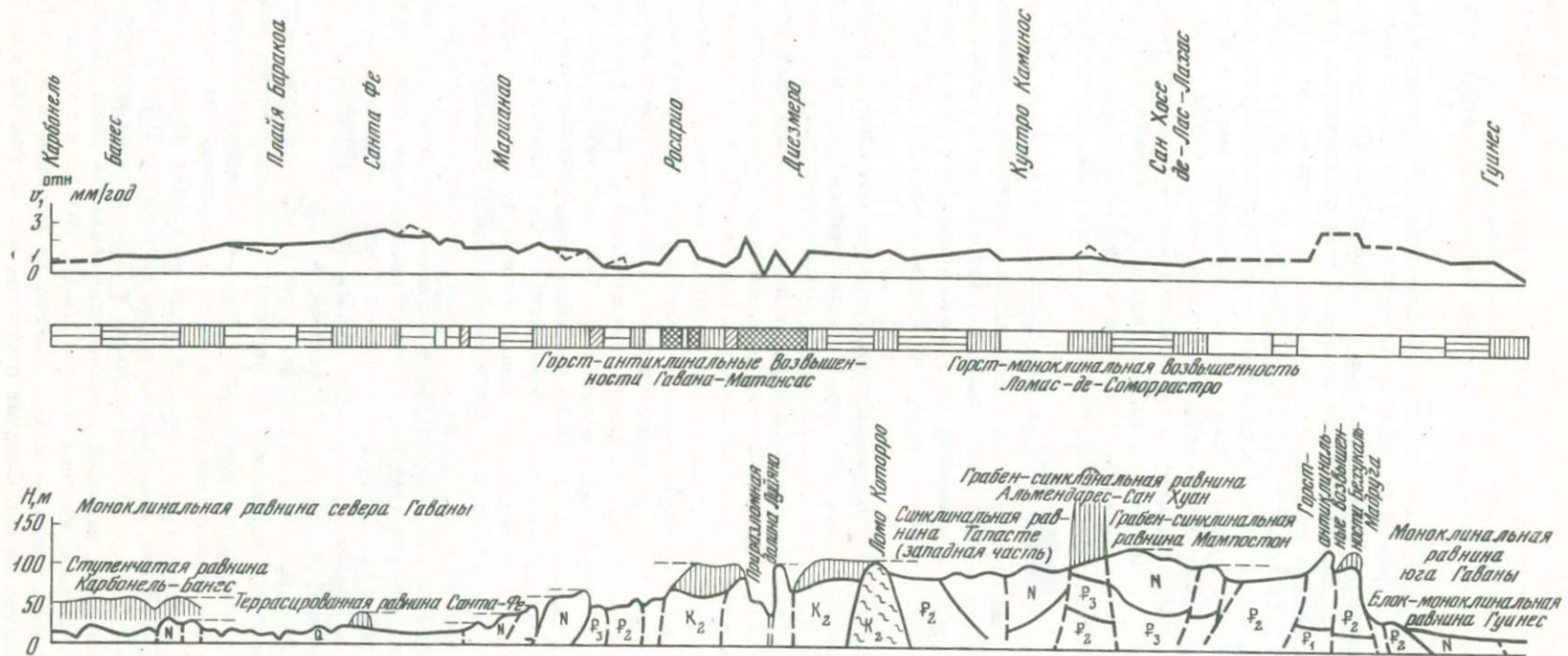


Рис. 3. Комплексные профили современных вертикальных движений и морфоструктур возвышенности Гавана-Матансас (диагональный профиль)

Условные обозначения см. на рис. 1

1880 гг., зафиксирована небольшая инверсия движений (относительные опускания до 0,5–1 мм/год) с оживлением микроблоковых перемещений.

Возвышенности Гавана-Матансас представляют продольную надшовную морфоструктуру Западной Кубы. Горизонтальное перекрытие вдоль Главного тектонического шва достигает 20–50 км [12]. Раннеорогенные структуры были здесь глубоко денудированы, перекрыты олигоцен-миоценовым субгоризонтальным чехлом и в плиоцен-четвертичное время испытали дробные блоковые подвижки в вертикальном и горизонтальном направлениях, приведшие к формированию горстовых и горст-антиклинальных возвышенностей (200–350 м), разделенных долинами-грабенами и грабен-синклинальными равнинами [8, 13, 14].

Для современной геодинамики характерны слабые поднятия, нарастающие к востоку, с мозаичной мелкоблоковой дифференциацией. При этом наибольшие относительные скорости (до $+2\div+2,5$ мм/год) в западной части связаны с участками близкого залегания поднадвиговых офиолитов или выходов мезозойского комплекса (рис. 3,4). Такова северо-западная моноклиальная равнина с блоками порядка 3–4 км в поперечнике (Банес, Баракоа, Санта Фе), разделенными разломами с градиентами движений 0,2–0,3 мм/год на км. Особенно дробная (до 1–2 км) и контрастная дифференциация характерна для горст-антиклинальной возвышенности Мариель-Гавана (Марианао, Ла-Лиса, Диезмеро, Альмендарес, Луйяно), где градиенты смещений по разломам возрастают до 2–3 мм/год на км. Именно с этим районом связана повышенная сейсмичность (V–VII баллов): в 1693 г. в Гаване было разрушено 1500 зданий, в нынешнем столетии зарегистрировано 8 землетрясений IV–V баллов [8].

Среди пересекаемых повторными нивелировками морфоструктур фиксируются относительные поднятия горстово-покровной возвышенности Бехукаль ($+1,5$ мм/год), опускания грабен-синклинальных равнин Аригуанабо, Тапасте и Мампостон ($-0,5\div-1$ мм/год). Градиенты смещений по разломам – порядка 0,5 мм/год на км, достигают максимальных значений в верховьях р. Говея (1,5 мм/год на км) (рис. 5).

Для восточной части возвышенностей Гавана-Матансас характерны значительные и резко контрастные блоковые перемещения, иногда с инверсией современных вертикальных движений. Так, по субширотному глубинному разлому скорость поднятия блока равнин Байноа-Агуакатэ возрастает на 4–5 мм/год по отношению к горст-антиклинальному плато Карабайо. В пределах горст-антиклинальных возвышенностей Матансас и Мадруга-Сидра активизированы диагональные разломы северо-западного простирания. По трансрегиональному разлому Сейба Моча, выраженному в рельефе уступом до 50 м, современные относительные поднятия приурочены к опущенному блоку Матансас-Сидра. Градиенты смещений по этим разломам составляют 1–2 мм/год на км. Горст-моноклиальное плато Гуанабана и горст-синклинальное плато Колисео испытывают слабые относительные поднятия (на 1 мм/год), а равнина – грабен Лимонар – относительное опускание.

Равнины Гавана-Матансас и Ховельянос выработаны в моноклиально залегающих ($5-10^\circ$) известняках миоцен-плиоцена северного борта обширной наложенной неотектонической впадины. В плейстоцене втянуты в поднятия и дифференцированы на серию поперечно-диагональных блоков, являющихся южным продолжением аналогичных морфоструктур северной зоны возвышенностей [8, 13]. На современном этапе тенденция к слабым поднятиям (1–2 мм/год) сохраняется.

Равнина Артемиса соответствует опущенной трансрегиональной поперечной зоне Мариель-Артемиса. Однако, как и в Пинар-дель-Рио, в современной геодинамике она по Главному тектоническому шву несколько приподнята ($+1$ мм/год) по отношению к погруженному окончанию горной системы Гуанигуанико и особенно к впадине Мариель. Следующий к востоку поперечный блок Гуанахай-Алкизар характеризуется нарастающим относительных поднятий на 0,5–1 мм/год с активизацией диагональных разломов у Каньяса и Алкизара. Блок Каймито-Гуира-де-Мелена относительно опущен, как и равнина Артемиса.

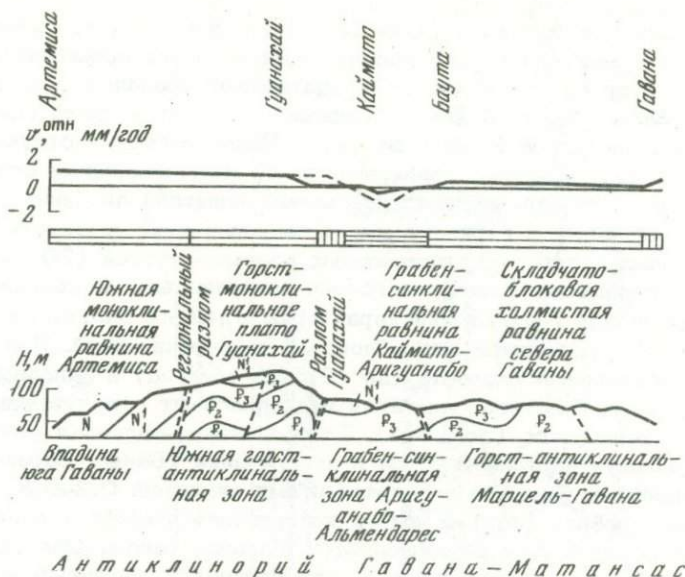


Рис. 4. Комплексные профили современных вертикальных движений и морфо-структур возвышенности Гавана-Матансас (западная часть)

Условные обозначения см. на рис. 1

Максимальные поднятия (3,5–4 мм/год) приурочены к блоку Сан-Антонио-де-Лос-Баньос – Эль-Габриель, соответствующему северной части погребенного массива Батабано. Затем они испытывают уменьшение у Гуира-де-Боньитал и вновь возрастают в блоке Гюинес. Для этой части характерна активизация разломов северо-западного простирания с градиентами смещений до 1–1,5 мм/год на км. Восточнее вертикальные движения монотонны и почти не дифференцированы. "Пиками" на кривой скоростей проявляются лишь отдельные разломы. До Алагранеса движения приобретают нейтральный характер, а восточнее переходят в слабые относительные опускания (до –3 мм/год).

Равнина Ховельянос соответствует поперечному блоку, разделяющему морфо-структуры возвышенностей Гавана-Матансас и Лас-Вильяса. Ее северная и центральная части по разлому Аграмонте испытывают современные поднятия (до 2–3 мм/год) по отношению к южной части. На их фоне проявляется дифференциация отдельных блоков: относительные опускания субмеридиональной зоны Эль-Роке, относительные поднятия Эль-Торо, Тингуаро, Колон, Максимо Гомес, Аграмонте, Хакей Гранде, Амарильяс и др. Все они разделяются разломными зонами с градиентами смещений порядка 0,5–1,5 мм/год на км.

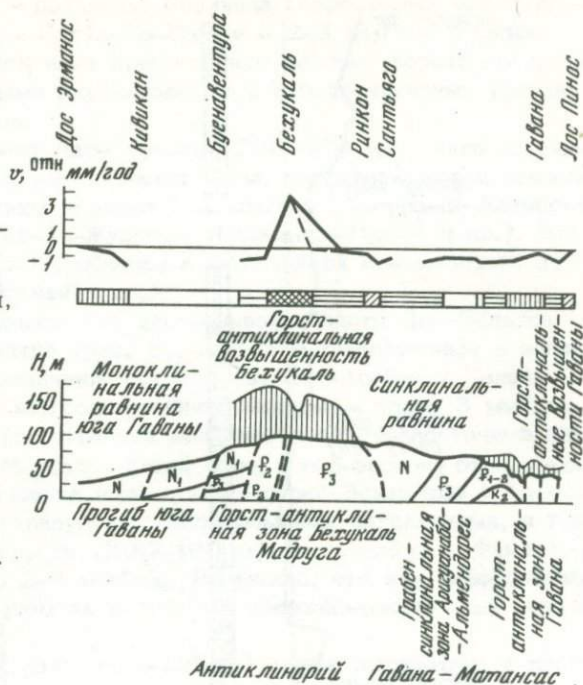
Для южной равнины повышенная активизация характерна для блоков центральной части Сапаты, ограниченных крупными диагональными разломами северо-восточного простирания. Перепад скоростей достигает здесь 8 мм/год, хотя эта величина явно завышена, так как нивелировки проводились через очень короткий промежуток времени – 3–6 лет.

Остров Хувентуд (Пинос) относится к одному из наиболее древних морфо-структурных образований Кубинского архипелага, сложенному юрско-неокомским метаморфизованным комплексом складчатого основания. В плиоцен-четвертичное время он был глубоко денудирован и неотектонически перестроен. В рельефе представлен низкими покольными равнинами (до 50–80 м), на которых возвышаются отдельные останцовые гряды (до 100–300 м). На современном этапе испытывает слабые поднятия или нейтральные движения с дифференциацией скоростей в пределах 1–2 мм/год.

По отношению к Нуэва-Херона весь северо-восточный морфо-структурный блок, соответствующий кристаллическому ядру, испытывает слабые современные поднятия +0,5–1 мм/год. Для центральной части острова характерны нейт-

Рис. 5. Комплексные профили современных вертикальных движений и морфоструктур возвышенности Гавана-Матансас (центральная часть)

Условные обозначения см. на рис. 1



ральные движения, местами с тенденцией к слабым поднятиям, особенно в пределах грядовых мелкогогорий Ла-Каньяда ($0 \pm 0,5$ мм/год). В противоположность им молодая наложенная впадина-грабен Ланьер втянута в значительные относительные опускания до 1-1,5 мм/год, а осевая зона п-ова Южный Пинос имеет тенденции к слабым поднятиям ($0,3-0,5$ мм/год). Блоки разделяются крупными разноориентированными разломами с градиентами вертикальных движений порядка $0,3-0,7$ мм/год на км (Ла-Фе, Каньяда, Хукаро, Алжир Либертад, Ланьер северный, Пино Альто и др.), а в отдельных случаях - приразломными грабенами оседания (долина Рио-дель-Медиа).

Горы Гуамуайя (800-1100 м) соответствуют другому древнему ядру Кубинского архипелага, также сложенному юрско-неокомским метаморфизованным комплексом складчатого основания. В новейшей морфоструктуре они представляют контрастное горстовое поднятие, дифференцированное на ряд блоков разного порядка, существенно различающихся в современной геодинамике. Так, горные массивы Тринидад и Санти-Спиритус разделены поперечным грабеном р. Агабама на ступенчато приподнятые блоки. При этом южная периферия гор Санти-Спиритус втянута в слабые относительные поднятия ($0 \pm 0,5$ мм/год), грабен Агабама - в умеренные ($+1,5$ мм/год), а южная часть Сьерры-де-Тринидад и моноклиналиные возвышенности Альтурас-де-Тринидад - в значительные современные поднятия (до 3-4 мм/год). Градиенты смещений по разделяющим их разломам достигают $0,5-1$ мм/год на км.

Принципиальную роль в современной геодинамике играет активизация трансрегионального разлома северо-восточного простирания. Вся основная часть гор Сьерра-де-Тринидад (к северу от пика Потрелильо) и северная часть Санти-Спиритус испытывает по нему относительное опускание (на фоне общего поднятия), а южные части - относительное поднятие. Причем контраст скоростей вертикальных движений составляет 2-3 мм/год. Не исключено, что этот разлом разделяет две крупные покровные пластины. Зона наложения миоплиоценового прогиба на участок контрастного сочленения Сьерры-де-Тринидад и грабена Агабама характеризуется также небольшой сейсмичностью (IV-V баллов).

Возвышенности и равнины Лас-Вильяса: отличаются сложным морфоструктурным строением. Основная их часть выработана в аллохтоне эвгеосинклинальной зоны Кубы с фрагментами ларамийских сооружений и наложенными неотектоническими впадинами, а на севере - в автохтоне миеосинклинальной зоны. Вся эта система в новейшее время была раздроблена на блоки, испытывавшие разноамплитудные перемещения в вертикальном, и в горизонтальном направлении.

Для северной прибрежной равнины Лас-Вильяса (20-30 м) имеются лишь фрагментарные инструментальные данные. Отдельные ее участки испытывают

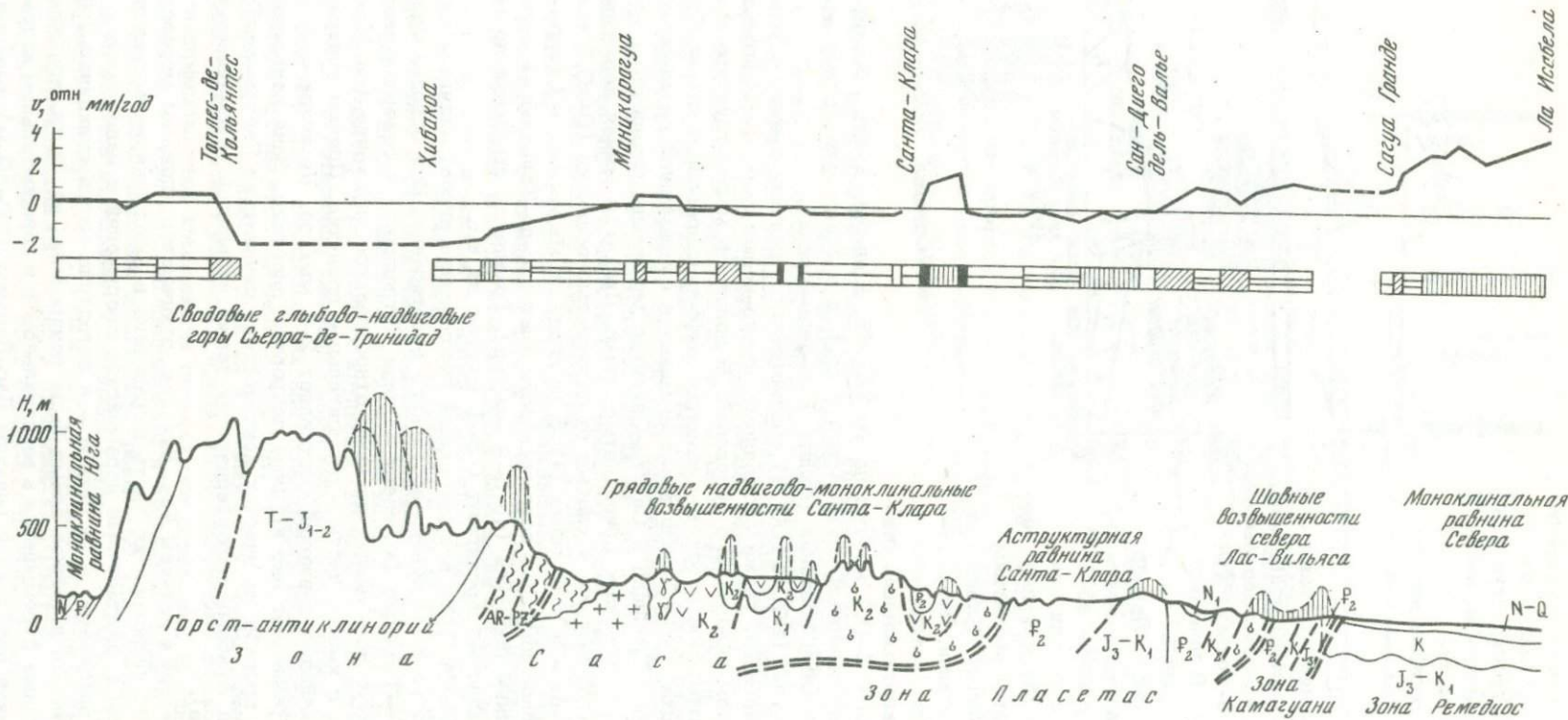


Рис. 6. Комплексные профили современных вертикальных движений и морфоструктур Центральной Кубы (район Лас-Вильяс)
 Условные обозначения см. на рис. 1

нейтральные движения, другие — поднятия. Величина современных относительных поднятий дельтовой равнины Сагуа-Ла-Гранде — 2–3 мм/год и более, однако значения скоростей здесь явно преувеличены за счет короткого промежутка времени между повторными нивелировками и неблагоприятных условий заложения геодезических знаков.

Шовные возвышенности севера Лас-Вильяса (200–400 м), соответствующие фронтальной зоне Главного тектонического шва, характеризуются тенденциями к относительным поднятиям порядка 1–2 мм/год (Сьерра-де-Хатибонико, Сьерра-де-Бамбурано, Ломас-де-Жулуэта, Лома-дель-Мамей и др.). Это район мозаичного тектонического дробления и повышенной сейсмичности до V–VIII баллов (Ремедиос, Кайбарен и др.).

В пределах равнин и возвышенностей центральной области Лас-Вильяса преобладают современные поднятия (рис. 6), наиболее значительные в западной части. Относительные их величины для равнины Лос-Арабос у Колона (60–80 м) составляют 1,5–2 мм/год, равнины Манакас — более 3 мм/год. При этом четкой контрастностью движений выделяется северо-восточный диагональный сдвиг Ла-Исабела — Мордасо — Хакей Чико, к юго-востоку от которого поднятия нарастают. Район Санта Клары, мелкогогорий Эскамбрай и между речья Дамухи — Аримао характеризуется относительными опусканиями, а грядово-моноклиналиные возвышенности (200–400 м) Маникарагуа — Фоменто — относительными поднятиями до 2–3 мм/год. Возможно, что эта дифференциация отражает различия в геодинамике отдельных покровно-надвиговых образований.

Равнина Центрального Камагуэя (100–120 м) также выработана в покровно-надвиговых морфоструктурах в зоне Главного тектонического шва. На коротком пересечении Камагуэй — Минас [5, 6] четко прослеживается морфоструктурная дифференциация умеренных современных вертикальных движений (рис. 7). Участок фронтального перекрытия вдоль Главной зоны (равнина Камагуэй) выделяется нейтральными движениями и слабыми относительными опусканиями (+0,2÷–0,5 мм/год); переходный участок между ней и глубинным разломом Сьерра-де-Кубитас (равнина Альтаграсиа) — слабыми поднятиями (0,5–0,8 мм/год), а горстовые возвышенности Альтурас-де-Минас (150–250 м) к северу от глубинного разлома — умеренными поднятиями (1–1,7 мм/год).

Активизация и контрастность движений в зоне глубинного разлома (градиенты порядка 0,3–0,5 мм/год на км) зафиксированы повторным нивелированием для периода 1960–1973 гг., а в 1973 г. на его западном окончании произошло землетрясение в Ла-Эсмеральде (IV–V баллов). Поэтому есть все основания рассматривать указанную активизацию вертикальных движений как подготовку землетрясения [5, 16].

Равнины и плато Ориенте являются наиболее активизированными областями Кубинского архипелага в новейшее время и на современном этапе [9, 13, 14]. Кроме того, они характеризуются высокой сейсмичностью — за историческое время здесь зарегистрировано более 200 землетрясений, в том числе ряд разрушительных (VIII–IX баллов) в районе Сантьяго-де-Куба.

Тектонический рубеж между морфоструктурами Центральной и Восточной Кубы определяется трансформальным разломом, проходящим от Юкатанской впадины к Бермудским островам [11–13]. На эту субмеридиональную пограничную зону наложена молодая активизированная впадина Кауто-Гуаканаябо. Она является грабен-синклиниорием и развивалась на гетерогенной структурной основе. Плиоцен-четвертичные опускания в конце плейстоцена сменились поднятиями, блоковой дифференциацией и врезанием речной сети.

Для депрессии Кауто характерна инверсия современных вертикальных движений. Грядовая горст-моноклиналиная равнина Ольгин (100–150 м) занимает периферическую часть поднятия Камагуэя и мелкогогорий Маниабон и отличается нейтральными движениями (–0,1÷+0,3 мм/год) подобно горам Гуанигуанико. Участок зоны шарьяжного перекрытия Главного тектонического шва выделяется слабыми поднятиями (1–1,5 мм/год) по отношению к г. Ольгин с градиентами смещений вдоль фронтального разлома до 3–5 мм/год на км.

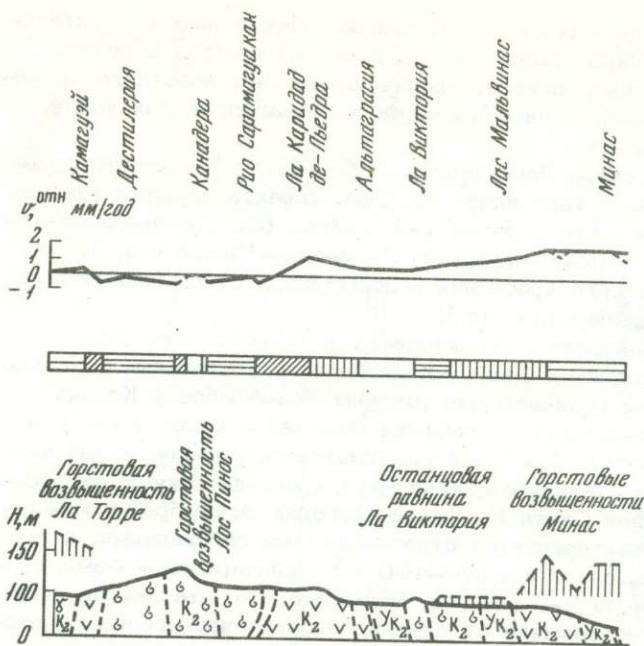


Рис. 7. Комплексные профили современных вертикальных движений и морфоструктур Центральной Кубы (район Камагуэя). Условные обозначения см. на рис. 1

В центральной части равнины Кауто выделяется поперечный блок (до 70–75 км) с резко аномальными величинами относительных поднятий (6–7,5 мм/год). Геоморфологически он хорошо выражен в рельефе, ограничен уступом в низовьях р. Кауто и прямолинейной долиной р. Контрамаэстра. Еще в 1975 г. нами было

сделано предположение [6], что аномалия вертикальных движений может вызвать вспышку сейсмичности. Последующий анализ сейсмических материалов действительно показал приуроченность эпицентров землетрясений за последние 5–7 лет к поперечным, обрамляющим блок зонам контрастных движений. На этом фоне в дифференциации скоростей порядка 1–3 мм/год проявляются частные блоковые морфоструктуры – приразломное понижение Кауто и грабен р. Каутильо, горст-антиклинальная возвышенность Бабиной, зона дробления Байямо и др. К последней приурочены эпицентры байямских землетрясений силой VI–VIII баллов. Градиенты смещений по разграничивающим блоки разломам составляют 1–1,5 мм/год на км.

В юго-западной части впадины Кауто на фоне субгоризонтального чехла миоценовых известняков отмечаются дифференцированные поднятия блоковой возвышенности Мансанильо (3 мм/год), грабен-синклинальной равнины Сабанийя (2 мм/год), моноклиальных равнин Кампечуэла и Никеро (0,5 мм/год).

Пограничная область плато Гуантанамо и горной системы Сьерра-Маэстра характеризуется ступенчато-блоковым характером современных движений. Здесь выделяются блоки предгорий Байре и Пальма Сорриано (+2 мм/год), горст-моноклиального плато Дель-Бониато (+1,5 мм/год), моноклиальные гряды Лос-Гуасас (+3 мм/год), долины-грабены Ла-Каоба и обширная наложенная впадина Сантьяго-де-Куба (0,5 мм/год). Последняя отличается блоковой мозаичностью, резко контрастными движениями и максимальной сейсмичностью.

Общие выводы

Анализ проявлений современной геодинамики в пределах Кубинского архипелага показывает прежде всего тесную и сложную взаимосвязь как медленных вертикальных, так и быстрых (сейсмических) движений с морфоструктурами разного типа, возраста и ранга. Отличительной чертой современной геодинамики является ее блоковая дифференциация. На Кубе до сих пор нигде не обнаружены современные вертикальные движения пликативного типа.

Хотя Кубинский архипелаг расположен в зоне активных межплитовых перемещений, интенсивность современных вертикальных движений в целом носит умеренный характер и изменения величин их скоростей обычно не превышают

нескольких миллиметров в год. Это видимое противоречие по сравнению с геомеханическим потенциалом и тектонической позицией островной дуги естественнее всего можно было бы объяснить многоярусно шарьированной морфоструктурой с крупными надвиговыми и сдвиговыми перемещениями. При наличии значительных горизонтальных смещений, что характерно для межплитовых шовных областей, вертикальная составляющая движений в известной мере компенсируется горизонтальной составляющей. Аналогичные объяснения высказывались нами по отношению к Центральным Альпам и Западным Карпатам [5, 7, 8].

Преобладание блоковых и покровных морфоструктур в пределах Антильской островной дуги и Кубинского архипелага имеет важное значение для объяснения механизма рельефообразования, так как требует известного пересмотра некоторых традиционных геоморфологических представлений, не учитывающих концепций мобилизма и существенной роли горизонтальных движений в формировании элементов рельефа разного порядка. Такого рода коррективы необходимы не только при проведении морфоструктурного анализа, но и при анализе формирования морфоструктуры. Выше уже отмечалось, что классические формы могут на Кубе во многих случаях оказаться не экзогенными (тропический карст), а тектогенными образованиями.

Для современной геодинамики Кубинского архипелага свойственна большая дробность движений. Повторными нивелировками фиксируются блоки с поперечниками в несколько сот метров, 1-3, 5-7, 10-15, 20-25, 30-40, 60-70 км. Границы между блоками выделяются на кривой вертикальных движений "пиками" величин скоростей и высокоградиентными зонами, подчеркивающими контрастность современных движений.

Хотя прямых инструментальных данных о горизонтальных перемещениях на Кубе пока не получено, однако характер площадного распределения вертикальных движений во фронтальных частях шарьяжей позволяет допускать, что горизонтальные смещения отдельных покровных пластин в ряде случаев продолжают и на современном этапе. С этим явлением, возможно, связан нейтральный характер движений или относительные опускания в местах выходов офиолитов и поднадвиговых комплексов мезозоя и палеогена.

Как уже отмечалось, инструментальные данные о современной геодинамике Кубинского архипелага носят еще фрагментарный, разрозненный характер и приводились в относительных значениях скоростей. В то же время анализ полей вертикальных движений позволяет предположить, что активизация поднятий равнин юга Западной Кубы отражает не столько инверсию режима неотектонических впадин, сколько явление надвигания Кубинской микроплиты на край Багамской платформы.

Особого внимания заслуживают проявления инверсии современных движений. Они могут носить унаследованный вековой характер, а также отражать и короткопериодные вариации геодинамики. Данные по сейсмичности в районе Сантьяго-де-Куба за последние столетия обнаруживают известную квазипериодичность длительностью в 80-100, 40-50, 20-25 лет и менее [16, 17].

Очевидно, что подобная квазипериодичность должна быть присущей и современным вертикальным движениям, которые не могут рассматриваться только с позиций линейной модели. В связи с этим обнаружение аномалий в ходе вертикальных движений с изменением интенсивности или знака последних может служить указанием на рост напряженного состояния земной коры и использоваться в качестве прогностического признака при анализе сейсмической деятельности.

ABSTRACT

The Cuba archipelago is characterised by the close correlation of the modern vertical movements with the overthrust sheet morphostructures, owing to that the intensity of geodynamics is moderate, and does not exceed few mm annually. One can not the modern activity of some sheet plates and the signs of movement of the Bagama

platform the Cuba microplate. The fields of modern movements show small-block differentiation of morphostructures with block dimensions from some hundred metres and kilometres up to tens km and above. The block boundaries are characterised by the "peaks" of velocities and high-gradient zones.

On the background of the inherent century trend one can observe short-periodic variations of the modern geodynamics, sometimes with the inversion of the vertical movements. In some cases the anomalies of the vertical movements reflect modification of the Earth's crust tension and can serve as prognostic signs for the analysis of the seismic activity. The seismicity of the Eastern Cuba shows the periodicity of 80–100, 40–50, 20–25 and less years.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов И.П. Динамическое взаимодействие современных тектонических движений земной коры и экзогенных рельефообразующих процессов, протекающих на ее поверхности. – В кн.: Современные движения земной коры. Таллин: Изд-во АН ЭССР, 1973, № 5.
2. Лилиенберг Д.А. Современные тектонические движения и их связь с морфоструктурами. – В кн.: Актуальные вопросы советской географической науки. М.: Наука, 1972.
3. Лилиенберг Д.А. Современные тектонические движения и морфоструктурная дифференциация. – В кн.: Современные движения земной коры: Тез. докл. VII Всесоюз. совещ. М.: Наука, 1977, вып. 1.
4. Ушаков С.А., Галушкин Ю.И., Дубинин Е.П. и др. Современная глобальная кинематическая картина литосферных плит и кинематика главных блоков Альпийско-Гималайского пояса. – В кн.: Современные движения земной коры: Тез. докл. VII Всесоюз. совещ. М.: Наука, 1977, вып. 1.
5. Lilienberg D., Diaz Diaz J., Pascual K. et al. Contribution à l'étude des mouvements tectoniques récents de Cuba. Printed de XVI Gen. Assembly, IUGG, La Habana, 1975.
6. Lilienberg D., Diaz Diaz J., Venereo Morales A. et al. Contribution al estudio de los movimientos tectonicos recientes de Cuba. – Ser. geogr. Acad. cienc. Cuba, 1976, N 16.
7. Лилиенберг Д.А., Диас Диас Х., Венерео Моралес А. Первые данные о современных тектонических движениях Пинар-дель-Рио. – Докл. АН СССР, 1977, т. 234, № 4.
8. Лилиенберг Д.А., Диас Диас Х., Венерео Моралес А. Современная динамика морфоструктур Гаваны–Матансаса в свете новых геодезических и геоморфологических данных. – В кн.: Современные движения земной коры: Тез. докл. VII Всесоюз. совещ. М.: Наука, 1977, вып. 1.
9. Лилиенберг Д.А., Муратов В.М., Финько Е.А. и др. Предварительные данные о современных тектонических движениях Восточной Кубы. – В кн.: Современные движения земной коры: Тез. докл. VII Всесоюз. совещ. М.: Наука, 1977, вып. 2.
10. Geología de Cuba, La Habana, 1964.
11. Пушаровский Ю.М., Книппер А.Л., Пуиг-Рифа М. Тектологическая карта Кубы. Масштаб 1:1 250 000. – В кн.: Геология и полезные ископаемые Кубы. М.: Наука, 1967.
12. Sheyin V., Kleshchov K. et al. Tectonica regional de Cuba y su plataforma marin: Resumenes I Jornada científico-tecnica, La Habana, 1974, t. 1.
13. Lilienberg D. Algunos problemas de la formacion del relieve del archipiélago Cubano. – Ser. espeleol. Acad. cienc. Cuba, 1973, N 48.
14. Lilienberg D. et al. Relievo, Mapa geomorfológica de Cuba: Atlas nacional de Cuba, M.–Habana: 1970.
15. Lilienberg D., Setunskaya L. Methods and some results of geological-geomorphological inspections of signs of repeated levelling. – In: Problems of Recent Crustal Movements, M., 1969.
16. Лилиенберг Д.А., Диас Диас Х. О современных тектонических движениях Кубы. – Бюл. МОИП. Отд. геол., 1978, т. 53, № 6.
17. Boytel Jambu. Carta de sismicidad historica de Cuba, Santiago de Cuba, 1976.

Д.А. ЛИЛИЕНБЕРГ, О.Д. ГУСЕЙНЗАДЕ, Ф.Т. КУЛИЕВ,
Н.Ш. ШИРИНОВ, В.Р. ЯЩЕНКО

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ АЗЕРБАЙДЖАНА

Азербайджан относится к категории наиболее подвижных регионов Альпийского орогенного пояса Юго-Восточной Европы, отличающихся высокой сейсмичностью и богатейшими месторождениями нефти и газа. Поэтому детальное изучение современных тектонических движений является здесь перспективным не только в чисто научном плане (в целях познания природы самих движений и закономерностей их проявления), но имеет первостепенное практическое значение для разработки методики прогноза землетрясений, прогноза колебаний уровня Каспийского моря, поисков и добычи нефти и газа. В последние годы в Азербайджане заложена сеть специальных геодинамических полигонов с различным целевым назначением [1-6]. Количество их будет возрастать, а комплекс исследований - расширяться. В развитии работ на полигонах объединяются усилия различных научных и производственных организаций: Института географии АН СССР, Институты геологии и географии Академии наук АзССР, геодезического предприятия ГУГК СССР, сейсмической службы, ряда ведомственных институтов, нефтяных организаций и т.п.

Апшеронский геодинамический полигон

Полигон является старейшим в Советском Союзе и одним из старейших в мире [3, 7]. В его создании участвовали Корпус военных топографов, Геологический комитет, Академия наук, нефтяные организации. По своему целевому назначению он относится к комплексным полигонам четкого научно-прикладного профиля. Основными задачами исследований являются: изучение современных тектонических движений разного типа (медленных и быстрых, вертикальных и горизонтальных, дизъюнктивных и пликативных) в их взаимосвязи с нефтегазоносными морфоструктурами, деятельностью грязевых вулканов и колебаниями уровня Каспийского моря, а также воздействие добычи нефти и газа на перемещения земной поверхности и активизацию сейсмичности.

Основу "эпохи" заложили высокоточные нивелировки Корпуса военных топографов в 1910-1912 гг. [1]. Повторные нивелирования I и II классов в последующие годы выполнялись здесь в 1928, 1935-1937, 1955-1957, 1962 гг. [2, 3]. Четвертая "эпоха" завершена предприятием ГУГК в 1970-1974 гг., когда было заложено более 400 новых геодезических центров, в том числе специальных конструкций, учитывающих местные географические и грунтовые условия [5, 6]. Начаты повторные триангуляционные работы с целью определения горизонтальных смещений по разломам. К геодезической сети привязаны уровнемерные пункты на каспийском побережье и сейсмические станции.

На Апшеронском полигоне получены уникальные научные данные [3, 5, 7]. Принципиальное значение имеет установление вариаций современных вертикальных движений во времени, связанных как с тектоногенными процессами, так и со сменой гидростатических нагрузок при изменениях уровня Каспийского моря [3, 4, 7]. Выявлены аномальные периоды развития вертикальных движений, отражающие накопление напряжений в верхних частях земной коры и предвещающие сейсмопроявления [3, 5, 7, 8]. Зафиксирована пространственная перестройка динамики морфоструктур, характер смещений блоков при землетрясениях и извержениях грязевых вулканов [3, 5, 7]. Воздействие техногенного фактора - добычи нефти и газа - на перемещения зем-

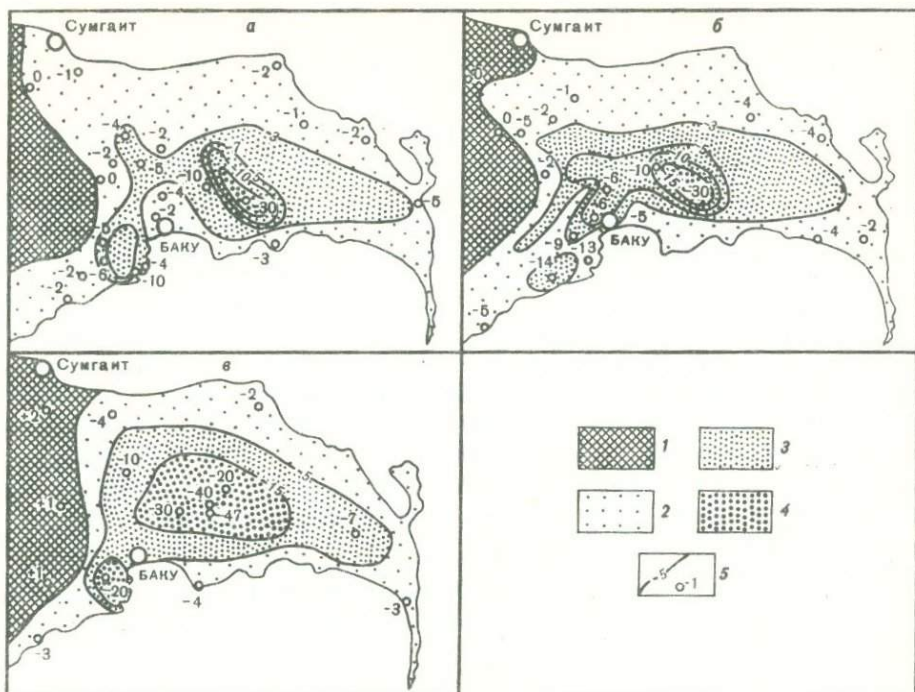


Рис. 1. Схемы современных вертикальных тектонических движений Апшеронского полуострова за различные периоды времени:

а - 1912-1928 гг. [3, 7], *б* - 1928-1955/62 гг. [3, 7], *в* - 1912-1974 гг. [5]

1-4 - интенсивность вертикальных движений: 1 - слабые поднятия, 2 - слабые опускания, 3 - умеренные опускания, 4 - максимальные опускания; 5 - изолинии равных скоростей и величины скоростей в отдельных пунктах, мм/год

ной поверхности оказалось не линейным, а гораздо более сложным и заслуживающим специального изучения [4, 5]. Впервые в СССР созданы поэтапные карты современных движений Апшерона для периодов с 1910-1912 по 1928, с 1928 по 1955-1962, с 1910-1912 по 1973-1974 и 1973-1974 гг. (рис. 1).

Шемахинский полигон

Полигон был организован Академией наук АзССР и геодезическим предприятием ГУГК в 1974 г. [4-6]. Он расположен в юго-восточной части Большого Кавказа - области интенсивных, дифференцированных и резко контрастных тектонических движений как на новейшем, так и на современном этапе [3, 7]. Шемаха вошла в историю альпийского орогенного пояса как район максимальных кавказских землетрясений: за последние 150 лет здесь зарегистрировано более 200 значительных землетрясений, среди которых особо выделяются катастрофические землетрясения 1859, 1869, 1872 и 1902 гг., практически полностью разрушавшие город и приведшие к гибели многих десятков тысяч людей. В результате древняя столица одноименного ханства и края была перенесена в Баку. Основное целевое назначение полигона - выявление взаимосвязей современной геодинамики с морфоструктурами и глубинным строением для разработки элементов прогноза сейсмичности.

В морфоструктурном отношении район представляет узел разнонаправленных и разноориентированных движений [10, 11]. По последним геолого-

геоморфологическим и геофизическим данным здесь расположена межплитовая шовная зона, по которой происходит надвигание южного края Евро-Азиатской плиты на Куринскую микроплиту, в процессе которого формируются горные сооружения Юго-Восточного Кавказа и Нижнекуринский межгорный прогиб. Эта зона конвергенции характеризуется резко контрастным рельефом с перепадом высот в несколько километров. Погружение горных сооружений Юго-Восточного Кавказа в сторону Южно-Каспийской впадины происходит также резко, ступенеобразно, по крупным поперечным разломам (Западно-Каспийскому, Кабыстанскому и др.), пересекающим как горные морфоструктуры, так и межгорные, что создает в этом районе высоконапряженное состояние земной коры.

В Шемахинском районе сложно сочленяются морфоструктуры второго и третьего порядков — Вандамский антиклинорий и предгорья Шемахино-Кабыстанского синклинория, замыкание Алазано-Агричайского наложенного прогиба и зона инверсионной складчатости Среднекуринской впадины, Ширванская равнина Нижнекуринской впадины и т.д. Все эти морфоструктуры разделяются и пересекаются крупными глубинными и региональными разломами, перемещения по которым продолжают активизироваться в настоящее время. Амплитуды вертикальных смещений за четвертичное время на отдельных участках превышают 1 км.

Как и для многих переходных шовных зон, для Шемахинского района характерно наличие на южном склоне Юго-Восточного Кавказа серии тектонических покровов (Баскальского, Астраханского и др.). Часть из них — бескорневые, гравитационного типа. Наиболее крупный — Баскальский — имеет площадь порядка 300 км² и амплитуду горизонтального перемещения до 25 км.

Геодезической основой инструментальных измерений современных тектонических движений являются повторное нивелирование (рис. 2) и повторная триангуляция [6, 9]. Полигон привязан к каркасным линиям нивелирования I класса в Баку и Кюрдамире трассой нивелирования II класса длиной около 220 км. По этой трассе заложено 4 вековых репера и большое количество грунтовых и стенных центров. Грунтовые реперы представляют собой асбоцементные трубы, заполненные бетоном, в верхней части которых вмонтирована марка, а в нижней — пилон размером 50×50 см и высотой 0,3 м. Глубина заложения 2,1 м. Вековые реперы представляют цельнолитой пилон из бетона с железной арматурой, заложённый на глубину более 2,5 м.

Еще одна линия нивелирования II класса (см. рис. 2) выполнена непосредственно на территории полигона. Она имеет длину около 80 км, закреплена на местности 20-ю грунтовыми и стенными геодезическими знаками. Среднее расстояние между центрами 3,5 км, наибольшие удаления между реперами 4,5 км. Трасса проходит по сложным горным участкам, пересекая долины и овраги. Кроме того, в сеть полигона включено 10 геодезических центров старых нивелировок, выполненных в предыдущие годы.

В состав полигона входят также три линии повторного нивелирования II класса: Кюрдамир — Ахсу — Дедегюнеш, Гаджиево — Шорбачи — Арабакадым, Кировкенд — Али-Байрамлы — Дуванный. Линия Кюрдамир — Дедегюнеш трассирует сложный тектонический узел, где пересекаются субмеридиональный Западно-Каспийский глубинный разлом и субширотный Аджидайский региональный надвиг. С этим же узлом совпадает граница двух крупных морфоструктурных зон: Шемахино-Кобыстанской и Аджиноурской. Линия пересекает равнину северного борта Нижнекуринской депрессии, Ленгебизский моноклиальный хребет и Шемахинские предгорья. Интенсивность и направленность современных движений этих морфоструктур значительно различается. Кроме того, по сейсмическим данным, здесь отмечается наличие эпицентров землетрясений различной балльности.

Линия Гаджиево — Арабакадым выбрана с учетом морфоструктурных особенностей двух резко отличных зон: Нижнекуринской депрессии и западной части предгорий Центрального Кобыстана, которые разделяются крупным Аджидайским надвигом. В рельефе сложно отражены неоген-четвертичные антиклиналь-

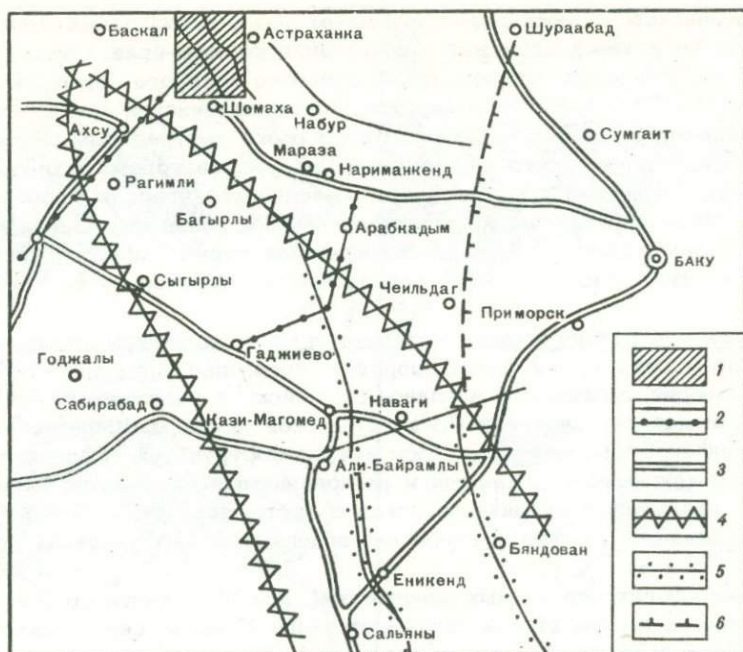


Рис. 2. Схема Шемахинского геодинамического полигона [6, 9]

1 — территория основного полигона; 2 — линии и пункты инструментальных измерений II класса дополнительных трасс полигона; 3 — линии инструментальных измерений II класса, выполненных в предыдущие годы; 4 — региональные глубинные разломы; 5 — прочие зоны тектонических нарушений; 6 — поперечные флексуры

ные и синклинальные складки, нарушенные разломами на отдельные блоки и осложненные в ряде случаев наличием грязевых вулканов. В сейсмическом отношении данный район также является активным: здесь, в частности, в непосредственной близости от выбранной линии, расположены эпицентры ощутимых землетрясений.

Линия Кировкенд — Алибайрамлы — Дуванский охватывает в основном Нижнекуруинскую впадину и предгорья Южного Кобыстана. Трасса проходит через антиклинальные и горст-антиклинальные хребты, синклинальные долины и котловины, сформировавшиеся в плейстоцене, нарушенные сложной системой разноориентированных и разноамплитудных разрывов и осложненные крупными грязевыми вулканами. Из крупных разломов пересекаются Западно-Каспийский и Аджичайский.

Таким образом, линии повторного нивелирования Шемахинского геодинамического полигона пересекают контрастно сочлененные морфоструктуры разного типа, возраста, ранга и современной активности. Поэтому в ближайшие годы на полигоне можно ожидать получения ценных данных по современной геодинамике.

К настоящему времени закончен первоочередной цикл всех геодезических работ: измерены горизонтальные углы и выполнены высокоточные линейные измерения, которые подтверждают, что интенсивные движения земной коры здесь происходят постоянно, так как были обнаружены даже в процессе контрольных повторных геодезических измерений. При этом наибольшие движения отмечены в горной части, где абсолютные отметки превышают 1 км. В целом Шемахино-Кобыстанские предгорья испытывают общие дифференцированные подвигания по отношению к Ширванской равнине Нижнекуруинской впадины.

Анализ некоторых особенностей сейсмичности обнаруживает ее определенную связь с проявлением горизонтальных движений (рис. 3). Так, по

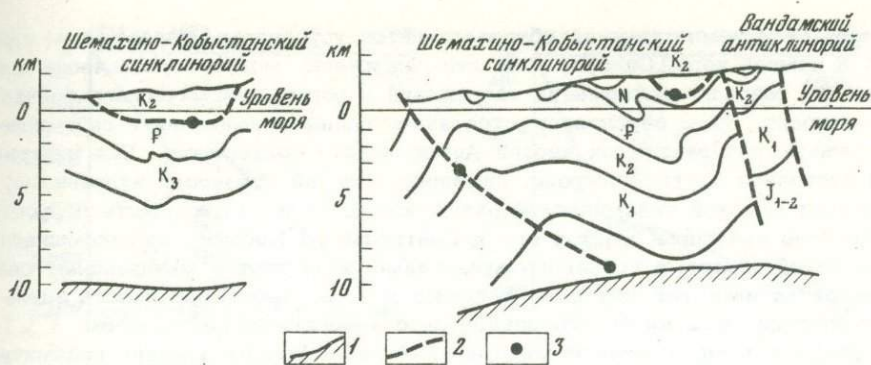


Рис. 3. Морфоструктурная приуроченность очаговых зон землетрясений Шемахинского района Юго-Восточного Кавказа [12]

1 - поверхность фундамента; 2 - основные тектонические нарушения; 3 - гипоцентры землетрясений

данным Р.А. Агамирозова [12], ряд очагов землетрясений на глубине порядка 1 км приурочен к плоскости надвига Баскальского покрова, что говорит о его продолжающемся горизонтальном перемещении. Некоторые очаги на глубинах 10-12 км приурочены к контакту осадочного чехла с поверхностью фундамента, имеющего к тому же наклон $10-15^\circ$ в сторону плоскости разрыва [12], что может свидетельствовать о наличии горизонтальной составляющей смещения и в целом о неуравновешенном состоянии земной коры на данном участке.

Другие геодинамические полигоны

Прикаспийский полигон находится пока в стадии проектирования [6]. Его целевое назначение - изучение взаимосвязи современных движений с изменением гравиметрических полей и колебаниями уровня Каспия. В более отдаленном будущем проектируется полигон в сейсмоактивной зоне сочленения южного склона гор Большого Кавказа и Алазано-Агричайской депрессии. Продолжаются ежегодные систематические наблюдения на двух опытных площадках по определению степени устойчивости геодезических знаков различной конструкции.

Современная геодинамика и сейсмичность

Среди научных результатов, полученных на Апшеронском полигоне за последние годы, особое значение имеют закономерности проявления быстрых - сейсмических движений. Для них характерна тесная взаимосвязь с медленными вертикальными движениями. Последние носят отчетливо колебательный характер в зависимости от интенсивности, направленности, периодичности, глубины проникновения, площади распространения и т.п. [3, 5, 7], что находит отражение в повторяемости землетрясений определенного энергетического класса. Так, квазиритмичность вертикальных движений западного побережья Каспийского моря с периодом 16-19 лет в некоторой степени обуславливает землетрясения энергетического класса $K \geq 12$, происходящие через каждые 12-16 лет. Сопоставление сейсмостатистики по Апшерону с изменениями вертикальных движений показывает, что сильные землетрясения ($K \geq 12$) хорошо увязываются с периодами перемены знака современных колебательных перемещений земной поверхности и участками резких изменений величин их градиентов [7, 13, 14]. Аналогичную взаимосвязь можно отметить для периодичности извержений грязевых вулканов [3, 7].

Подготовка землетрясений обуславливается устойчивым накоплением напряжений в земной коре. Однако, если эти напряжения могут периодически сниматься, то разрядки деформации напряжений в форме сейсмического толчка не происходит. Этим обуславливаются значительные изменения в сейсмическом режиме для различных частей Апшеронского полуострова. Вся центральная и восточная части Апшерона, лишенные явлений грязевого вулканизма, отличаются высокой сейсмической активностью. Западная же часть полуострова, особенно предгорья Восточного и Центрального Кобыстана, являющиеся классической областью грязевого вулканизма, выделяются минимальной сейсмической активностью или даже сейсмическим покоем. Практически здесь не зарегистрировано ни одного эпицентра с энергетическим классом $K \geq 12$. По инструментальным данным минимальный наблюдаемый уровень сейсмической активности $A_{10} = 0,05-0,1$. Таким образом, аппараты грязевых вулканов и их извержения служат механизмом снятия высоких напряжений в земной коре, хотя интенсивность современных вертикальных и горизонтальных перемещений блоковых морфоструктур по разломам является весьма значительной и контрастной.

При крупных извержениях грязевых вулканов возникают сотрясения земной поверхности, соответствующие по силе энергии слабым землетрясениям с $K = 10$. Однако эти сотрясения ощущаются на незначительной площади, преимущественно в радиусе порядка 0,5 км от жерла грязевого вулкана.

Была подсчитана корреляционная связь между величинами скоростей современных тектонических движений и сейсмической активностью, которая оказалась весьма тесной. Коэффициент корреляции равен 0,82. Таким образом, этот признак в известной мере может использоваться для прогнозирования возможных сейсмоопасных зон. В то же время тесной корреляционной связи между сейсмической активностью и остаточными аномалиями силы тяжести, а также магнитными аномалиями не обнаружено, что обусловлено морфоструктурными особенностями Апшеронского полуострова.

Повторные нивелировки позволили выявить также определенные взаимосвязи в развитии аномалий современных вертикальных движений и подготовке землетрясений (рис. 4). В районе сел. Сураханы вековой ход медленных опусканий за период с 1912 по 1972 г. происходил со средней скоростью порядка 42 мм/год. При этом с 1912 по 1928 г. скорость опусканий составляла 47 мм/год. Последующие 9 лет (1928-1937 гг.) характеризовались нейтральными стабильными движениями (т.е. прекращением опусканий), а с 1937 по 1972 г. опускания возобновились с прежней скоростью 47 мм/год. Аномальный период явился подготовкой землетрясения силой VI баллов, которое произошло в Сураханах в 1937 г.; эпицентр землетрясения располагался в Фатьмай-Зыхской шовной зоне.

Это же землетрясение проявилось в сел. Сабунчи, где ход медленных вертикальных движений оказался полной аналогией картины в Сураханах. Там тоже на общем фоне устойчивого опускания со средней вековой скоростью 5 мм/год величина опускания для периода 1912-1928 гг. составила 12 мм/год, для периода 1928-1937 гг. - 2 мм/год и для периода 1937-1972 гг. - 3,5 мм/год. Размеры аномалии вертикальных движений, отмеченные повторными нивелировками, соответствуют размерам очаговой зоны. Между размерами аномалии, длительностью подготовки землетрясения и его силой отмечается определенная корреляционная связь, которая может быть использована в качестве прогностического признака [6].

Несколько иной была картина подготовки землетрясения силой до V-VI баллов в 1928 г., отмеченного в районе селений Бильгя и Загульба. Здесь нивелировками не была зафиксирована вековая тенденция вертикальных движений. Можно предполагать, что общий фон составляют опускания. Первые нивелировки 1912 и 1928 гг. отметили сразу же период подготовки землетрясения, когда в Бильгя на фоне опусканий выявилась аномалия со слабыми относительными поднятиями порядка 0,15 мм/год. После землетрясения

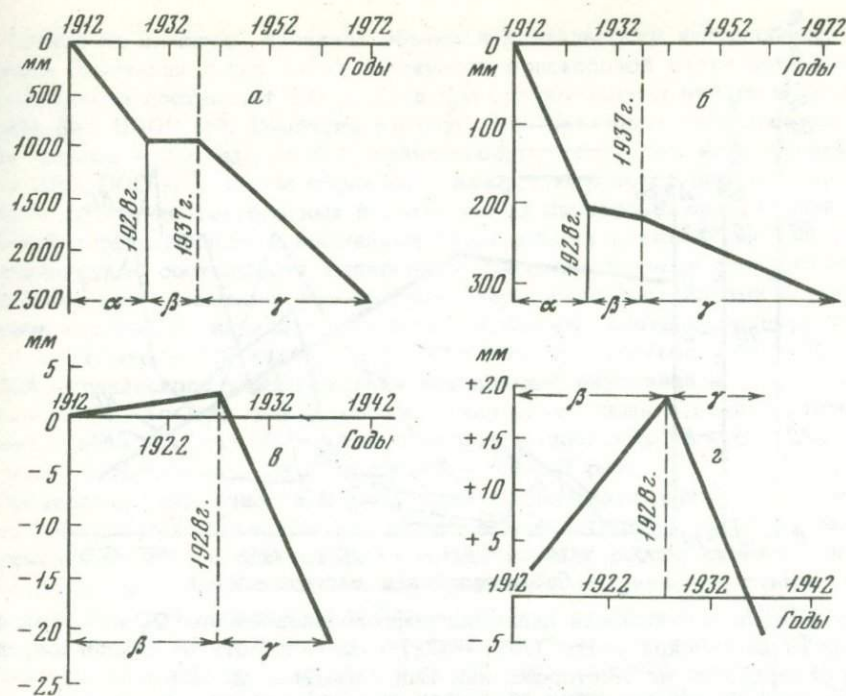


Рис. 4. Графики изменения интенсивности и направленности современных вертикальных движений в районах землетрясений Апшеронского полуострова [5, 6, 8]

a - Сураханы, 1937 г.; *б* - Сабунчи, 1937 г.; *в* - Бильгя, 1928 г.;
г - Загульба, 1928 г.

α, β, γ - фазы современных движений земной коры

1928 г. движения компенсировались, и в 1928-1937 гг. восстановились опускания со скоростью до 3 мм/год. В районе Загульбы относительные поднятия периода подготовки землетрясения достигали 1,3 мм/год, а относительные опускания периода компенсации - 3 мм/год. Последняя величина с известной долей вероятности может рассматриваться как вековая тенденция.

Роль современных тектонических движений при добыче нефти и газа

Одной из важных научно-прикладных задач, поставленных еще в 1910-1912 гг. при организации Апшеронского полигона, являлось изучение влияния интенсивной добычи нефти и газа на перемещения земной поверхности и установление соотношений последних с медленными вертикальными движениями. Когда результаты первых нивелировок обнаружили значительные общие опускания Апшеронского полуострова, то они были истолкованы многими геологами, тектонистами, нефтяниками, геодезистами и океанографами как результат длительной и интенсивной нефтегазодобычи, а не как следствие тектонических процессов, так как находились в явном противоречии с геолого-геоморфологическими данными о направленном дифференцированном поднятии Апшерона с конца плейстоцена и в голоцене.

Более всесторонний анализ инструментальных данных последующих измерений, морфоструктурных особенностей и геодинамики полуострова, произведенный Д.А. Лилиенбергом и И.Н. Мешерским [3, 4, 7], позволил установить, что эти движения имеют тектоническую природу. В то же время были отмечены локальные участки, связанные с наиболее старыми нефтепромыслами в Сабунчах, Сураханах, Раманах и Бибиэйбате, где присводовые части антикли-

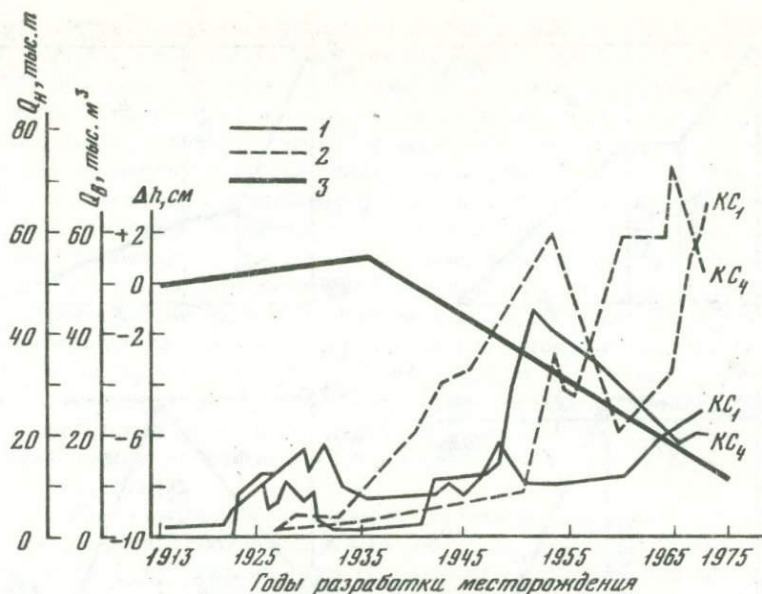


Рис. 5. График соотношения динамики нефтеводоизвлечения Q_H и Q_B из горизонтов Кирмакинской свиты ($КС_1$ - $КС_4$) в зависимости от темпов опускания земной поверхности на месторождении Бинагды-Бинагды Северное
 1 - нефтеизвлечение; 2 - отбор воды; 3 - опускание поверхности

налей испытали аномально большие опускания, до 1-2,5 м за 50 лет. Только опускания таких узко локальных участков были интерпретированы как результат длительной добычи нефти и газа, т.е. как проявление техногенного фактора на фоне чисто тектонических движений.

Появился соблазн установить прямую связь между объемом извлекаемых нефти и газа и величиной смещений земной поверхности. Однако последующие исследования показали, что эти взаимосвязи неоднозначны и гораздо сложнее, чем предполагалось ранее. Анализ геолого-промысловых данных, показателей разработки месторождений и отдельных скважин, тектонического строения с величинами скоростей вертикальных смещений устьев скважин и реперов Сураханского, Карачухурского, Бинагадинского, Бибиэйбатского, Балаханы-Сабунчи, Раманинского и Бузовны-Маштагинского месторождений (рис. 5) показывает, что и здесь нередко опускания фиксируют присводовые блоковые перемещения, т.е. имеют преимущественно тектогенную, а не техногенную природу [6, 15].

Примером может служить Карачухурское месторождение. Нивелирная сеть была здесь заложена в 1912 г. Повторные измерения в 1928 г. зафиксировали блоковые опускания присводовой части антиклинали со скоростями 15-25 мм/год. Разработка месторождения началась в 1928 г. и за период до 1937 г. здесь было извлечено природного газа - более 20 млн. м³; нефти - 3 млн. т. и воды - 1 млн. т. Однако нивелировки 1935-1937 гг. показали, что именно в этот период опускания замедлились до 3-9 мм/год, т.е. произошли относительные поднятия, которые усилили внутрипластовое давление, благодаря чему ряд скважин фонтанировал. Следует отметить, что это был также период подготовки Сураханского землетрясения 1937 г. Таким образом, ведущим процессом в данном случае явились тектонические движения, а не техногенный фактор.

Другим примером может служить Бибиэйбатское месторождение - одно из старейших в нашей стране. Разработка его началась еще в 70-х годах прошлого столетия. Повторные нивелировки на фоне общих опусканий фиксируют дробную блоковую дифференциацию современных вертикальных смещений земной поверхности. Интенсивность и контрастность взаимных перемещений смеж-

ных блоков не являются функцией объема и длительности нефтедобычи. Так, скорость опускания устья одной из скважин присводовой части антиклинальной возвышенности составляет 50 мм/год при среднегодовом отборе жидкой и газовой фаз 9000 м³. Величина же опускания скважины соседнего блока вдвое меньше — 29 мм/год при среднегодовом отборе тех же компонентов более 300 000 м³. Таким образом, и здесь проявляется неоднозначное и сложное сочетание тектогенных и техногенных процессов, при ведущей роли блоковой дифференциации современных вертикальных движений.

Аналогичные соотношения выявлены в присводовой части антиклинали Бинагадинского месторождения, где величины перемещений отдельных блоков и объемов извлечения жидкой компоненты составляют соответственно: — 6 мм/год и 23 т/год, — 1,5 мм/год и 1200 т/год, + 1 мм/год и 60 000 т/год.

Для Сураханского месторождения вековой ход опусканий с 1912 по 1972 г. составляет 47 мм/год с аномальным отклонением лишь в период подготовки землетрясения. Добыча же жидкой компоненты происходила нарастающими темпами и увеличилась за этот период в 10–15 раз.

Проявления сейсмичности в ряде случаев оказывают влияние на интенсивность нефтедобычи. Периодам подготовки землетрясений и особенно разрядки напряжений нередко соответствует резкое снижение дебита скважин. Активизация разломов и блоковых смещений приводит к искривлению стволов скважин, разрыву труб, внезапным выбросам воды и песка и т.п. Поэтому с известной осторожностью все эти явления могут интерпретироваться с точки зрения прогноза сейсмоактивности в сочетании с другими критериями.

Кроме того, извлечение больших количеств нефти и газа из недр Земли за короткий промежуток времени может нарушить динамическое равновесие между смежными блоками и способствовать разрядке напряжений в форме слабых землетрясений. В некоторых случаях в районах интенсивной нефтегазодобычи частота землетрясений может несколько увеличиваться. Тем самым техногенный фактор может оказывать известное влияние на ход природных тектонических процессов, вызывая их ускорение, снимая напряжения или модифицируя форму их проявления.

Было проанализировано также влияние на перемещение земной поверхности закачивания в пласты воды и воздуха. Оказалось, что извлечение из недр флюидов в целом не влияет на каркас пласта, его структурно-текстурные и гранулярные особенности и не приводит к существенному изменению объема. Точно так же закачка воды в пласты не приводит к соответствующему увеличению их объема и иногда прекращается из-за ограниченности приемной способности нагнетательной скважины. Именно сохранение скелета пластов после добычи нефти и газа позволяет использовать их в качестве подземных хранилищ в производственных масштабах. Перемещение флюидов вдоль пластов затруднено блоковыми перемещениями структурных элементов.

Изменение темпа и знака современных вертикальных движений оказывает существенное влияние на внутрипластовое давление и величину нефтегазоотдачи. Данные по Бинагадинскому, Сураханскому и Бибиэбатскому месторождениям показывают, что периодам относительных тектонических опусканий соответствует резкий рост отбора жидких и газовых компонентов, а периодам стабилизации движений или относительных поднятий — минимальные объемы добычи.

Таким образом, изменение интенсивности и направленности современных тектонических движений во времени представляет дополнительный энергетический ресурс нефтегазоносных месторождений, оказывая воздействие на упругость пласта и насыщение его жидкими и газовыми компонентами. Динамическое сжатие пластов в известной мере регулирует потенциал их отдачи в процессе разработки нефтяных месторождений сейсмоактивных областей.

В связи с изложенным представляется особенно важным установление конкретной квазипериодичности современных тектонических движений для повышения эффективности мероприятий по увеличению добычи нефти и газа. Так, например, широкое применение методов искусственного воздействия на залежь, а также уплотнение сеток эксплуатационных скважин наиболее целесообразно

производить в условиях спокойной тектонической обстановки, тогда как при активизации движений эффективность этих мер существенно снижается, а себестоимость нефтегазодобычи резко увеличивается. Учет геодинамического фактора необходим для более рационального использования природных энергетических ресурсов, интенсификации и стабилизации добычи нефти и газа. Геодинамический фактор должен учитываться при перспективном планировании нефтяного хозяйства страны.

ABSTRACT

This article considers the effect of the manifestation intensity of tectonic modern movements at the territory of the Apsheron peninsula on the output of oil-bearing layers in the process of exploitation. A dependence is stated of the layer output on the character of manifestation of these movements.

On the basis of complex analysis of repeated levelling data and main exploitation parameters a choice of time for affecting the deposit is recommended as well as a definition of the tempo of consecutive well drilling at the deposits of seismo-active zone.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быков Г., Гуреев В. Отчет о нивелировке на Апшеронском полуострове в 1912 г. Пгр.: 1915.
2. Большаков Н.Н. Нивелировка высокой точности 1928 г. на Апшеронском полуострове. - Геодезист, 1930, № 6.
3. Лилиенберг Д.А., Мещерский И.Н. Современные тектонические движения и морфоструктурные особенности Апшеронского полуострова. - В кн.: Современные движения земной коры. М.: Наука, 1968, вып. 4.
4. Лилиенберг Д.А., Ширинов Н.Ш. Вопросы создания Апшеронского геодинамического полигона для комплексного изучения современных движений земной коры. - В кн.: Изучение современных движений земной коры на стационарных геофизических полигонах. Ашхабад: Изд. АН ТССР, 1970.
5. Ященко В.Р. Исследование современных вертикальных движений земной коры на территории Апшеронского полуострова геодезическим методом: Автореф. канд. дис. Баку: Азерб. ун-т, 1975.
6. Лилиенберг Д.А., Ахмедбейли Ф.С., Гусейнзаде О.Д. и др. Научные результаты и перспективы изучения современных тектонических движений на геодинамических полигонах Азербайджана. - В кн.: Современные движения земной коры: Тез. докл. VII Всесоюз. совещ. М., 1977, вып. 2.
7. Lilienberg D., Meshchersky I. On the role of tectonic and nontectonic factors in recent deformations of the Earth's surface (by studies carried out on the Apsheron peninsula). - In: Problems of recent crustal movements: Third Intern. Symp. Moscow, 1969.
8. Гусейнзаде О.Д., Ященко В.Р. Сейсмичность и проявление современных колебательных движений на Апшеронском полуострове. - Учен. зап. АЗИНнефтехим, 1974, № 4.
9. Ященко В.Р. Изучение современных движений земной поверхности на Шемахинском геодинамическом полигоне геодезическими методами. - В кн.: Современные движения земной коры: Тез. докл. VII Всесоюз. совещ. М., 1977, вып. 2.
10. Лилиенберг Д.А. Рельеф южного склона восточной части Большого Кавказа. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
11. Лилиенберг Д.А. Современные тектонические движения и морфоструктурные особенности Восточного Кавказа и Закавказья. - В кн.: Современные движения земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1963, вып. 1.
12. Агамирзоев Р.А. Сейсмотектоническая обстановка очагов землетрясений Юго-Восточного Кавказа. - В кн.: Материалы конференции по изучению сейсмичности и глубинного строения Азербайджана. Баку: Элм, 1974.
13. Каспаров В.А. Сейсмотектоника Апшеронской области: Автореф. канд. дис. Баку: Ин-т геологии АН АзССР, 1975.
14. Кулиев Ф.Т., Каспаров В.А. Сейсмичность Восточного Кавказа и акватории Каспия. - В кн.: Материалы конференции по изучению сейсмичности и глубинного строения Азербайджана. Баку: Элм, 1974.
15. Гусейнзаде О.Д., Ященко В.Р. Исследование результатов повторного геодезического нивелирования на территории Бибиэбатского нефтяного месторождения. - Докл. АН АзССР, 1974, № 8.

СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ЗЕМНОЙ КОРЫ УКРАИНЫ

Состоявшийся в 1974 г. в Швейцарии Международный симпозиум по современным движениям земной коры показал, что исследования по данной проблеме интенсивно ведутся во многих странах мира [1]. Вместе с тем симпозиум подтвердил, что в настоящее время происходит главным образом накопление данных о распределении современных вертикальных движений, основанных на результатах повторного нивелирования. Что касается природы современных движений земной коры, закономерностей их проявления, связи с геофизическими полями и прогнозирования современной тектонической активности, то в этом направлении сделаны только первые шаги.

Современная динамика земной коры — настолько сложное явление, что познать ее при помощи одного какого-либо метода невозможно. Только при сочетании комплекса наук о Земле и применении разнообразной методики изучения возможен прогресс в решении этой актуальной проблемы. Другим условием при постановке исследований по установлению генетических связей между современными движениями земной коры и совокупностью геолого-геофизических параметров является охват как можно большей территории. Оба эти условия приняты во внимание при изучении современной динамики земной коры Украины [2].

Неотектонические и современные движения. Сопоставление карт суммарных амплитуд неотектонических движений [3] и современных вертикальных движений земной коры [4] указывает на совпадение характера движений земной коры в западной и восточной частях республики. В центральной и южной частях УССР наблюдается различие в направленности изолиний скорости и изобаз неотектонических движений. Первые имеют субмеридиональное, а вторые — субширотное направление.

Суммарные амплитуды движений за неоген-четвертичный период (25–30 млн. лет), достигающие 250–300 м, хорошо коррелируют с наибольшими скоростями современных движений земной коры (СДЗК) в районе Донецкого складчатого сооружения и Приазовского массива. Аналогичным образом максимум поднятия в неоген-четвертичном периоде, достигающий 1500–2000 м в складчатых Карпатах, подтверждается дальнейшим поднятием земной коры на современном этапе. Однако небольшая скорость движений в последнем случае объясняется тем, что с антропогена происходит поднятие гор затухающего характера [5]. Опускание Предкарпатского и Закарпатского прогибов также подтверждается данными повторного нивелирования. Интенсивное поднятие испытывает краевая часть Восточно-Европейской платформы, суммарная амплитуда движений которой за неоген-четвертичный период достигает +300 м.

В четвертичный период в отдельных районах УССР произошла инверсия неотектонических движений. В поднятие оказалось вовлеченным северное Причерноморье. В северо-западной части республики наблюдается резкое уменьшение интенсивности воздыманий (до 0–25 м). В настоящее время этот район охвачен абсолютным опусканием (до –2 мм/год).

Распределение направленности движений в голоценовый период (последние 10–15 тыс. лет) в целом соответствует их распределению в неоген-четвертичный и четвертичный периоды: наибольшие суммарные амплитуды поднятий (10–15 м и больше) приурочены к Вольно-Подольской плите, западной части Украинского кристаллического щита и Приазовскому массиву. Южнее линии Тирасполь — Запорожье — Жданов расположена опускающаяся Черноморская впадина и Добруджинский прогиб.

Следует указать на особенность, характерную для всех карт — изобазы и изолинии поднятий секут с юга на север как Украинский кристаллический мас-

Многомерный корреляционный анализ геолого-геофизико-геодезических данных

Геофизические поля	Коэффициенты	I				II					III	
		Закарпатский внутренний прогиб				Внутренние Карпаты					Внешние Карпаты	
		v	R	l	M_1	v	R	l	M_1	M_2	v	R
δg	ПКК	0,89	0,85	0,80	0,94	0,60	0,71	<0,60	-0,92	0,99	0,95	-0,88
	ЧКК		0,78	0,80	0,88		<0,60	<0,60	0,87	0,94		<-0,60
v	ПКК		0,91	0,72	0,86		0,86	<0,60	<0,60	0,71		0,74
	ЧКК		0,85	0,76	0,79		0,70	<0,60	0,81	0,60		<0,60

Геофизические поля	Коэффициенты	III			IV					V				
		Внешние Карпаты			Прикарпатский передовой прогиб					Львовский палеозойский прогиб				
		l	M_1	M_2	v	R	l	M_1	M_2	v	R	l	M_1	M_2
δg	ПКК	-0,93	-0,71	0,82	<-0,60	<-0,60	<0,60	<0,60	<0,60	-0,94	<-0,60	0,99	-0,94	0,68
	ЧКК	-0,93	-0,64	0,84			0,80					0,93	<0,60	<0,60
v	ПКК	-0,97	0,82	-0,65		-0,65	-0,83	0,86	0,80		<0,60	-0,94	0,89	-0,79
	ЧКК	0,98	<0,60	<0,60		0,63	-0,99	-0,86	-0,60			-0,84	<0,60	-0,61

Примечание. ПКК - парный коэффициент корреляции; ЧКК - частный коэффициент корреляции. Приведенные соотношения между исследуемыми параметрами получены с учетом соответствующих знаков δg и v в выборке; R , l , M_1 и M_2 - положительные.

сив, так и Днепровско-Донецкий авлакоген и Воронежский кристаллический массив. Это позволяет считать, что движения земной коры в восточной части УССР в геологическом прошлом и в настоящее время определяются активностью, тектонических нарушений субмеридионального плана.

Таким образом, фиксируемые в настоящее время вертикальные движения земной коры в основном являются унаследованными от движений неотектонического этапа, в течение которого формировался современный рельеф. Это подтверждает генетическую связь процессов, протекающих в нижних частях земной коры и верхней мантии, с площадным распределением направленности и интенсивности современных вертикальных движений земной коры.

Гравитационное поле и его вариации. Гравитационное поле Украинского кристаллического щита характеризуется слабыми положительными значениями аномалий ускорения силы тяжести. В пределах Днепровско-Донецкого авлакогена аномальное поле является более дифференцированным. Так, Припятский грабен характеризуется значительными отрицательными значениями Δg , Черниговский выступ - максимальными положительными величинами, юго-западная половина Днепровского грабена Днепровско-Донецкого авлакогена и примыкающий склон Украинского кристаллического щита - положительным, а северо-восточная его половина и соответствующий склон Воронежского массива - слабым отрицательным аномальным гравитационным полем.

Гравитационное поле Карпат повторяет структуру основных тектонических элементов региона. Геосинклинальная область в гравитационном поле представляет собой обширный региональный минимум, ось которого соответствует наибольшей мощности земной коры [6]. Закарпатский внутренний прогиб относится к области слабых отрицательных значений Δg .

Скифская плита на территории Крыма характеризуется положительным аномальным полем ускорения силы тяжести, максимальная интенсивность которого соответствует Симферопольско-Евпаторийскому поднятию и антиклинорию Горного Крыма. К области больших отрицательных значений Δg относится Индоло-Кубанский прогиб.

В соответствии с данными спектрального анализа гравитационного поля [7] в пределах УССР наблюдается четкая дифференциация горизонтальных плотностных неоднородностей, расположенных ниже астеносферы. В территориальном отношении район интенсивных положительных современных вертикальных движений земной коры совпадает с отсутствием горизонтальных плотностных неоднородностей в мантии, а участку, испытывающему наибольшие современные опускания в пределах Украинского кристаллического щита (район Умани), соответствует максимум величины аномалий масс. Очевидно, что на северо-востоке УССР находятся большие массы вещества с пониженной плотностью, поднимающиеся с больших глубин. Отчетливым является совпадение границ перехода от плотностных неоднородностей в мантии к зоне ее разуплотнения с границей изменения направленности современных вертикальных движений земной коры.

Анализ данных, полученных Г.Т. Собакарем [8, 9] и А.Ш. Файтельсоном [10], показал, что независимыми измерениями устанавливается одинаковая закономерность в распределении аномальных областей неприливных вариаций ускорения силы тяжести на территории УССР. Это позволило составить сводную схему [11] и произвести тектоническое районирование изучаемой территории по характеру изменения гравитационного поля во времени. Выделено пять крупных мегаблоков земной коры (западный, центральный, северо-восточный, юго-восточный и южный), имеющих четко выраженные границы субмеридионального и субширотного простирания. В пределах этих блоков может быть проведена дальнейшая детализация вариаций по интенсивности. Хорошая корреляция наблюдаемых неприливных вариаций и аномального гравитационного поля свидетельствует о том, что Земля является динамической системой, продолжающей развитие и в настоящее время.

Изучение приливных изменений силы тяжести на территории УССР проведено в четырех пунктах: Полтава (Днепровско-Донецкий авлакоген), Симфе-

рополь (Скифская плита), Бахчисарай и Ялта (Горный Крым) [12]. Однако имеющийся экспериментальный материал не позволяет провести тектоническое районирование территории в связи с тем, что различия в глубинном строении не вызывают заметных изменений в приливных вариациях силы тяжести.

Многомерный корреляционный анализ геолого-геофизико-геодезических данных использовался для установления связей между особенностями пространственного проявления современных вертикальных движений земной коры, стационарными геофизическими полями, их вариациями и глубинной структурой Украины. Исследовались скорости современных вертикальных движений земной коры (v), неприливные вариации силы тяжести (δg), амплитуды новейших движений (A), рельеф земной поверхности (R) и рельеф основных сейсмических границ (глубина залегания кристаллического фундамента l , верхней M_1 и нижней M_2 поверхностей переходного слоя кора - мантия) по основным геоструктурным единицам профиля глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) Берегово - Кременец [7, 13]. Закарпатский внутренний прогиб и внутреннее Карпаты отличаются от остальной части профиля ГСЗ по взаимодействию между собой и v и δg , а также по отображению глубинного строения в геофизических полях (таблица). Для этих структур получена прямая корреляционная связь между v и δg и согласованность в залегании всех границ.

Внешние Карпаты характеризуются согласным расположением R , l и M_1 и несогласным залеганием нижней границы M_2 переходного слоя кора - мантия. Для внешней зоны Предкарпатского передового прогиба так же, как и для внутренних Карпат, отмечается согласное залегание поверхностей M и l .

Интересной особенностью является установление для внешних Карпат и Львовского палеозойского прогиба одинаковой взаимосвязи рельефа дневной поверхности, границ M с v и δg при противоположном отображении в полях поверхности кристаллического фундамента.

Общей закономерностью для всего профиля ГСЗ является прямая зависимость между высотой рельефа и скоростью современных вертикальных движений земной коры. При этом сила этой связи понижается от Закарпатского внутреннего прогиба по направлению к Львовскому палеозойскому прогибу.

В исследуемом регионе неприливные вариации силы тяжести выше там, где больше суммарная толщина земной коры (M_2). Так как сила связи v с M_1 выше, чем с M_2 , это позволяет предположить, что величина скорости современных вертикальных движений земной коры здесь в основном определяется глубиной расположения верхней поверхности переходного слоя кора - мантия (для структуры IV эта связь обратная).

Взаимосвязь v и δg с амплитудой новейших тектонических движений уверенно устанавливается в пределах Закарпатского внутреннего прогиба, где знаки и соотношения между этими параметрами остаются постоянными. В то время как скорости современных вертикальных движений земной коры падают с увеличением амплитуды опусканий в неоген-четвертичное время, абсолютные значения неприливных вариаций соответственно возрастают. Во всех остальных вариантах внутри исследуемой тектонической единицы меняются знаки δg (III-V) и A (II, IV) или соотношения между ними.

Таким образом, применяемая методика многомерного корреляционного анализа позволила выявить общие и различные черты взаимодействия современных вертикальных движений земной коры с неприливыми вариациями силы тяжести и отображения в геофизических полях глубинного строения основных геоструктурных единиц Карпатского региона.

Продолжение рассматриваемого профиля ГСЗ проходит через северо-западную часть Днепровско-Донецкого авлакогена. Идентификация реликтовых поверхностей M в пределах переходного слоя земная кора - мантия с разновозрастными отложениями осадочного чехла, а также взаимосвязь геофизических полей с глубинным строением Днепровско-Донецкого авлакогена рассмотрены в ряде работ [14, 6]. Необходимо отметить, что скорость современных вертикальных движений земной коры здесь связана с альпийским циклом складчатости и пра-Мохо, которые "оживлялись" в это время.

ABSTRACT

The work describes the first results of complex studies of modern dynamics of the Earth's crust in the Ukraine. Connections of recent vertical crustal movements with non-tidal gravity variations, deep structure, relief and neotectonics of the studied territory are stated.

ЛИТЕРАТУРА

1. Somov V.J., Kuznetsova V.G. Results of geodesic and geophysical investigations on study of the recent crustal movements of the Soviet part of the Eastern Carpathians. — In: Intern. sympos. on recent crustal movements in Switzerland (Aug., 1974), Abstrs, Zürich, 1974.
2. Сомов В.И., Сидоренко В.Р. Современные динамические характеристики земной коры Украины. — В кн.: Геофизические исследования литосферы Украины. Киев: Наук. думка, 1977.
3. Соколовский И.Л., Волков Н.Г. Методика поэтапного изучения неотектоники. Киев: Наук. думка, 1965.
4. Сомов В.И. Карта современных вертикальных движений земной коры Украины для периода 1895–1937 гг. — В кн.: Геофизический сборник АН УССР. Киев: Наук. думка, 1977, вып. 75.
5. Гофштейн И.Д. Неотектоника Карпат. Киев: Наук. думка, 1964.
6. Рахимова И.Ш. Связь реликтовых поверхностей Мохоровичича с тектонической цикличностью. — В кн.: Геофизический сборник АН УССР. Киев: Наук. думка, 1966, вып. 74.
7. Соллогуб В.Б., Чекунов А.В. Результаты глубинного сейсмического зондирования по странам (УССР). — В кн.: Строение земной коры центральной и юго-восточной Европы. Киев: Наук. думка, 1971.
8. Собакарь Г.Т., Хорунжий Ю.П., Выговский В.Ф., Койфман Л.И. Квазипериодические вариации силы тяжести на профиле Львов–Харьков и их связь с современными движениями земной коры. — ДАН УССР. Сер. Б, 1970, № 12.
9. Собакарь Г.Т. Квазипериодические вариации силы тяжести на профиле Запорожье–Львов за 1966–1970 гг. — ДАН УССР. Сер. Б, 1972, № 1.
10. Файтельсон А.Ш., Азаркина Е.А. Вековые изменения силы тяжести на Украине. — ДАН УССР, 1970, т. 195, № 1.
11. Сомов В.И., Сидоренко В.Р. Изучение вековых изменений гравитационного поля в пределах УССР. — В кн.: Повторные гравиметрические наблюдения. М.: Наука, 1976.
12. Корба П.С. Результаты исследований приливных вариаций силы тяжести в Крыму за 1964–1971 гг.: Автореф. канд. дис. Полтава: Полтавская гравиметрическая обсерватория АН УССР, 1973.
13. Сомов В.И., Рахимова И.Ш., Сидоренко В.Р., Альтман А.Д. Современная динамика земной коры Карпат и сопредельных стран. — В кн.: Материалы XI конгресса Карпато-Балканской геологической ассоциации. Киев: Наук. думка, 1977.
14. Рахимова И.Ш., Галабуда М.И., Альтман А.Д. Об использовании статистических методов при изучении эволюции земной коры. — ДАН УССР. Сер. Б, 1976, № 4.

УДК 551.242

А.К. ПЕВНЕВ, Н.Н. ОДИНЕВ, Т.В. ГУСЕВА,
Ю.А. ДАВЫДЕНКО, В.А. БЕЛОКОПЫТОВ, С.М. БАРАНОВА

О ДВИЖЕНИЯХ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ГАРМСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА

Гармский геодинамический полигон приурочен к сейсмоактивной зоне, расположенной между структурами Северного Памира и Южного Тянь-Шаня [1, 2]. Северной границей зоны является Гиссаро-Кокшаальский глубинный разлом, отделяющий зону от Тянь-Шаня, а ее южной границей является Дарваз-Каракульский глубинный разлом — граница между зоной и Памиром (рис. 1). В пределах полигона Памир представлен Дарвазским хребтом, а Тянь-Шань — Каратегинским хребтом и хребтом Кабуд-Крым, являющимся южным обрамлением Гиссарского хребта. По возрасту слагающих пород сейсмогенная зона сущест-

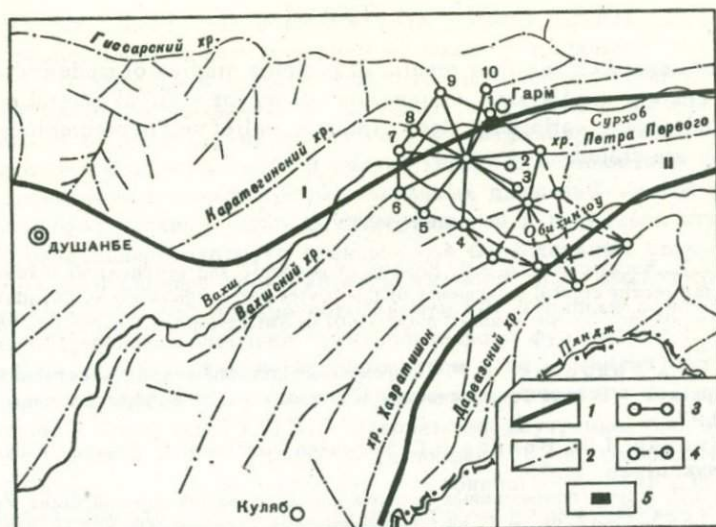


Рис. 1. Схема большой деформационной сети Гармского геодинимического полигона

1 - глубинные разломы (I - Гиссаро-Кокшаальский, II - Дарваз-Каракульский); 2 - оси хребтов; 3 - измеренные линии; 4 - проектируемые линии; 5 - местоположение малого полигона

1-10 - пункты сети (см. текст)

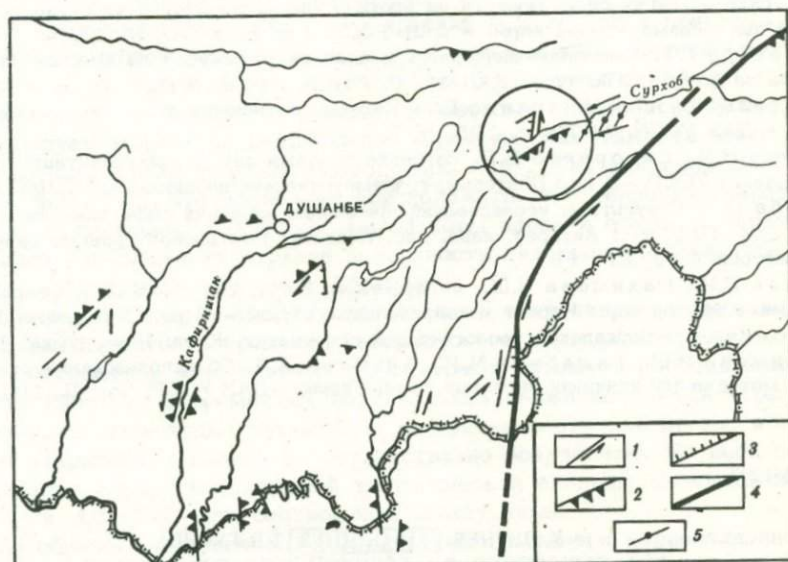


Рис. 2. Разломы Афгано-Таджикской депрессии, возникшие или омоложенные в позднем плейстоцене или голоцене, по В.Г. Трифонову [3]

1 - сдвиги; 2 - надвиги и взбросы; 3 - сбросы; 4 - разрывы с невыясненным направлением перемещения; 5 - вулканические цепи

Кружком отмечено местоположение деформационной (геодезической) сети Гармского полигона

венно моложе своего обрамления: зона сложена мезозойскими и кайнозойскими отложениями, а Дарвазский хребет и Гиссарская группа хребтов — протерозойскими и палеозойскими породами. Тектоническое строение зоны очень сложно: есть все основания считать, что зона продолжает активно развиваться и в настоящее время. На рис. 2 представлена составленная В.Г. Трифоновым [3] схема разломов Афгано-Таджикской депрессии (сейсмогенная зона), возникших или омоложенных в позднем плейстоцене или голоцене. Кружком на схеме отмечено местоположение существующей деформационной (геодезической) сети Гармского полигона. Мы видим, что сеть приурочена к крайне сложному в тектоническом отношении участку земной коры: наряду с субмеридиональными надвигами здесь имеют место субмеридиональные и субширотные сдвиги и сбросы. О продолжающемся развитии тектонических движений и в настоящее время говорит современная сейсмическая активность зоны. Анализ сейсмологического материала позволил установить направления действия напряжений, определяющих современное развитие структур. Из исследований механизмов очагов землетрясений было установлено, что для рассматриваемой сейсмогенной зоны преобладающим является субгоризонтальное сжатие, ориентированное вкrest глубинным разломом; оси напряжений растяжения имеют субвертикальную ориентировку [4-6].

Одной из вполне возможных причин существования указанного поля напряжений в зоне может являться давление на нее со стороны структур Памира и Тянь-Шаня, являющиеся следствием сближения этих структур. Для экспериментальной проверки этой гипотезы необходимо создать деформационную сеть, полностью перекрывающую разломную зону и непременно опирающуюся своими концами на оба возможных прессы: Дарвазский и Гиссарский хребты. Повторные измерения в такой сети могут подтвердить или опровергнуть представление о сближении Памира и Тянь-Шаня, установить причину возникновения напряженного состояния в зоне, обеспечивающего ее сейсмичность, и быть использованы для прогноза землетрясений. При достаточной густоте деформационной сети удастся установить размеры и форму блоков земной коры зоны, а следовательно, конфигурацию и размеры зон нарушений, их разделяющих; установить различия в закономерностях (пространственных, временных и по величине) деформаций между блоками и зонами нарушений. Последнее совершенно необходимо для исследований, связанных с изучением механики сейсмических процессов. Результаты изучения деформаций земной поверхности на значительной площади полигона (имеются в виду размеры деформационной сети) позволят заняться исследованием связей смещения в глубинах земной коры (по данным о механизмах очагов землетрясений) со смещениями на поверхности. Нет никакой необходимости подчеркивать значимость таких исследований.

На рис. 1 представлен один из реальных вариантов описываемой сети. Собственно, вся эта сеть существует в природе, но, к сожалению, еще не во всей сети выполнены исходные дальномерные и угловые измерения. Измеренные и еще не измеренные линии на рисунке обозначены различно. Пункты деформационной сети расположены на значительных высотах; от 2 до 4 км, большая часть пунктов труднодоступна. Расстояния между смежными пунктами сети колеблются от 11 до 30 км. Общее протяжение сети около 80 км. В северной части сети имеется уже по два повторных измерения некоторых линий (рис. 3), однако анализ результатов измерений в этой сети мы выполним несколько позже, а теперь коротко остановимся на результатах исследований прежних лет, проведенных на первоначальном (малом) Гармском полигоне [1, 2, 7].

Местоположение малого полигона показано на рис. 1. Этот полигон представляет собой очень небольшую геодезическую сеть, приуроченную к зоне контакта с Тянь-Шанем (рис. 4). Здесь изучаются как вертикальная, так и горизонтальная составляющие движений. Общее протяжение нивелирных профилей менее 30 км, длины светодальномерных линий — от нескольких сот метров до нескольких километров. Исследования подтвердили априорные представ-

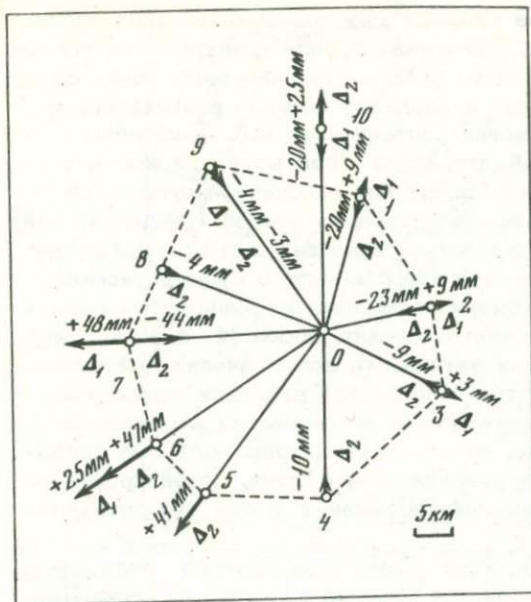


Рис. 3. Горизонтальные смещения пунктов северной части большой деформационной сети относительно центральной точки О с 1974 по 1976 г.

$$\Delta_1 = D_{75} - D_{74}; \Delta_2 = D_{76} - D_{75}$$

(Δ - изменение расстояния, мм)

ления о монолитности блока, относящегося к Тянь-Шаню (Гиссарский блок), который в пределах малого полигона представлен подножием горы Миндалюль (блок I на рис. 4). Указанный блок испытывает как единое целое знакопеременные, аperiodические наклоны с амплитудой около $0,5^\circ$. Этот вывод сделан на основании закономерного увеличения амплитуд синхронных смещений реперов при увеличении расстояния от исходного репера (репер 3040).

И наоборот, для разломной зоны выявлена значительная раздробленность: блоки характеризуются разными знаками вертикальных смещений. Здесь следует подчеркнуть одну особенность в вертикальных смещениях блоков разломной зоны: уменьшение стабильности среднегодовых скоростей смещений с удалением от линии тектонического контакта Гиссарского блока с разломной зоной, представленной в пределах малого полигона подножием хребта Петра Первого. Из рис. 4 видно, что блоки II, III, IV, прижатые к монолитному блоку, имеют стабильные среднегодовые скорости вертикальных смещений.

В качестве одного из возможных объяснений указанного явления можно предложить следующее: увеличение прочностных характеристик пород разломной зоны при ее придавливании к более прочному блоку. Можно полагать, что обнаруженное явление заслуживает более пристального исследования в теоретическом и экспериментальном аспектах. В этой связи большой интерес представляют результаты совместного анализа вертикальных и горизонтальных смещений земной поверхности на малом полигоне. Было установлено, что в пределах рассматриваемого полигона происходит субмеридиональное надвигание разломной зоны (подножий хребта Петра Первого) на Гиссарский блок по поверхности, наклоненной к горизонту примерно на 40° , со скоростью около 20–25 мм/год (рис. 5). Конечно, принимать обнаруженные смещения за доказательства сближения Памира и Тянь-Шаня неосмотрительно, так как сокращение расстояний между пунктами, расположенными в подножиях хребтов или на их склонах, могут быть следствием гравитационного раздавливания горных массивов, а также и более эффективного процесса — гравитационного сползания склонов.

Теперь рассмотрим результаты повторных измерений сторон в северной части большой деформационной сети Гармского полигона (см. рис. 1 и 3). Пункты сети расположены на вершинах хребтов или их отрогов: пункты 7, 8, 9, 10 и 1 — на Тянь-Шане, пункты 7, 8 и 9 — в отрогах Каратегинского хребта, пункт 10 — в хребте Кабуд-Крым (восточное продолжение Каратегинского хребта) и пункт 1 — на горе Миндалюль, которую можно считать находящейся в отроге хребта Кабуд-Крым. Пункты 0, 2, 3, 4, 5 и 6 представляют разломную зону, пункты 0 и 2 расположены в хребте Петра Первого, пункт 3 — в отроге этого хребта в горах Кугикамч, пункты 4 и 5 расположены в горах, находящихся к юго-востоку от Вахшского хребта, а пункт 6 — в северо-восточном окончании Вахшского хребта.

Программа предусматривает измерение всех линий сети, однако в силу различных организационных трудностей пока удалось выполнить лишь измерение

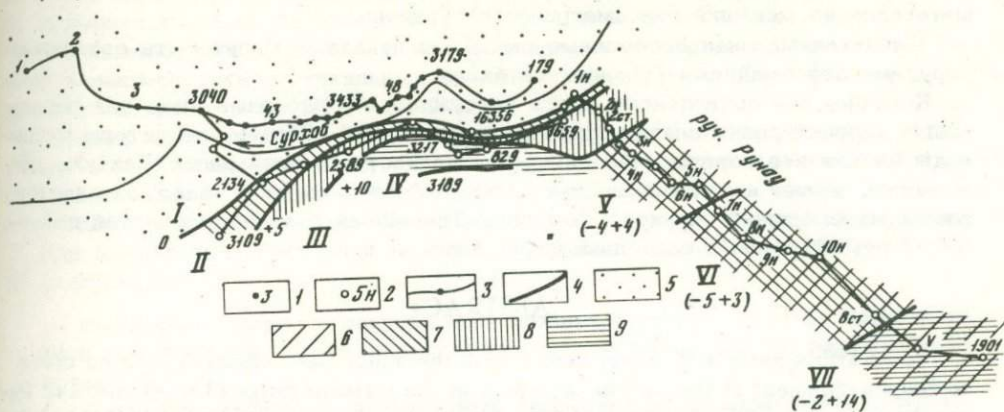


Рис. 4. Схема вертикальных смещений земной поверхности на малом Гармском полигоне

1, 2 — реперы; 1 — скальный; 2 — грунтовый; 3 — линия нивелирования;
4 — линии равных скоростей; 5—9 — скорости смещения блоков (в мм/год):
5 — 0, 6 — $0 \div -5$, 7 — $0 \div +5$, 8 — $+5 \div +10$, 9 — $+10 \div +15$

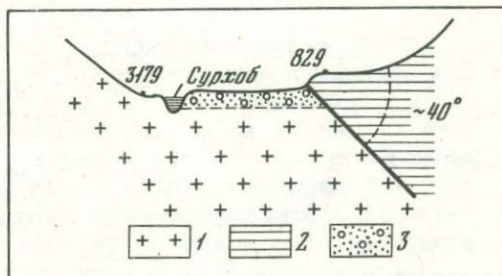
Описание блоков I—VII см. в тексте

линий с центрального пункта (точка 0). В 1974 г. были измерены линии 0—4, 0—5 и 0—8, в 1975 и в 1976 гг. измерялись все линии. Оценить действительную точность измерения линий пока невозможно, а формальная оценка интереса не представляет. Учитывая все "за" и "против", можно полагать, что ошибка измерения линии около ± 15 мм (примерно $1 \cdot 10^{-6}$). Будем полагать, что мы близки к истине, и исходя из этого, рассмотрим результаты измерений. С этих позиций можно полагать, что действительные смещения относительно центральной точки испытали пункты 5, 6 и 7. Значительные одно-сторонние смещения пункта 6, выявленные в течение двух годичных интервалов, а также значительное смещение пункта 5 в том же направлении, дают основание предполагать, что выявлен блок земной коры (назовем его Вахшским), который относительно прилегающих к нему участков земной коры смещается на несколько сантиметров в год вдоль Гиссаро—Кокшаальского разлома. Вполне вероятно, что северо-восточная граница этого блока связана с долиной р. Обихингоу, разделяющей торцевые части хребтов Вахшского и Петра Первого. В своей средней части Обихингоу течет в юго-западном направлении вдоль системы хребта Петра Первого, а затем резко поворачивает на северо-запад и сечет хребет. Можно полагать, что будущие исследования в большой деформационной сети могут дать материал для проверки существующей гипотезы о тектоническом происхождении долины Обихингоу.

Наличие в рассматриваемой разломной зоне блоков земной коры, смещающихся вкрест действия сжимающих субгоризонтальных напряжений, не должно вызывать удивлений. Если разломную зону уподобить образцу, раздавливаемому прессом со стенками, стоящими под углом друг к другу (клином), то можно полагать, что мы имеем дело с выдавливанием материала в сторону расширя-

Рис. 5. Схема тектонического контакта Гиссарского блока с разломной зоной на малом Гармском полигоне по геодезическим данным

1 — протерозойские породы Гиссарского блока; 2 — мезозойско-кайнозойские породы зоны; 3 — валунно-галечниковый аллювий



ющейся части клина. В конкретных условиях это также еще и перемещение материала на меньший гипсометрический уровень.

Значительные знакопеременные смещения пункта 7 могут быть связаны с упругими деформациями Гиссарского блока.

Конечно, все приведенные здесь рассуждения — это лишь пища для раздумий и корректировки планов будущих исследований. Делать окончательные выводы нельзя и в первую очередь из-за краткости эксперимента. Как уже отмечалось выше, нашей ближайшей целью является изучение закономерностей взаимных смещений структур Памира и Тянь-Шаня и закономерностей деформаций земной коры в разделяющей их зоне.

ABSTRACT

The Earth's surface displacement within the minor Garm test area located close to Garm settlement at the foot of the spurs of the Guissar range (Tien-Shan) and Peter the First ridge (the Pamirs and Tien-Shan conjunction zone) and overlapping the zone of tectonic contact of mentioned structures is realized with the velocity of about 20 mm/year along the surface inclined to the horizon under the angle of about 40°. Within the major Garm test area — a geodetic network, connecting the axial parts of the ridges of Peter the First, Vakhsh and Karategin ridge spurs — displacements are observed for several centimeters per year of the points of the Vakhsh ridge in southwestern direction along the Guissar-Kokshaal fault.

ЛИТЕРАТУРА

1. Певнев А.К., Гусева Т.В., Одиноев Н.Н., Сапрыкин Г.В. Regularities of the Earth's crust of the joint of the Pamirs and Tien-Shan. — *Tectonophysics*, 1975, vol. 29.
2. Певнев А.К., Гусева Т.В., Одиноев Н.Н. и др. Закономерности деформаций земной коры на стыке Памира и Тянь-Шаня. — В кн.: *Современные движения земной коры*. Братислава: Изд-во ЧАН, 1977.
3. Трифонов В.Г. Позднечетвертичные разрывные нарушения Западной и Центральной Азии по данным дешифрирования аэрокосмических снимков и наземным наблюдениям. *Изв. вузов. Геология и разведка*, 1976, № 11.
4. Широкова Е.И. О напряжениях, действующих в очагах землетрясений Средней Азии. — *Изв. АН СССР. Сер. геофиз.*, 1961, № 6.
5. Широкова Е.И. Детальное изучение напряжений и разрывов в очагах землетрясений Средней Азии. — *Изв. АН СССР. Физика Земли*, 1974, № 11.
6. Крестников В.Н., Штанга Д.В. О зоне Памиро-Гималайского глубинного разлома. — *Изв. АН СССР. Физика Земли*, 1977, № 7.
7. Певнев А.К., Гусева Т.В., Никифорова О.Д. О нестационарном характере вертикальных смещений земной поверхности на Гармском геодинамическом полигоне. — *Изд-во АН ЭССР*, 1973, № 5.

УДК 528.48:551.24

В.М. СИГАЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Работы на геодинамических полигонах в районе Алма-Аты ведутся с 1968. Для изучения современных движений земной поверхности и установления их связи с сейсмичностью в исследовании включена вся сейсмоопасная зона Северного Тянь-Шаня, на которой созданы два полигона: Региональный площадью около 60 тыс. км² — для изучения вертикальных движений, и Малый Алма-Атинский площадью 400 м² — для изучения вертикальных и горизонтальных движений. Места расположения полигонов и их границы выбраны с учетом сейсмичности, геолого-морфологического и тектонического строения района.

На территории Регионального полигона нивелирные сети I и II классов бы-

ли проложены с 1935 по 1956 г. В 1970-1974 гг. была увеличена густота нивелирных знаков до одного на 4 пог.км, выполнено двукратное высокоточное нивелирование, проведена математическая обработка измерений и получены характеристики вертикальных движений земной коры. Общая протяженность нивелирных трасс около 1700 пог.км.

Средняя квадратическая погрешность проложенного нивелирования, подсчитанная по невязкам полигонов, в нивелировании I класса не превышает $\pm 0,4$ мм/км, в нивелировании II класса - $\pm 3,0$ мм/км, что указывает на высокую точность и пригодность этих работ для исследования современных вертикальных движений.

Для выявления характера и величин деформаций земной коры было проделано следующее:

вычислены скорости современных движений земной коры по всем трассам значительной протяженности Регионального полигона за различные периоды;

построены графики относительных скоростей по каждой линии и выполнено сопоставление направленности и величин скоростей вертикальных движений с гипсометрическими профилями трасс и положением тектонических разломов;

изучен характер изменений вертикальных движений в районах происшедших за данный период сильных землетрясений;

составлена карта относительных скоростей вертикальных движений земной коры Северного Тянь-Шаня на эпоху 1972 г.

Сопоставление величин скоростей вертикальных движений на 10 линиях протяженностью от десятков до сотен километров показало неравномерность этих движений во времени, их дифференцированный характер, связь направленности движений с тектоническим строением и морфологией трасс. Удалось убедительно подтвердить корреляцию вертикальных движений с теорией тектонических землетрясений [1].

На основе анализа вертикальных движений в зонах происшедших в тот или иной период землетрясений (Джамбул, 1971., Алма-Ата, 1968-1975 гг.) [2,3] был подтвержден вывод Ю.А. Мещерякова [4] о трех типах современных вертикальных движений земной коры в сейсмических районах. Отмечая доказанную в настоящее время связь вертикальных тектонических движений с сейсмичностью, следует подчеркнуть, что, как указано Л.А.Кашинным [5], "...графики накопления разностей превышений, корреляционно связанные с профилем местности, характеризуют неравномерность современных вертикальных движений земной коры" (с. 345). Основные результаты наших исследований были опубликованы [2, 3, 6, 7]. Здесь же приведены новые данные и общие итоги первой очереди работ за 1968-1976 гг.

12. II 1975 г. на восточном участке полигона, к югу от пос. Чилик, произошло Турайгырское землетрясение с $K=13$. Благодаря планомерным геодезическим работам нам удалось хорошо проследить подготовку этого землетрясения, исследовать характер вертикальных движений до и после землетрясения в районе эпицентра и на значительном удалении от него, используя при этом результаты нивелирования II класса 1956, 1972, 1974 и 1976 гг.

При составлении карты относительных скоростей вертикальных движений земной коры Северного Тянь-Шаня [3] на эпоху 1972 г. была совместно обработана наряду с остальными линия Чилик - Беловодск (нивелировки 1956 и 1971 г., проходящая через эпицентр будущего землетрясения 12. II 1975 г. Скорости в районе Чилика (до -14 мм/год) оказались в этот период самыми большими, и на основе сопоставления их с величиной скорости, отмеченной при подготовке Джамбульского землетрясения 1971 г., была сделан вывод, что они аномальны.

В 1974 г. нивелирование всех линий Регионального полигона было повторено. В результате отмечено, что на большинстве линий скорости резко возросли: по трассе Чилик - Беловодск они достигли 160 мм/год, по линии Алма-Ата - оз. Иссык-Куль - 32 мм/год (вместо 5 мм/год по данным за

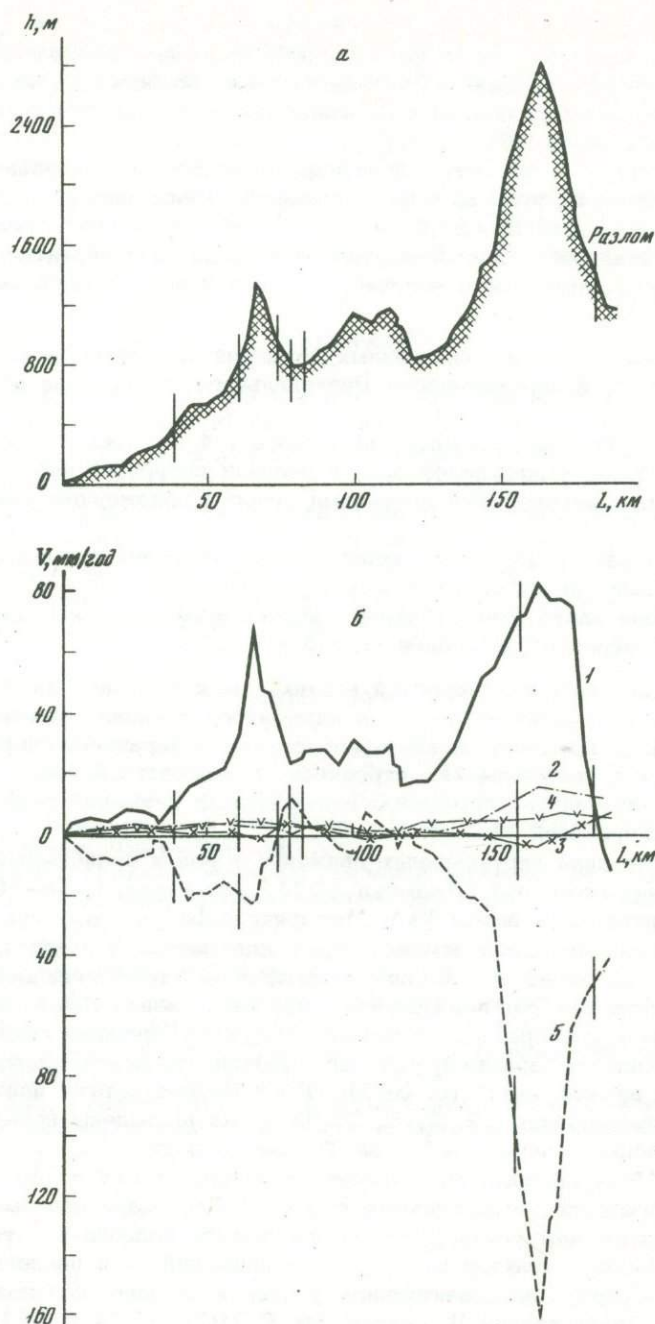


Рис. 1. Гипсометрический профиль (а) и график относительных скоростей вертикальных движений (б) по линии Чилик-Беловодск

Периоды наблюдений: 1 - 1974-1976 гг.; 2 - 1956-1972 гг.; 3 - 1956-1974 гг.; 4 - 1956-1976 гг.; 5 - 1972-1974 гг.

1956-1971 гг.), по трассе Отар - Сюеты - -5 мм/год (вместо 1мм/год, отмеченных ранее). Все три названных линии имеют меридиональную ориентировку и проложены вкрест морфоструктурным элементам и основным разломам

По трассе Алма-Ата - Чилик - Таскарасу протяженностью 250 км, имеющей широтное направление, параллельное главному (Заилийскому) разлому, в период 1971-1974 гг. также зафиксированы большие вертикальные движе-

ния, до 13 мм/год (вместо 8 мм/год по данным 1956–1971 гг.). На всех перечисленных трассах в этот период имела место отрицательная корреляция направленности движений и форм рельефа.

После землетрясения было повторено нивелирование трассы Чилик – Беловодск и часть линии Алма-Ата – Иссык-Куль. В обоих случаях направленность движений изменилась..

На основании этих данных можно предположить, что подготовка к землетрясению 13 энергетического класса проявилась в исследуемом районе на значительных территориях, удаленных от эпицентра до 150 км. Предвестники землетрясения были представлены и величиной, и направленностью вертикальных движений.

Сопоставляя графики скоростей с профилем трассы (рис. 1), видим, что в 1956–1972 гг. в основном направленность вертикальных движений, где они проявлялись активно, соответствовала формам рельефа. В 1972–1974 гг. по всей линии скорости резко возросли; их дифференциация по величине хорошо коррелируется с морфоструктурой, подтверждая принцип неравномерности, согласно данным Л.А.Кашина [5]; направленность движений не соответствует формам рельефа.

В послесейсмический период движения вновь приобрели унаследованный характер, полностью согласуясь с рельефом местности, а места смены знака приурочены к тектоническим разломам.

Из анализа рис. 2 следует, что в период с 1956 по 1972 г. имели место β -движения – предвестники землетрясения, суммированные с фазой α^1 . Зафиксированное с октября 1974 г. изменение направленности и резкое возрастание скорости, согласно Найоми и Иохиро (русский перевод [8]), представляет собой фазу γ_1 – процесс медленного скольжения по плоскости сдвига, завершившийся землетрясением. Нивелирование 1976 г. включило в себя конверсивную фазу δ_1 , перешедшую в фазу α .

Приведенный пример показывает, что открытые в настоящее время закономерности вертикальных движений в сейсмических районах позволяют ставить вопрос о прогнозе землетрясений, который, естественно, должен решаться на основании комплексного подхода к этой проблеме. Геодезическими методами можно заблаговременно выявить районы с аномальными движениями земной коры, и здесь важен именно региональный подход, так как установить даже примерно район будущего эпицентра возможно только при изучении значительных сейсмоопасных территорий.

Малый полигон включает г. Алма-Ата и его окрестности. Он расположен в зоне сочленения Илистой депрессии с северным склоном хребта Заилийского Алатау. Территория полигона характеризуется сложным многоблоковым тектоническим строением и высокой сейсмичностью. Цель ведущихся здесь исследований – изучение вертикальных и горизонтальных составляющих современных движений земной коры, их связей с сейсмичностью и совершенствование методики микросейсмораионирования.

Нивелирная сеть, охватывающая весь город, имеет периметр 190 пог. км и закреплена через 1 км грунтовыми реперами. Точность ее, подсчитанная по невязкам полигонов по каждому циклу, характеризуется средней квадратической погрешностью не более $\pm 0,8$ мм/км.

Для исследования полных векторов движений земной коры на этой же территории в 1972 г. создана геодезическая сеть из 30 пунктов, в которой измеряются все углы и все стороны. Средняя длина сторон сети 7,7 км. По состоянию на 1. I 1976 г. в геодезической сети выполнено три цикла угловых, линейных и высотных измерений.

Углы измерялись теодолитами Т-05 с весом 36, каждая линия – двумя светодальномерами "Кварц" общим числом приемов, равным 32.

Средняя квадратическая погрешность измерений углов не превышает $\pm 0",35$, а точность определения линий, подсчитанная по разностям измеренных и вы-

¹ $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – фазы современных движений земной коры.

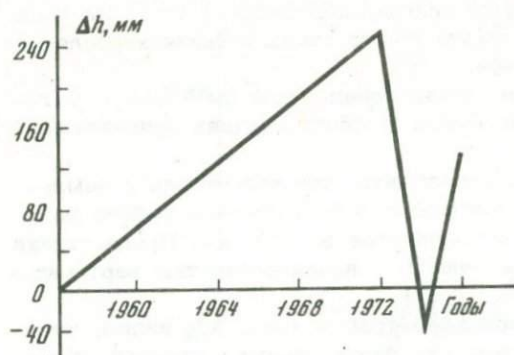


Рис. 2. График изменения характера вертикальных движений земной коры в районе Турайгырского землетрясения 12. II 1975 г.

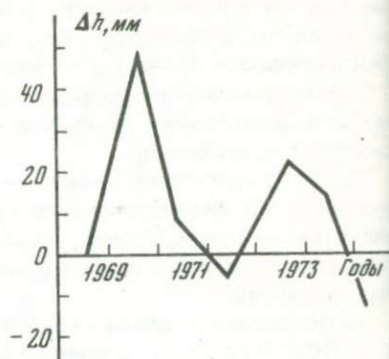


Рис. 3. График изменения характера вертикальных движений земной коры на одном из профилей г. Алма-Ата

численных углов, характеризуется погрешностью $< \pm 14$ мм, случайная погрешность нивелирования II класса порядка ± 1 мм/км. Однородность результатов каждого вида измерений в различных циклах подтверждена допустимостью критерия Фишера при уровне значимости 2%.

Благодаря высокой точности построенных сетей создана эпоха, с которой можно сравнивать все геодезические измерения, предназначенные для определения деформаций земной поверхности в исследуемом районе. К настоящему времени получен большой объем данных о вертикальных движениях в районе г. Алма-Ата. Расстояние между крайними профилями — 15 км. При сравнении вертикальных движений земной коры по этим трассам установлена согласованность графиков между собой, квазипериодический характер движений и связь изменения направленности и интенсивности с зарегистрированной в исследуемый период сейсмичностью.

На рис. 3 показаны изменения характера вертикальных движений за период с 1968 по 1974 г., включительно. Вертикальные движения с 1968 по 1971 г. коррелируются с Сарыкамьшским землетрясением 1970 г., имевшим в Алма-Ате 5-балльный эффект.

В течение 1972 г. направленность вертикальных движений соответствовала фазе α . С 1973 г. знак движений сменился на обратный. Как отмечено выше, по данным, полученным на Региональном полигоне сопоставлением нивелировок 1974 и 1972 гг., также установлено изменение знака движений, объясняемого Турайгырским землетрясением 1975 г. И в этом случае можно предположить, что причиной изменения направленности движений является названное землетрясение.

В последнее время результаты изучения вертикальных движений, полученные по густой сети нивелирования на территории городов, стали использоваться в целях микросейсмрайонирования [9]. Суть использования результатов повторного нивелирования в этом случае заключается в том, что, анализируя места перемены знака вертикальных движений по отдельным линиям и интенсивность движений, можно установить или уточнить наличие и положение тектонических разломов и определить их относительную активность.

Исследование вертикальных движений по результатам многократного нивелирования показывает, что на некоторых реперах во всех случаях происходит изменение или направленности, или интенсивности движений, что может свидетельствовать о наличии тектонических разломов.

Этот метод применен на примере многократного нивелирования в г. Алма-Ата. Наложение реперов на карту неотектоники Алма-Атинского района подтвердило эти предположения. В то же время отчетливо выделяются линии перемены знака движений, не совпадающие с разломами, установленными гео-

лого-геофизическими методами. В данном случае на наличие разлома указывают данные геодезических измерений.

В результате обработки трех циклов линейно-угловых измерений, выполненных в 1972, 1973 и 1974 гг., получены первые представления о характере горизонтальных составляющих современных движений земной поверхности в исследуемом районе. Определены величины векторов для разностей 1973-1972 гг., 1974-1973 гг. и 1974-1972 гг.

В первом интервале (1972-1973 гг.) величины смещений достигали $165 \text{ мм} \pm 76 \text{ мм}$. При этом явно выражено увеличение скалярных величин векторов пунктов, расположенных южнее Алма-Атинского регионального разлома. Ориентировка векторов северо-восточная (от 22 до 100°), соответствующая направленности основных разломов. Во втором интервале (1973-1974 гг.) величины смещений уменьшились в среднем в 2 раза и не превышали 82 мм , но опять отмечается их резкое возрастание для пунктов, расположенных южнее Алма-Атинского разлома. Азимуты векторов у подавляющего числа пунктов изменились незначительно (в пределах 10°).

Учитывая, что скалярные величины большинства векторов в два и более раза превышают погрешности их определения, можно предположить, что в результате выполненных работ установлено наличие горизонтальных движений.

Этот факт подтверждается корреляцией ориентировки векторов с направлением тектонических разломов. Анализ направленности горизонтальных смещений пунктов, расположенных севернее и южнее Алма-Атинского разлома, разделяющего равнину и предгорье, а также изменение непосредственно измеренных длин линий, пересекающих названный разлом, указывает на наличие общего горизонтального сжатия, соответствующего процессу горообразования.

Выполненное трехкратное нивелирование по пунктам геодезической сети установило значительные (до 130 мм) вертикальные движения за этот период, причем направленность движений в период 1972-1973 гг. была положительной, а в следующем цикле (1973-1974 гг.) она изменилась. Особо следует подчеркнуть, что как вертикальные, так и горизонтальные составляющие современных движений земной коры, определенные на пунктах геодезической сети, за периоды 1972-1973 и 1973-1974 гг., изменялись согласованно: во втором периоде они уменьшились почти в два раза. Это, по нашему мнению, является еще одним подтверждением наличия и горизонтальных движений в исследуемом районе, хотя их величины подлежат дополнительному определению.

Таким образом, проведенные исследования современных движений земной поверхности в районе г. Алма-Ата показали их значительную интенсивность, связь с сейсмичностью и тектоникой.

Сейчас выполняется программа второй очереди работ, рассчитанная на 1976-1980 гг. Она предусматривает ежегодное нивелирование I класса на Малом полигоне, два цикла определения полных векторов движений земной коры в Алма-Ате, в районе рассмотренного Турайгырского землетрясения 1975 г. и в зоне эпицентра катастрофического Кабинского землетрясения 1911 г.

Таким образом, планомерные работы по исследованию вертикальных и горизонтальных современных движений земной коры, проводимые в Алма-Ате и других районах Северного Тянь-Шаня, дают количественные характеристики тектонической активности и в комплексе с другими науками о Земле будут способствовать решению проблемы прогноза землетрясений и совершенствованию методики микросейсмрайонирования.

ABSTRACT

To study recent movements of the Earth's surface and their connections with seismicity the whole seismic territory of Tien-Shan is covered by investigations. An analysis of values of vertical movement velocities by the data of numerous levelling revealed irregularity of these movements in time, correlation of their values with the profile of locality and sign alternation. Detailing of phases of vertical movements in the regions of earthquakes is confirmed. By the results of linear-angular measurements an assumption is made on the presence of active horizontal movements.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стейси Ф. Физика Земли. М.: Мир, 1972.
2. Сигалов В.М. О характере современных вертикальных движений земной коры в районах землетрясений. - Геодезия и картография, 1974, № 1.
3. Сигалов В.М. О характере вертикальных движений земной коры в Северном Тянь-Шане. - В кн.: Сейсмическое микрорайонирование. Алма-Ата: Наука, 1976.
4. Мещеряков Ю.А. Изучение вертикальных движений земной коры и проблема прогноза землетрясений. - В кн.: Современные движения земной коры. М.: Наука, 1963, № 3.
5. Кашин Л.А. О постановке изучения современных движений земной коры геодезическими методами. - В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1973, № 5.
6. Сигалов В.М. Анализ вертикальных движений земной коры на Алма-Атинском геодинамическом полигоне. - Там же.
7. Сигалов В.М. Геодезические работы по изучению современных движений земной коры на геодинамическом полигоне в Северном Тянь-Шане. - В кн.: Поиски предвестников землетрясений на прогностических полигонах. М.: Наука, 1974.
8. Состояние и перспективы развития геодезических работ в сейсмоопасных районах для целей сейсмологии и сейсмостойкого строительства. М.: ЦНИИГАиК, 1976.
9. Остропико П.А., Антоненко Э.М., Антрушкевич П.А. Изучение современных движений земной коры для целей сейсмического микрорайонирования. - В кн.: Сейсмическое микрорайонирование. Алма-Ата: Наука, 1976.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
I. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ	
П. Выскочил. Состояние и результаты изучения современных движений земной коры на геодинамических полигонах в различных странах мира	7
И.П. Герасимов. Геодинамика современного рельефа земной поверхности и ее проявления	14
А.С. Григорьев, А.В. Михайлова, Д.Н. Осокина, Н.Ю. Цветкова, З.Е. Шахмурадова. Некоторые вопросы тектонофизической интерпретации современных движений	19
Л.П. Пеллинен. Современное состояние и перспективы планетарных геодинами- ческих исследований	35
Э.Э. Фотиади, П.П. Колмогорова, В.Г. Колмогоров, А.В. Лацыйни, С.А. Тычков. Современные вертикальные движения, изостазия и плотностная неоднородность литосферы Южной Сибири	45
В.Е. Хаин. Неомобилизм и современные движения	51
II. КАРТЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ	
В.Г. Колмогоров, П.П. Колмогорова. Карта современных вертикальных дви- жений земной коры южной части Сибири	56
Т.П. Корокина. Проблемы составления и обработки геодезической основы Кар- ты современных вертикальных движений земной коры на территорию Закав- казья, Казахстана и Средней Азии	62
Д.А. Лилиенберг. Опыт комплексного картирования современной геодинамики (на примере Азербайджанской ССР)	65
Д.А. Лилиенберг, Л.Е. Сетунская. Проблемы содержания, типологии и мето- дики составления карт современных тектонических движений	76
III. СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА И РЕЛЬЕФ	
С.К. Горелов, Р.Е. Переслегина, С. Тагиев, С.С. Челпанов. Выражение современных движений земной коры в интенсивности и динамике развития эк- зогенных процессов (на примере Центрального Копетдага)	85
Л.К. Зятькова. Методы структурно-геоморфологических исследований современ- ных тектонических движений с использованием аэрокосмических материалов	90
Г.А. Мавлянов, Д.Х. Якубов, А.Р. Ярмухамедов, Г.Ф. Тетюхин. О четвер- тичной и современной активизации тектонических движений в Центральном Кызылкумах	94
Е.Я. Рандман. Выявление морфоструктурных узлов как метод сравнительного анализа современных движений в сейсмоактивных горных странах	99
Л.Р. Серебрянный, Л.Е. Сетунская. Основные закономерности современной тектоники северо-запада Русской платформы	103
IV. СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА И ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ	
Х.Х. Сильдвэе, А.М. Мийдел. Опыт применения геолого-геофизических мето- дов для интерпретации современных движений земной поверхности на террито- рии Эстонии	110
Э.Э. Фотиади, Н.П. Есиков, П.А. Остропики, С.И. Кесельман. Некоторые особенности развития современных деформаций приповерхностной части земной коры	114

Э.Э. Фотиади, Н.П. Есиков, В.Г. Колмогоров, П.П. Колмогоров, С.И. Кесельман, Современные деформации приповерхностной части земной коры Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий	119
--	-----

V. СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА И УРОВЕНЬ МОРЯ

Р.К. Клиге: Вертикальные движения берегов и дна Мирового океана	125
С.В. Победоносцев. Современные вертикальные движения земной коры побережья морей Азиатской части СССР	129

VI. КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ И В ОТДЕЛЬНЫХ РЕГИОНАХ

Н.С. Благоволин, С.К. Горелов, В.А. Филькин, Е.А. Финько. Значение, методика и результаты геоморфологических исследований на геодинамических полигонах	134
Н.Ф. Василенко, В.К. Захаров, И.М. Конопальцев, Г.Г. Якушко. Изучение горизонтальных движений земной коры на островах Сахалин и Шикотан	141
М.К. Курбанов, В.И. Лыков, Б.И. Гаипов, А.И. Старченко, С.С. Челпанов, Э.Л. Шиханович. Направление и результаты комплексных исследований современной тектонической активности на Ашхабадском геодинамическом полигоне	147
Д.А. Лилиенберг. Современная геодинамика и морфоструктурная дифференциация Кубинского архипелага (в свете новых геодезических и геоморфологических данных)	152
Д.А. Лилиенберг, О.Д. Гусейнзаде, Ф.Т. Кулиев, Н.Ш. Ширинов, В.Р. Ященко. Комплексные исследования современных тектонических движений на геодинамических полигонах Азербайджана	165
В.И. Сомов, Г.Т. Собакар, И.Ш. Рахимова. Современная динамика земной коры Украины	175
А.К. Певнев, <u>Н.Н. Одинёв</u> , Т.В. Гусева, Ю.А. Давыденко, В.А. Белокопытов, С.М. Баранова. О движениях земной поверхности на территории Гармского геодинамического полигона	179
В.М. Сигалов. Исследование современных движений земной поверхности на геодинамических полигонах Северного Тянь-Шаня	184

CONTENTS

Foreword	5
--------------------	---

I. GENERAL PROBLEMS OF STUDIES OF MODERN TECTONIC MOVEMENTS

P. Vyskočil. The state of knowledge and results of studies of recent crustal movements at geodynamic test-areas in different countries of the world	7
I.P. Gerasimov. Geodynamics of the modern relief of the Earth's surface and its manifestation	14
A.S. Grigoryev, A.V. Mikhailova, D.N. Osokina, N.Yu. Tsvetkova, Z.E. Shakhmuradova. Some questions of tectonophysical interpretation of recent movements	19
L.P. Pellinen. Modern state and prospects of planetary geodynamic studies	35
E.E. Fotiadi, P.P. Kholmogorova, V.G. Kholmogorov, A.V. Ladynin, S.A. Tytchkov. Recent vertical movements, isostasy and density inhomogeneity of the lithosphere in Southern Siberia	45
V.E. Khaïn. Neomobilism and recent crustal movements	51

II. MAPS OF MODERN TECTONIC MOVEMENTS

V.G. Kholmogorov, P.P. Kholmogorova. The map of recent vertical crustal movements of the Southern part of Siberia	56
---	----

T.P. Korokina. Problems of compilation and processing of the geodetic basis of the map of recent vertical crustal movements at the territory of Trans-Caucasus, Kazakhstan and Central Asia	62
D.A. Lilienberg. An experience of complex mapping of modern geodynamics (by the example of the Azerbaidzhan SSR)	65
D.A. Lilienberg, L.E. Setunskaya. Problems of content, typology and methodology of compilation of maps of modern tectonic movements	76

III. MODERN GEODYNAMICS AND RELIEF

S.K. Gorelov, P.E. Pereslegina, S. Tagiev, S.S. Tschelpanov. Recent crustal movements and intensity expressed in the dynamics of the development of exogenous processes (by the example of Central Kopet-Dag)	85
L.K. Zyat'kova. Methods of structural-geomorphological studies of modern tectonic movements with the use of aerocösmic materials	90
G.A. Mavlyanov, D.Kh. Yakubov, A.R. Yarmukhamedov, G.F. Tetukhin. On the Quaternary and modern activation of tectonic movements in Central Kyzylkums	94
E.Ya. Rantsman. Revelation of morphostructural knots as a method of comparative analysis of recent movements in seismo-active mountain countries	99
L.R. Serebryanny, L.E. Setunskaya. Main regularities of modern tectonics of the North-West of the Russian platform	103

IV. MODERN GEODYNAMICS AND DEEP STRUCTURE

Kh.Kh. Sildvee, A.M. Miidel. An experience of application of geological-geophysical methods for interpretation of recent crustal movements at the Estonian territory.	110
E.E. Fotiadi, N.P. Esikov, P.A. Ostropiko, S.I. Keselman. Some peculiarities of the development of modern deformations of near the surface part of the Earth's crust	114
E.E. Fotiadi, N.P. Esikov, V.G. Kolmogorov, P.P. Kolmogorova, S.I. Keselman. Modern deformations of near the surface part of the Earth's crust of the Baikal rift zone and contiguous territories	119

V. MODERN GEODYNAMICS AND SEA LEVEL

R.K. Klige. Vertical movements of the shores and the floor of the World Ocean	125
S.V. Pobedonostsev. Recent vertical crustal movements of the sea-shore in the Asian part of the USSR	129

VI. COMPLEX STUDIES AT GEODYNAMIC TEST-AREAS AND IN INDIVIDUAL REGIONS

N.S. Blagovolin, S.K. Gorelov, V.A. Filkin, E.A. Finko. Significance, methods and results of geomorphological studies at geodynamic test-areas	134
N.F. Vasilenko, V.K. Zakharov, I.M. Konopaltsev, G.G. Yakushko. Studies of horizontal crustal movements on the Sakhalin and Shikotan islands	141
M.K. Kurbanov, V.I. Lykov, B.I. Gaipov, A.I. Startchenko, S.S. Tschelpanov, E.L. Shikhanovitch. Direction and results of complex studies of modern tectonic activity at Ashkhabad geodynamic test-area	147
D.A. Lilienberg. Recent geodynamics and morphostructural differentiation of the Cuban Archipelago (in the light of new geodetic and geomorphological data)	152
D.A. Lilienberg, O.D. Guseinzade, F.T. Kuliev, N.Sh. Shirinov, V.R. Yashtchenko. Complex studies of modern tectonic movements at geodynamic test-areas in Azerbaidzhan	165
V.I. Somov, G.T. Sobakur, I.Sh. Rakhimova. Modern dynamics of the Earth's crust in the Ukraine	175
A.K. Pevnev, N.N. Odinev, T.V. Guseva, Yu .A. Davydenko, V.A. Belokopytov, S.M. Baranova. On the Earth's surface movements at the territory of the Garm geodynamic test-areas	179
V.M. Sigalov. Studies of modern movements of the Earth's surface at geodynamic test-areas of the Northern Tien-Shan	184

Высочил П. Состояние и результаты изучения современных движений земной коры на геодинамических полигонах в различных странах мира. — В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 7–13.

Комплексное изучение современных движений земной коры на геодинамических полигонах как ограниченных модельных участках характеризуется высокой эффективностью в научном, методическом и экономическом отношении; рассматриваются результаты исследований на различных полигонах в Америке, бассейне Тихого океана, Юго-Восточной Азии, Африке, Западной и Восточной Европе.

Ил. 1, библиогр.: с. 13 (6 назв.).

УДК 551.24

Герасимов И.П. Геодинамика современного рельефа земной поверхности и ее проявления. — В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 14–18.

Геоморфологические (морфоструктурные) исследования являются базой комплексного изучения современной геодинамики земной коры. Недочет этих данных снижает эффективность научного анализа. Поэтому в новый Международный геодинамический проект следует включить раздел о геодинамике современного рельефа. Необходимо усилить теоретические аспекты исследований с учетом последних достижений теории глобальных литосферных плит и строения океанов. Особенно актуальны проблемы взаимосвязи современных движений с морфоструктурами, геодинамическими полями, экзогенными рельефообразующими процессами, вопросы механизма и прогноза этих движений, сопоставление специальных прогнозных карт.

Библиогр.: с. 18 (7 назв.).

УДК 550.3:551.24.035:551.1/528

Григорьев А.С., Михайлова А.В., Осокина Д.Н., Цветкова Н.Ю., Шахмурадова З.Е. Некоторые вопросы тектонофизической интерпретации современных движений. — В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 19–34.

Рассматриваются связи характеристик современных движений земной поверхности с напряженным состоянием и нарушениями сплошности земной коры. Теоретическим путем и с помощью моделирования исследовано напряженное состояние и скорости перемещений слоя над смешивающимися блоками фундамента; изучены также нарушения сплошности. С помощью моделирования и теоретического анализа изучено локальное поле напряжений в окрестностях тектонического разрыва. Дан прогноз возможных вторичных нарушений, обусловленных локальным полем напряжений, и отвечающих им перемещений.

Ил. 8, библиогр.: с. 34–35 (12 назв.).

УДК 551.24

Пеллинен Л.П. Современное состояние и перспективы планетарных геодинамических исследований. — В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 35–45.

Дается классификация геодинамических явлений в зависимости от их проявления во времени и пространстве. Приводятся сведения о современном состоянии и перспективах исследований таких ожидаемых геодинамических явлений, как вариации в положении центра масс и осей инерции Земли, изменения поверхности морей и океанов и отклонение формы Земли от геоида, неприливные вариации геопотенциала, релятивистские космогонические эффекты.

Табл. 1, ил. 2, библиогр.: с. 44–45 (32 назв.).

УДК 550.312:551.242 (571.1/5)

Фотиади Э.Э., Колмогорова П.П., Колмогоров В.Г., Ладынин А.В., Тычков С.А. Современные вертикальные движения, изостазия и плотностная неоднородность литосферы Южной Сибири. - В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 45-51.

На основе комплексного анализа скоростей современных вертикальных движений земной коры, характеристик изостатического состояния новейших структур и распределения плотностных неоднородностей в литосфере, а также результатов математического моделирования процессов изостатического регулирования выдвигаются некоторые предположения о механизме формирования новейших структур и о природе современных движений земной коры Южной Сибири.

Ил. 3, библиогр.: с. 50-51 (14 назв.).

УДК 551.79:551.24:551.4

Хаин В.Е. Неомобилизм и современные движения. - В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 51-55.

Концепция неомобилизма (или новой глобальной тектоники плит) в последние годы стала частью общей теории развития Земли. Она возникла на новом уровне наших фактических и теоретических знаний строения земного шара. Решение исторического спора между фиксистами и мобилистами во многом зависит от привлечения новой информации и в первую очередь - о современных тектонических движениях. Речь идет о применении к тектонике метода актуализма (успешно используемого во всех других областях геологии) и о создании нового раздела тектоники - актуотектоники. Современные вертикальные и горизонтальные движения тесно взаимосвязаны. Если в изучении вертикальных движений достигнуты в последние годы большие успехи, то наши знания о современных горизонтальных движениях явно недостаточны. Очень важно поставить инструментальные исследования для всех типов сочленения литосферных плит - дивергентных, конвергентных и т.д., относительных перемещений континентов и т.п. Изучение современной геодинамики будет наиболее эффективным, если оно будет носить комплексный характер, во взаимосвязи с геологическими движениями разных эпох, морфоструктурами, геофизическими параметрами и глубинным строением.

Библиогр.: с. 55 (5 назв.).

УДК 551.242

Колмогоров В.Г., Колмогорова П.П. Карта современных вертикальных движений земной коры южной части Сибири. - В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 56-62.

Приведены результаты обобщения, систематизации и анализа данных повторно-го нивелирования Западной и Восточной Сибири. На основе анализа составлена схематическая карта современных вертикальных движений земной коры юга Сибири. Дано краткое описание закономерности площадного распределения скорости движений, связанной с крупными морфоструктурными областями Сибири: Западно-Сибирской плитой, Сибирской платформой, Алтае-Саянской горной страной, Байкальским сводовым поднятием и Забайкальской складчатой областью.

Табл. 2, ил. 2, библиогр.: с. 62 (6 назв.)

УДК 528.3:551.24

Корокина Т.П. Проблемы составления и обработки геодезической основы Карты современных вертикальных движений земной коры на территорию Закавказья, Казахстана и Средней Азии. - В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 62-65.

Сформулированы некоторые из основных задач, возникающих при составлении Карты современных вертикальных движений земной коры на территорию Закавказья, Казахстана и Средней Азии. Показаны пути возможного решения этих задач.

Библиогр.: с. 65 (4 назв.).

УДК 528.9:551.24

Лилиенберг Д.А. Опыт комплексного картирования современной геодинамики (на примере Азербайджанской ССР). - В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 65-76.

Для выявления общих закономерностей современной тектоники наиболее эффективным является составление не одной карты, а серии карт, так как только комплексный подход может обеспечить объективные и надежные выводы. В этом отношении территория Азербайджана представляет собой интерес, так как она является высокодинамичной в альпийском орогенном поясе, достаточно хорошо и всесторонне изучена. Рассмотрена серия взаимосвязанных карт и основы их дальнейшей интерпретации.

Ил. 5, библиогр.: с. 75-76 (14 назв.).

УДК 528.9:551.24

Лилиенберг Д.А., Сетунская Л.Е. Проблемы содержания, типологии и методики составления карт современных тектонических движений. - В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 76-84.

На основании анализа существующих карт современных вертикальных движений земной коры дается их классификация. Выделено пять типов карт: направленности движений, их амплитуд, скоростей, градиентов скоростей, а также комплексные карты движений. Дается характеристика и примеры каждого типа карт. Особо подчеркивается важность разработки комплексных карт.

Ил. 5, библиогр.: с. 83-84 (30 назв.).

УДК 551.241:551.435

Горелов С.К., Переслегина Р.Е., Тагиев С., Челпанов С.С. Выражение современных движений земной коры в интенсивности и динамике развития экзогенных процессов (на примере Центрального Копетдага). - В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 85-90.

Результаты систематических инструментальных наблюдений в Центральном Копетдаге свидетельствуют о закономерной связи между перемещениями земной коры и русловыми процессами. Интенсивность эрозии нарастает на участках современных поднятий и резко убывает в зонах опусканий. Намечается закономерная связь между короткопериодическими колебаниями земной поверхности и динамикой русловых процессов, что позволяет использовать геоморфологические данные для прогноза современных вертикальных движений земной коры в данном регионе.

Ил. 3, библиогр.: с. 90 (3 назв.).

УДК 551.24

Зятькова Л.К. Методы структурно-геоморфологических исследований современных тектонических движений с использованием аэрокосмических материалов. - В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 90-94.

Исследования в Западной Сибири с применением геолого-геофизических, геоморфологических методов и дешифрирования аэрокосмических материалов позволили выявить наибольшую активизацию современных тектонических движений в районах стыков разнонаправленных глубинных разломов. В дальнейшем анализ дешифрирования аэрокосмических материалов необходим для выяснения динамики современных тектонических движений, оценки роли разломов в формировании современного структурного плана Западной Сибири.

Ил. 2, библиогр.: с. 94 (6 назв.).

УДК 551.248.2 (575)

Мавлянов Г.А., Якубов Д.Х., Ярмухамедов А.Р., Тетюхин Г.Ф. О четвертичной и современной активизации тектонических движений в Центральном Кызылкумах. — В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 94–98.

На основании геолого-геоморфологических, геодезических материалов, а также личных наблюдений авторов составлена схематическая карта четвертичной и современной активизации земной коры Центральном Кызылкумах. На карте выделены участки современных вертикальных движений, характеризующиеся скоростями менее 15 мм/год, 15 мм/год, 20 мм/год и более. К проявлениям современной тектонической активности также относятся участки трещиноватости, такыры, кластические дайки, солончаки. Известные пункты проявления трещиноватости приурочены к участкам повышенных градиентов новейших и современных движений; к пограничным зонам участков поднятий и опускания; к пересечению разломов, активизировавшихся в позднечетвертичное и голоценовое время.

Ил. 1, библиогр.: с. 98 (17 назв.).

УДК 551.4:551.24

Ранцман Е.Я. Выявление морфоструктурных узлов как метод сравнительного анализа современных движений в сейсмоактивных горных странах. — В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 99–103.

В работе рассмотрены основные принципы формализованного морфоструктурного районирования. При районировании выделяются участки с разной степенью активности современных тектонических движений. Оказалось, что наибольшей активностью обладают места пересечения линейных зон разного ранга и простирания — морфоструктурные узлы. К ним приурочены эпицентры всех сильных землетрясений ($M \geq 6,5$). Приведена схема морфоструктурного районирования Тянь-Шаня и Памира.

Ил. 1, библиогр.: с. 103 (10 назв.).

УДК 551.24 (471.2)

Серебрянный Л.Р., Сетунская Л.Е. Основные закономерности современной тектоники северо-запада Русской платформы. — В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 103–109.

Современные тектонические движения Северо-Запада СССР в целом обнаруживают унаследованность от голоценовых, новейших и более древних движений. Особенно четко она проявляется для крупных структурных элементов. Для элементов более низких порядков подобная унаследованность проявляется не всегда; даже в сопредельных районах нередко выражены различные соотношения древних и современных движений.

Ил. 2, библиогр.: с. 108–109 (24 назв.).

УДК 551.436.1 (474.2)

Сильдвэе Х.Х., Мийдел А.М. Опыт применения геолого-геофизических методов для интерпретации современных движений земной поверхности на территории Эстонии. — В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 110–114.

Сравнительным анализом геофизических материалов по разломной тектонике и строению фундамента и данных повторного нивелирования установлено, что дифференцированные современные движения приурочены к разломам или их зонам. Это доказываются и Осмусаарским землетрясением 1976 г., эпицентр которого расположен в месте пересечения двух зон разломов. В зонах разломов нередко расположены участки рек с аномальным падением. Недостаточная изученность тектонического строения Южной Эстонии не позволяет уверенно интерпретировать схему современных движений.

Ил. 2, библиогр.: с. 114 (9 назв.).

Фотиади Э.Э., Есиков Н.П., Остропики П.А., Кесельман С.И. Некоторые особенности развития современных деформаций приповерхностной части земной коры. — В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 114–119.

По данным многолетних повторных нивелировок на Алма-Атинском, Байкальском и Гармском геодинамических полигонах рассматривается развитие во времени компонент чистой деформации: наклона и изгиба конечных элементов земной поверхности. Выявлен ряд особенностей развития накапливаемого эффекта деформаций и их годовой интенсивности, в частности знакопеременная цикличность наклона на Алма-Атинском полигоне, однонаправленное развитие его на Гармском, цикличность изгиба в Усть-Селенгинской депрессии Байкальского полигона и др. Временной ход накопленного эффекта деформаций и их годовой интенсивности сопоставляется с развитием сейсмической активности. Установлена связь накапливаемого эффекта деформации в целом территории Алма-Атинского полигона с сейсмической активностью на уровне $K=10$. Развитие деформаций в Усть-Селенгинской депрессии протекало синхронно с изменением уровня общей активности района. Сильные землетрясения ($K=13, 14$) вблизи Гармского полигона приурочены ко времени спада годовой интенсивности деформаций земной поверхности.

Ил. 2, библиогр.: с. 119 (6 назв.).

УДК 551.242

Фотиади Э.Э., Есиков Н.П., Колмогоров В.Г., Колмогорова П.П., Кесельман С.И. Современные деформации приповерхностной части земной коры Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий. — В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 119–124.

Рассматриваются деформации изгиба и наклона земной поверхности по региональным профилям повторного нивелирования, секущим Сибирскую платформу, рифтовую зону и Прибайкалье. Установлено, что на асейсмичной платформе, характеризующейся чередованием деформируемых и недеформируемых участков, протяженностью 75–130 км, выделяются две зоны весьма интенсивного деформирования со скоростью, на порядок превышающей скорость деформации в рифтовой зоне. Наиболее интенсивным деформациям подвержен Хилок-Мозгонский участок Западно-Забайкальской глыбово-волновой зоны.

Табл. 1, ил. 2, библиогр.: с. 124 (9 назв.).

УДК 551.462.2:551.24

Клиге Р.К. Вертикальные движения берегов и дна Мирового океана. — В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 125–128.

Рассматривается возможность оценки современных вертикальных движений морских берегов по данным наблюдений за уровнем моря. Отмечается необходимость учета фазы длиннопериодных изменений морского уровня при исследовании вертикальных движений с помощью геодезического нивелирования. Дается оценка вертикального изменения дна океана за кайнозой.

Табл. 2, ил. 2, библиогр.: с. 128 (16 назв.).

УДК 551.46.2:551.24

Победоносцев С.В. Современные вертикальные движения земной коры побережья морей Азиатской части СССР. — В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 129–133.

По данным многолетних наблюдений над уровнем Азиатской части СССР произведено районирование морей по одинаковой величине колебания уровня. Определены девять районов для арктических и три — для дальневосточных морей. В каждом районе вычислены годовые величины вертикальных смещений, полученные как средние из годовых величин смещений пунктов, входящих в выделенный район моря. Хронологический ход этих смещений позволяет определить характер вертикальных движений, который для всех пунктов побережья морей Азиатской части СССР является колебательным.

Ил. 2, библиогр.: с. 133 (13 назв.).

УДК 551.241

Благоволлин Н.С., Горелов С.К., Филькин В.А., Финько Е.А. Значение, методика и результаты геоморфологических исследований на геодинамических полигонах. — В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 134-141.

Важнейшей задачей собственно геоморфологических исследований на геодинамических полигонах считается изучение медленных, или вековых, и быстрых, сейсмических, движений, т.е. выявление общего тектонического фона развития рельефа. Большое значение придается геолого-геоморфологической интерпретации геодезических данных с целью выявления тектонических и атектонических составляющих современных вертикальных движений. Охарактеризованы результаты и методика работ на Крымском, Гармском и Ашхабадском полигонах. Подчеркивается необходимость поисков геоморфологических индикаторов короткопериодических колебаний земной поверхности и освещается опыт подобных исследований на Ашхабадском полигоне.

Ил. 3, библиогр.: с. 140-141 (19 назв.).

УДК 528.3:551.241

Василенко Н.Ф., Захаров В.К., Конопальцев И.М., Якушко Г.Г. Изучение горизонтальных движений земной коры на островах Сахалин и Шикотан. — В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 141-146.

Рассматриваются методика и результаты линейно-угловых измерений двух плановых геодезических сетей на о-ве Сахалин и о-ве Шикотан. По результатам измерений 1974-1975 гг. на о-ве Сахалин получены относительные смещения пунктов и оценена их точность. Рассмотрены результаты повторных измерений двух линий, выполненных светодальномером СГ-3 на о-ве Шикотан в 1973 г. (дважды), 1974 и 1976 гг., и связь их с сильными землетрясениями, происходившими в районе Малой Курильской гряды. Описывается плановая сеть для более детального изучения горизонтальных движений и поиска предвестников землетрясений. Сделан предварительный расчет точности, на основе которого рекомендуется периодичность наблюдений сетей в целом, и их отдельных участков.

Табл. 2, ил. 2; библиогр.: с. 146 (8 назв.).

УДК 550.83

Курбанов М.К., Лыков В.И., Гаипов Б.И., Старченко А.И., Челпанов С.С., Шиханович Э.Л. Направление и результаты комплексных исследований современной тектонической активности на Ашхабадском геодинамическом полигоне. — В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 147-151.

Кратко описаны тектонические элементы полигона, системы наблюдений и их распределение по площади полигона. До 1965 г. имеются лишь данные о вертикальных движениях по двум профилям и одно повторение триангуляционных измерений. С 1965 г. начато детальное изучение тектонической активности. Делается вывод, что с 1948 по 1970 г. происходил процесс снятия избыточных напряжений, с 1970 по 1976 г. наблюдалось сжатие Копетдага, причем в 1975-1976 гг. зона Передового разлома Копетдага характеризовалась состоянием неустойчивости, что выразилось в быстрых движениях отдельных точек земной поверхности и падении напряжений во внутренних точках среды. Определены задачи дальнейших исследований.

Ил. 3, библиогр.: с. 151 (3 назв.).

УДК 551.24 (729.1)

Лилиенберг Д.А. Современная геодинамика и морфоструктурная дифференциация Кубинского архипелага (в свете новых геодезических и геоморфологических данных). — В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 152-164.

Провинции Гавана и Матансас обладают наиболее молодой морфоструктурой на Западной Кубе. Большое количество разноориентированных молодых разломов обуславливает мозаичность форм и контрастность рельефа, а также сейсмичность

территории. Рассмотрен ряд общих закономерностей современной геодинамики морфоструктур, взаимосвязь с вертикальными движениями, их площадной дифференциацией и сейсмичностью.

Ил. 7, библиогр.: с. 164 (17 назв.).

УДК 551.24

Лилиенберг Д.А., Гусейнзаде О.Д., Кулиев Ф.Т., Ширинов Н.Ш., Яценко В.Р. Комплексные исследования современных тектонических движений на геодинамических полигонах Азербайджана. - В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 165-174.

Рассматривается влияние интенсивности проявления тектонических современных движений на территории Апшеронского полуострова на отдачу нефтеносных пластов в процессе разработки месторождения. Устанавливается зависимость отдачи пласта от характера проявления этих движений. На основе комплексного анализа данных повторных нивелировок и основных показателей разработки месторождений рекомендуется выбор времени воздействия на залежь и определение темпа последовательного разбуривания скважин на месторождениях сейсмоактивных зон.

Ил. 5, библиогр.: с. 174 (15 назв.).

УДК 551.241

Сомов В.И., Собакарь Г.Т., Рахимов И.Ш. Современная динамика земной коры Украины. - В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 175-179.

Изложены первые результаты комплексного исследования современной динамики земной коры Украины. Установлены связи современных вертикальных движений земной коры с неприливыми вариациями силы тяжести, глубинным строением, рельефом и неотектоникой изучаемой территории.

Табл. 1, библиогр.: с. 179 (14 назв.).

УДК 551.242

Певнев А.К., Одинев Н.Н., Гусева Т.В., Давыденко Ю.А., Белокопытов В.А., Баранова С.М. О движениях земной поверхности на территории Гармского геодинамического полигона. - В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 179-184.

Смещение земной поверхности в пределах малого Гармского полигона, расположенного вблизи поселка Гарм, в подножиях отрогов Гиссарского хребта (Тянь-Шань) и хребта Петра Первого (зона сочленения Памира с Тянь-Шанем) и перекрывающего зону тектонического контакта указанных структур, осуществляется ввиду субмеридионального надвига со скоростью около 20 мм/год по поверхности, наклоненной к горизонту под углом около 40°. В пределах большого Гармского полигона - геодезическая сеть, соединяющая осевые части хребтов Петра Первого, Вахшского и отрогов Каратегинского хребта, - выявлены смещения на несколько сантиметров в год пунктов Вахшского хребта в юго-западном направлении вдоль Гиссаро-Кокшаальского разлома.

Ил. 5, библиогр.: с. 184 (7 назв.).

УДК 528.48:551.24

Сигалов В.М. Исследование современных движений земной поверхности на геодинамических полигонах Северного Тянь-Шаня. - В кн.: Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. М.: Наука, 1980, с. 184-190.

Для изучения современных движений земной поверхности и их связей с сейсмичностью в исследования включена вся сейсмоопасная территория Северного Тянь-Шаня. Анализ величин скоростей вертикальных движений по материалам многократного нивелирования выявил неравномерность этих движений во времени, корреляцию их величин с профилем местности и знакопеременность. Подтверждена детализация фаз вертикальных движений в районах землетрясений. По результатам линейно-угловых измерений сделано предположение о наличии активных горизонтальных движений.

Ил. 3, библиогр.: с. 190 (9 назв.).

3 руб.

3583