

ГЕОДЕЗИЯ И ИЗВЕЧНЫЕ ТАЙНЫ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

В.Р. Яценко (МИИГАиК)

В 1959 г. окончил Новосибирский институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (в настоящее время — СГГА). После окончания института работал на предприятии № 8 ГУГК СССР, с 1970 г. — директором предприятия № 16 ГУГК СССР (Баку), с 1977 г. — генеральным директором Уралаэрогеодезия (Екатеринбург), с 1983 г. — заместителем, начальником ГУГК СССР, с 1992 г. по 1998 г. — руководителем контракта в Анголе. В настоящее время — ведущий научный сотрудник МИИГАиК.

Х.К. Ямбаев (МИИГАиК)

В 1962 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК. После окончания института работал в ГСПИ. С 1974 г. работает в МИИГАиК, в настоящее время — проректор по научной работе. Профессор, доктор технических наук.

В глубокую историю уводят нас древние высказывания очевидцев тех лет и ученых о движении земной коры. Значительное количество таких высказываний и конкретных фактов сохранилось по поводу изменения уровня воды в Каспийском море и движении земной поверхности его берегов. Так, в 1939 г. в Каспийском море из воды показались развалины замка. Археологи провели раскопки и нашли затопленный древний гостиный двор (караван-сарай). На его стенах сохранилось множество различных надписей, а среди них — даты, говорящие о том, что постройка была возведена в 1234–1235 гг., и имя зодчего. Некоторые ученые считают, что это остатки древнего города Сабаила.

Неподалеку от Дербента, в море, на глубине 7 м, обнаружены древние каменоломни. Видимо, и каменоломни, и древний торговый город оказались под водой в результате тектонического опускания берега.

В 1400 г. азербайджанский географ Сеид Яхья Бакуви записал, что море затопило часть башен и стен древней Бакинской крепости. Выстроенная в те времена в Баку знаменитая Девичья башня, высотой 29 м, с которой, по преданию, бросилась

в воду дочь Ширваншаха, отстоит от кромки моря более чем на 100 м.

Надпись на географической карте, составленной в 1320 г., гласит: «Море каждый год прибывает на одну ладонь, и уже многие хорошие города затоплены».

Тектонические движения происходят до сих пор по всему побережью Каспийского моря. Причем, для восточного побережья характерно в основном поднятие земной поверхности, а для западного — опускание.

В Каспийском море, довольно тепло, водится тюлень (каспийский тюлень) — обитатель приполярных широт, встречаются несколько видов ракообразных и рыб, которые обычно живут в холодных северных морях, и здесь же, в Каспии, живет рыба «морская игла» — обительница Средиземноморья.

Это породило немало легенд: о невидимых подземных руслах, соединяющих Каспий с Аральским и Черным морями, с Персидским заливом; о «Черной пасти» — заливе Кара-Богаз-Гол, который высасывает каспийские воды; о вулканах на дне моря, якобы поглощающих воду.

Ученые определили, что в далеком прошлом Каспий дейст-

вительно соединялся с мировым океаном на западе и на севере. Строение земной коры под Южным Каспием, например, типично океаническое: там нет гранитного слоя. Под мощным, до 25 км, слоем осадков залегает базальтовый слой. Огромная толщина осадочного слоя указывает на большую древность впадины Южного Каспия.

Уходящие в даль веков предания о прекрасных городах и замках, опустившихся на дно Каспийского моря, о дороге, некогда соединявшей западный и восточный берега моря, во многом подтверждаются находками археологов и свидетельствами историков.

На мысе Гюргян Апшеронского полуострова и на одном из островов Апшеронского архипелага в окаменевшем песчанике обнаружены глубоко врезанные следы колес. Возможно, это остатки некогда проходившей здесь дороги.

В 1940 г., когда прокладывали дамбу, соединяющую остров Артема с Апшеронским полуостровом, на дне моря обнаружили древнее кладбище. Захоронения относятся к I веку до н. э. Это может свидетельствовать о том, что уровень Каспия в те времена был примерно на 4 м ниже современного.

Систематическое, серьезное исследование Каспийского моря началось только в XVIII веке. По инициативе Петра I в 1714–1715 гг. на Каспий отправилась большая научная экспедиция в 100 судов под началом А. Бековича-Черкасского. Экспедиция вела съемку берегов Каспийского моря, выполняла промеры глубин. До этого карты Каспийского моря были лишь приблизительными. Петр I еще надеялся «сыскать путь водной из Санкт-Петербурга по Волге через Каспий и далее в Индию». К 1720 г. в результате работы экспедиции была составлена первая карта Каспийского моря с точными очертаниями его берегов и береговой части. Эта карта стала научной сенсацией и была весьма высоко оценена передовыми учеными того времени.

Первым изучать вековые изменения уровня Каспийского моря начал в 1830 г. ректор Петербургского университета академик Э.Х. Ленц (один из авторов известного закона Джоуля – Ленца). В то время уровень воды в Каспии был зафиксирован на отметке 25,7 м. Геодезический центр, организованный Э.Х. Ленцом среди скал на острове Наргин, сохранился до наших дней, предоставляя геодезистам бесценную информацию.

В 1912 г. на берегу Каспийского моря, на Апшеронском полуострове, был заложен один из первых в мире геодинимических полигонов для выявления современных вертикальных движений земной коры. Следует отметить, что за 80 лет геодезических измерений установлено, что центральная часть Апшеронского полуострова опустилась более чем на 3 м. Результаты многократных повторных нивелирных измерений дают возможность судить о деформации земной коры.

Первые нивелирные измерения на территории России были

выполнены между Москвой и Петербургом в 1873–1876 гг. К 1917 г. было проложено 45 тыс. км нивелирных линий.

Точное нивелирование решает важную практическую задачу установления единой системы высот на всю территорию страны, а также ряд научных задач: определение в совокупности с гравиметрическими данными фигуры Земли на континентах, изучение современных вертикальных движений земной коры тектонического и техногенного характера, установление разностей морей и океанов.

Повторные высокоточные геодезические измерения дают возможность установить скорость современных движений, глобальных и региональных тектонических процессов, происходящих в земной коре, проявляющихся в верхней мантии Земли и выражающихся в движении континентальных плит, внутриплитовых деформациях земной коры и крупномасштабных измерениях гравитационного поля.

В СССР такие исследования проводились с использованием государственной астрономо-геодезической сети и государственной нивелирной основы.

По результатам повторных геодезических измерений выявлено, что земная кора постоянно подвергается деформационным процессам. Так, например, установлено, что гора Памир движется с юга на север по 20 см в год, резко опускается побережье Ледовитого океана, Тихий океан наступает на сушу со скоростью 10 см в год и т. д.

Геодезические измерения помогают определить степень активности отдельных тектонических разломов, что является первостепенным значением для сейсморайонирования регионов.

Анализ результатов повторных геодезических измерений дает возможность изучить ха-



Рис. 1
Геометрическое нивелирование I класса
(Верхне-Енисейское АГП)

рактик деформации земной поверхности, происходящей в результате тектонической активности и техногенной деятельности вследствие вмешательства человека при добыче полезных ископаемых из недр Земли или строительстве сложных инженерных сооружений, создании водохранилищ, каналов и т. д.

В настоящее время наиболее распространен метод высокоточного геометрического нивелирования (рис. 1) для выявления современных вертикальных движений земной коры, который базируется на результатах планомерных повторных измерений.

Высотная геодезическая основа страны состоит из нивелирных сетей I, II, III и IV классов. Нивелирные линии I и II классов, составляющие высокоточную нивелирную сеть полигонов, имеют протяженность около 600 тыс. км и покрывают с различной плотностью практически всю территорию бывшего СССР. Общее уравнивание нивелирной сети показало, что перепада высот от нуля Кронштадтского футштока до окраин на северо-востоке России выполнена с высокой точностью, порядка 0,10–0,15 м.

Нивелирная сеть по размерам, однородности и строгости обработки удовлетворяет требованиям и рекомендациям Международной геодезической ассоциации. Завершается выполнение очередной программы модернизации высотной ос-

новы страны. В СССР планомерно осуществлялись работы по повторному нивелированию в целях изучения современных вертикальных движений земной коры. По линии международного научно-технического сотрудничества было завершено уравнивание, выполнено второе, окончательное уравнивание единой высокоточной нивелирной сети, и составлена общая карта современных вертикальных движений земной коры на территорию Восточной Европы. Эта карта была издана в 1986 г.

В центральной части данной карты находятся города: Ленинанкан, Спитак, Кировакан, которые в период землетрясения 7 декабря 1988 г. подверглись катастрофическому разрушению. Город Спитак был полностью разрушен. На карте, изданной за несколько лет до землетрясения, на север от Ленинанкана до Спитака виден резкий подъем земной поверхности, скорость которого достигала до 13,5 мм в год. Такой скорости на карте больше нет, причем не только на Европейской части СССР, но и на территории других стран. Эти результаты говорят о том, что методом повторных высокоточных нивелирных измерений за 2–3 года было установлено, что в данном регионе произойдет землетрясение.

Прогноз землетрясений методом геодезических измерений подтверждался неоднократно, так как перед землетрясением в Армении за 2 месяца было выполнено очередное нивелирование I класса по линии: Ленинанкан – Спитак – Кировакан и, конечно, повторное нивелирование было сделано сразу после землетрясения. Оказалось, что процесс землетрясения поднял Спитак на 1,2 м. После землетрясения вода в водопроводных трубах потекла в противоположную сторону. Затем через каждые 2 месяца выполнялись повторные нивелир-

ные измерения. Движение земной коры приостановилось. По нашим оценкам в данной местности произойдет еще несколько землетрясений, т. е. закономерность движения земной коры должна прийти в стабильное состояние.

В 1989 г. Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР была издана Карта современных движений земной коры по геодезическим данным на территорию СССР (СВДЗК) масштаба 1:5 000 000 на территорию СССР. На рис. 2 представлен фрагмент карты СВДЗК на регион Байкальской рифтовой зоны. Для составления карты было использовано 214 тыс. км линий повторного нивелирования, из них 45 тыс. км нивелировались трижды.

Количество реперов, общих для первого и повторного циклов нивелирований, составляет 23 144, из них фундаментальных — 1517, грунтовых — 10 317, скальных — 1467, стеновых марок и реперов — 9737, пунктов триангуляции и полигонометрии — 106.

Линии повторного нивелирования образуют 298 полигонов периметрами от 90 до 5996 км при среднем периметре 956 км, причем на Европейской части

СССР периметры в среднем равны 710 км, на Азиатской части — 1290 км.

Скорости современных вертикальных движений земной коры (в мм/год) вычислены по формуле:

$$\Delta V = (h_2 - h_1) / \Delta T,$$

$$\Delta T = T_2 - T_1,$$

где h_2 и h_1 — превышения между смежными нивелирными знаками (в мм/год), полученные в T_2 и T_1 (годы);

ΔT — интервал времени (в годах) между повторными измерениями.

Уравнивание полученных скоростей узловых точек полигонов линий повторного нивелирования было выполнено параметрическим способом. Для вычисления абсолютных скоростей вертикальных движений земной коры в качестве исходных были использованы данные, полученные организациями Государственного комитета СССР по гидрометеорологии по результатам многолетних наблюдений 41 уровнемерного поста, расположенных на побережьях Азовского, Балтийского, Баренцева, Белого, Охотского, Черного, Японского морей, на море Лаптевых и Тихого океана. Кроме того, для проведения изолиний СВДЗК были использованы скорости, полученные

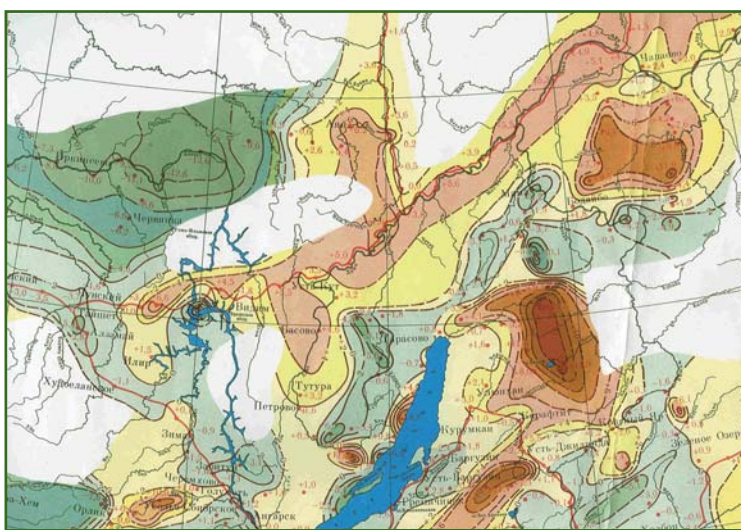


Рис. 2
Фрагмент карты СВДЗК на регион Байкальской рифтовой зоны

еще на уровне постах, расположенных на участках, слабо обеспеченных линиями повторного нивелирования. Абсолютные скорости промежуточных знаков по каждой линии были получены вставкой между узловыми пунктами.

Картографической основой карты СВДЗК на территорию СССР явилась карта масштаба 1:5 000 000, изданная в 1988 г. На карте СВДЗК СССР показана часть линий повторного нивелирования реперов, имеющих характерные скорости, узловые пункты и уровенные посты с указанием скорости вертикальных движений. Изолинии скоростей проведены через 2 мм/год.

Карта СВДЗК СССР обладает большим информационным материалом о характере современных вертикальных движений, их связи с геолого-морфологическим и тектоническим строением, и поэтому имеет важное научное, народнохозяйственное и техническое значение. Она внесла определенный вклад в развитие наук о Земле, прежде всего, в такие направления, как геодинамика, тектоника и сейсмология. Карта СВДЗК СССР до сих пор может быть использована при проектировании различных гидротехнических сооружений, мелиоративных систем, при прокладке крупных нефте- и газопроводов, при разведке полезных ископаемых и решении других задач, где необходимы знания количественных величин, характеризующих устойчивость во времени различных участков земной поверхности.

По результатам многочисленных геодезических измерений установлено, что происходит опускание в Москве и Московской области до 3 мм/год, а на юго-востоке от Московской области происходит подъем земной поверхности.

Значительное опускание земной поверхности наблюдается в

Пермской области, Пермь и сопряженные районы опускаются со скоростью 5 мм/год, а окружающие регионы — Камское и Воткинское водохранилище — 7–8 мм/год. Большие пространства на юг от Мингечаурского водохранилища «прогибаются» со скоростью 7–8 мм/год. В Поти зафиксировано опускание 5–6 мм/год. Полтава опускается со скоростью 4 мм/год, Никополь — 6 мм/год. Регион Волгоградского водохранилища опускается со скоростью 6–8 мм/год, Краснодар — 4 мм/год, Волгоград — 3 мм/год.

Значительный подъем происходит в районе Еревана — на 4 мм/год, Ленинакана — на 8 мм/год, а севернее его — до 12 мм/год. Подъем зафиксирован в южной части Крымского полуострова.

Высокоточные нивелирные работы выполнялись совместно со специалистами европейских стран. В результате было установлено, что в Польше происходит опускание земной коры, в частности, в Варшаве эта скорость достигает 3 мм/год. В Болгарии земная кора опускается на 2–3 мм/год, в Софии — на 3 мм/год. В Румынии большинство регионов испытывает подъем земной коры, а в Бухаресте опускание — на 3 мм/год. В Венгрии и Чехословакии зафиксированы незначительные опускания.

Резкие движения земной коры происходят за Уралом. Среднесибирское плоскогорье испытывает подъем до 16 мм/год, сильные поднятия отмечаются в районе озера Байкал. Значительные опускания зафиксированы в бассейне реки Енисей, достигающие в устье 32 мм/год. В Норильске опускания составляют 21 мм/год, в Дудинке — 20 мм/год, на Диксоне — 15 мм/год.

С 1975 г. в СССР проводилась активная работа по закладыванию геодинимических полигонов (ГДП). Они расположены во всех сейсмоактивных зонах: на

Камчатке, Сахалине, в Средней Азии, в Байкальской рифтовой зоне, на Кавказе, в Крыму и в Молдавии. На крупных ГЭС, построенных в местах сейсмического риска, также имеются контролируемые геодезические построения (Зейская, Бурейская, Ингури, Миатлинская, Чиркейская, Токтогульская, Нурекская, Рогунская и др.). На техногенных полигонах повторными геодезическими измерениями (в основном, нивелированием) выявляются изменения на земной поверхности, вызванные техногенной деятельностью человека.

На территории СССР было заложено более 60 геодинимических и техногенных полигонов. Из них 34 геодинимических полигона были ориентированы на решение задач по прогнозу землетрясений и определения СВДЗК; 12 полигонов размещены в районах ГЭС с высотными плотинами. Эти геодинимические полигоны надежно фиксируют связь между изменением уровня воды в водохранилище с изменением высотного положения реперов, что можно использовать для оценки свойств земной коры. В районах интенсивной добычи газа, нефти, воды и других полезных ископаемых создано 16 техногенных полигонов.

По материалам измерений на геодинимических полигонах были получены данные для сейсмического районирования в строительстве для Ташкента, Алма-Аты, Душанбе и Ашхабада. Получены закономерности движения земной поверхности для различных регионов; изучены смещения земной поверхности в результате Толбачинского извержения, Газлийских землетрясений (1976 и 1984 гг.); прослежена миграция очага, получены характеристики смещений в районе сильнейшего Муйского землетрясения (1957 г.).

На ГДП ГЭС обнаружен сложный комплекс движений, обусловленный режимом водохра-

нилищ, их техногенным влиянием, не только «прогибающим» земную поверхность, но и меняющим влагонасыщенность пород, а также тектоническим строением участков ГЭС и взаимодействием тектонического и водного режимов. Так, на ГЭС Ингури интенсивное заполнение водохранилища в условиях сильно дислоцированного строения земной поверхности вызвало неравномерное опускание, причем просадка достигала 40 мм; на ГДП Токтогульской ГЭС (в Киргизии) вследствие интенсивного заполнения водохранилища с 1976 г. выявлено опускание примыкающих к нему районов (до 35 мм), а также обнаружены аномальные смещения, выражающиеся в значительных наклонах местности.

ГУГК СССР проводил геодезические измерения в районах строительства или выбора площадок более, чем на 25 атомных электростанциях. Цель этих работ — выявление возможных активных тектонических нарушений, которые могут оказать влияние на устойчивость основных сооружений атомных электростанций.

Надлежащим образом организованные высокоточные геодезические работы несомненно могут внести существенный вклад в комплексное решение прогноза землетрясений, давая количественную информацию о тектонических деформациях обширных участков земной поверхности. В настоящее время такая информация может быть получена как на основе анализа повторных измерений в существующих на территории России астрономо-геодезической сети (АГС) и сети высокоточного нивелирования, так и из повторных циклов измерений на геодинамических полигонах.

В последние годы возрастают объемы геодезических работ на нефтяных и газовых месторождениях, так как в этих регионах

ведутся грандиозные работы, воздвигаются электростанции, заводы, фабрики, крупные компрессорные станции, линии электропередач, прокладываются железнодорожные магистрали, трансконтинентальные газопроводы.

При проектировании и строительстве этих сложных инженерных сооружений широко используются результаты высокоточного нивелирования. При добыче нефти и газа на промышленных участках известны частые случаи искривления буровых скважин, разрывов нефтегазовых и водных трубопроводов и других разрушений различных линейных сооружений. В связи с этим возникает необходимость изучения деформации земной поверхности геодезическим методом. В результате многократных геодезических измерений появляется возможность характеризовать нефтегазодобывающую территорию как относительно устойчивую.

Анализ результатов многочисленных геодезических измерений в районах нефтяных и газовых месторождений позволил установить закономерность современных вертикальных движений земной коры на разрабатываемых месторождениях с учетом аспектов технологии добычи полезных ископаемых. На деформацию земной коры в районах нефтяных и газовых месторождений оказывают влияние различные факторы: метод заводнения для поддержания пластового давления; многопластовость залежей нефти; мощность нефтяного горизонта каждого этажа; большие линейные размеры; гигантские темпы извлечения нефти и газа; длительность эксплуатации месторождения; глубина залегания нефтяного горизонта; а также закачка в продуктивные пласты поверхностной воды из рек, озер, болот или глубинных, подземных источников вод, кото-

рые расположены в верхних этажах земной поверхности.

В результате повторных геодезических измерений установлено, что регионы, где добывается нефть, а для поддержания пластового давления закачивается вода из источников поверхностных вод, не испытывают современных вертикальных движений земной коры техногенного характера.

Нетектонический характер современных вертикальных движений земной поверхности проявляется в результате длительных разработок газовых месторождений в виде сдвигов земной поверхности при землетрясениях. На нефтяных месторождениях при закачивании воды из подземных источников при длительных разработках и при воздействии усилий тектонического характера порой отмечаются тенденции к опусканию земной поверхности.

Эти виды современных вертикальных движений земной поверхности для каждого района нефтяных и газовых месторождений имеют свои особенности. Закономерность современных вертикальных движений земной коры хорошо улавливается в результате повторных многократных геодезических измерений, которые необходимо учитывать при обустройстве, проектировании и строительстве.

RESUME

Historical facts of settlements disappearing and destruction due to the Earth's crust strata movements are presented as well as the sea and ocean level variations. A map issued in 1989 showing the contemporary Earth's crust movements is described. The role and importance of the multiply repeated geodetic measurements aimed at revealing the Earth's crust vertical motion are shown on the example of geodetic measurements at the geodynamic sites nearby to the Caspian Sea and the areas of oil and gas extraction.