

*В. И. СОМОВ, канд. техн. наук, Г. Т. СОБАКАРЬ, канд. геол.-минерал. наук,
М. К. КУРБАНОВ, канд. техн. наук, М. И. МЕЛЬНИЧУК, канд. техн. наук,
В. Г. КУЗНЕЦОВА, канд. техн. наук*

Львовский филиал института математики АН УССР

ИЗУЧЕНИЕ НЕПРИЛИВНЫХ ВАРИАЦИЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ НА КАРПАТСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

Территория полигона изучена комплексом геолого-геофизических и геодезических методов, дающих представление о глубинном строении и физических свойствах вещества земной коры. Для исследуемого района составлены детальные карты гравитационного и магнитного полей, карта современных вертикальных и схема горизонтальных движений земной коры, карта сейсмической активности, сотрясаемости и максимальных возможных землетрясений; создана сеть фундаментальных реперов для комплексных инструментальных наблюдений; полигон пересекает III международный профиль ГСЗ, на котором выполняются глубинные магнитотеллурические и магнитовариационные исследования. Здесь расположены три сейсмические станции.

Основной задачей работ на полигоне является изучение связи геофизических полей с сейсмичностью, глубинным строением и современной динамикой земной коры. Эти исследования предусматривают выявление изменений во времени физических полей и современных деформаций земной коры, которые являются отражением тектонических процессов, протекающих в недрах Земли.

Гравитационное поле Советских Карпат повторяет структуру основных тектонических элементов региона. Геосинклинальная область Карпат в гравитационном поле представляет собой обширный региональный минимум, ось которого соответствует наибольшей мощности земной коры (Скибовой зоне Карпат и внешней зоне Предкарпатского прогиба).

Методика изучения неприливных вариаций силы тяжести основывается на том, что проявление глубинных процессов, связанных с перераспределением вещества, полиморфными превращениями в верхней мантии и, следовательно, носящих объемный характер, можно зафиксировать минимум на двух надежно закрепленных точках (вековых реперах) как разность скоростей протекания этих процессов [5]. Наиболее вероятными районами протекания глубинных процессов в противоположных направлениях будут области разнородных геоструктурных элементов, характеризующихся большой тектонической подвижностью, где повторные гравиметрические наблюдения могут проводиться с интервалом в несколько лет.

Первоначальный этап исследований сводился к выбору точек наблюдения в соответствии с геологическими, геофизическими и геодезическими условиями и заложению бетонных знаков. Конструкция векового гравитационного репера (ВГР) — бетонный монолит размером $1,0 \times 1,0 \times 2,5$ м массой 6 т с чугунной плитой ($0,5 \times 0,5$ м), ориентированной по странам света и служащей подставкой для приборов.

Наиболее выгодным направлением сети вековых бетонных знаков являлся региональный профиль Золочев—Львов—Стрый—Мукачево—Батев. Главное его преимущество — совпадение с трассой повторного нивелирования. Южнее этого направления и параллельно ему проходит профиль ГСЗ.

Восточная часть гравитационного профиля расположена в пределах Волыно-Подольской плиты — наиболее древнего структурного элемента Восточно-Европейской платформы, характеризующегося монотонным погружением кристаллического фундамента в юго-западном направлении. Далее профиль пересекает альпийскую геосинклинальную область Карпат, контрастность движения которой значительно выше, чем платформы.

Так как между кривыми скорости современных вертикальных движений и геологической структурой установлена тесная корреляционная связь, отражающая блоковую структуру исследуемого региона, то выбор площадок для заложения гравитационных реперов производился в районах максимальных движений в пределах основных тектонических зон региона. Всего было заложено 16 вековых знаков.

Через пункты Львов, Куровичи и Золочев Карпатский профиль связан с профилем Киев—Львов, который является продолжением профиля Харьков—Полтава. Последний через субмеридиональный профиль Курск—Харьков—Симферополь соединяется с Крымским геодинамическим полигоном.

Для связи субширотного профиля Харьков—Киев—Львов—Батев с аналогичными профилями на территориях социалистических стран два гравитационных репера заложены вблизи границы с ЧССР и ВНР (пункты Ужгород и Липовое) [7].

В 1966—1967 гг. в конструкцию векового знака, который использовался на полигоне, были внесены изменения: чугунная плита в верхней грани бетонного монолита была заменена алюминиевой. Кроме того, была предусмотрена постанова на боковой грани знака скрытого латунного репера. Эти усовершенствования позволяют включать знаки в нивелирную сеть, а также проводить на них наблюдения за вековыми вариациями геомагнитного поля. Всего по трассам выполненного и проектируемого нивелирования 1 кл. в Закарпатье было заложено 17 универсальных знаков [7].

Нами проведены исследования с целью изучения устойчивости описанной выше сети вековых реперов, предназначенной для долговременных комплексных наблюдений за динамическими характеристиками земной коры [6, 8].

Деформации грунтов, обусловленные влиянием внешних (нектонических) факторов, могут сказываться на высотном положении реперов, так как основания последних закладываются на незначительную глубину. Наиболее опасным фактором, оказывающим систематическое влияние на устойчивость знаков, являются силы морозного пучения грунтов. Поэтому выполнен расчет конструкции заложённых знаков с учетом противодействия этим силам [9]. Об устойчивости принятой конструкции вековых знаков свидетельствуют результаты многократного нивелирования на опытном участке в Закарпатье.

Так как действие внешних факторов, способных вызвать такой же кинематический эффект, как и внутренние тектонические силы, сильно затухает с глубиной, то в качестве эталона для суждения об устойчивости рассчитанной конструкции вековых реперов принят знак, закрепленный в специально оборудованной штольне на южном склоне большой Береговской горы. Этот знак находится в условиях постоянной температуры и влажности на глубине 50 м. Действие внешних долгопериодных процессов здесь должно проявляться значительно слабее, чем в поверхностном слое, где заложены другие реперы [1].

В штольне время от времени устанавливаются приборы для измерения атмосферного давления, температуры и влажности и выполнено шестикратное нивелирование 1 кл. (1966, 1967, 1969, 1970, 1971 и 1974 гг.).

Осенью 1965 г. В. И. Сомовым были проведены первые относительные измерения силы тяжести между знаками карпатского регионального профиля. При наблюдениях использовались два узкодиапазонных гравиметра ГАК-7Т и ГАК-3М, которые транспортировались автомашиной.

Первые наблюдения за неприливными вариациями силы тяжести были выполнены Институтом геофизики АН УССР

(Г. Т. Собакарь) летом 1970 г. и вторые — в 1971 г. Измерения производились разными типами гравиметров (до 5—6 приборов: «Норгард», ГАК-7Т и ГАГ-2) с использованием авиационного транспорта.

Поскольку каждый гравиметр индивидуален, то он подвергался тщательному исследованию, и в парк используемых приборов включались гравиметры с высокими коэффициентами надежности [3].

Измерения 1965, 1970 и 1971 гг. велись по системе треугольных полигонов, которая обеспечивает высокое качество наблюдений, независимый контроль каждой связи треугольного полигона, сводит время наблюдений к минимуму, а ошибки измерений на связях контролируются величиной невязки полигона (2). Это позволяет проверять и переделывать низкоточные связи. Наблюдения ведутся так, что в каждый последующий треугольный полигон включалась хотя бы одна связь предыдущих полигонов. Таким образом, невязки по полигонам являются достоверным критерием оценки точности наблюдений.

Для 12 треугольных полигонов, образованных при измерениях 1965 г., величины невязок колеблются в пределах от $\pm 0,01$ до $+0,13$ мгл. И лишь для одного треугольного полигона, расположенного на юго-западном склоне Карпат, невязка достигала 0,30 мгл. Это может быть объяснено плохими дорогами в горной части, что вызывало удлинение рейсов и неравномерное сползание «нуль-пункта».

Невязки приращений Δg в треугольных полигонах непосредственно на территории Карпатского геодинамического полигона для 1965 г. соответственно равны $-0,01$, $-0,06$, $-0,01$ и $+0,13$ мгл. Опыт первых наблюдений убедительно показал, что для повышения точности измерений (особенно в горной части) необходимо перейти к использованию авиатранспорта (посадка вертолетов возможна на большем количестве гравитационных реперов).

Оценка точности наблюдений 1970 и 1971 гг. произведена не по обычным в гравиметрии формулам среднеквадратической ошибки измерений, а по доверительной вероятности наблюдаемого приращения силы тяжести на каждой связи. Доверительный интервал равен $\pm 0,05$ мгл. Величина доверительной вероятности значений Δg колеблется от 0,80 до 0,96.

Сопоставление приращений силы тяжести за период 1966—1970 гг., выполненное по региональному профилю, показало, что в пределах Карпатского региона наблюдается резкая дифференциация вариаций δg по направлению и интенсивности [5]. Максимум изменения Δg приурочен к Венгерской впадине. В Закарпатском прогибе и Складчатых Карпатах наблюдается уменьшение отрицательных значений вариаций силы тяжести. При переходе к Предкарпатскому прогибу фиксируется изменение знака вариаций δg . Градиент на границе этих структурных элементов составляет $+0,22$ мгл. Краевая часть Восточно-

Европейской платформы характеризуется положительными значениями силы тяжести (рис. 1).

В августе 1974 г. сотрудниками Института физики Земли и атмосферы АН ТССР (М. М. Курбанов и Б. Н. Гаипов) на существующей сети вековых знаков были проведены очередные высокоточные гравиметрические наблюдения. С использованием

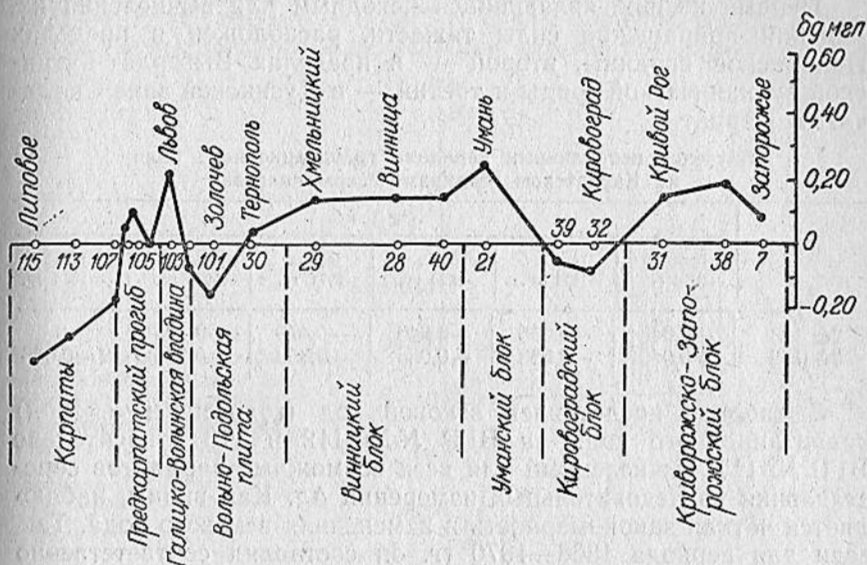


Рис. 1. График неприливных вариаций силы тяжести за 1966—1970 гг. по профилю Запорожье—Львов [5].

прибора GS-12 были образованы два замкнутых полигона с общей стороной Мукачево—Каменское: первый — Мукачево—Каменское—Берегово—Липовое—Батеево—Страбичево—Мукачево и второй — Мукачево—Вильховица—Свялява—Нелипино—Долгое—Каменское—Мукачево. Наблюдения в основном проводились последовательными трехкратными измерениями между смежными вековыми знаками. В тех случаях, когда расстояния между смежными пунктами были очень большими, закладывались дополнительные промежуточные репера, и методика измерений соответствовала изложенной выше.

Невязки полигонов соответственно равны: $+0,097$ и $-0,103$ мГл. Среднеквадратические ошибки отдельных связей колеблются от $\pm 0,005$ до $\pm 0,057$ мГл.

На работе гравиметра GS-12 сказались сложные метеорологические условия в период проведения наблюдений, а также перестройка рабочего диапазона гравиметра. Последняя вызвала повышенный дрейф «нуля», и лишь в последние дни измерений величина сползания «нуль-пункта» стала минимальной. Только этим можно объяснить несколько повышенные значения невязок приращений силы тяжести в обоих полигонах

по сравнению с теми, которые можно было ожидать при использовании высокоточного гравиметра GS-12.

Ниже будут освещены результаты четырехкратного измерения между идентичными пунктами на участке Липовое (ВГР № 115) — Вильховица (ВГР № 112) — Нелипино (ВГР № 113). Расстояния между ними соответственно равны 44 и 17 км.

Первый из них, являющийся исходным для вычисления изменений приращений силы тяжести, расположен в пределах Паннонской впадины, второй — в пределах Выгорлат-Гутинской вулканической гряды и третий — в Дусинской зоне Складчатых Карпат.

**Изучение неприливых вариаций гравитационного поля
на Карпатском геодинамическом полигоне**

ВГР	(δg_t) , мгл					
	1966— —1970 гг.	1966— —1971 гг.	1966— —1974 гг.	1970— —1971 гг.	1970— —1971 гг.	1971— —1974 гг.
№ 113	+0,048	—0,035	—0,046	—0,470	—0,125	0
№ 112	+0,046	—0,033	—0,055	—0,350	—0,116	—0,038

В таблице представлен вековой ход (годовые изменения) гравитационного поля на ВГР №№ 112 и 113 относительно ВГР № 115, вычисленный для всех возможных вариантов сопоставления последовательных измерений Δg . Как видим, наблюдается четкая закономерность в изменениях векового хода. Так, если для периода 1966—1970 гг. он составлял соответственно +0,048 и +0,046 мгл, то в последующем отмечается изменение знака δg_t . Значение поля начинает уменьшаться, достигая минимума в 1970—1971 гг. (соответственно —0,470 и —0,350 мгл). Далее интенсивность векового хода падает, и к 1974 г. поле становится почти стабильным.

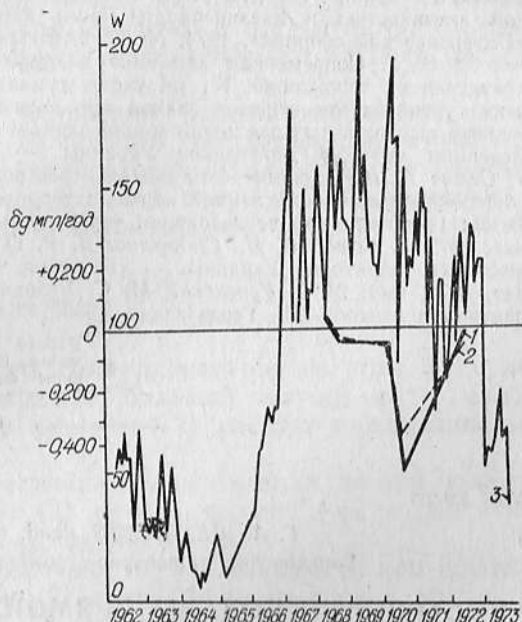
При графическом изображении изменение векового хода гравитационного поля аппроксимируется нижней ветвью синусоиды (рис. 2). К сожалению, измерениями не зафиксированы значительные положительные изменения приращений Δg , хотя вид кривой позволяет предполагать дальнейший рост гравитационного поля в 1975—1976 гг.

Уверенно говорить о причинах наблюдаемых изменений гравитационного поля и о выявляемой регулярности его хода, как нам кажется, еще слишком рано. Ими могут быть факторы как эндогенного, так и экзогенного порядка: 1) изменение высоты земной поверхности, 2) изменение уровня грунтовых вод, 3) изменение плотности осадочного чехла, 4) изменение глубины фундамента, 5) изменение средней плотности нижней коры, 6) изменение глубины раздела M , 7) изменение плотности верхней мантии и другие.

Кроме того, в настоящее время установлена тесная временная корреляция между изменениями солнечной активности и квазипериодическими вариациями силы тяжести Земли [4].

Рассмотрим полученные результаты с позиций зависимости изменений гравитационного поля от чисел Вольфа. Минимум солнечной активности приходится на 1964—1965 гг. Затем она начинает возрастать и к 1969—1970 гг. достигает максимального значения. С 1970 г. солнечная активность ступенчатообразно уменьшается. Первая ступень убывания приходится на 1971—1972 гг., вторая — с 1973 г. Таким образом, в нашем случае без существенного запаздывания намечается обратная связь

Рис. 2. Вековой ход гравитационного поля на реперах Карпатского геодинимического полигона: 1 — на ВГР № 113; 2 — на ВГР № 112; 3 — кривая относительных чисел солнечных пятен.



исследуемых параметров. Установленная закономерность свидетельствует о том, что изменения гравитационного поля не связаны с колебаниями уровня грунтовых вод. В то же время полная аналогия векового хода на ВГР № 112 и 113 указывает на то, что вариации гравитационного поля связаны не с Закарпатским, а с Середнянским разломом. К этому же геологическому объекту приурочены и вариации скорости современных вертикальных движений земной коры.

Полученные данные о неприливых изменениях гравитационного поля свидетельствуют о перспективности и необходимости продолжения периодических наблюдений за вариациями силы тяжести как на Карпатском региональном профиле, так и на территории геодинимического полигона. А поскольку последний контактирует со смежными территориями социалистических стран, то проводимые исследования координируются Рабочей группой 3.2 КАПГ. Сопоставление этих результатов с другими параметрами, характеризующими современную тектоническую активность, будет способствовать глубокому позна-

нию современной динамики земной коры Карпато-Балканского региона.

Список литературы: 1. *Бончковский В. Ф.* Результаты годового цикла измерений медленных движений верхних слоев земли геофизическими методами. — «Современные движения земной коры», 1963, № 1. 2. *Собакарь Г. Т.* Развитие сети опорных гравиметрических пунктов методом треугольных полигонов. — «Геофизический сборник», 1962, № 1 (3). 3. *Собакарь Г. Т.* Коэффициент надежности — основной показатель работы гравиметра. — «Геофизический сборник», 1969, № 31. 4. *Собакарь Г. Т.* Корреляция между солнечной активностью и квазипериодическими изменениями силы тяжести. — «Геофизический сборник», 1974, № 62. 5. *Собакарь Г. Т., Сомов В. И., Кузнецова В. Г.* Современная динамика и структура земной коры Карпат и прилегающих территорий. К., «Наукова думка», 1975. 6. *Сомов В. И.* Изучение устойчивости вековых знаков при комплексных исследованиях современных вертикальных движений земной коры в Карпатах. Материалы IV конференции молодых геофизиков Украины. — К., «Наукова думка», 1971. 7. *Сомов В. И.* Создание сети вековых реперов для комплексного изучения современных движений земной коры на территории Карпатского региона. — В кн.: Геофизические исследования территории Украины. К., «Наукова думка», 1972. 8. *Сомов В. И., Сидоренко В. Р.* О вековых вариациях силы тяжести на территории Украины. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1975, вып. 24. 9. *Успенский М. С.* Условия устойчивости геодезических центров и реперов. М., Геодезиздат, 1955.

Работа поступила в редколлегию 13 сентября 1976 года. Рекомендована Львовским филиалом Математической физики Института математики АН УССР.