

ВСЕСОЮЗНОЕ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
ПРИ АКАДЕМИИ НАУК СССР

**СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ
ЗЕМНОЙ КОРЫ
НА УРАЛЕ**

МОСКВА — 1980

СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ
ЗЕМНОЙ КОРЫ
НА УРАЛЕ

Сборник статей

МОСКВА — 1980



3704

АННОТАЦИЯ

В сборнике освещаются проблемы изучения современных движений приповерхностных слоев земной коры и приводятся результаты изучения современных движений на Урале, полученные по геодезическим и геолого-геофизическим данным.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Бархатова К. А., Егоров Ф. Д., Кудрявцева Е. А.,
Чернявский Б. Г., Ярошенко В. Р.

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА УРАЛЕ

Урал как тектонически стабильная структура, протянувшаяся на 2500 км в меридиональном направлении, представляет значительный интерес для исследования эндогенных процессов в зоне сочленения древней Русской платформы и Западно-Сибирской плиты мезозойского возраста. Проявление этих процессов в современных движениях земной коры, в изменении физических полей и физических характеристик пород во времени, а также их корреляции с разломной тектоникой, глубинным строением Урала и прилегающих областей является основой физико-математического моделирования развития Уральской складчатой системы и решения обратной задачи геодинамики.

Изучение характера тектонических сил в районе слабой сейсмичности имеет существенное значение и для понимания природы геодинамических процессов в поясах современной тектонической активизации. Исследование различных сторон проявления «фоновой» тектонической активности может оказаться важным для выявления прогностических признаков, предвещающих землетрясения.

Очевидно, что для исследования эндогенных процессов и их проявлений на поверхности Земли необходимо привлекать различные методы геодезии, геофизики и геологии. Применение комплексной методики дает возможность не только количественно оценить величину вертикальных и горизонтальных смещений земной поверхности, но и попытаться выявить тектонофизические причины этих смещений.

Уральскими научно-исследовательскими и производственными организациями в течение двух последних десятилетий ведутся работы по исследованию современной геодинамики региона.

Предприятие ГУГК при СМ СССР проводит высокоточное повторное нивелирование по нескольким трассам, пересекающим Урал как в широтном, так и в меридиональном направлениях (см. рисунок). На большей части трасс первые нивелирования выполнены в 1925—1930 гг., а последующие — в 50-х и 70-х годах. В настоящее время предприятием ГУГК совместно со Свердловским горным институтом производится анализ результатов повторных нивелировок, после чего будет составлена

карта современных вертикальных движений земной коры на Урале. Предварительно можно указать следующие основные особенности вертикальных смещений: во-первых, наблюдается подъем горной части Урала со скоростью до 1—3 мм/год на Среднем Урале и до 6—8 мм/год на Северном и Приполярном

Урале; во-вторых, для Предуралья и Зауралья отмечается опускание земной поверхности, более интенсивное на востоке (до 5 мм/год); в-третьих, на общем фоне воздымания горной части выделяется ряд локальных участков погружения и подъема земной поверхности.

Институтом геофизики УНЦ АН СССР и ПГО «Уралгеология» изучается глубинное строение земной коры и верхней мантии. Исследования выполнены по нескольким субширотным профилям (Свердловский, Красноуральский и др.), секущим уральские геологические структуры, и меридиональному профилю (Н. Тура—Орск). Сейсмометрическими, гравиметрическими, магнитометрическими работами, гелиевой съемкой установлено блоковое строение земной коры, выявлены глубинные разломы, часть из которых уходит в верхнюю мантию.

Исследование напряженно-го состояния горных пород в подземных горных выработках

на ряде рудников Среднего Урала показало, что для самой верхней части земной коры характерно горизонтальное сжатие пород.

С 1978 г. Институтом геофизики изучаются короткопериодные деформации земной коры и их воздействия на изменение физических полей и физических свойств горных пород. Обнаружены вариации сейсмоакустической эмиссии и электропроводности пород за счет земных приливов. Экспериментально установлена зависимость изменения амплитуды изучаемых параметров от интенсивности приливных деформаций и степени нарушения, трещиноватости массивов, особенностей геологического строения в районе выполнения наблюдений.

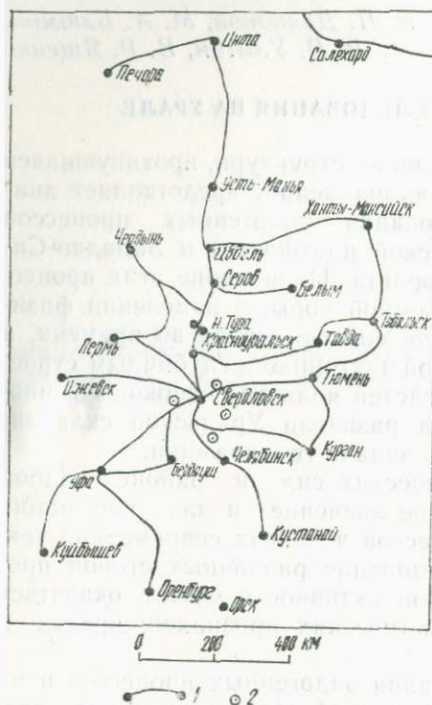


Схема повторных нивелировок на Урале:

1 — маршруты повторного нивелирования; 2 — микрополигоны, на которых в 1978—1980 гг. исследовались вариации физических параметров горных пород

Перечисленными выше работами подготовлена основа целенаправленных геодинамических исследований на Урале. Материалы детальных геофизических исследований глубинного строения земной коры по ряду профилей в сочетании с результатами геодезического изучения вертикальных движений земной коры позволяют выбрать участки для детальных комплексных исследований современных движений земной коры. Учитывая линейность основных уральских структур, исследования целесообразно выполнять не по площади, а по отдельным профилям, ориентированным вкрест простирания геологических структур. Эти наблюдения необходимо дополнять площадными работами на геодинамических микрополигонах, приуроченных к участкам наибольших градиентов скоростей современных вертикальных движений либо к участкам, характеризующимся своеобразным геологическим строением.

В настоящее время Институтом геофизики, Свердловским горным институтом и Предприятием ГУГК составлена Программа комплексных исследований современной геодинамики Урала на 1981—1985 гг., предусматривающая применение различных геофизических и геодезических методов изучения современных движений земной коры.

При выполнении геодезических работ по исследованию вертикальных движений планируется систематизировать материалы по линиям высокоточного повторного нивелирования; установить однородность измерений, выполняемых в разных циклах, с помощью математико-статистических методов; проанализировать результаты для выявления периодичности вертикальных движений; провести корреляционный анализ разности превышений в циклах и скоростей движений с характером рельефа местности; составить карту современных вертикальных движений земной коры Урала. Кроме того, намечается заложить геодезические пункты и выполнить высокоточное нивелирование с частотой опроса не менее одного раза в год на нескольких микрополигонах.

Геофизические исследования включают изучение вариаций физических полей и физических свойств горных пород:

— сейсмические наблюдения с использованием вибросейсмического возбуждения волнового поля и промышленных установок с циклической нагрузкой;

— изучение сейсмоакустической эмиссии горных пород в диапазоне частот первые десятки—сотни герц (наземные и скважинные наблюдения);

— изучение вариаций электропроводности горных пород;

— наблюдения за изменением наклонов земной поверхности;

— наблюдения за вариациями геомагнитного поля, теплового потока, содержания газов в подземных водах.

— исследование напряженного состояния массивов горных пород.

Для осуществления перечисленного комплекса работ необходимо разработать соответствующие технические средства. В частности, в 1981—1982 гг. планируется испытать измерительные средства для долговременной регистрации сейсмоакустической эмиссии горных пород, прецизионную автономную аппаратуру для исследований вариаций геомагнитного поля и электропроводности горных пород в естественном залегании и других параметрических эффектов.

Намеченная программа комплексных геодинамических исследований нацелена на решение как фундаментальных, так и прикладных проблем строения, формирования и развития Урала.

СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА УРАЛЕ

Первые нивелирные работы на Урале были начаты в 1875 г. Нивелирная трасса прокладывалась по Сибирскому тракту по сокращенной программе в одном направлении [1]. Результаты нивелирования были опубликованы в 1885 г. и послужили основой для проектирования при строительстве Сибирской железной дороги, так как нивелировка была временной, предназначалась для строительства дороги, поэтому репера и марки не закладывались. Высоты передавались на фундаменты церквей и прочих сооружений.

В 1884 г. вице-председатель Русского Географического общества П. П. Семенов-Тянь-Шанский выработал проект положения о «геодезическом совете», в котором было сообщение председателя математического отделения А. А. Тилло о нивелирных работах, оно гласит: «в зависимости от целей и различной степени точности, с которой должен быть получен результат, выработаны разные приемы производства одного и того же рода топографических работ и, конечно, нельзя одинаково нивелировать, когда ищешь ничтожную разность уровней морей, нередко удаленных на большие расстояния, или когда имеешь в виду лишь выбор направления магистрали для изыскания, с целью окончательного установления полотна железной дороги; когда хотят определить уклон, падение, ширину и длину рек и т. д.» [1]. Эти высказывания послужили в дальнейшем основой для прокладывания высокоточных нивелировок вдоль рек, дорог, берегов морей и т. д. [2].

После организации в 1892 г. комитета Сибирской железной дороги усиленно началось строительство железнодорожной рельсовой магистрали. Укладка рельсов производилась с помощью нивелиров на основании созданной высотной базы. От Екатеринбурга (Свердловска) до Челябинска прокладывание железнодорожной магистрали длиной в 234 версты выполнялось в 1896 г. От г. Челябинска до р. Оби в 1894 г. было проложено железных дорог на расстояние 862 версты, в 1895 г. уложено рельсов на расстояние 460 верст.

По окончании строительства Сибирской железной дороги потребовалось проложить высокоточное нивелирование вдоль новой магистрали с закладкой марок и реперов в зданиях железнодорожных вокзалов, мостов, водонапорных башен и т. д. Это

нивелирование выполнялось для научных целей и решения производственных вопросов. Нивелирование было начато на Урале в 1901 г. военным топографом А. А. Александровым и закончено на озере Байкал в 1911 г. [3]. Нивелирование было выполнено с высокой точностью, где средняя ошибка характеризовалась допустимой невязкой 2 мм на 1 км хода. Репера и марки, заложенные при первом высокоточном нивелировании, использовались несколько десятков лет для создания высотной геодезической основы и для изучения современных вертикальных движений земной коры. Некоторые центры сохранились и до наших дней, отметки которых широко используются при создании топографических карт и при строительстве различных промышленных и жилищно-гражданских сооружений.

В первые же годы Советской власти потребовались точные съемочные работы в горнопромышленных районах Урала, поэтому в 1922 г. была организована экспедиционная группа для определения астрономических пунктов «золотого меридиана» [4] под руководством астронома П. И. Яшнова. Выполнив географо-геодезическое обследование, экспедиция продолжила полевые работы по розыску и возобновлению пунктов прежних триангуляций, полигонометрии и нивелировок.

Особое внимание в те годы уделялось нивелированию. В статье «О современной постановке высокоточного и точного нивелирования» проф. Ф. Н. Красовский [5] определяет направленность нивелирования таким перечнем: определение разностей уровней морей и океанов; выяснение вековых движений суши; изучение вертикальных смещений земной поверхности в некоторых районах, не связанных с вековыми движениями суши, сюда относятся и смещения, вызываемые землетрясениями; изучение деформаций уровенной поверхности, вызываемых перемещениями подземных масс. Задача выяснения вековых движений суши требует, во-первых, установки на материковых породах «вековых» реперов; во-вторых, тщательной связи системы таких реперов высокоточным нивелированием друг с другом и с общей нивелирной сетью; в-третьих, повторения через некоторые промежутки времени, например, через 25 лет, нивелирования, дающего надежную связь «вековых» реперов друг с другом и с общей нивелирной сетью.

После этих высказываний репера стали закладывать не только в стены зданий, но и в грунт.

В 1901—1928 гг. было выполнено нивелирование высокой точности по железнодорожной магистрали от Кронштадта через Москву до Владивостока. Нивелирной трассой длиной в 10 200 км удалось увязать Балтийское море с Тихим океаном, в результате чего выяснилось, что уровень воды в Балтийском море выше уровня Тихого океана на 1,873 м, а урез воды Кронштадтского футажа выше Владивостокского на 1,986 м.

Закладка центров и нивелирование на участке от Урала до Байкала производились в соответствии с инструкцией 1883 г., т. е. из середины, с установкой нивелира через 130—170 м. Нивелирные центры закладывались преимущественно на железнодорожных станциях с промежутками через 20—30 км. Такое редкое заложение является главным недостатком первоначальных нивелировок.

В эти же годы низкогорный рельеф Урала был пересечен многочисленными нивелировками различной точности. Одни выполнялись для создания главной высотной геодезической сети, другие для съемки топографических карт, третьи для проектирования линейных сооружений. Все центры в те времена закладывались в стены каменных зданий, различных сооружений в виде мостов, водонапорных башен, туннелей и т. д.

Первое высокоточное нивелирование на Урале выполнено в меридиональном направлении от Челябинска до Свердловска в 1901—1904 гг. [6]. В процессе рекогносцировки было заложено 27 нивелирных марок. Эта трасса была включена в полигон Челябинск—Свердловск—Тюмень—Ишим — Омск—Челябинск. Полигон был уравнен методом разнесения невязок пропорционально расстояниям. Общая невязка полигона равна 0,215 м, периметр — 1938 км, невязка на один километр равна 0,11 мм.

Следующий полигон Ишим—Омск—Петропавловск—Ишим с периметром в 511 км с общей невязкой 0,014 м оказался более удачным по точности, невязка уменьшилась до 0,03 мм на 1 км нивелирного хода. Точность результатов нивелирования определялась по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{4L}},$$

где Δ — разность превышений прямого и обратного ходов между постоянными знаками; L — длина линии, км.

Средняя километровая погрешность по всем Уральским линиям нивелирования подсчитана по вышеприведенной формуле и равна $\pm 2,5$ мм.

Нивелиры, использованные при прокладывании нивелирных трасс 1901—1928 гг., все одного образца с уровнем при трубе, цена деления уровня 4—8". Увеличение зрительной трубы нивелира 30—40.

Полигон, расположенный к западу от Урала с периметром 887,2 км Кузино — Пермь — Гороблагодатская — Свердловск — Кузино, имеет общую невязку +65,1 мм. Средние случайные и систематические ошибки на 1 км нивелирного хода вычислены по следующим формулам:

$$\eta^2 = \frac{1}{4} \left(\frac{\sum \Delta^2}{\sum L} - \frac{\sum r^2}{(\sum L)^2} \sum \frac{s^2}{L} \right);$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{4 \sum L} \sum \frac{s^2}{L},$$

где L — длина линии, км;

Δ — расхождение прямого и обратного превышений между двумя смежными марками;

r — расстояние между марками;

s — разница превышений по прямому и обратному ходам для всей линии.

По данным формулам в результате вычислений получены невязки для западных от Урала линий нивелирования:

$\eta = \pm 0,89$ мм на 1 км хода,

$\sigma = \pm 0,08$ мм на 1 км хода.

Средние квадратические ошибки вычислены по формуле $m^2 = \eta^2 L + \sigma^2 L$ и помещены в табл. 1.

Таблица 1

Поправки на линии западного региона Урала

Линия нивелирования	Год нивелирования	Расстояние, км	Поправка на линию, мм	Поправка на 1 км хода, мм
Пермь — Гороблагодатская	1930	315,8	+17,6	+0,056
Свердловск — Гороблагодатская	1923	190,6	-24,7	-0,124
Кузино — Пермь	1930	293,2	+16,4	+0,056
Кузино — Свердловск	1924	87,6	-6,3	-0,072
Дружинино — Кузино	1924	31,7	+0,1	+0,003
Ключевая — Дружинино	1924	80,1	+0,3	+0,004

По линии нивелирования Свердловск — Гороблагодатская на расстоянии 190,6 км заложено 26 марок, в том числе в зданиях вокзалов — 2, в железнодорожных мостах — 11, в водоемных зданиях и водокачках — 5, остальные в различных железнодорожных сооружениях.

По нивелирной трассе Пермь — Гороблагодатская всего занивелировано 95 ственных марок, в том числе 5 марок заложено в вокзалах, 18 марок — в стенах водонапорных башен, 29 — в устоях железнодорожных мостов.

В 1924 г. была выполнена нивелировка от Свердловска до станции Ключевая. Трасса длиной 199,4 км включала 18 ственных марок.

Количество заложенных знаков по остальным линиям приведено в табл. 2.

Первоначальное нивелирование от Челябинска до Уфы было проложено в 1904 г., повторное нивелирование по этой же трассе выполнено в 1911 г. Расстояние от Челябинска до Уфы 451 км, занивелировано 25 марок, сохранившихся от первоначального нивелирования, 16 марок вновь заложено в отверстия старых центров, которые оказались расшатанными или с поврежденными головками.

Для дальнейшей обработки результаты нивелирования 1911 г. нами взяты за первоначальные. Такое же положение по нивелирной трассе Челябинск—Петропавловск. Первое нивелирование выполнялось в 1905—1906 гг. На всем этом протяжении вначале было заложено 30 марок на расстоянии 360 км, в 1909 заложено 20 марок и вся линия была занивелирована заново.

Нивелирная трасса Челябинск—Свердловск характеризуется в отношении закладки центров так: в зданиях железнодорожных вокзалов — 8 центров, в водонапорных башнях и водокачках — 5 марок, остальные центры заложены в различных каменных строениях, расположенных вблизи железнодорожной магистрали.

Таблица 2

Количество заложённых знаков в период первоначальных нивелировок

Участок	Расстояние, км	Кол-во знаков	Годы нивелирования
Москва — Челябинск	2094	159	1884—1911—1923
Челябинск — Свердловск	243	27	1901—1904
Челябинск — Омск	800	77	1904—1910
Омск — Новосибирск	631	81	1904—1911
Свердловск — Тюмень	321	35	1904—1911
Петропавловск — Ишим	179	15	1905—1920
Тюмень — Ишим	298	73	1912—1915
Свердловск — Ключевая	199	18	1924
Свердловск — Гороблагодатская	190	26	1923

В 1925 г. Высшим геодезическим управлением ВСНХ СССР была выпущена инструкция по нивелированию высокой точности, в которой предусмотрено, чтобы средняя случайная ошибка не превышала ± 1 мм и средняя систематическая ошибка не должна быть более $\pm 0,3$ мм на 1 км нивелирного хода. Инструкция предусмотрела и техническую характеристику нивелиров, увеличение трубы должно быть 35—40 крат, цена деления уровня 3—5". В данной инструкции трактуется более строгий подход к исследованию рек, вводятся двухсторонние рейки и определяется четкий процесс измерительных работ на станции. Инструкция 1925 г. требует проведения новых исследований инструмента до выезда на полевые работы, в процессе выполнения полевых измерений и после окончания полевого сезона.

Все первоначальные нивелировки, выполненные на Урале, были подвергнуты глубокому анализу в вопросах точности и уравнивания линий, в результате было установлено, что все первичные нивелировки, проложенные в 1901—1928 гг. на Урале, можно считать однородными и вполне пригодными для дальнейшего использования их по изучению современных вертикальных движений земной поверхности Уральского региона.

В настоящее время имеются повторные нивелировки на всю территорию Урала. Некоторые нивелирные трассы повторены трижды. Все результаты повторных нивелировок включены в анализ для дальнейших исследований по изучению современных вертикальных движений земной поверхности региона.

К повторным нивелировкам на Урале приступили согласно многочисленным заявкам, в которых имелись ссылки на проявления деформаций земной поверхности региона. На Урале были зарегистрированы и землетрясения. Последнее землетрясение было 17 августа 1914 г. с эпицентром на станции Билимбай [7]. На западном Урале часто происходят обвално-карстовые явления в 4—5 баллов с небольшим распространением [8].

По основной магистральной железнодорожной линии Вологда — Свердловск — Челябинск повторное нивелирование по программе I класса было выполнено в 1952—1953 гг. Качественная характеристика данной линии от Глазово до Челябинска приведена в табл. 3.

Таблица 3
Оценка точности нивелирной трассы Глазов—
—Свердловск—Челябинск

Линия нивелирования	Длина линии, км	Средняя ошибка на 1 км, мм	
		случайная	система- тическая
Глазов — Пермь	275,5	$\pm 0,73$	$\pm 0,03$
Пермь — Сабик	279,9	$\pm 0,54$	$+ 0,04$
Сабик — Свердловск	117,3	$\pm 0,48$	$\pm 0,05$
Свердловск — Чишма	181,2	$\pm 0,48$	$\pm 0,05$
Чишма — Челябинск	47,1	$+ 0,51$	$\pm 0,03$

Из приведенной табл. 3 видно, что первоклассное нивелирование выполнено с большой точностью. Нивелирование по данной трассе выполнено инструментами НБ-2 и нивелиром «Цейсс». Средняя случайная ошибка по всей линии равна $\pm 0,65$ мм, средняя систематическая ошибка составила $\pm 0,05$ мм на 1 км хода.

Сопоставление с первоначальным нивелированием проведено на 90 точках, к моменту повторного нивелирования сохранилось 64% нивелирных знаков. Результаты предыдущего нивелирования приведены в табл. 4.

В результате сопоставления выявлены значительные расхождения превышений между некоторыми парными знаками.

В 16 случаях из 65 превышений имеются изменения в пределах от 2,8 до 7 мм, в 5 случаях — от 8,5 до 12,6 мм, в одном случае — на 17,4 мм. Большие изменения по высоте произошли

на станциях Кауровка и Дружинино, которые требуют дополнительного обследования.

Таблица 4

Техническая характеристика первоначальных нивелировок по линии
Киров—Челябинск

Линия нивелирования	Годы нивелирования	Длина линии, км	Ср. кв. ошибка на 1 км хода, мм	
			случайная	систематическая
Киров — Глазов	1931	198,7	±1,28	±0,11
Глазов — Пермь	1930	255,3	±0,93	±0,25
Валезная — Кишертъ	1930	186,5	±0,74	±0,05
Кишертъ — Кузино	1930	172,3	±0,78	±0,07
Свердловск — Челябинск	1926	225,5	±0,31	±0,05

В результате многочисленных нивелирных перекрытий было установлено, что водоемное здание, расположенное на железнодорожной станции Свердловска, испытывает резкое отклонение, т. е. указывает на осадку по сравнению с близрасположенными геодезическими центрами. В результате полевого обследования было установлено, что крыша водонапорной башни не имеет стоков, следовательно, все осадковые воды стекают к фундаменту, который имеет многочисленные трещины. При этом у здания водонапорной башни имеется большое скопление воды, которая появляется из шлангов по разным причинам. Все это дает основание сделать вывод, что марка, заложенная в здание водонапорной башни в г. Свердловске, неустойчивая, поэтому ее нельзя брать в обработку для выявления современных вертикальных движений земной поверхности данного района.

В 1934—1935 гг. от г. Свердловска до ст. Ялуторовск было выполнено повторное нивелирование по программе II разряда. Нивелирование закреплено 67 центрами, 23 ственных марки заложены заново, среднее расстояние между постоянными знаками 4,5 км. Общая протяженность трассы 396 км. Работа в 1934 г. выполнялась инженером И. Н. Лапицким, в 1935 г. — инженером Н. Н. Ивановым.

Средняя случайная ошибка на 1 км хода вычислена по формуле

$$\eta = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{4L}} = \pm 1,1 \text{ мм,}$$

средняя систематическая ошибка вычислена по формуле

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{1}{4L} \sum \frac{s^2}{L}} = 0,12 \text{ мм.}$$

Нивелированием, намеченным на 1934 г., от г. Свердловска до ст. Ялуторовск следовало обнаружить грубые ошибки в нивелировке 1913—1915 гг., выполненной Омским военно-топографическим отделом, которые не давали возможности увязать нивелирные полигоны Свердловск — Тавда — Ялуторовск — Свердловск и Свердловск — Курган — Ялуторовск — Свердловск.

В 1934 г. нивелирование производилось инженером И. Н. Лапицким, в задание которого входило проверить прямым ходом нивелировку и только в тех случаях, где будут обнаружены грубые расхождения, прокладывать обратные ходы.

В результате прямого хода было выявлено, что в нивелировке, выполненной в 1913—1915 гг., кроется целый ряд грубейших ошибок и что большинство первоначальных марок было уничтожено армией Колчака при отступлении. Это обстоятельство заставило взять под сомнение всю первоначальную нивелировку, поэтому в 1935 г. было выполнено нивелирование от г. Свердловска до ст. Ялуторовск по полной программе, вновь заложено 11 марок. От ст. Ялуторовск до ст. Юшала на протяжении 160 км были обнаружены грубые ошибки в нивелировке 1913—1915 гг. Далее на восток от ст. Ялуторовск нивелирование выполнено в 1949 г. через Ишим до Омска. Сопоставление проведено на 36 сохранившихся точках. Вновь заложено 3 фундаментальных репера, 70 грунтовых реперов, 170 стенных марок.

Получены такие средние квадратические ошибки на 1 км хода:

$$\eta = \pm 1,09, \quad \sigma = \pm 0,14.$$

Вычисления производились по формулам

$$\eta = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{4L}}; \quad \sigma = \pm \sqrt{\frac{1}{4L} \left[\frac{s^2}{L} \right]},$$

где

L — длина хода одного направления, км;

Δ — расхождение превышений прямого и обратного ходов;

s — общие суммы расхождений прямого и обратного превышений.

Сопоставляя результаты повторных нивелировок на одноименных точках, выяснили, что большинство геодезических центров, заложенных при первоначальном нивелировании, вполне пригодны по степени своей устойчивости для дальнейшего использования.

Результаты повторных нивелировок указывают, что на всем протяжении от Свердловска до Омска наблюдаются явления современных вертикальных движений земной коры, происходящие на данной территории.

Для выявления современных вертикальных движений земной коры Уральского региона, важное значение имеет исследо-

вание повторных результатов нивелирных измерений, выполненных в меридиональном направлении.

В дореволюционный период точные нивелирные трассы были проложены только вдоль магистрали Сибирской железной дороги. В горнодобывающих районах Урала постоянно требовались карты и планы для строительства и реконструкции заводов, фабрик и прочих жилищных и промышленных сооружений. В различных районах Среднего и Северного Урала в результате геологических поисков создавались крупные промышленные заводы. С учетом потребности создания точных карт выполнялись первые нивелировки высших разрядов и классов, продвигаясь на север по Уралу.

Первоначальное нивелирование в пределах Среднего и Северного Урала было закончено на ст. Инта в 1957 г. Это нивелирование послужило основой для последующих изучений современных вертикальных движений земной поверхности на всем протяжении горных хребтов Среднего и Северного Урала.

Нивелирная трасса Свердловск—Инта очень сложная, на расстоянии 1622 км встречаются различные физико-географические преграды, которые снижают точность нивелирования и увеличивают абсолютную величину ошибки. Южная часть линии проложена по полотну железной дороги Свердловск—Ивдель—Полуночное, северная часть линии проходит по восточным отрогам Уральского хребта, залесенным, а в низинах заболоченным местам.

В 1970—1974 гг. было выполнено повторное нивелирование по трассе Свердловск—Инта по программе I класса для выявления скорости современных вертикальных движений земной коры. К моменту повторного нивелирования сохранилось 13 фундаментальных вековых реперов, 95 грунтовых реперов, 55 стальных марок и 19 скальных реперов. Эти центры дали возможность заняться анализом вертикального движения земной коры на протяжении всей трассы.

От Свердловска до Нижнего Тагила первоначальное нивелирование было выполнено в 1923 г. по программе II разряда, к моменту повторного нивелирования 14 центров оказались утраченными. При первоначальном нивелировании все марки и репера закладывались в устои железнодорожных мостов, в зданиях вокзалов, в водонапорные башни и в другие сооружения, расположенные вблизи железнодорожных линий. В результате реконструкции железнодорожного вокзала в г. Свердловске была уничтожена геодезическая марка, которая была заложена в стену вокзала в 1904 г. По этой же причине не сохранились марки, заложенные в железнодорожные мосты через реки Нейва, Шайтанка и другие. На участке от Свердловска до Нижнего Тагила уничтожено 8 марок, заложенных в железнодорожные мосты.

Сохранилась часть геодезических центров, которые вполне пригодны для включения в нивелировку I класса для повторного нивелирования. Надежно сохранилась марка в здании вокзала на ст. Шувакиш, заложенная в 1923 г. При обследовании было установлено, что здание устойчивое, никаких трещин на стенах нет. Фундамент прочный.

В повторное нивелирование не включена марка № 86 на ст. Анатольская. Марка эта была раньше заложена в водоемное здание, которое претерпело деформацию. На стенах имеются трещины. Сток дождевых и снеговых вод находится вблизи. Здание массивное, высокое. Все это указывает на недостаточную устойчивость водоемного здания.

На станциях Исеть, Таватуй, Верх-Нейвинск, Нейво-Рудянское нивелирные марки заложены в водонапорные башни. Все эти сооружения вполне устойчивые, для сточных вод имеются отводы, т. е. сточные воды не проникают к основаниям этих сооружений. Фундаменты крепкие, никаких признаков деформации не обнаружено. Все эти сооружения кирпичные, капитальных ремонтов и реконструкций не производилось, поэтому здания и заложенные в них марки вполне пригодны для включения их в повторное нивелирование.

На ст. Шурала марка при первоначальном нивелировании была заложена в фундамент здания железнодорожного вокзала, которая при обследовании подтвердила свое исходное положение и поэтому включена в обработку нового нивелирования.

На расстоянии 155 км от Свердловска до Нижнего Тагила сохранились 8 геодезических центров, заложенных в 1923 г., и 4 знака, заложенных в 1950—1959 гг. Вновь заложено в 1970 г. 2 фундаментальных репера, 8 грунтовых, 12 стенных марок и 2 скальных репера, т. е. линия закреплена очень надежно.

От Нижнего Тагила до ст. Гороблагодатской на расстоянии 65 км сохранилось 3 геодезических марки от нивелировки 1928 г., а 9 центров не включено в повторное нивелирование. Исключена марка на ст. Благодать, которая была заложена в 1928 г. в здание полуказармы. При рекогносцировочном обследовании оказалось, что полуказарма длительное время находилась в полуразрушенном состоянии без крыши, следовательно, под фундамент попадали сточные воды, которые повлияли на устойчивость здания. На стене имеется трещина, которая проходит через марку. Марка сохранилась, но сильно расшатана, поэтому не может быть использована для данной нивелировки и соответственно для последующих геодезических и топографических работ.

В результате реконструкции водоемного здания на ст. Гороблагодатской не найден стеной репер, который очевидно был выбит или заштукатурен при усилении фундамента водоемной башни.

Уничтоженными оказались при реконструкции мостов марки, заложенные в устой железнодорожных мостов через реки Савотка и Тура. Не включен в повторную обработку стенной репер, заложенный ранее в водоемное здание на ст. Выя, так как здание оказалось перекошенным из-за проникновения грунтовых вод к фундаменту и на фундаменте имеются признаки разложения поверхностной части стен из-за грунтовых вод. Остальные знаки на данном участке были уничтожены в период реконструкции и ремонтных работ этих сооружений.

В период повторных нивелирных работ на данном участке были заложены 1 фундаментальный репер, 6 грунтовых и 4 стенных марки.

От ст. Гороблагодатская до г. Серова первоначальное нивелирование было выполнено в 1930 г. К моменту повторного нивелирования на этом участке утрачено 10 центров, в том числе 3 грунтовых репера, 7 стенных марок. Стенные знаки оказались непригодными в результате реконструкции сооружений, а 2 казармы за этот период были полностью разрушены. На этом участке длиной 200 км вновь заложено 35 геодезических центров и 11 знаков использовано из первоначального нивелирования, в том числе 7 марок находятся в зданиях водонапорных башен и 2 марки — в железнодорожных мостах.

Первоначальное нивелирование от г. Серова до ст. Ивдель выполнено в 1943—1944 гг. по программе II класса. На этом участке длиной в 188 км вновь заложено 24 геодезических центра. При обследовании на местности было установлено, что 13 знаков не сохранилось, из них 11 не найдено совсем. Марка, заложенная в водоемное здание на ст. Ивдель, оказалась не пригодной к использованию, так как здание частично разрушено. Стенной репер на ст. Уралзолото был подвержен физическим воздействиям, поэтому исключен из работ повторного нивелирования.

От ст. Ивдель до ст. Вижай в 1943—1944 гг. проложено нивелирование II класса на расстоянии 100 км, при этом было заложено 22 знака, большая часть из которых грунтовые. В период повторного нивелирования 7 центров оказались утраченными, остальные 15 включены в повторное нивелирование. Вновь было заложено 17 грунтовых реперов, 2 фундаментальных репера, 2 скальных марки.

В ненадежном состоянии находятся в с. Талица геодезические центры, так как село нежилое и знаки в ближайшие годы очевидно будут уничтожены.

Нивелирное звено длиной 118 км Вижай—Усть-Манья, проложенное в 1943 г., закреплено на местности 20 геодезическими центрами. К 1973 г. сохранилось 14 центров: 8 грунтовых реперов, 2 скальных марки, 2 фундаментальных репера и 2 пункта триангуляции. При повторном нивелировании заложено 15 центров. Физико-географические условия участка Вижай—Усть-Ма-

нья очень сложные, нивелирование большей частью прокладывалось по бездорожью. Вдоль нивелирной трассы почти отсутствуют жилые селения, а оставшиеся поселки заброшены, нежилые. Нивелирование выполнялось, в основном, с использованием дороги старого зимника в ранневесенний период — марте—апреле.

Нивелирование II класса от с. Усть-Манья до Сосьвинской Культбазы на расстоянии 400 км было первоначально выполнено в 1955—1956 гг. В повторное нивелирование было включено 28 старых знаков и вновь заложен 81 центр.

5 грунтовых реперов не удалось отыскать ввиду сложной ориентировки в лесной местности, один фундаментальный репер в с. Няксимволь был уничтожен, на месте его закладки выстроен дом. Нивелирная трасса проходит в трудных горнотаежных районах по зимникам, тропам, по берегам таежных рек. По всей трассе заложены только грунтовые реперы, стальных марок нет, так как отсутствуют каменные сооружения. Сохранившиеся 28 центров от нивелировок прошлых лет тоже все грунтовые.

Один из самых сложных нивелирных участков — звено Сосьвинская Культбаза — ст. Инта протяженностью 454 км. Первое нивелирование по этой трассе выполнено в 1956—1957 гг., в результате этого нивелирования было заложено 48 геодезических центров. К моменту повторного нивелирования сохранилось 25 грунтовых центров и 15 скальных реперов, заложенных при первоначальном нивелировании в скальные берега р. Кожим.

При обследовании на местности было установлено, что грунтовый репер, заложенный в 1956 г. на окраине с. Щекурья, уничтожен, место закладки распахано. Остальные 6 реперов остались не найденными ввиду сложной ориентировки в лесной местности. При повторном нивелировании заново заложено 75 нивелирных знаков в грунт и в скалы. На трассе Сосьвинская Культбаза — ст. Инта имеются участки, выявленные в результате повторного нивелирования, где превышения между первоначальным и повторным нивелированием достигают полуметровой величины и более. Так, на участке от с. Матленки до с. Верх. Хулюм-Пауль на расстоянии 15 км произошло изменение в высотном отношении с 1956 г. по 1972 г. на — 536,5 мм, а на участке от с. Верх. Хулюм-Пауль на расстоянии 11 км вниз по течению р. Ляпин высота изменилась на 257 мм. Эти изменения произошли между грунтовыми однотипными реперами, заложенными в 1955 г. Повторное нивелирование на этом участке выполнялось в осенние месяцы: август—сентябрь. Значительное изменение в высотном отношении произошло в районе с. Саранпауль, между однотипными грунтовыми реперами, на расстоянии 11 км отметка на репере изменилась с 1956 по 1973 гг. на — 631 мм. Это изменение в высотном отношении произошло на месте бывшего селения Манья. Имеются и другие случаи

резких изменений высот земной поверхности на этом участке, гораздо меньших размеров, но превышающих допустимые значения. Для установления причин таких значительных изменений требуется дополнительный анализ.

На протяжении всей трассы от г. Свердловска до с. Инта в результате повторного нивелирования выявлен характер движения земной коры на всех участках Среднего и Северного Урала.

Нивелирная линия пересекает 3 географических растительных зоны — лесную, лесотундровую и тундровую. При подъеме к вершинам горных хребтов и массивов сменяются пояса: горно-лесной, подгольцовый, горнотундровый. Склоны хребтов Среднего Урала принадлежат к поясу горной тайги. Почвы в этих районах подзолисто-глеевые, болотистые, серые лесные и дерново-подзолистые. В северной части нивелирной трассы почвы преимущественно тундрово-глеевые, на гольцах каменные россыпи, лишенные почвенного покрова.

При первоначальном нивелировании фундаментальные реперы были заложены на глубину 2,5—3,5 м, грунтовые реперы закладывались на глубину 1,7—3,5 м, верхняя марка находилась на 0,3 м ниже поверхности земли. Реперы на всем протяжении нивелирной трассы, в основном, были заложены однотипные, но по степени устойчивости они оказались разными. В табл. 5 приведена характеристика устойчивости геодезических центров по линии Свердловск—Инта.

В табл. 5 включены для обработки 165 знаков, несколько марок и реперов исключены, так как имеют резкие отклонения. Если из анализа исключить центры, заложенные в казармы, в мосты, жилые дома, заводы и туннели из-за их малочисленности, то вырисовывается вполне четкая система устойчивости геодезических центров, заложенных в различные сооружения и в грунты.

Самыми устойчивыми из всех знаков оказались фундаментальные (вековые) реперы, затем марки, заложенные в водонапорные башни, следующими по степени устойчивости располагаются скальные марки, сразу же за ними идут грунтовые реперы.

В северной части нивелирной трассы, вблизи ст. Инта, в 1957—1961 гг. была заложена опытная площадка для изучения степени устойчивости геодезических центров в районах Крайнего Севера [9]. Площадка состоит из двух участков, один расположен на сухом возвышении, второй рядом с болотом, вблизи выходов грунтовых вод. Заложенные 4 бетонных знака на Интинской опытной площадке в течение 4 лет испытывали только оседание. Средняя величина их осадки за 4 года достигла 1,9 мм.

Почти на одной параллели со ст. Инта расположена Игарка, где имеется мерзлотная станция Института мерзлотоведения.

Здесь проводятся постоянные исследования по устойчивости различных по конфигурации центров в условиях вечной мерзлоты [9]. Анализ проведенных исследований на Игарской опытной площадке и на Интинской площадке указывает, что фундаментальные реперы более устойчивы, чем все остальные. В то же время предпочтение отдается скальным центрам, хотя в нашем случае они оказались на третьем плане по степени устойчивости.

Таблица 5
Устойчивость геодезических центров, заложенных в различные сооружения и в грунт

Сооружение	Кол-во знаков	Максимальная величина смещения, мм	Средняя величина смещения, мм
Водонапорная башня	13	1,83	0,47
Казарма	3	0,51	0,33
Железнодорожный вокзал	5	2,60	1,06
Скала	15	1,61	0,52
Мост через реку	3	0,70	0,43
Жилой дом	2	0,21	0,15
Здания завода	2	1,20	0,80
Туннель	2	0,70	0,35
Грунтовый репер	110	10,22	0,65
Фундаментальный (вековой) репер	10	1,50	0,46

Определение степени устойчивости геодезических центров дает возможность исключить из дальнейшей обработки центры, которые по каким-то причинам оказались непригодными. Для последующих исследований необходимо провести анализ оценки точности первоначальных и повторных нивелировок. Качественная характеристика нивелировок, выполненных от г. Свердловска до ст. Инта в 1923—1957 гг., приведена в табл. 6.

Таблица 6
Качественная характеристика первоначальных нивелирных линий по линии Свердловск—Инта

Линия нивелирования	Годы нивелирования	Класс нивелирования	Средн. кв. ошибка случайная, мм	Средняя квадратическая систематическая ошибка, мм
Свердловск — Нижний Тагил	1923	II	$\pm 1,20$	$\pm 0,25$
Нижний Тагил — Серов	1928	II	$\pm 0,80$	$\pm 0,25$
Серов — Ивдель	1928	I	$\pm 0,80$	$\pm 0,20$
Ивдель — Вижай	1943	II	$\pm 1,14$	$\pm 0,26$
Вижай — Усть-Манья	1955	II	$\pm 0,98$	$\pm 0,10$
Усть-Манья — Сосьва	1955	II	$\pm 0,80$	$\pm 0,02$
Сосьва — Саранпауль	1955	II	$\pm 0,80$	$\pm 0,02$
Саранпауль — Инта	1956— —1957	II	$\pm 1,14$	$\pm 0,06$

Из приведенной табл. 6 видно, что максимальная средняя квадратическая случайная ошибка на 1 км нивелирного хода не превышает $\pm 1,20$ мм по линии Свердловск — Нижний Тагил. Это соответствует допускам действующих инструкций, остальные ошибки гораздо меньше.

Приведенные результаты указывают, что нивелирование от Свердловска до Инты выполнялось в течение 29 лет, иногда с большими промежутками во времени, нивелирование характеризуется высоким качеством. Оценка точности нивелирных участков дает основание включить все первоначальные нивелировки, выполненные от Свердловска до Инты в период с 1923 г. по 1957 г.,

Таблица 7

Характеристика качества нивелирования I класса линии
Свердловск—Инта

Название части линии нивелирования	Протяженность линии, км	Средняя квадратическая ошибка на 1 км хода, мм	
		случайная	систематическая
Свердловск — Серов	423,8	$\pm 0,54$	+0,02
Серов — Андриановичи	38,0	0,67	0,03
Андриановичи — Талица	152,7	0,60	0,02
Талица — Вижай	35,2	0,60	0,05
Вижай — Второй Северный	50,9	0,70	0,02
Второй Северный — Усть-Манья	49,1	0,88	0,02
Усть-Манья—Озеро Маньжур	26,4	1,09	0,02
Озеро Маньжур — река Сарма	41,8	0,74	0,07
Река Сарма — Няксимволь	26,5	0,36	0,02
Няксимволь — Усть-Тапсуй	63,9	0,54	0,07
Усть-Тапсуй — Сангитур	178,2	0,59	0,02
Сангитур — Сосьвинская Культбаза	81,8	0,64	0,07
Сосьвинская Культбаза — р. Мадага Шор	229,2	0,64	0,02
р. Мадага Шор — р. Бол. Бадья	105,0	0,50	0,02
р. Бол. Бадья — ст. Инта	119,8	0,98	0,07
Общая всей линии:	1622,3	+0,70	$\pm 0,04$

в обработку для выявления современных вертикальных движений земной коры методом количественных измерений в районах Среднего и Северного Урала.

Повторное нивелирование (первоклассное) по линии Свердловск—Ивдель—Инта выполнено в качестве высокоточной основы развития для производственных и научных задач, связанных с вопросами изучения вертикальных движений земной коры этих районов [10]. Приступая к последующим исследованиям, необходимо прежде всего определить качественную характеристику выполненных работ, которая приведена в табл. 7.

Из табл. 7 видно, что нивелирование выполнено с высокой оценкой качества, в соответствии с действующими наставлениями и инструкциями. Наибольшая средняя квадратическая случайная ошибка была получена на участке Усть-Манья — оз. Маньжур. В этом месте нивелирная трасса проходит по зимнику с. Бурматово, затем спускается по крутому склону вдоль ручья Апсия к озеру Маньжур, которое расположено на болоте. Линия пересекает несколько небольших озер среди заболоченной местности, но нивелирование выполнялось в начале апреля, когда болота были еще застывшими.

Последний участок нивелирной трассы длиной в 120 км перед ст. Инта тоже имеет не очень высокую качественную характеристику, хотя весь участок закреплен только грунтовыми и скальными реперами. Повторное нивелирование на этом участке выполнено спустя 16 лет после первоначального. Трасса проложена в основном по берегам рек и ручьев с использованием охотничьих троп.

Повторное нивелирование Свердловск—Инта выполнено за короткий период и с высоким качеством. Средняя квадратическая случайная ошибка на 1 км хода составила $\pm 0,70$ мм, а средняя квадратическая систематическая ошибка на 1 км хода не превышает $\pm 0,04$ мм.

В период повторного нивелирования заложено вновь 21 фундаментальный репер, более 200 грунтовых реперов, 63 ственных центра и 29 скальных марок. Все эти геодезические знаки будут постоянно использоваться не только для сгущения высотной геодезической основы, но и будут служить для изучения современных вертикальных движений земной коры горных хребтов Среднего и Северного Урала.

От Свердловска на юг нивелирная трасса доходит до ст. Бердяш через Кузино. Параллельно хребтам Южного Урала нивелирование с западной стороны пролегает до Оренбурга, а с восточной — до ст. Карталы, которая расположена на юго-восток от Магнитогорска.

Нивелирование на участке Свердловск—Кузино выполнено в 1924 г. инженером В. В. Алексеевым. Протяженность трассы 87 км. В период работ занивелировано 10 марок, 18 постоянных знаков в мостах и 2 центра в железнодорожных зданиях. Средняя случайная ошибка вычислена по формуле

$$\eta = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{4L}} = \mp 0,67 \text{ мм,}$$

а средняя систематическая ошибка —

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{1}{4L} \sum \frac{s^2}{L}} = \pm 0,14 \text{ мм.}$$

Поправка за уравнивание на линию Кузино — Свердловск равна 6,3 мм на 87,6 км; линия Дружинино — Кузино — 0,1 мм на 31,7 км.

Нивелирование выполнялось с целью дать ряд основных опорных точек, которые в дальнейшем можно использовать как для научных, так и для практических целей. Нивелирование выполнялось вдоль железной дороги.

Нивелирование Кузино — Дружинино — Бердяш первоначально выполнено в 1930—1931 гг. по программе второго разряда. Расстояние трассы 262 км. Нивелирование выполнялось в соответствии с Инструкцией по нивелированию высокой точности. Средняя квадратическая случайная ошибка составляет $\pm 0,92$ мм на 1 км нивелирного хода, средняя квадратическая систематическая ошибка равна $\pm 0,31$ мм.

К моменту повторного нивелирования, которое выполнено в 1972—1973 гг., на данной трассе сохранился 51 нивелирный знак, т.е. 60% от первоначальной закладки. Сохранилось 24 центра, заложенных в железнодорожные мосты; 8 марок осталось в трубах, 6 центров заложены в железнодорожных вокзалах, 2 фундаментальных, остальные — в различных сооружениях, расположенных вблизи железнодорожной магистрали. При повторном нивелировании средняя квадратическая ошибка случайная составила $\pm 0,76$ мм, систематическая — $\pm 0,11$ мм.

Качественная характеристика всех нивелирных линий приведена в табл. 8. Ведомости сопоставления нивелирования разных лет составлены по всем линиям в соответствии с указаниями руководящих технических материалов отдела научно-технической информации ЦНИИГАиК. По линии Свердловск—Киров составлены 3 ведомости сопоставления, так как данная линия занивелирована 3 раза.

Отбраковка отдельных измерений по линиям производилась согласно действующим наставлениям и инструкциям.

Сеть линий повторного нивелирования образует 13 замкнутых полигонов. Невязки скоростей в полигонах находятся в пределах от $-8,06$ до $+5,11$ мм/год. Вес линий между узловыми пунктами вычислялся по формуле

$$P = \frac{100}{(\eta_1^2 + \eta_2^2)} L \left[\frac{\Delta T}{20} \right]^2,$$

где η_1 и η_2 — среднеквадратические ошибки нивелирования на 1 км хода;

L — длина линии повторного нивелирования, км;

ΔT — интервал времени между повторными нивелированиями.

Таблица 8

Характеристика линий повторного нивелирования на территории Уральского региона

Линия нивелирования	Годы нивелирования	Длина линий, км	Класс нивелирования	Средняя кв. ошибка на 1 км хода, мм	
				случайная	систематическая
I. Свердловск—Курган					
Свердловск — Синарская	1933	101	I разр.	±0,70	±0,03
Синарская — Курган	1931	264	I разр.	±0,24	±0,03
Свердловск — Курган	1973—1975	389	II кл.	±0,74	±0,23
II. Свердловск—Вятские Поляны					
Дружинино—Шучье озеро	1938	230	I разр.	±0,80	±0,17
Шучье озеро — Агрыз	1928	236,5	I разр.	±0,80	±0,17
Агрыз — Вятские Поляны	1929	149,7	I разр.	±0,80	±0,17
Свердловск — Вятские Поляны	1972—1975	650,0	I кл.	±0,58	±0,13
III. Кузино—Бердяуш					
Дружинино — Бердяуш	1930—1931	262,0	II разр.	±0,92	±0,31
Дружинино — Бердяуш	1972—1973	291,0	II кл.	±0,76	±0,11
IV. Серов — Сосьва — Пелым					
Серов — Сосьва — Пелым	1943	231,9	II разр.	±0,70	±0,05
Серов — Пелым	1970—1971	236,3	II кл.	±0,91	±0,09
V. Тобольск — Усть-Ишим — Петропавловск					
Тобольск — Усть-Ишим — Омск	1971—1972	817,5	II кл.	—0,51	—0,03
Усть-Ишим — Петропавловск	1973—1974	454,3	II кл.	±0,55	±0,21
Усть-Ишим — Петропавловск	1944	468,2	II разр.	±1,20	±0,25
VI. Троицк — Челябинск					
Троицк — Челябинск	1969	131,9	II кл.	±0,82	±0,35
VII. Троицк — Звериноголовское					
Троицк — Звериноголовское	1971	214,6	II кл.	±0,54	±0,10
Золотая Сопка — Усть-Уйское	1943	167,0	II разр.	±1,18	±0,13
Усть-Уйское — Звериноголовское	1943	84,4	II разр.	±1,67	±0,01
VIII. Троицк — Карталы					
Троицк — Карталы	1971	130,9	II кл.	±0,80	±0,13

Линия нивелирования	Годы нивелирования	Длина линий, км	Класс нивелирования	Средняя кв. ошибка на 1 км хода, мм	
				случайная	систематическая
IX. Нижний Тагил — Егоршино — Каменск-Уральский					
Нижний Тагил—Егоршино	1973	172,0	II кл.	±0,84	±0,30
Егоршино — Каменск-Уральский	1972	132,9	II кл.	±0,84	±0,30
Алапаевск — Егоршино	1943	60,8	II разр.	±1,32	±0,06
Егоршино — Синарская	1943	262,3	II разр.	±1,14	±0,18
X. Егоршино — Усть-Тавда					
Егоршино — Усть-Тавда	1972—1973	443,5	II кл.	±0,72	±0,18
Ирбит — Караульноярское	1931	156,0	II разр.	±1,09	±0,05
XI. Чайковская — Ижевск — Агрыз					
Чайковская — Ижевск	1974—1975	402,3	II кл.	±0,32	±0,67
Агрыз — Чайковская	1938—1940	413,3	I разр.	±0,80	±0,17
XII. Челябинск — Киров					
Киров — Челябинск	1952—1953	1120,5	I кл.	±0,65	±0,05
Свердловск — Челябинск	1925—1926	225,5	II разр.	±0,31	±0,03
Кузино — Кишерт	1930	172,3	I разр.	±0,78	±0,07
Валежная — Кишерт	1930	186,5	»	±0,74	±0,05
Пермь — Глазов	1930	255,3	I разр.	±0,93	±0,25
Глазов — Киров	1931	198,7	»	±1,28	±0,11
Челябинск — Киров	1974—1976	1133,1	I кл.	±0,26	±0,04
XIII. Свердловск — Инта					
Свердловск — Гороблагодатская	1923	190,6	II разр.	±1,61	±0,16
Гороблагодатская — Верхотурье	1928	93,3	II разр.	±0,57	—
Верхотурье — Серов	1930	283,8	»	±0,78	±0,04
Серов — Ивдель	1943	134,1	II разр.	±0,84	±0,11
Ивдель — Вижай — 2-й Сев. Рудник	1943	141,8	»	±1,14	±0,26
2-й Сев. Рудник — Усть-Манья	1955	89,7	II кл.	±1,14	±0,26
Усть-Манья — Сосьвинская Культбаза	1956	363,6	»	±0,80	±0,02
Сосьвинская Культбаза — Инта	1956—1957	243,9	»	±0,78	±0,03
Инта — Свердловск	1970—1974	1622,3	I кл.	±0,70	±0,04

Линия нивелирования	Годы нивелирования	Длина линий, км	Класс нивелирования	Средняя кв. ошибка на 1 км хода, мм	
				случайная	систематическая
XIV. Чусовская — Гороблагодатская					
Чусовская — Гороблагодатская	1929	186,1	I разр.	±0,46	±0,05
Чусовская — Гороблагодатская	1973— —1975	201,2	II кл.	±0,72	±0,30
XV. Чусовская — Мошево					
Верх-Мошево — ст. Усольская	1937	55,7	II разр.	±1,2	±0,25
ст. Усольская — Чусовская	1929	205,1	»	±0,76	±0,12
Усольская — Чусовская	1974	269,4	II кл.	±0,76	±0,12
XVI. Чусовская — Пермь					
Чусовская — Пермь	1929	147,6	I разр.	±1,10	±0,10
Чусовская — Пермь	1974	162,3	II кл.	±0,87	±0,20

Для линий, состоящих из нескольких участков, пронивелированных через разные интервалы времени, вычислялись обратные веса по формуле

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2} + \dots + \frac{1}{P_n},$$

где $\frac{1}{P}$ — обратный вес каждого участка линии.

По завершении подготовительных работ был проведен выбор линий повторного нивелирования и исходных данных для уравнивания. В уравнивание включены те линии, которые дают меньшие невязки скоростей в полигонах, а также имеющие интервал между повторениями более 20 лет. По линии Свердловск — Киров в уравнивание были включены данные сопоставления превышений 1976—1980 гг.

Сеть повторного нивелирования уравнивалась, как свободная. В качестве исходного выбран один знак в г. Свердловске, скорость которого принята равной 0.

Такой выбор обусловлен тем, что сеть повторного нивелирования не имеет связи с урвнеммерными станциями.

Для каждой линии составлена ведомость сопоставления результатов нивелирования и определены скорости современных вертикальных движений земной поверхности. В таблицах 9, 10, 11, 12 приведены скорости по линиям: Свердловск — Киров с интервалом 44—51 год; Чусовская — Гороблагодатская с интервалом в 44—46 лет; Челябинск — Курган с повторным нивелиро-

ванием через 11—16 лет; Свердловск—Инта с интервалом 17—47 лет. Наибольшие скорости по этим направлениям проявляются по линии Свердловск—Инта, достигая 9 мм в год и более. Для Уральского региона это наибольшая скорость, которая

Таблица 9

Ведомость сопоставления результатов нивелирования разных лет по линии Свердловск—Киров

Местонахождение нивелирного знака	Год закладки	Тип центра	Расстояние от начального знака, км	Интервал времени T, год	Скорость V, мм/год
Свердловск	1923	Марка	0,0	51	0,0
Хрустальная	1924	»	34,0	51	+0,28
Билимбаев	1924	»	65,1	51	+0,44
Коуровка	1924	»	83,2	51	-0,25
Кузино	1924	»	94,2	45	+0,40
Меркитасиха	1930	»	104,3	45	+0,59
Сабик	То же	»	114,4	45	+0,31
Шая	1930	»	154,3	45	-0,35
Шамары	1930	Стен. р.	193,6	46	+0,31
Кордон	То же	»	220,6	46	+0,38
Кишерть	» »	Марка	270,8	46	+0,64
Кунгур	» »	»	291,6	44	+0,72
Чайковская	» »	»	443,0	45	+0,28
Менделеево	» »	»	492,3	45	+1,84
Чепца	» »	»	610,2	47	+1,48
Балезино	» »	»	642,8	47	+1,36
Глазов	» »	»	672,3	47	+1,19
Яр	» »	Фун. р.	712,6	47	+1,14
Фаленки	1930	Марка	748,8	47	+0,61
Ардаши	То же	»	813,0	47	+0,96
Киров	» »	»	887,7	46	+0,71

Таблица 10

Ведомость сопоставления результатов нивелирования по линии Чусовская—Гороблагодатская

Местонахождение нивелирного знака	Тип центра	Расстояние от начального знака, км	Интервал времени T, год	Скорость V, мм/год
Чусовская	Марка	0,0	44	0,0
Архиповка	»	16,2	44	-0,29
Всесвятская	»	32,0	44	+0,11
Койва	»	73,1	44	+0,94
Лаки	»	95,7	45	+1,15
Усть-Тискос	»	132,5	45	+1,69
Европейская	»	142,8	46	+1,65
Хребет Уральский	»	158,4	46	+1,88
Азиатская	»	173,8	46	+2,72
Кушва	»	193,8	—	+2,88
Пермь	»	134,9	44	-1,04

обуславливается локальными участками только в районе Северного Урала.

Из приведенных таблиц 9, 10, 11, 12 видно, что на Урале имеют место современные вертикальные движения земной поверхности. Наибольшая часть Уральского региона подвергается поднятию. Имеются локальные участки, на которых происходит опускание земной поверхности, но они незначительны по размерам и по величине движения. Необходимо отметить, что все таблицы и графики составлялись в абсолютном исчислении от начального геодезического центра каждой нивелирной трассы. В процессе камеральной обработки исключены все нивелировки, которые выполнялись в районах, подвергающихся техногенным воздействиям, т. е. нивелирные работы, проложенные на нефтяных и газовых месторождениях, а также в местах разработки полезных ископаемых.

Таблица 11

Ведомость сопоставления результатов нивелирования разных лет по линии Челябинск — Курган

Местонахождение нивелирного знака	Год закладки	Тип центра	Расстояние от начального знака, км	Интервал времени T , год	Скорость V , мм/год
Челябинск	1906	Марка	1,2	16	+0,18
Чернявская	1940	Фун. реп.	45,2	11	+1,18
Пивкино	1940	Грунт. реп.	66,9	11	+0,61
Щучье	1940	Стен. реп.	96,9	11	+0,02
Чистое	1940	Фунд. реп.	112,3	11	+1,60
Шумиха	1940	Стен. реп.	133,2	11	+1,55
Мишкино	1906	Марка	176,6	12	+3,54
Логовушка	1940	Марка	243,7	11	+1,94
Курган	1941	Грунт. реп.	271,8	11	+2,17

На основании сопоставленных результатов повторных нивелировок в меридиональном направлении составлен график скоростей современных вертикальных движений земной поверхности от ст. Инта до ст. Бердяуш (рис. 1).

Станция Бердяуш расположена на склоне Южного Урала. Нивелирная трасса, пересекая границу Среднего Урала, устремляется на север. Как видно на приведенном графике (см. рис. 1), южный участок Бердяуш — Свердловск испытывает незначительные изменения в скорости и в направленности современных вертикальных движений земной поверхности.

К северу от Свердловска скорость современных вертикальных движений начинает возрастать, резким пределом служит участок Серов — Ивдель, от которого происходит подъем земной поверхности, достигая скорости 6—9 мм/год.

В субмеридиональном направлении проложено несколько нивелирных трасс. Проследим на графике (рис. 2) трассу, которая пересекала Уральские горы в районе Свердловска, протяжен-

ностью от Кургана до ст. Бикбарда по направлению к Ижевску. Как видно из приведенного графика, направленность современных вертикальных движений земной поверхности чередуется с небольшими амплитудами колебаний, при этом скорости поднятий и опусканий едва достигают 1,0—1,5 мм в год.

Таблица 12

Результаты современных вертикальных движений земной поверхности по линии Свердловск — Инта

Местонахождение нивелирного знака	Год закладки	Тип центра	Расстояние от начального знака, км	Интервал времени Т, год	Скорость V, мм/год
Свердловск	1923	Марка	0,0		0,0
Шувакиш	1953	»	14,4	17	+0,74
Таватуй	1923	»	49,6	47	+1,10
Верх-Нейвинск	1923	»	72,3	47	+1,05
Нейво-Рудянское	1923	»	81,7	47	+0,80
Нижний Тагил	1923	»	158,5	47	+1,33
Гороблагодатская	1923	»	205,7	42	+1,86
Кушва	1928	»	207,8	43	+1,66
Карелино	1928	»	279,3	43	+2,31
Верхотурье	1930	Стен. реп.	313,3	41	+1,65
Серов	1930	Марка	403,8	41	+1,05
Красный Яр	1943	Грунт. реп.	442,3	27	+2,59
Уралзолото	1943	Марка	477,6	27	+3,85
Ивдель	1943	»	541,4	28	+1,88
Талица	1943	»	616,9	28	+4,81
Вижай	1943	Грунт. реп.	625,6	28	+4,92
Второй Северный пос.	1943	Фунд. реп.	696,3	—	+5,37
Усть-Мая	1955	»	789,2	17	+6,37
Нерохи	1949	Грунт. реп.	876,5	17	+4,83
Усть-Талсуй	1955	Грунт. реп.	913,2	17	+5,51
Хулюм-Сунт	1955	»	985,2	16	+8,09
Менквя	1955	»	996,8	16	+9,43
Верх. Нильдино	1955	Фунд. реп.	1073,6	16	+8,80
Сосьвинская Культ-база	1955	Грунт. реп.	1157,0	16	+4,71
Хошлог	1955	»	1256,8	15	+3,25
Сарапшауль	1955	»	1302,9	16	+1,95
р. Народа	1955	Фунд. реп.	1386,3	17	+3,18
Кожим	1955	Ск. фонд. реп.	1434,5	17	+5,68
Тундра-Пяседа	1955	Ск. реп.	1548,8	17	+5,23
Инта	1955	Грунт. реп.	1561,5	—	+7,16

Для анализа изученности современных вертикальных движений земной коры были включены нивелирные измерения Свердловск — Курган, выполненные в 1931—1933 гг., со средней квадратической ошибкой $\pm 0,70$ мм и систематической ошибкой, равной $\pm 0,03$ мм на 1 км хода. В 1973—1975 гг. повторное нивелирование сделано, при котором средняя квадратическая

ошибка составила $\pm 0,74$ мм, систематическая — $\pm 0,23$ на 1 км хода.

От Свердловска на запад первоначальное нивелирование выполнено в 1928 г. с $\eta = \pm 0,80$ мм, $\sigma = \pm 0,17$ мм по программе

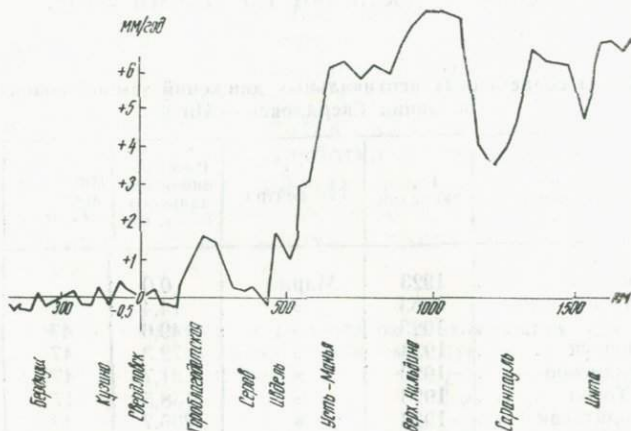


Рис. 1. График скорости современных вертикальных движений по линии Бердяуш — Свердловск — Инта

I разряда, в 1972—1975 гг. по программе I класса с $\eta = \pm 0,58$ мм, $\sigma = \pm 0,13$ мм на 1 км нивелирного хода.

В результате глубокого анализа всех повторных нивелировок, выполненных на Урале, составлена карта современных вертикальных движений земной поверхности Урала (рис. 3).

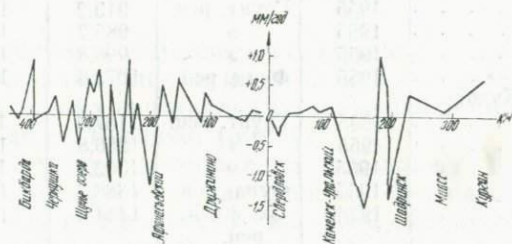


Рис. 2. График скорости современных вертикальных движений по линии Бикбарда — Свердловск — Курган

За нуль принята отметка в г. Свердловске для всего Уральского региона. Максимальный подъем земной поверхности происходит в Северном Урале в районе Верх. Нильдино, достигая скорости поднятия 10 мм/год.

Интенсивное движение земной поверхности Уральского региона дает основание продолжить эту работу по более деталь-

ному изучению современных движений земной коры на Урале и прилегающих к нему регионов.

Для составления карты современных вертикальных движений земной коры Урала было включено в обработку 52 линии I и II классов общей протяженностью 13 212 км. Для подсчета скорости современных движений земной поверхности использованы значения 1443 нивелирных знаков, из них фундаментальных геодезических центров—77, грунтовых реперов—478, ственных марок—692, ственных реперов—196.

Урал, куда входят Предуралье, т. е. восточная часть Русской равнины, и западная окраина Западно-Сибирской низменности, на карте показан как каскад отдельных блоков с преобладанием положительных современных тектонических движений, которые в разных ее частях имеют различную интенсивность.

К северу от г. Свердловска на карте выделяется зона крупных современных поднятий, где скорости современных вертикальных движений в районе Артемовска превышают 2 мм/год. К востоку происходит слабое погружение земной поверхности по направлению Артемовск—Ирбит—Туринск.

К северу от Артемовска выделяется Алапаевско-Верхнесалдинский массив, который характеризуется поднятием со скоростью свыше 4 мм/год. Далее на север распространяется меридиональный равномерный подъем по линии Нижний Тагил—Кушва—Верхотурье со скоростью 3 мм/год. От Верхотурья до Серова начинается зона крупных современных поднятий со скоростями движений, превышающими 4 мм/год.

На запад к бассейнам рек Чусовая и Кама наблюдается повсеместное понижение положительных значений скорости современных вертикальных движений земной поверхности, приближаясь к нулевым значениям по направлению Дружинино—Шала—Кунгур—Пермь—Березники.

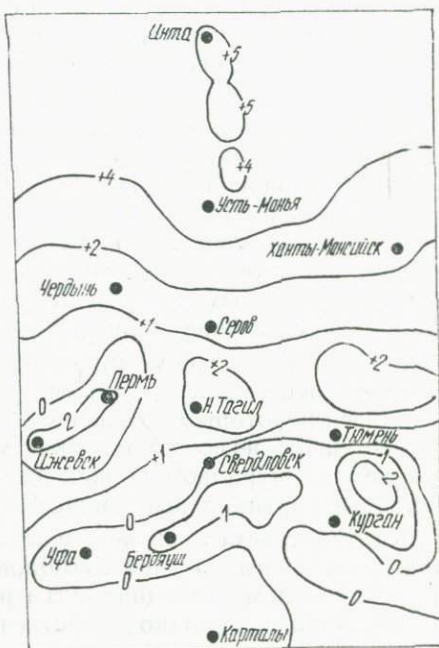


Рис. 3. Карта современных вертикальных движений земной коры Урала

Немалый интерес с точки зрения характера протекающих ныне движений земной коры представляет Воткинское водохранилище, расположенное на запад от Перми.

По результатам повторных нивелировок в данной зоне выявлены опускания земной поверхности со скоростью, превышающей 2 мм/год. Опускание происходит на значительном массиве по контуру Кунгур — Пермь — Чайковский — Ижевск — Сарапул.

Сравнительно большие скорости подъема земной поверхности обнаружены на Северном и Приполярном Урале.

На восточный склон Уральских хребтов оказывают влияние дополнительные воздействия, особенно вблизи районов, где добываются из земных недр нефть и газ [11]. К востоку от Урала недавно закончена обработка материалов по результатам повторного нивелирования I класса Лабитнанги — Ермаково. Трасса проходит в зоне вечной мерзлоты, поэтому требует дополнительной проработки в связи с резкими отклонениями в превышениях грунтовых реперов с расхождениями до 0,65 мм по сравнению с первоначальным нивелированием.

Южная часть Урала находится в более спокойном состоянии. Имеются небольшие локальные участки в районе Уфы, подвергающиеся некоторым изменениям в высотном отношении, а в целом в южном регионе Уральских хребтов с примыкающим Предуральем и Зауральем происходят сравнительно медленные современные вертикальные движения земной поверхности.

Карта современных вертикальных движений земной коры Уральского региона дает возможность заняться изучением верхней мантии Земли специалистами разных направлений для решения различных народнохозяйственных и научных проблем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коверский Э. А. О геодезических работах и сооружении великого Северного пути. — Петербург, 1896.
2. Хренов Л. С. Первая инструкция по точному нивелированию в России и последующие нормативные документы по созданию нивелирной сети в стране. — О нивелирной сети СССР. М.: Недра, 1979.
3. Фиалков Д. Н. Исследователь-топограф А. А. Александров. — В кн.: Инженерно-геодезические работы на Урале: Сборник. Свердловск, 1975.
4. Отчет о пятилетней деятельности высшего геодезического управления 1919—1924 гг. — М., 1924.
5. Красовский Ф. Н. О современной постановке высокоточного и точного нивелирования. — Геодезист, 1938, № 3.
6. Яценко В. Р. Из истории топографо-геодезических работ на Урале. — Геодезия и картография, 1979, № 6.
7. Рождественский А. П., Журенко Ю. Е. Соотношения современных вертикальных тектонических движений основных морфоструктур и новейшей тектоники центральной части Волго-Уральской области. — В кн.: Современные движения земной коры. М.: 1963 (Сборник ст., № 1).
8. Трифонов В. П. Геолого-геоморфологические признаки современных тектонических движений на Урале и в Зауралье. — В кн.: Современные движения земной коры. М.: 1963 (Сборник ст., № 1).

9. **Успенский М. С.** Исследования по закреплению геодезических пунктов на территории СССР. — Тр. ЦНИИГАиК, 1966, № 167.

10. **Кашин Л. А.** О программе высокоточного нивелирования и его научно-техническом значении. — Геодезия и картография, 1968, № 10.

11. **Яценко В. Р.** Особенности топографо-геодезических работ на месторождениях нефти и газа. — Геодезия и картография, 1980, № 9.

12. **Блюмин М. А., Абрамов В. Е.** Исследование современных движений земной коры на Уральском геодинамическом полигоне геодезическими методами. — В кн.: Геодезия и фотограмметрия в горном деле. Свердловск, Изд. УПИ, 1977 (Межвуз. науч. темат. сборник, вып. 4).

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ПОВТОРНЫХ НИВЕЛИРОВОК ПО СВЕРДЛОВСКОМУ ПРОФИЛЮ ГСЗ

В настоящее время одним из основных источников информации о современных вертикальных движениях земной коры являются результаты повторных нивелировок. Работы по определению вертикальных смещений точек земной поверхности проводятся как на специальных геодинимических полигонах, так и на больших площадях в общегосударственном масштабе. Современные достижения геодезической науки и техники позволяют достичь высокого качества нивелирных работ. Наибольшие перспективы в этом плане открываются на геодинимических полигонах, где возможно использовать наиболее высокоточную методику нивелирования и целесообразно выбрать частоту опроса.

Сейчас накоплен обширный материал по повторным государственным нивелировкам на большей части территории СССР. В частности, на Урале имеется около 8300 км линий повторного и тройного нивелирования I и II классов. Наибольшую точность имеют линии нивелирования I класса, выполненные по новой методике после 1950 г. По точности они не уступают уровню лучших мировых нивелировок [1]. Случайная средняя квадратическая ошибка определения превышений на 1 км двойного хода I класса в среднем составляет 0,45 мм [2]. Нивелировки, выполненные до 1950 г., характеризуются в целом меньшей точностью. Исследования показывают, что в этих нивелировках ошибки в средних превышениях из-за изменения длины метра деревянных реек могут достигать 20—30 мм на 100 м превышения [3]. В каждую эпоху линии нивелировались в течение определенного промежутка времени (года или нескольких лет), кроме того, нивелирование на больших площадях выполнялось в разные годы. Поскольку в настоящее время имеются данные о периодичности вертикальных движений земной поверхности различной длительности, очевидно, что изменения превышений, определенные по разновременным нивелировкам, будут содержать разные величины периодических компонент смещений.

Под относительным вертикальным движением точки земной поверхности понимается смещение ее вдоль силовой линии гравитационного поля Земли. В постоянном гравитационном поле это смещение равно разности нивелирных высот [4]. Как пра-

вило, информация об изменении потенциала силы тяжести во времени вдоль профиля нивелирования отсутствует. Поэтому изменения высот нивелирных знаков могут быть обусловлены изменением гравитационного поля. Общее изменение потенциала силы тяжести вызовет смещение уровенной поверхности в исходном пункте нивелирования, поэтому важно, чтобы нивелировки были отнесены к одному и тому же исходному пункту.

Таким образом, использование государственных нивелировок для изучения современных движений связано с определенными трудностями. Любые параметры, определенные на основе смещений пунктов нивелирной сети, будут содержать составляющие, обусловленные систематическими ошибками, периодическими движениями, изменениями гравитационного поля, тектоническими, экзогенными, антропогенными причинами. Определить степень влияния этих причин трудно, а часто и невозможно.

Наиболее эффективной является интерпретация данных нивелировок совместно с изучением строения определенной части земной коры вдоль профиля. На Урале строение земной коры хорошо изучено вдоль одного из профилей глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), проходящего с запада от Ижевска на восток через Красноуфимск, Северский, Ялуторовск до Ишима [5]. Свердловский профиль ГСЗ пересекает в субширотном направлении восточную часть Восточно-Европейской платформы, основные уральские структуры, простирающиеся в субмеридиональном направлении: Предуральский краевой прогиб, Западно-Уральскую зону складчатости, Центральное-Уральское поднятие, Тагильско-Магнитогорский прогиб, Восточно-Уральское поднятие, Восточно-Уральский прогиб и погребенные в Зауралье под чехлом мезозоя—кайнозоя Зауральское поднятие и Тюменско-Кустанайский прогиб (рис. 1). Непосредственно вдоль профиля данных нивелирования нет. Однако имеются линии повторного нивелирования, расположенные вблизи профиля ГСЗ (см. рис. 1). Максимальное отклонение линий от профиля 50 км. Поскольку крупные уральские структуры вытянуты в меридиональном направлении, можно предположить, что характер вертикальных движений земной поверхности, обусловленный особенностями морфологии и тектоники данной структуры первого порядка, в субмеридиональном направлении в некоторых пределах в основном будет сохраняться. Такое предположение позволяет отнести результаты повторного нивелирования к соответствующим точкам на профиле ГСЗ.

Для исследований использованы данные по четырем линиям повторного нивелирования, выполненным в разные годы (табл. 1).

Точность нивелирования I класса по линиям Вятские Поляны — Дружинино и Киров — Свердловск, выполненного в 1972—1976 гг. по новой методике, характеризуется случайными сред-

ними квадратическими ошибками η_5 и η_6 и систематическими ошибками σ_5 и σ_6 , вычисленными по разностям d_5 и d_6 [6]. Случайная средняя квадратическая ошибка определения превышений с учетом численного среднего значения корреляционной матрицы измеренных превышений $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$ выражается формулой [2]

$$m_h \cong 0,5(\eta_5 + \eta_6). \quad (1)$$

Значения случайных ошибок, вычисленных по формуле (1), указаны в табл. 1.

Для остальных нивелировок приведены оценки точности, выполненные по формулам Лаллемана, Звонова, Ларина в соответствии с действующими инструкциями. Из каждой линии нивелирования были взяты участки, наиболее близкие к профилю ГСЗ (табл. 2).

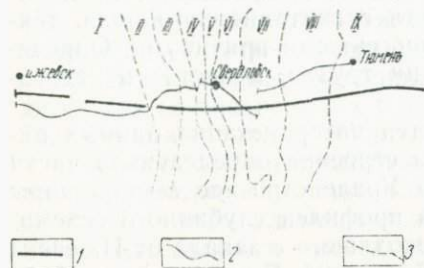


Рис. 1. Схема расположения Свердловского профиля:

I — восточная окраина Русской платформы; *II* — Предуральский прогиб; *III* — Западно-Уральская зона складчатости; *IV* — Центральное-Уральское поднятие; *V* — Тагильско-Магнитогорский прогиб; *VI* — Восточно-Уральское поднятие; *VII* — Восточно-Уральский прогиб; *VIII* — Зауральское поднятие; *IX* — Тюменско-Кустанайский прогиб; 1 — профиль ГСЗ; 2 — линия нивелирования; 3 — границы структур первого порядка

Участок профиля Ижевск—Свердловск протяженностью 445 км обеспечен повторным нивелированием I класса, участок Свердловск—Тюмень протяженностью 285 км — повторным нивелированием II класса. Наибольшую обеспеченность сохранившимися нивелирными знаками имеет участок профиля Ижевск—Дружинино и Богданович — Тюмень, наименьшую — участок Свердловск—Синарская.

Предварительный анализ разности превышений δ «прямо минус обратно», определенных из двойного нивелирования, позволяет предполагать, что для обеих эпох наблюдений разности δ имеют нормальное распределение (табл. 3). Асимметрия S и эксцесс E не превышают, в основном, соответствующих средних квадратических отклонений m_S и m_E . Нормальное распределение δ с дисперсией m_δ^2 имеет центр распределения $\bar{\delta} = 0$ при уровне значимости $q = 0,01$ (табл. 4). Теоретический критерий $t_{0,01}$ имеет нормальное распределение. Следовательно, можно полагать, что разности превышений в прямом и обратном ходе обусловлены, в основном, случайными ошибками.

Случайная средняя квадратическая ошибка определения разностей превышений $m_{\Delta h}$ за промежуток времени ΔT с учетом корреляции повторных нивелировок выражается через случайные ошибки на 1 км хода η_I и η_{II} следующим образом:

$$m_{\Delta h}^2 = (\eta_I^2 + \eta_{II}^2)L - 2r\eta_I\eta_{II}L, \quad (2)$$

Таблица 1

Данные повторного нивелирования

Линия нивелирования	Длина линии, км	Класс	К-во сохранившихся знаков	Эпоха, гг	Случайная ошибка, мм/1 км	Систематическая ошибка, мм/1 км	
Вятские Поляны—Дружинино	645	II	51	1925—1929, 1938,	0,80	0,17	
Киров—Свердловск	900	I	56	1972—1974,	0,42	0,04/0,01	
		I		1930—1931, 1936, 1938, 1924.	0,91		0,15
Свердловск—Курган	280	I	14	1974—1976	0,47	0,04/0,17	
		II		1931—1933,	1,20		0,25
		II		1974—1975,	0,74		0,23
Богданович—Тюмень	225	II	21	1934—1935,	1,06	0,02	
				1970	1,50		0,16

Таблица 2

Характеристика нивелирных линий

Линия нивелирования	Участок линии	Длина участка, км	Длина участка ГСЗ, км	К-во сохранившихся знаков	Среднее расстояние между реперами, км	Разность эпох в годах
1	Ижевск — Дружинино . . .	485	370	44	11,3	44—46, 34
2	Кузино — Свердловск . . .	95	75	7	15,8	50,5
3	Свердловск — Синарская . .	100	85	4	33,3	42,5
4	Богданович — Тюмень . . .	225	200	21	11,3	35,5
Всего		905	730	76	17,9	41,5

Таблица 3

Характеристика распределения

Линия нивелирования	Асимметрия		m_s	Экцесс		m_E
	S			E		
	I	II		I	II	
1	-0,02	0,15	0,33	-0,55	0,35	0,62
2	-0,03	0,07	0,22	-0,89	-0,03	0,43
3	0,05	-0,98	0,57	-1,46	0,02	0,91
4	0,16	-0,29	0,48	-0,21	-0,39	0,84

Характеристики нивелирования

Линия нивелирования	$\bar{\delta}$, мм		m_{δ} , мм		$\sqrt{n} \bar{\delta} / m_{\delta}$		$t_{0,01}$
	I	II	I	II	I	II	
1	0,21	-0,31	1,24	1,14	1,17	1,93	2,58
2	0,38	-0,24	1,67	1,45	2,53	1,17	
3	0,65	0,34	2,80	2,71	0,83	0,43	
4	-0,01	0,26	2,56	2,60	0,03	0,45	

Таблица 5

Анализ корреляций

Линия нивелирования	r	m_r	$ r /m_r$	$t_{0,01}$
1	0,17	0,14	1,21	2,58
2	-0,09	0,09	1,00	
3	-0,09	0,28	0,32	
4	0,16	0,22	0,73	

где r — коэффициент корреляции между превышениями повторных нивелировок;

L — расстояние между нивелирными знаками.

Анализ корреляционных связей между нивелировками, выполненными в различные эпохи, показывает, что при уровне значимости $q=0,01$ можно считать корреляционную связь несущественной (табл. 5).

Тогда, полагая $r=0$ в (2), получим:

$$m_{\Delta h} = \sqrt{\eta_I^2 + \eta_{II}^2} \sqrt{L} = \eta \sqrt{L}, \quad (3)$$

где η — случайная средняя квадратическая ошибка определения разности превышений на 1 км хода.

Точность определения вертикальных смещений по профилю не одинакова. Наиболее точно смещения определяются на участке Ижевск — Дружинино, наименее надежно — на участке Богданович — Тюмень (табл. 6). По всему профилю около 72% разностей превышений являются значимыми величинами при $q=0,01$. Это свидетельствует о том, что смещения пунктов нельзя объяснить только влиянием ошибок измерений.

Скорость K -го репера относительно исходного пункта V_K и среднюю квадратическую ошибку ее определения m_{V_K} можно найти из формул

$$V_k = \sum_{i=1}^k \frac{\Delta h_i}{\Delta T_i}, \quad m_{V_k}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{\eta_i^2 L_i}{\Delta T_i^2}. \quad (4)$$

Наибольшие значения m_{V_k} относятся к концам участков (табл. 7). Как уже отмечалось выше, анализ скоростей по профилю (рис. 2) затруднен тем обстоятельством, что величины скоростей могут быть обусловлены накоплением систематических ошибок вдоль профиля и содержать различные по величине и по знаку периодические компоненты, поскольку период наблюдений находится в пределах от 34 лет до 50,5 года.

Таблица 6

Характеристика смещений			
Участок профиля	η , мм	Критическая область, $q=0,01$	Количество значимых разностей превышений, %
1	0,90	2,3	72
2	1,02	2,6	33
3	1,41	3,6	100
4	1,84	4,7	80
Всего			72

Таблица 7

Характеристики скоростей					
Участок профиля	ΔT , годы	Средняя скорость $V_{ср}$, мм/год	Максимальная ошибка $m_{V_{max}}$	$\frac{ V_{ср} }{m_{V_{max}}}$	$t_{0,01}$
Ижевск — Дружинино	44—46,34	0,98	0,46	2,1	2,58
Кузино — Свердловск	50,5	—0,22	0,20	1,1	
Свердловск — Синарская	42,5	0,29	0,33	0,9	
Богданович — Тюмень	35,5	—1,81	0,84	2,2	

В этом плане представляется целесообразным исследовать закономерности накопления компонент вертикальных деформаций вдоль профиля. Сдвиг в вертикальном направлении γ и дилатацию θ (относительное изменение площади) можно вычислить по смещениям Δh трех соседних точек профиля и разностям координат x этих точек (ось X горизонтальна и лежит в вертикальной плоскости профиля, начало координат слева) [7]. Компоненты деформации в окрестностях произвольного K -го репера можно найти, используя следующие формулы:

$$\gamma = 0,5 \left(\frac{\Delta h_K - \Delta h_{K-1}}{x_K - x_{K-1}} + \frac{\Delta h_{K+1} - \Delta h_K}{x_{K+1} - x_K} \right),$$

$$\theta = 0,5 \left(\frac{\Delta h_K - \Delta h_{K-1}}{x_K - x_{K-1}} - \frac{\Delta h_{K+1} - \Delta h_K}{x_{K+1} - x_K} \right).$$
(5)

Формулы получены для треугольного конечного элемента в предположении, что смещения между реперами изменяются

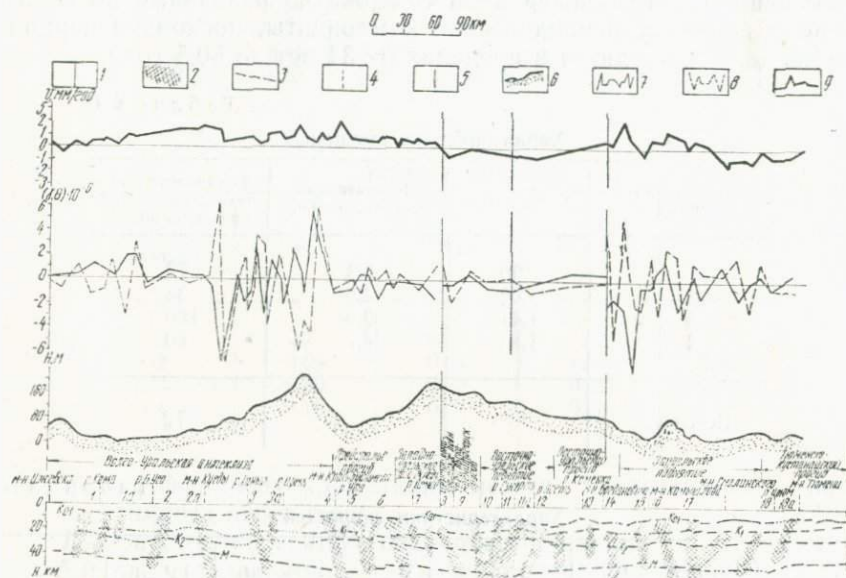


Рис. 2. Накопленные значения деформаций изгиба и наклона по Свердловскому профилю:

1 — границы участков с разнородными исходными данными; 2 — зоны глубинных разломов; 1 — Камская, 2 — Усинская; 3 — Березовско-Чернушинская, 4 — Маутинско-Иргинская, 5 — Красноуфимская, 6 — Сосновская, 7 — Бардымская, 8 — Верхне-Сергинская, 9 — Салатимско-Платиноносная, 10 — Серовско-Маукская, 11 — Уктусско-Кашинская, 12 — Асбестовско-Походиловская, 13 — Каменская, 14 — Конейско-Буланашская, 15 — Камышлинская, 16 — Далматовская, 17 — Буткинская, 18 — Тюменская; 3 — поверхности различных слоев земной коры; K_0 — древнего фундамента, K_1 — переходного, K_2 — базальтового, М — Мохоровичича; 4 — меридианы населенных пунктов и рек; 5 — границы структур первого порядка; 6 — рельеф по профилю; 7 — наклон; 8 — изгиб; 9 — вертикальные скорости

по линейному закону, деформации в пределах конечного элемента однородны. Для вертикального сечения γ пропорциональна тангенсу угла наклона участка земной поверхности («наклон»), θ пропорциональна кривизне поверхности соответствующего участка («кривизна»). Поскольку в (5) входят разности превышений, γ и θ представляют собой величины накоплений компонент деформаций. Для определения деформаций по (5) используется информация о взаимных смещениях трех реперов, поэтому можно полагать, что влияние накопления систематиче-

ских ошибок на γ и θ будет меньшим, нежели при определении относительных вертикальных скоростей по профилю. Величины γ и θ характеризуют средние величины компонент деформации в пределах области, размеры которой определяются расстоянием между реперами (табл. 8). В данном случае γ и θ описывают характер вертикальных деформаций в приповерхностных частях земной коры до глубины порядка десятков километров. Поскольку смещения реперов могут быть обусловлены различными причинами, γ и θ отражают результат действия различных деформационных процессов на отдельном участке за промежуток времени ΔT . Чтобы учесть влияние экзогенных факторов, необходимо анализировать характер деформаций для группы реперов на определенной части профиля.

Таблица 8

Показатели оценки

Участок профиля	$L_{\text{ср}}$, км	Δh_{max} , мм	η , мм	$m_1 \cdot 10^8$	$m_2 \cdot 10^{12}$	$\frac{m_2}{m_1} \cdot 10^4$
1	11,3	55	0,90	19	67	3,5
2	15,8	35	1,02	18	11	0,6
3	33,3	40	1,41	17	0,7	0,04
4	11,3	55	1,84	15	30	2,0

В формуле (5) значения $(x_k - x_{k-1})$ и $(x_{k+1} - x_k)$, как правило, на практике не известны. Заменим эти величины на расстояния между реперами $L_{k, k-1}$ и $L_{k+1, k}$ [7]:

$$\gamma = 0,5 \left(\frac{\Delta h_k - \Delta h_{k-1}}{L_{k, k-1}} + \frac{\Delta h_{k+1} - \Delta h_k}{L_{k+1, k}} \right),$$

$$\theta = 0,5 \left(\frac{\Delta h_k - \Delta h_{k-1}}{L_{k, k-1}} - \frac{\Delta h_{k+1} - \Delta h_k}{L_{k+1, k}} \right). \quad (6)$$

Продифференцировав формулы (6), найдем выражения для средних квадратических ошибок величин γ и θ :

$$m_{\gamma, \theta}^2 = \frac{\eta^2}{4} \left(\frac{1}{L_{k, k-1}} + \frac{1}{L_{k+1, k}} \right) + \frac{\Delta h_{k, k-1}^2}{L_{k, k-1}^4} m_{L_{k, k-1}}^2 +$$

$$+ \frac{\Delta h_{k+1, k}^2}{L_{k+1, k}^4} m_{L_{k+1, k}}^2 = m_1^2 + m_2^2, \quad (7)$$

где введены следующие обозначения:

$$m_1^2 = \frac{\eta^2}{4} \left(\frac{1}{L_{k, k-1}} + \frac{1}{L_{k+1, k}} \right),$$

$$m_2^2 = \frac{\Delta h_{\kappa, \kappa-1}^2}{L_{\kappa, \kappa-1}^4} m_{L_{\kappa, \kappa-1}}^2 + \frac{\Delta h_{\kappa+1, \kappa}^2}{L_{\kappa+1, \kappa}^4} m_{L_{\kappa+1, \kappa}}^2. \quad (8)$$

Для приближенных расчетов в (8) можно предположить, что

$$m_{L_{\kappa, \kappa-1}} = m_{L_{\kappa+1, \kappa}} = m_L.$$

Тогда получим:

$$m_1^2 = \frac{\eta^2}{2L_{\text{ср}}}, \quad m_2^2 = \frac{\Delta h_{\text{max}}^2}{L_{\text{ср}}^4} m_L^2, \quad (9)$$

где $L_{\text{ср}}$ — среднее расстояние между реперами;

Δh_{max} — максимальное смещение;

m_L — средняя ошибка определения.

В нашем случае $m_2 \ll m_1$ (см. табл. 8), поэтому для оценки ошибок определения γ и θ можно использовать формулу

$$m_{\gamma, \theta} = \frac{\eta}{2} \sqrt{\frac{1}{L_{\kappa, \kappa-1}} + \frac{1}{L_{\kappa+1, \kappa}}}. \quad (10)$$

По всему профилю области интенсивных деформаций чередуются с участками, где значения накопления наклона и изгиба относительно невелики. Всего по величине и характеру деформаций можно выделить шесть участков (см. рис. 2). Основные числовые характеристики по каждому из участков профиля приведены в табл. 9 для уровня значимости $q=0,01$.

Таблица 9

Характеристики профиля

Участок профиля	ΔT , годы	Длина участка, км	$ \gamma _{\text{max}} \times 10^3$	$ \theta _{\text{max}} \times 10^3$	$ \gamma _{\text{ср}} \times 10^3$	$ \theta _{\text{ср}} \times 10^3$	$(m_{\gamma, \theta})_{\text{ср}} \times 10^3$	Критическая область, $q=0,01$
1	45	90	1,69	2,97	0,76	1,42	0,23	0,59
2	45	70	0,41	0,96	0,29	0,33	0,22	0,57
3	44—46	120	7,57	7,77	3,30	3,95	0,29	0,75
4	34,50—5,42,5	260	1,95	2,38	0,81	0,85	0,25	0,64
5	35,5	30	7,77	5,72	2,42	3,17	0,61	1,57
6	35,5	160	1,74	3,11	0,88	1,50	0,40	1,03

Первый участок приурочен к западной части профиля ГСЗ (Волго-Уральская антеклиз). Здесь за период наблюдений накопились значимые величины наклона γ и изгиба θ (уровень значимости $q=0,01$). Для данного участка профиля характерно положительное накопление наклона. Область интенсивных деформаций соответствует общему понижению в рельефе.

Второй участок расположен восточнее первого. В среднем значимых деформаций не наблюдалось.

Третий участок охватывает восточную часть Волго-Уральской антеклизы (Восточная часть Восточно-Европейской платформы). Это наиболее обширная область самых интенсивных деформаций по профилю. На западе участка значения наклона в основном отрицательные, на востоке — положительные. Данной части профиля соответствует повышение рельефа.

Четвертый участок является самым большим по протяженности, он включает в себя большинство основных структур Среднего Урала. Деформации здесь значимые, но они сравнительно малы. Начиная с зоны перехода Восточно-Европейской платформы в Предуральский краевой прогиб и далее на восток вплоть до Восточно-Уральского прогиба интенсивных деформаций нет.

Пятый и шестой участки соответствуют западной и восточной частям области со сравнительно большими накоплениями значений наклона и изгиба за период наблюдений в восточной части Восточно-Уральского прогиба и Зауральском поднятии. На западе этой части профиля наблюдаются наиболее интенсивные деформации, далее на восток амплитуды изменений компонент деформации затухают и на меридиане Тюмени практически равны нулю. Для этого участка профиля характерно увеличение мощности мезо-кайнозойского чехла с запада на восток. Западная часть области, где наблюдаются наибольшие значения γ и θ , совпадает с понижением в рельефе.

Таким образом, анализ вертикальных деформаций вдоль Свердловского профиля ГСЗ на основе данных повторного нивелирования позволяет предположить, что за период наблюдений по данному пересечению Центральная часть Среднего Урала была подвержена сравнительно небольшим деформациям и выступала как консолидированный блок, в то время как наиболее интенсивные деформации наблюдались в граничных структурах. Этот вывод согласуется с результатами исследований, выполненных ранее на основе анализа градиентов вертикальных скоростей по профилям Куйбышев—Челябинск и Пермь—Свердловск [8]. Следует отметить, что анализ градиентов вертикальных скоростей не позволяет определить тип деформации земной коры, поскольку одному и тому же значению градиента могут соответствовать различные сочетания сдвига и дилатации [9]. Таким образом, компоненты деформации γ и θ позволяют наиболее полно изучить характер вертикальных деформаций вдоль профиля повторного нивелирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Этин И. И., Мещерский И. Н. О качестве нивелирования I класса СССР. — Геодезия и картография, 1967, № 9.
2. Крюков Ю. А. Оценка точности высокоточного нивелирования. — Современные движения земной коры. Тарту, 1973, № 5.

3. **Леонтьев Г. И.** Об использовании результатов повторных нивелировок на больших территориях. — Современные движения земной коры. Тарту, 1973, № 5.
 4. **Бзотов А. А.** Технические проблемы изучения движений земной коры геодезическими методами. — Современные движения земной коры. Тарту, 1973, № 5.
 5. **Дружинин В. С., Рыбалка В. М., Соболев И. Д.** Связь тектоники и магматизма с глубинным строением Среднего Урала по данным ГСЗ. — М.: Недра, 1976.
 6. **Инструкция** по вычислению нивелировок. — М.: Недра, 1971.
 7. **Есиков Н. П.** Тектонофизические аспекты анализа современных движений земной поверхности. — Тр. Ин-та геологии и геофизики. Новосибирск, 1979, вып. 426.
 8. **Рождественский А. П., Журенко Ю. Е., Трифонов В. П.** Некоторые вопросы новейшей и современной тектоники Среднего и Южного Урала в связи с изучением его глубинного строения. — Глубинное строение Урала. — М.: Недра, 1968.
 9. **Есиков Н. П.** Об изучении инвариантов современных движений земной коры. — Современные движения земной коры. Новосибирск: Наука, 1978.
-

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОЛЛОКАЦИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Для решения производственных и научных задач, которые возникают при изучении современных движений земной коры на региональных полигонах, в частности, на Урале, необходимо комплексное использование информации, иногда очень разнородной.

Такой информацией являются результаты геодезических, геологических и геофизических исследований, материалы аэросъемки и дистанционных съемок и т. д. Наиболее часто совместная обработка данных выполняется при анализе вертикальных движений земной коры. В процессе же изучения горизонтальных движений результаты геодезических измерений обычно представляют иллюстративно, в виде векторных схем смещения пунктов.

Ряд исследователей, отмечая недостаточную представительность векторных схем, вносит свои предложения по вычислительной обработке сетей на геодинамических полигонах. Весьма эффективными являются основанные на принципах тензорного анализа метод инвариантов поля деформации [1, 2, 3], а также аналогичный применяемому в астрометрии метод приведения к средней эпохе [4].

Однако при практической реализации данных предложений в связи с неоднородной структурой информационных массивов приходится вводить некоторые ограничения, например, не включать в обработку часть информации [2] либо дополнять систему уравнений поправок искусственными уравнениями центрирования [4]. Более широкие возможности для решения подобного типа задач представляет метод коллокации. Классическая модель коллокации имеет вид

$$X^{\text{II}} = AX^{\text{I}} + s + n, \quad (1)$$

где X^{II} — вектор результатов измерений; A — оператор тренда, т. е. функциональная, детерминированная часть процесса; X^{I} — вектор параметров; s — вектор значений случайного сигнала; n — вектор шума, т. е. погрешностей результатов измерений.

В литературе описано применение коллокационного метода для объединения двух плановых геодезических сетей с векторами координат X^{I} и X^{II} [5, 6]. Оператором тренда здесь является

простой оператор первой степени (аффинор) или второй степени, вектор шума s характеризует неустранимые погрешности измерений, за сигнал n принимается влияние неравномерности распределения пунктов в сети. Значение сигнала для некоторого пункта сети k можно представить так:

$$S_k = \frac{1}{1 + (t_k/t_0)^2}, \quad (2)$$

где t_k — текущий радиус пункта сети k (отстояние пункта k от центра тяжести сети); t_0 — средний радиус для пунктов сети.

Иногда значения сигнала представляют и в виде экспоненциальных функций от правой части выражения (2).

Применим данную методику разделения на трендовую, сигнальную, шумовую составляющие и для обработки геодинамических построений, не делая каких-либо априорных предположений о характере сигнала S . При обработке геодинамических построений обозначим векторы плановых координат, относящихся к I -й и J -й эпохам измерений, X^I и X^J соответственно. Воспользуемся предложением А. А. Хоманько [4] и редуцируем измерения в эпохах I и J на середину каждой из них, не выполняя, однако, приведения к общей средней эпохе.

Трендовое решение системы (1) будем искать в виде

$$A = \begin{pmatrix} X^I \\ X^J \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X^I \\ X^J \end{pmatrix}^{-1}, \quad (3)$$

где N — число пунктов; $(X)^{-1}$ — обобщенная обратная по отношению к (X) в смысле Раухала [7].

Оператор A можно однозначно разложить на составляющие параллельного переноса T , вращения R , дилатации D и дисторсии Q :

$$A = TRDQ \quad (4)$$

согласно [1, 3], являющимися инвариантами поля деформации. Разложение вида (4) некоммутативно.

Следует отметить, что мы не получаем параметры параллельного переноса отдельно от (3), не центрируем векторы координат X^I и X^J и, в отличие от [1 и 3], рассматриваем X^J как вектор координат второй эпохи, а не изменений их относительно первой. Единичная строка в векторе

$$X^J_{3.4} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \\ x_1^j & x_2^j & & x_k^j & & x_N^j \\ y_1^j & y_2^j & & y_k^j & & y_N^j \end{pmatrix}$$

добавлена с целью совместного определения параметров T , R , D и Q .

Вышеуказанное объясняется тем, что в связи с недостаточной обусловленностью матрицы сети из-за нерегулярности расположения пунктов, а также машинными ошибками усечения и округления при обработке больших массивов и т. д. максимум погрешности в (3) приходится на составляющую A — вектор T . При использовании прежней методики (особенно при решении (1) относительно A способом нормализации, а не псевдообращения вида (3), менее достоверно определялись параметры матриц R и D . В геологическом же смысле точность определения параметров вращательной деформации и дилатации нам более важна, чем точность параллельного переноса.

Возвращаясь вновь к решению системы (1), представим сигнал S (с учетом шума n) так:

$$S^{IJ} = X^I - AX^J - n^{IJ} \quad (5)$$

(методика оценки вектора шума n и ковариационной матрицы шума C_{nn} описана М. Бёльцвольги [5], технология вычисления ковариационных матриц сети также известна, вследствие чего здесь не рассматривается).

Поле S^{IJ} можно интерпретировать как поле локальных деформаций полигона при снятых региональных деформациях (исключенном тренде A). Представляет интерес сравнение аномальных зон S^{IJ} с зонами развивающихся локальных структур и локальными аномалиями поля Δg . Последовательное вычисление тренда и сигнала может оказаться полезным в геодинамических целях даже и при недостаточной информации о гравитационном поле и тектонике региона.

Приведем следующий пример. Наличие транспорта, современной светодальномерной аппаратуры и удовлетворительные физико-географические условия Предуралья и Южного Урала позволяют предприятиям, работающим в данном районе, создавать геодинамические построения в виде пространственных линейно-угловых сетей. Такие сети имеют значительный запас избыточных измерений и могут быть независимо уравниены и как угловые, и как линейные.

В этом случае, получив значения сигнала S^{IJ} для двух некоторых эпох I и J согласно указанной выше схеме, вычислим для каждой из двух эпох согласно формуле (5) и сигналы, связывающие векторы линейных $X_{\text{лин}}$ и угловых $X_{\text{угл}}$ измерений. Формула (5) примет вид

$$S_{\text{лин-угл}}^I = X_{\text{лин}}^I - A^I X_{\text{угл}}^I - n_{\text{лин-угл}}^I; \quad (5a)$$

$$S_{\text{лин-угл}}^J = X_{\text{лин}}^J - A^J X_{\text{угл}}^J - n_{\text{лин-угл}}^J. \quad (5б)$$

Верхний индекс обозначает эпоху, нижний — вид построения. Практический смысл выражений (5a) и (5б) состоит в том, что связь между $X_{\text{лин}}$ и $X_{\text{угл}}$ остается нелинейной даже на фоне шума (погрешностей измерений).

Данная нелинейность, в свою очередь, обусловлена тем, что координаты вектора $X_{\text{лин}}$ определены по измерениям, относящимся к метрическому пространству, а координаты $X_{\text{угл}}$ — к пространству, возмущенному локальными гравитационными (и в меньшей степени рефракционными) аномалиями.

Отсюда (если пренебречь влиянием изменений боковой рефракции и временными вариациями поля силы тяжести) сигналы $S_{\text{лин-угл}}^I$ и $S_{\text{лин-угл}}^J$ должны соответствовать как друг другу, так и полю остаточных уклонений Δg .

Таким образом, если значения сигнала S^{IJ} можно рассматривать как индикаторы развивающихся локальных структур, то по величинам сигналов $S_{\text{лин-угл}}^I$ или $S_{\text{лин-угл}}^J$ можно судить о генезисе этих структур. Так, для экзотектонических локальных структур соляного характера, распространенных в данном регионе, аномалии поля Δg , а, следовательно, и $S_{\text{лин-угл}}^I$ или $S_{\text{лин-угл}}^J$ отрицательны. Это важно при интерпретации результатов геодезических измерений, выполненных на участках, слабо изученных в гравиметрическом отношении. В итоге можно сделать вывод о перспективности применения коллокационного метода для получения общей (трендовой) и местной (сигнальной) составляющей поля деформации. В случае же явной неоднородности поля деформации вместо вычисления общего тренда по аналогии с предположением Н. П. Есикова [2] вычисляем значения тренда для всех C_N^3 троек пунктов геодезической сети, т. е. конечных элементов сети (C_N^3 — число сочетаний из N по 3). Значению S_k сигнала S для некоторого пункта k сети при этом будет соответствовать выражение

$$S_k^{IJ} = \|X^J - AX^I - n^{IJ}\|, \quad (5в)$$

где $\| \quad \|$ — символ нормы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ферхуген Дж. Земля. Введение в общую геологию. Т. 2/Пер. с англ. — М.: Мир, 1974, гл. 8.
2. Шульман В. А. Изучение полей деформаций земной коры методом конечных элементов. — Геодезия и картография, 1979, № 5.
3. Есиков Н. П. Тектонофизические аспекты анализа современных движений земной поверхности. — Новосибирск: Наука, 1979.
4. Хоманько А. А. Уравнивание геодезических сетей на геодинамических полигонах. — Геодезия и картография, 1980, № 1.
5. Bölcsvölgyi F.-né. A kollokáció alkalmazasa koordinatatransformacióra. — Geodesia és kartográfia, 1976, 28, № 4.
6. Buiten H. J. Junction of nets by collocation. Manuscripta geodaetica, 1978, vol. 3, 253—297.
7. Rauhala U. Calculation of loop inverses. «Proc. Amer. Soc. Photogram. Pap. 4, 1-st Annu. Meet». Washington, 1975, p. 40—77.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ
ЗА ДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

При наблюдениях за динамическими процессами (движениями земной коры, оползнями, деформациями инженерных сооружений и т. п.) выполняются циклы геодезических измерений через определенные промежутки времени. Из практики известно, что в периоды между смежными циклами наблюдений взаимное положение определенной части геодезических знаков (пунктов или реперов) может оставаться стабильным. В общем случае в сети может быть несколько групп взаимно устойчивых знаков, причем число этих групп и их состав от цикла к циклу может изменяться. Вопросы определения групп взаимно устойчивых знаков неоднократно рассматривались в технической литературе [1, 2, 3].

Применение современной вычислительной техники дает возможность для использования информации о группах взаимно устойчивых знаков при математической обработке геодезических измерений, что позволит повысить точность получаемых результатов. Совместная обработка всех циклов наблюдений с использованием информации о группах взаимно устойчивых знаков может быть проведена путем уравнивания параметрическим способом с дополнительными условиями. В нивелирных сетях в качестве дополнительных условий, связывающих неизвестные (высотные отметки реперов) $(i-1)$ -го и i -го циклов измерений, следует принимать равенство превышений между реперами одной и той же группы взаимно устойчивых знаков в $(i-1)$ -м цикле соответствующим превышениям в i -м цикле, т. е. для j -го и k -го реперов, входящих в одну группу взаимно устойчивых знаков, должно соблюдаться условие

$$(H'_j - H'_k) - (H''_j - H''_k) = 0, \quad (1)$$

где H'_j , H''_j и H'_k , H''_k — соответственно высотные отметки j -го и k -го реперов в смежных циклах измерений.

При уравнивании плановых сетей для пунктов одной и той же группы взаимно устойчивых знаков должны удовлетворяться условия следующего вида:

$$S'_{jk} - S''_{jk} = 0, \quad (2)$$

где S'_{jk}, S''_{jk} — значения расстояний между j -м и k -м пунктами, вычисленные по результатам обработки смежных циклов измерений.

Число независимых условных уравнений, которые могут быть составлены в нивелирной сети для каждой группы, включающей t взаимно устойчивых реперов, равно $t-1$. В плановых сетях для каждой группы из t пунктов может быть составлено $2t-3$ независимых условных уравнений.

Совместное уравнивание измерений с использованием информации о группах взаимно устойчивых знаков может выполняться последовательно, по мере проведения циклов измерений. Пусть результаты обработки $i-1$ циклов представлены в виде векторов неизвестных $X_1^{(i-1)}, X_2^{(i-1)}, \dots, X_{i-1}^{(i-1)}$ и блочной ковариационной матрицы погрешностей неизвестных

$$K = \begin{pmatrix} K_{1,1} & K_{1,2} & \dots & K_{1,i-1} \\ K_{1,2}^T & K_{2,2} & \dots & K_{2,i-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{1,i-1}^T & K_{2,i-1}^T & \dots & K_{i-1,i-1} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

После завершения i -го цикла измерений для упрощения последующих расчетов целесообразно выполнить его уравнивание, получив вектор неизвестных i -го цикла X_i и ковариационную матрицу $\mu_i^2 N_i^{-1} = K_{ii}^1$, где μ_i — средняя квадратическая погрешность единицы веса; N_i — матрица коэффициентов нормальных уравнений в i -м цикле измерений.

С учетом этого обработка i циклов с использованием информации о группах знаков, взаимно устойчивых между $(i-1)$ -м и i -м циклами измерений, будет заключаться в совместном решении системы уравнений

$$\left. \begin{array}{l} E_1 x_1 = x_1 \\ E_2 x_2 = x_2 \\ \dots \\ E_{i-1} x_{i-1} = x_{i-1} \end{array} \right\} \quad (4)$$

с весовой матрицей $Q = K^{-1}$ и системы

$$E_i x_i = x_i \quad (5)$$

с весовой матрицей $K_{i,i}^{-1}$ при условии

$$U' x_{i-1} + U'' x_i = 0, \quad (6)$$

где E_j — единичные матрицы размерностью $n_j \times n_j$ (n_j — число неизвестных в j -м цикле измерений); x_j — векторы поправок к k

приближенным значениям неизвестных j -го цикла; U^I , U^{II} — матрицы коэффициентов условных уравнений, связывающих неизвестные $(i-1)$ -го и i -го циклов.

После перехода от уравнений (4) и (5) к системе нормальных уравнений и присоединения к ней системы условных уравнений (6) получим следующую систему:

$$\begin{pmatrix} Q & Z' & O \\ Z'^T & O & Z''^T \\ O & Z'' & K_{i,i}^{-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ k \\ x_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} O \\ W \\ O \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} O \\ O \\ O \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где

$$Z' = \begin{pmatrix} O \\ \vdots \\ \vdots \\ O \\ U' \end{pmatrix}; \quad Z'' = \begin{pmatrix} O \\ \vdots \\ \vdots \\ O \\ U'' \end{pmatrix}; \quad x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ x_{i-1} \end{pmatrix};$$

k — вектор коррелят; W — вектор невязок условных уравнений. Обозначим

$$\begin{pmatrix} Q & Z' & O \\ Z'^T & O & Z''^T \\ O & Z'' & K_{i,i}^{-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_A & K_B & K_C \\ K_B^T & K_D & K_F \\ K_C^T & K_F^T & K_H \end{pmatrix}. \quad (8)$$

С учетом этого из решения системы (7) получим векторы поправок к приближенным значениям неизвестных:

$$\left. \begin{aligned} x &= -K_B W \\ x_i &= -K_F^T W \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

а затем и векторы неизвестных

$$\begin{pmatrix} X_1^{(i)} \\ X_2^{(i)} \\ \vdots \\ \vdots \\ X_{i-1}^{(i)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1^{(i-1)} \\ X_2^{(i-1)} \\ \vdots \\ \vdots \\ X_{i-1}^{(i-1)} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ x_{i-1} \end{pmatrix}. \quad (10)$$

$$X_i^{(i)} = X_i + x_i.$$

Блочная матрица T является блондиагональной, что несколько упрощает вычисление блоков обратной матрицы T^{-1} . На основании формул, полученных в работе [4], можем записать:

$$\begin{aligned}
 K_D &= -(Z'^T K Z' + Z''^T K'_{i,i} Z'')^{-1} = -(U'^T K_{i-1, i-1} U' + \\
 &\quad + U''^T K'_{i,i} U'')^{-1} \\
 K_B &= -K Z' K_D = - \left\| \begin{array}{c} K_{1, i-1} \\ K_{2, i-1} \\ \vdots \\ K_{i-1, i-1} \end{array} \right\| U' K_D \\
 K_F^T &= -K'_{i,i} Z'' K_D = -K'_{i,i} U'' K_D \\
 K_C &= -K Z' K_F^T = - \left\| \begin{array}{c} K_{1, i-1} \\ K_{2, i-1} \\ \vdots \\ K_{i-1, i-1} \end{array} \right\| U' K_F \\
 K_H &= K'_{i,i} + K'_{i,i} U'' K_D U''^T K'_{i,i}
 \end{aligned} \tag{11}$$

Для записи и хранения информации при совместной обработке циклов измерений целесообразно использовать технические носители (магнитные ленты, диски). При этом, как можно убедиться на основе анализа формул (11), нет необходимости в сохранении всей информации о ковариационной матрице погрешностей неизвестных, а достаточно хранить блоки $K_{1, i-1}$, $K_{2, i-1}, \dots$, $K_{i-1, i-1}$. Этой информации также достаточно для вычисления блоков

$$\left\| \begin{array}{c} K_{1, i} \\ K_{2, i} \\ \vdots \\ K_{i-1, i} \end{array} \right\| = K_C \text{ и } K_{i, i} = K_H$$

ковариационной матрицы погрешностей координат, необходимых для обработки следующего $(i+1)$ -го цикла измерений.

Основными этапами вычислений при обработке i -го цикла измерений являются:

предварительное уравнивание измерений i -го цикла с вычислением вектора X_i и ковариационной матрицы $K'_{i,i}$;

выявление групп взаимно устойчивых знаков между $(i-1)$ -м и i -м циклами измерений, формирование матриц U^I , U^{II} и вычисление вектора невязок W ;

вычисление матрицы $K_D = -(U'^T K_{i-1, i-1} U' + U''^T K'_{i,i} U'')^{-1}$ и вспомогательной матрицы $R = -K_D W$;

вычисление векторов поправок к приближенным значениям неизвестных по формулам

$$\left. \begin{aligned} x_j &= K_{j, i-1} U' R \quad (j < i) \\ x_i &= K'_{i, i} U'' R \end{aligned} \right\}$$

и векторов неизвестных по формулам (10);

вычисление матрицы $K_F = -K_D U'' K'_{i, i}$ и вспомогательной матрицы $S = -U' K_F$;

вычисление блоков ковариационной матрицы погрешностей неизвестных

$$\left. \begin{aligned} K_{j, i} &= K_{j, i-1} S \quad (j < i) \\ K_{i, i} &= K'_{i, i} + K'_{i, i} U'' K_D U''^T K'_{i, i} = K'_{i, i} - K'_{i, i} U'' K_F \end{aligned} \right\}$$

В заключение приведем результаты обработки, выполненной по предлагаемой методике, на примере небольшой нивелирной

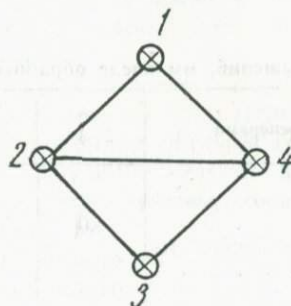


Схема нивелирной сети

сети, схема которой приведена на рисунке. В табл. 1 приведены значения измеренных превышений по секциям.

Таблица 1
Значения измеренных превышений по секциям, м

Секция	Номер цикла		
	1	2	3
1—2	3,130	3,120	3,130
2—3	2,240	2,240	2,230
3—4	0,010	-0,010	-0,050
2—4	2,250	2,230	2,200
4—1	-5,370	-5,350	-5,310

Высотные отметки реперов, полученные в результате обработки по традиционной методике (при раздельном уравнивании циклов измерений) и по предлагаемой методике (при совместном уравнивании с использованием информации о группах взаимно устойчивых знаков) приведены в табл. 2. В качестве исходно-

го при уравнивании был принят репер 1; в группу устойчивых знаков входили реперы 1, 2 и 3.

В табл. 3 приведена оценка точности (средняя квадратическая погрешность измерения превышения по секции была приня-

Таблица 2

Высотные отметки реперов, м

Номер репера	Раздельное уравнивание циклов измерений			Совместное уравнивание циклов измерений		
	1	2	3	1	2	3
1	—	100,000	—	—	100,000	—
2	103,126	103,120	103,125	—	103,124	—
3	105,365	105,360	105,360	—	105,362	—
4	105,374	105,350	105,315	105,372	105,352	105,315

Таблица 3

Оценка точности превышений, мм после обработки 3-го цикла измерений

Превышения между реперами	1-2 2-3	1-3	2-4	1-4 3-4
При методике раздельного уравнивания циклов измерений	4,0	5,0	3,5	4,0
При методике совместной обработки циклов измерений	2,3	2,9	3,1	3,3

та равной 5 мм) результатов обработки по традиционной и по предлагаемой методике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боков М. А., Пупков Ю. А., Подойников А. А. Определение устойчивой группы нивелирных знаков. — Геодезия и картография, 1977, № 2.
2. Ботян Г. К. Анализ устойчивости реперов при повторном нивелировании в городах. — Геодезия и картография, 1974, № 11.
3. Rygielski J. Jdentyfikacja punktow stalych przy wyznaczaniu przeszezzen poziomych metoda eliminacji. — Prz. geod., 1978, 50, № 6, s. 179—180.
4. Васильев А. Ф. Об уравнивании геодезической сети в случае присоединения к ней новой части. — Тр./НИИ прикладной геодезии. 1978, вып. 2, Исследования по инженерной геодезии.

ГЕОДИНАМИКА И ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОРОД ЗЕМНОЙ КОРЫ

Исследование общей трещиноватости пород земной коры имеет исключительно важное значение для решения фундаментальных глобальных и региональных проблем геодинамики, геотектоники, а также для важных практических проблем, связанных с прогнозом перспективных нефтегазоносных и рудоносных структур, сейсмическим районированием, предсказанием землетрясений и горных ударов.

Трещиноватость, раздробленность, нарушенность сплошности среды различной природы и масштаба выявляется как при микроскопических наблюдениях шлифов горных пород, так и при макроскопическом изучении массивов пород, слагающих земную кору, включая сверхглубокое бурение и аэрокосмические съемки земной поверхности.

Горные породы, слагающие различные оболочки Земли, находятся в напряженном состоянии под действием внешних и внутренних сил. При этом распределение напряжений зависит не только от действующих сил, но и от степени неоднородности, трещиноватости массивов пород. Изменение напряженного состояния породы вызывает ее деформацию, что приводит, в свою очередь, к изменению физических параметров (упругих, электрических, магнитных и др.) среды.

Практически все горные породы содержат трещины различного порядка (от дислокаций кристаллической решетки в отдельных минеральных зернах до трещин, пересекающих различные комплексы пород и имеющих длину до сотен метров). Сейчас есть основания полагать, что породы даже на глубине в десятки и более километров рассечены системой трещин, что подтверждается экспериментальными данными о проницаемости пород на глубинах до 10 км (Кольская скважина) и размещением очагов землетрясений в верхней мантии. Эти трещины, заполненные флюидами и газами, служат каналами для их миграции, а, следовательно, для более интенсивного тепло- и массообмена. Кроме того, флюиды и газы, являясь часто химически активными компонентами, снижают энергию активации трещин и тем самым способствуют их развитию.

Образование трещин в горных породах начинается на субмикроскопическом уровне. Количественные оценки процесса разру-

шения различных материалов показали, что имеет место концентрация напряжений у кончика трещин, а достигаемые здесь напряжения часто достаточны для разрыва атомных или молекулярных связей. Процесс перерастания микротрещиноватости в макротрещины, в крупные нарушения сплошности, в зоны разломов был и остается одним из ведущих процессов в эволюции Земли, формировании геологических структур, в образовании месторождений полезных ископаемых.

Нарушение сплошности пород, трещинообразование происходят и в современную геологическую эпоху. Особенно интенсивны эти процессы в сейсмоактивных областях Земли. Для их изучения применяются различные геофизические методы, ориентированные, в основном, на прогноз землетрясений. Не меньший интерес представляет постановка соответствующих исследований в тектонически стабильных зонах, где возможно выявление «фоновых» механизмов трещинообразования, изучение его связи с особенностями геологического строения и геодинамической обстановки.

В Институте геофизики УНЦ АН СССР в 1978 г. начаты методические и аппаратные разработки, ориентированные на исследование вариаций физических полей и физических свойств пород, обусловленных изменением напряженного состояния массивов горных пород. Рассмотрим здесь изменение параметрических эффектов, т. е. изменение физических параметров среды (сейсмоакустической эмиссии, электропроводности пород), за счет воздействия объемных сил лунно-солнечных земных приливов.

Временные изменения электропроводности, вызываемые земными приливами, были обнаружены при измерении эффективного электрического сопротивления пород по методике дипольного электрического зондирования с применением высокоточной измерительной схемы отношений напряжений. В качестве приемников и излучателей поля использовались электрические диполи, расстояние между которыми составляло 300 м. Измерения выполнялись на частоте 12 Гц. Мощность рыхлых образований на участках составляла 1—2 м. Питательные и приемные заземления изготовлялись из свинцовых пластин, помещавшихся в шурфах на глубину около двух метров. Наблюдения выполнялись круглосуточно с частотой опроса около одного часа. Погрешность измерений не превышала 0,5%, оставаясь, в основном, меньше 0,3%. В результате обработки нескольких циклов непрерывных наблюдений (рис. 1) установлено следующее:

— значения эффективного электрического сопротивления среды ρ_k изменяются в течение суток; выявляется четкая суточная и полусуточная периодичность;

— коэффициент корреляции вариаций ρ_k с приращениями силы тяжести Δg и наклонами земной поверхности близок к 0,75;

— относительные изменения эффективного электрического сопротивления за суточный цикл составляют 5%;

— максимальные значения ρ_k совпадают с максимальными значениями Δg в районе исследований.

Учитывая, что электропроводность горных пород обусловлена жидкой фазой, ее изменение при земных приливах можно объяснить перекрытием (при сжатии пород) либо раскрытием (при растяжении) соответствующей части проводящих каналов (трещин). Из экспериментальных данных следует, что электропроводность влагонасыщенных массивов пород оказывается до-

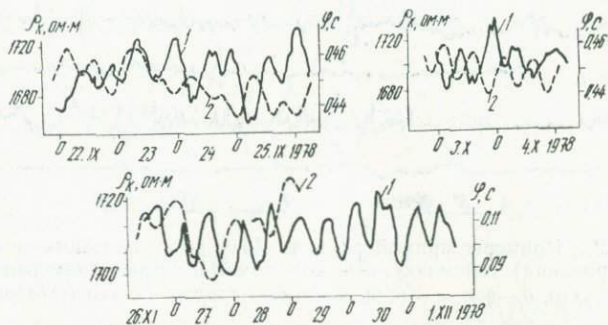


Рис. 1. Вариации эффективного электрического сопротивления (1) и наклонов земной поверхности (2) на гранитном массиве

статочно чувствительным индикатором слабых переменных деформаций. Эффект изменения электропроводности горных пород под действием земных приливов можно использовать как дополнительный параметр, характеризующий особенности геологического строения массива горных пород, его реакцию на динамические воздействия.

Кроме электропроводности пород, на ряде геологических структур изучали временной ход сейсмоакустической эмиссии (САЭ) пород в диапазоне частот 20—100 гц. Применяли аппаратуру, состоящую из группы сейсмоприемников с резонансной частотной характеристикой, избирательного микровольтметра и регистрирующей аппаратуры. Регистрация уровня сейсмоакустической эмиссии осуществлялась непрерывно в течение многих суток самописцами Н-339 с разверткой 60 мм/ч, а временного процесса — шлейфовым осциллографом Н-700 с разверткой 160 мм/с в отдельные интервалы времени (рис. 2).

В результате обработки полученных данных было установлено:

— сейсмоакустическая эмиссия в диапазоне частот 20—100 гц не связана непосредственно с удаленными источниками микросейсм;

— сейсмоакустическая эмиссия пород изменяется во времени, имеет четко выраженную полусуточную и суточную периодичность;

— коэффициент корреляции вариаций сейсмоакустической эмиссии с приращениями ускорения силы тяжести Δg и наклонами земной поверхности составляет 0,8;

— абсолютное значение уровня и относительные амплитуды суточных и полусуточных вариаций его связаны с геологическими особенностями пункта наблюдений (см. таблицу).

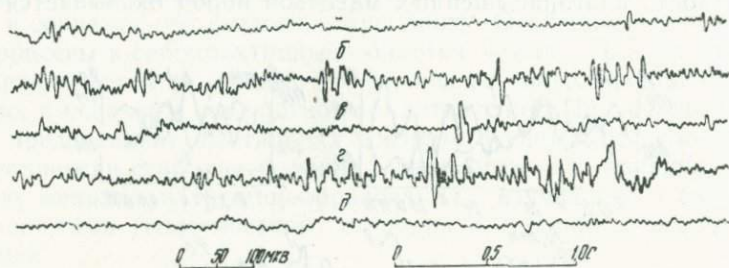


Рис. 2. Примеры прямой записи (без детектирования и интегрирования) сейсмоакустической эмиссии. Время измерений: а — 3-00, б — 9-30, в — 16-00, г — 20-30 (18.09.79); д — 4-00 (19.09.79)

— наибольшие значения сейсмоакустической эмиссии регистрируются при максимальных значениях Δg .

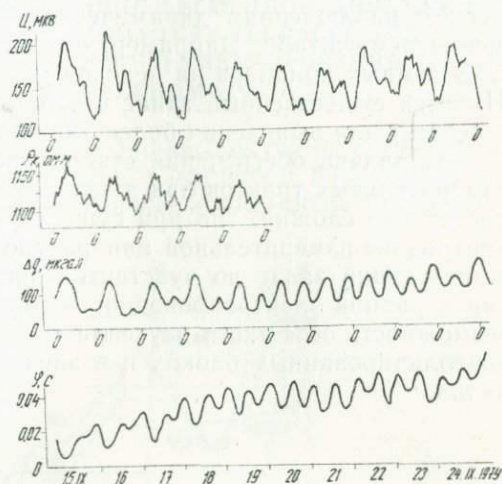
Сведения о величине параметрических эффектов горных пород

Геологические особенности участка	Время наблюдений	Сейсмоакустическая эмиссия		Электрическое сопротивление	
		Среднее значение уровня, мкВ	Амплитуда вариаций, %	Среднее значение, Ом·м	Амплитуда вариаций, %
Граниты трещиноватые, мощность наносов $h = 2-3$ м	IX—XI. 1978	100	± 25	1700	± 3
	VIII. 1979				
	X. 1980				
Порфириты трещиноватые, $h = 1-2$ м	VIII—	160	± 30	1130	± 5
	—IX. 1979				
Известняки Хлорит-серицитовые сланцы, $h = 3-5$ м	X. 1979	42	± 14	—	—
	II—III. 1980	55	± 18	—	—

Одновременные измерения вариаций САЭ и электропроводности среды, вызванные земными приливами, позволяют более полно изучить реакцию среды на вполне определенные контролируемые напряжения, приложенные к ней. Исходя из кинети-

ческой природы разрушения конденсированных сред, механизм возникновения вариаций САЭ и электропроводности пород представляется следующим. В напряженной гетерогенной среде трещины по энергии активации имеют статистический закон распределения, отличный от равномерного. Часть трещин находится вблизи порога неустойчивости. При случайных флуктуациях напряжений, превышающих этот порог, трещины распространяют-

Рис. 3. Вариации сейсмоакустической эмиссии U , эффективного электрического сопротивления ρ_n , приращений силы тяжести Δg и наклонов земной поверхности φ . Значения U и ρ_n получены на участке распространения порфириров, Δg — по материалам обсерватории «Обнинск»



ся, порождая упругие колебания, что и является причиной спонтанного фона сейсмоакустической эмиссии. Земные приливы, создавая регулярные напряжения в коре, понижают энергию активации трещин и тем самым долговечность большего числа трещин, что и отражается не только в повышении амплитуды регистрируемых импульсов, но и в их плотности (рис. 3). Флюиды, заполняющие поры и трещины, также активизируют процесс распространения трещин.

Из экспериментальных данных следует, что амплитуда параметрических эффектов зависит как от интенсивности лунно-солнечных приливных деформаций, так и от физико-механических свойств горных пород в окрестности пункта наблюдений. Наибольший уровень САЭ, а также его лунно-солнечной вариации установлен в пределах распространения порфиритового и гранитного массивов Восточно-Уральского поднятия; наименьшее значение — на площади развития известняков Предуралья и Восточно-Уральского прогиба.

Полученные данные дают основание пересмотреть роль земных приливов в процессе эволюции Земли, так как энергетический критерий не является исчерпывающим. Возникновение новых трещин, рост существовавших приводят к перераспреде-

нию напряжений. В некоторых случаях этот процесс может приобрести цепной характер.

В исследовании геодинамических процессов, внутренней структуры земной коры еще много нерешенных проблем. Укажем те из них, для решения которых можно использовать параметрические эффекты, а именно: дифференциацию геологических структур по степени нарушенности и оценку напряженного состояния массивов пород; регистрацию в дополнение к геодезическим наблюдениям динамических процессов различного временного масштаба. Например, относительное изменение уровня САЭ земных приливов на некоторых структурах достигает 30%. Имеется существенный запас в чувствительности (более чем на порядок) для выявления более длиннопериодных вариаций САЭ. И хотя задача обеспечения стабильности и помехоустойчивости измерительных трактов при длительных режимных наблюдениях достаточно сложна, но при существующей элементной базе и контрольно-измерительной аппаратуре вполне разрешима. Соответствующий запас по чувствительности есть и при исследовании вариаций электропроводности горных пород. Это открывает возможность объемного изучения геодинамических процессов на консолидированных блоках и в зонах разломов различного порядка.

**СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА АНОМАЛИЯХ ВЕКОВОГО ХОДА
И РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВТОРНОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ
НА СРЕДНЕМ И ЮЖНОМ УРАЛЕ**

В течение более чем 10 лет на Уральском геомагнитном полигоне, захватывающем территорию Среднего и Южного Урала, выполняются высокоточные повторные геомагнитные исследова-

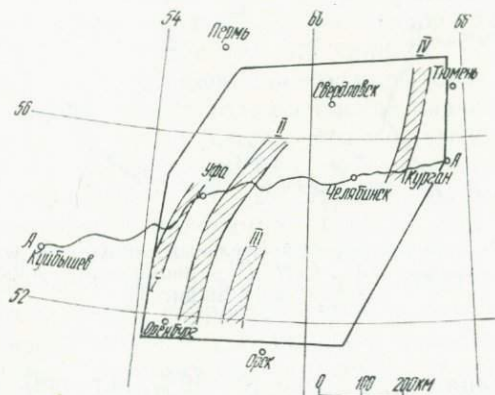


Рис. 1. Схема Уральского геомагнитного полигона:

AA — профиль повторного нивелирования; I, II, III — система Башкирских аномалий; IV — Буткинская аномалия

ния по методике синхронных наблюдений с целью изучения современных процессов в литосфере этой части Урала. По материалам геомагнитных исследований выявлены и изучаются две протяженные области — аномалии векового хода геомагнитного поля, где зарегистрированы временные изменения аномального магнитного поля с амплитудой до 10—15 нТ на фоне нормальных вариаций $\pm 0,2—0,4$ нТ. Обнаруженные аномальные зоны имеют меридиональное простирание и ограничивают центральную часть структур Урала с запада и востока (рис. 1) [1, 2]. Система аномальных зон в Башкирии прослежена в пределах участка съемки более чем на 600 км и совпадает со структура-

ми Предуральяского краевого прогиба на западе (см. на рис. 1; I, II, III) [1]. Буткинская аномалия прослежена в пределах Талицкого мегасинклинория более чем на 300 км на востоке (см. на рис. 1; IV) [2]. Многолетними исследованиями установлено, что обе эти области характеризуются аномальным прохождением вариаций геомагнитного поля во всем исследованном диапазоне частот: КПК, бухт, суббурь и бурь, солнечно-суточных вариаций и более длиннопериодных — месячных и годовых. Материалы наблюдений и расчетные данные показывают, что в пределах Буткинской и Башкирских аномалий индукцией поля внешнего источника можно объяснить лишь малую часть ано-

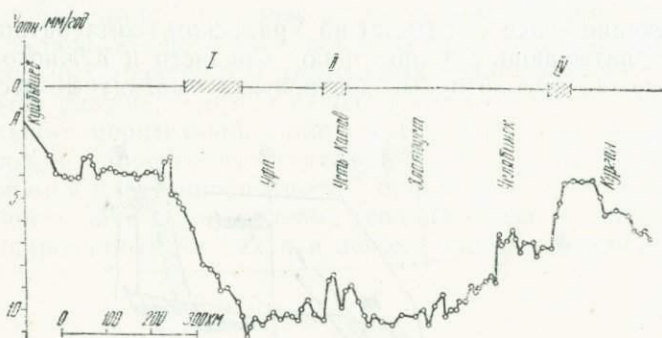


Рис. 2. Кривая относительных скоростей по профилю АА: I, II, IV — аномальные зоны (см. обознач. на рис. 1)

мальных вариаций — не более 10—20%, источник же остальной части аномальных вариаций расположен в литосфере, а сами эти вариации, вероятно, отражают изменения глубинных электрических токов, соответствующие временным изменениям электропроводности, которые, по-видимому, связаны с вариациями тектонического режима. Характерно, что Башкирские и Буткинская аномалии одинаково фиксируются в изменениях аномального магнитного поля. Но в этом случае получается, что Урал с запада и с востока отделяется от структур Русской платформы и Западно-Сибирской плиты однотипными аномальными зонами, которые предположительно являются тектонически активными структурами [3].

Уральский геомагнитный полигон в широтном направлении пересекает линия повторного высокоточного нивелирования, проходящая по трассе железной дороги Куйбышев—Курган. На рис. 2 приведена кривая относительных скоростей, вычисленных по результатам двух последовательных нивелировок 30—40-х и 50—60-х годов [3]. Точность нивелирования, выполнен-

ного в конце 30-х — начале 40-х годов, характеризуется средней квадратичной случайной ошибкой на 1 км двойного хода $\pm 0,9$ мм, точность нивелирования, выполненного в конце 50-х — начале 60-х годов, — $\pm 0,7$ мм. Средняя квадратичная случайная ошибка относительных скоростей, представленных на кривой (см. рис. 2), — ± 2 мм/год. Кривая относительной скорости от Куйбышева до Кургана является частью широтного профиля Рига—Владивосток, где за ноль отсчета принята скорость в Риге [4]. Сравнительный анализ материалов этих двух циклов повторного нивелирования показывает, что по отношению к основным структурам Русской платформы и Западно-Сибирской низменности центральная часть Урала в 30—60-х годах испытывала погружение со скоростью до 5—7 мм в год, а зоны максимальных градиентов скорости совпадают с выявленными повторными геомагнитными наблюдениями аномалиями — Буткинской на востоке и системой Башкирских аномалий на западе [3]. Эта же закономерность прослеживается при сравнении нивелировок 1904—1911 гг. и нивелировки 30—40-х годов [5]. Анализируя эти данные, А. П. Рождественский пишет: «Во всех пунктах трассы повторного нивелирования среднегодовые скорости движений земной коры имеют положительное значение относительно исходного («нулевого») репера. Это свидетельствует о происходящем повсеместном относительном поднятии территории независимо от характера основных структурных элементов, пересекаемых трассой нивелирования. Современное относительное поднятие территории происходит неравномерно, на одних участках с большей скоростью, чем на других. Выявляются два выступа (максимума) кривой скоростей. Один из них находится в районе платформы, а другой — в складчатой области. Выступы разделены прогибом (минимумом) кривой, который захватывает самую краевую восточную часть платформы и районе Предуральяского прогиба» [5]. В настоящей работе нас не столько интересует факт изменения направления современных движений в первой половине текущего столетия (хотя, конечно, это очень интересный факт), сколько то, что зона Предуральяского прогиба, к которому приурочена система Башкирских аномалий, по данным двух первых циклов повторного нивелирования характеризуется аномальным ходом скорости современных вертикальных движений.

Таким образом, анализ магнитометрических и геодезических данных выявляет как аномальные зоны сочленения Русской платформы и Западно-Сибирской плиты со структурами Урала. Можно предположить, что это некие особые для Урала как геологического региона структуры, а область сочленения Русской платформы и Урала является тектоническим швом с унаследованной контрастностью современных вертикальных движений [[6].

1. Шапиро В. А., Пьянков В. А. Токовая аномалия векового хода магнитного поля T в Башкирии. — Геомagnetизм и аэрономия, 1976, XVI, № 5.
 2. Пьянков В. А., Шапиро В. А. Некоторые аспекты природы Буткинской аномалии векового хода геомагнитного поля. — Геомagnetизм и аэрономия, 1977, Т. XVII, № 3.
 3. Шапиро В. А., Корокина Т. П. Сопоставление результатов геомагнитных наблюдений и данных повторного нивелирования в пределах Уральского геомагнитного полигона. — Тр. VII Междувед. сов. по изучению СДЗК на геодинамических полигонах. М.: Недра, 1980.
 4. Донабедов А. Т., Корокина Т. П. К обоснованию проекта планетарного субширотного геодинамического полигона. — В кн.: Современные движения земной коры: Тез. докл. VII Всес. сов. по изучению СДЗК, II. М.: 1977 (Сборник).
 5. Рождественский А. П. Новейшая тектоника и развитие рельефа Южного Приуралья. — М.: Наука, 1971.
 6. Шапиро В. А., Халевин Н. И., Колмогорова В. В., Шапов В. А. Связь современных движений земной коры Урала с его глубинным строением (по геофизическим данным). — Тр. VII Междувед. сов. по изучению СДЗК. М.: Недра, 1980.
-

ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАКЛОНОМЕРНЫМ МЕТОДОМ

Одним из геофизических методов изучения современных движений земной поверхности является наклонномерный метод, к достоинству которого относится возможность непрерывного измерения направления и скорости изменения наклона. При этом чувствительность аппаратуры может быть доведена до 0,01—0,001 с. дуги на 1 мм смещения индикатора регистрирующего устройства, что соответствует вертикальному смещению земной поверхности $5-50 \cdot 10^{-3}$ мм на 1 км. Недостатком наклонномерной аппаратуры является очень короткая база, на которой осуществляется измерение наклонов (десятки сантиметров), что значительно затрудняет решение вопроса о размерах участка земной поверхности, на который распространяются регистрируемые изменения наклона. При сопоставлении данных повторного геодезического нивелирования и результатов наклонномерных наблюдений обнаруживается систематическое расхождение в скорости вертикальных движений земной поверхности на три порядка [1]. Для объяснения причины такого расхождения необходимо рассмотреть весь спектр современных движений земной поверхности. За основу следует брать принятое разделение их на вековые и короткопериодические [2]. Учитывая многообразие задач, возникающих при изучении современных движений земной поверхности, и в соответствии с этим различные методики наблюдений и применяемой аппаратуры, а также причин, вызывающих движения, представляется целесообразным расширить принятое разделение современных движений земной поверхности следующим образом:

Вековые	более 50—100 лет
Внутривековые	десятки лет
Короткопериодические	от 1 года до нескольких лет
Внутригодовые	многочесячный
Быстрые	от нескольких часов до нескольких суток
Мгновенные	минуты, секунды

Известно, что для уверенного вывода среднего многолетнего уровня моря и для получения наилучших результатов по повторному нивелированию из опыта установлен интервал в 20—30 лет

[2]. За этот период усредняются все короткопериодические и более высокочастотные колебания, которые регистрируются наклономерами в пределах нескольких лет. Поэтому в таких случаях геодезические и наклономерные данные не должны совпадать. Однако существуют задачи, требующие проведения повторного нивелирования с интервалом в несколько лет или даже в течение года. В этом случае все многообразие короткопериодических, внутригодовых и более коротких периодов современных движений земной поверхности проявляется в результатах повторного нивелирования, а так как их характер между нивелированиями не известен, то несогласующиеся результаты вызывают трудности при их анализе [3]. Следовательно, повторные нивелирования, выполняемые через короткие интервалы, должны сопровождаться наклономерными или другими подобными наблюдениями, проводимыми между нивелированиями непрерывно или с промежутками для установления характера исследуемых движений. Иллюстрацией к этому положению может служить исследование современных движений одновременно геодезическим и наклономерным методами в течение 4 лет в г. К.-Либкнехтовске на Украине, где получено согласие по величине и направлению наклонов и вертикальных смещений реперов [4].

На Среднем Урале и прилегающей части Русской платформы длительные наклономерные наблюдения проведены в четырех пунктах (см. таблицу). Совершенно очевидно, что приведенные

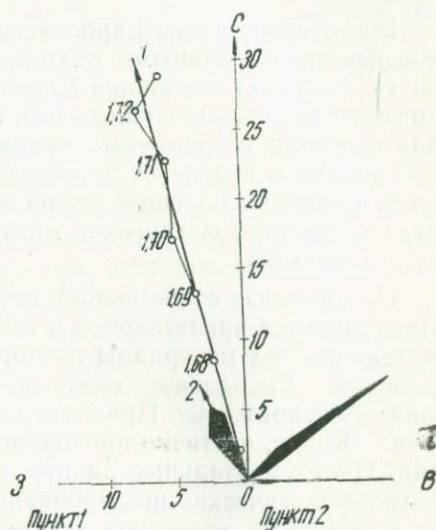
Результаты наклономерных наблюдений

Пункт наблюдения	Эпоха наблюдений	Изменение наклона		
		среднегодовая скорость		Азимут, град.
		с. дуги	мм на км	
Казань	1965—1967 гг.	3,3	16	335
Кунгур	1966—1972 гг.	5,0	24	315
Уфа	1973 г.	4,9	24	330
В. Дубрава	1975—1977 гг.	6,0	29	157
Смолино	1978 г. 2 мес.	4,0	20	100

в таблице данные о скоростях современных движений земной поверхности не могут быть распространены на большую территорию, несмотря на то, что и скорость и направление в трех пунктах Восточной части Русской платформы практически одинаковые. По-видимому, это совпадение случайно, но для более определенного вывода следует провести повторные наклономерные наблюдения в этих пунктах. Однако заслуживает внимания факт совпадения направления короткопериодических наклонов в Кунгуре и Уфе с одним из главных направлений трещиноватости пород Уфимского плато (см. рисунок). Вполне возможно, что выявленные наклоны земной поверхности отражают корот-

копернические колебания приповерхностных слоев земной коры, длина волн которых составляет единицы километров. Характер колебаний может быть связан со строением и составом земной коры. Не случайно, по-видимому, на восточном склоне Среднего Урала в пункте Высокая Дубрава (30 км к востоку от г. Свердловска) ход наклона имеет юго-восточное направление, противоположное тому, которое установлено в восточной части Русской платформы.

Таким образом, в результате многолетних наклономерных наблюдений выявляются короткопериодические колебания земной



Характеристика наклонов:

пункт 1: аз. сз — 345°; 4,97 с. дуги/год за 6 лет; пункт 2: аз. сз — 332°; 5,0 с. дуги/год за 1 год

поверхности, которые имеют большие скорости вертикальных смещений. В рассмотренных пунктах направление наклонов совпадает с одним из направлений трещиноватости пород. Для решения вопроса природы выявленных короткопериодических наклонов земной поверхности необходимы совместные исследования геодезическим и наклономерным методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бончковский В. Ф. Сопоставление вековых ходов наклонов земной поверхности по данным геологии, геодезии и геофизики. — В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд. АН ЭССР, 1965 (Сборник ст., № 2).
2. Мещеряков Ю. А. Структурная геоморфология равнинных стран. — М.: Наука, 1965.
3. Женин Г. А. О колебаниях характера современных движений земной коры в Эстонской ССР. — В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд. АН ЭССР, 1965 (Сборник статей, № 2).
4. Кутный А. М., Баленко В. Г., Токарь В. И. Сопоставление наклономерных и геофизических данных по наблюдениям в обвалоопасной зоне г. К.-Либкнехтовска. — Тез. докл. VIII Междувед. сов. по изучению современных движений земной коры. Ленинка, 1980.

**ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ
И МОРФОСТРУКТУРНОГО ПЛАНА СРЕДНЕГО ПРЕДУРАЛЬЯ**

Восточные районы Европейской части СССР значительно хуже обеспечены данными повторного нивелирования по сравнению с западной половиной Европейской территории. Сеть линий повторного нивелирования здесь намного реже. Поэтому при характеристике современных тектонических движений этих районов данные о скоростях движений приходится экстраполировать на значительно большие площади. И здесь особо большую роль играют геоморфологические методы, в частности, морфоструктурный анализ.

При анализе современных тектонических движений Среднего Предуралья и прилегающей к нему Вятско-Камской области мы опирались на материалы повторного нивелирования по линии Вологда — Свердловск, своей восточной половиной пересекающей эту территорию. Привлекались материалы по линии Куйбышев — Киров, частично проходящей по западной периферии района. Инструментальные данные по этим линиям и специальные геоморфологические исследования как вдоль линий, так и внутри нивелирных полигонов явились тем материалом, который позволил получить представление и сделать некоторые выводы о характере современного тектонического режима этой территории.

Обязательным элементом в комплексе проведенных исследований были анализ и оценка репрезентативности геодезических данных. Было проведено обследование знаков повторного нивелирования на линиях.

Оба нивелирования по линиям по своим разрядам являются высокоточными. На линии Вологда—Свердловск, проходящей вдоль железной дороги, знаки представлены стенными марками и реперами. На линии Куйбышев—Киров 75% знаков стенные, 25% — грунтовые реперы.

Восточная половина линии Вологда—Свердловск (к востоку от Кирова), приуроченная к исследуемому району, проходит, в основном, по сухой возвышенной местности либо по водоразделам с близким залеганием к поверхности коренных пород — плотных суглинков, мергелей и песчаников пермского возраста, либо по террасам рек. Она пересекает возвышенности Вятские

Увалы, Верхнекамскую, возвышенности Предуралья — Велвинскую, Бельско-Камскую, Сылвинский кряж и Артинское плато. Резкого перехода к горному сооружению Урала здесь нет. По абсолютным высотам Уральские горы здесь почти не отличаются от холмистого Предуралья. Отличия проявляются в геологическом строении. Если Предуралье — поле развития пермских пород, то в области Урала на поверхность выходят сильно смятые в складки и нарушенные тектоническими разломами отложения нижнего палеозоя и докембрия. Что касается структурно-тектонического плана территории, то трасса повторного нивелирования пересекает последовательно Вятскую зону поднятий, Верхнекамскую впадину, Чермозско-Бабкинскую седловину, северную оконечность Башкирского свода, Предуральский краевой прогиб. Конечный отрезок трассы проходит в пределах Уральского антиклинория. Была использована для анализа небольшая часть линии Куйбышев—Киров — конечный отрезок с малым количеством знаков, проходящий по Вятским Увалам, в тектоническом отношении соответствующий Вятской зоне поднятий. Линия проложена по водоразделам и коренным склонам долин рек, где на поверхность выходят пермские пестроцветные породы — глины и мергели татарского яруса.

Обследование линий повторного нивелирования проводилось по разработанной в Институте географии АН СССР программе и методике, предусматривающим оценку природных и технических факторов, влияющих на стабильность положения геодезических знаков [1—4].

Результаты обследования показали, что линии по условиям заложения геодезических знаков и по их состоянию могут быть использованы для изучения современных движений. Подавляющее количество знаков было оценено как устойчивые.

На линии Вологда—Свердловск процентное соотношение знаков разной категории устойчивости таково: устойчивые — 65%, относительно устойчивые — 27% и неустойчивые — 8%. Эти показатели несколько выше, чем в целом для всех обследованных линий (более 20 000 км и 3784 знака) Европейской части СССР, где получилось следующее соотношение: устойчивые знаки — 57%, относительно устойчивые — 30, неустойчивые — 13%. Это объясняется тем, что трассы повторного нивелирования проходят в относительно благоприятных природных условиях, способствующих сохранению стабильности положения геодезических знаков. Кроме того, эти районы находились вне зоны военных действий Великой Отечественной войны 1941—1945 гг. и, естественно, не несли на себе тех потерь и разрушений в строениях, которые претерпели районы, охваченные военными действиями.

Как было установлено ранее на основании обобщения материалов обследования большого количества линий повторного ни-

велирования в разных природных зонах Европейской части СССР, в Средней Азии, Казахстане и на Кавказе, среди природных факторов смещения геодезических знаков ведущими являются грунтовые условия [4]. В разных зонах их влияние сказывается по-разному. В лесной зоне, в частности, к районам которой приурочены анализируемые линии, наибольшее воздействие на знаки оказывают сильная увлажненность грунтов и заболоченность, вызывающие просадки знаков. На участках с неглубоким залеганием уровня грунтовых вод в условиях распространения глинистых и суглинистых грунтов количество устойчивых знаков ничтожно. Так, например, на западном (не анализируемом здесь) отрезке линии Вологда—Свердловск, проходящем, в основном, по низменной территории, на участках с глубиной уровня грунтовых вод менее 1 м устойчивые знаки составляют всего лишь 7% [3]. В исследуемом районе трассы повторного нивелирования проходят, в основном, по сухой, не заболоченной территории с глубоким залеганием уровня грунтовых вод. Таким образом, неблагоприятное влияние гидрогеологических условий здесь не велико. Основными факторами нарушения стабильности геодезических знаков явилось здесь плохое техническое состояние либо самого знака, либо сооружения, в котором он заложен. Так, среди неустойчивых и относительно устойчивых знаков более 70% обусловлено техническими причинами.

Наибольшее количество неустойчивых знаков здесь, также как и по всем линиям в других районах, приходится на мосты. Последние являются наименее надежными объектами для закладки геодезических знаков. Мосты сооружаются обычно на понижениях местности, занятых водотоками (постоянными или временными), либо заболоченных. Кроме того, находясь постоянно под воздействием транспорта и испытывая большие динамические нагрузки, мосты нуждаются в частых ремонтах. Все это вместе, т. е. сочетание неблагоприятных грунтовых условий с техническими воздействиями, приводит к нарушению стабильности знаков. Среди знаков, заложенных в устоях мостов, на линии Вологда—Свердловск лишь 45% оценены нами как устойчивые, 46% — относительно устойчивые и 9% — неустойчивые. Тем не менее эти величины выше соответствующих показателей, полученных для линий лесной зоны в целом, где они соответственно составляют: устойчивые знаки — 36%, относительно устойчивые — 40, и неустойчивые — 24%. Это еще раз подтверждает, что гидрогеологические условия этого отрезка трассы достаточно благоприятны. В большей мере смещения знаков в устоях мостов обусловлены техническими факторами. Прежде чем перейти к анализу современных тектонических движений, рассмотрим кратко морфоструктурный план территории. Основные черты рельефа были заложены во второй половине палеозоя — мезозое. Современный рельеф, в общих чертах предопределенный

тектоникой, не обнаруживает полного соответствия с рельефом кристаллического фундамента и чехла древних осадочных пород.

К древнему герцинскому сооружению Урала, представляющему собой целостное морфоструктурное поднятие, примыкает полоса возвышенностей Предуралья, приуроченная к Чермозско-Бабкинской депрессии и Предуральскому прогибу. Четкую морфоструктурную единицу представляет собой Верхнекамская возвышенность, образование которой связано с мезозойскими движениями в области Верхнекамской впадины. Хотя в пределах впадины имеется поднятие в ее центральной части, мы рассматриваем Верхнекамскую возвышенность в целом как обращенную морфоструктуру. К погруженной области кристаллического фундамента — узкому субмеридиональному Вятскому прогибу — приурочена возвышенность Вятские Увалы. Ее формирование как положительной структуры началось в позднем девоне. Таким образом, являясь обращенной морфоструктурой по отношению к рельефу фундамента, по отношению к послепозднедевонскому рельефу, Вятские Увалы представляют собой прямую морфоструктуру.

При анализе графика скоростей современных движений, построенного по неуравненным значениям скоростей вертикальных движений, вычисленных в ЦНИИГАиК по непосредственно измеренным превышениям, от начального пункта ст. Стеблево (близ Вологды), принятого за нуль, и сопоставления его с морфоструктурным планом получены следующие результаты.

В целом кривая скоростей движений согласуется с морфоструктурной дифференциацией территории. Морфоструктурные области в общем нашли свое отражение в характере современных движений. Наблюдается опускание области Предуральского прогиба по отношению к Уральским горам и возвышенной территории области Башкирского свода. Как относительная область поднятия амплитудой до 2 мм/год выделяются Вятские Увалы. Верхнекамская возвышенность по отношению к Вятским Увалам является областью опускания, а по отношению к Чермозско-Бабкинской депрессии — областью слабого поднятия.

Характерны небольшие различия в скоростях движений отдельных морфоструктур, причем не только платформенных. Можно было ожидать, что горное сооружение Урала по скоростям движений будет резко отличаться от прилегающей равнинно-платформенной территории. Однако этого не наблюдается. Величины относительного поднятия Урала даже меньше, чем, например, величины относительного поднятия такой платформенной структуры, как Вятские Увалы. Нет отличий и в величинах градиентов скоростей. Нами были подсчитаны градиенты скоростей движений по структурам. Получилось, что для отрицательных структур характерен один порядок величин градиен-

тов (1,4—1,7 мм/год на 100 км), для положительных — другой (2,3—2,5 мм/год на 100 км):

Вятская зона поднятий	2,5 мм/год на 100 км
Верхнекамская впадина	1,7
Чермозско-Бабкинская седловина	1,6
Башкирский свод	2,7
Предуральский прогиб	1,4
Уральские горы	2,3

Отсутствие различий в скоростях движений и в градиентах скоростей движений Среднего Урала и смежных частей Русской платформы свидетельствует о том, что принципиальных различий в современном тектоническом режиме положительных структур, развитых в платформенных условиях и в условиях древней геосинклинали Урала, нет. Можно говорить о платформенном типе современных движений Урала [5]. Конечно, у нас нет оснований распространять этот вывод на всю Уральскую горную систему, поскольку мы располагаем данными только по одному профилю. Однако аналогичные выводы сделаны и А. П. Рождественским по Южному Уралу и Южному Предуралью. На основании анализа графика скоростей движений по линии повторного нивелирования Куйбышев — Челябинск и комплекса проведенных геоморфологических исследований А. П. Рождественский считает, что «... восточная часть Русской платформы, Предуральский краевой прогиб и складчатая область Южного Урала в современную эпоху принципиально не отличаются друг от друга» [6]. Согласно А. П. Рождественскому Урал представляет собой сложное гетерогенное образование, одни участки которого развиваются по платформенному типу, другие — по орогеническому. Как считает Ю. А. Мещеряков [7], наиболее типичным участком платформенного типа является Средний Урал.

Принимая в целом концепцию унаследованности современных движений от голоценовых, мы проводили исследования строения и морфологии речных террас, в особенности пойменных, извилистости и уклонов речных русел с целью выявления характера голоценовых движений [5, 8, 9].

Результаты исследований подтвердили в основном выявленную по данным повторного нивелирования тенденцию современных движений крупных морфоструктур и позволили нам более обоснованно провести экстраполяцию скоростей движений на исследуемой территории. Это нашло свое отражение на вышедшей в 1973 г. «Карте современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы» [10], составленной коллективом ученых социалистических стран Европы.

Согласно карте вся исследуемая территория входит в зону абсолютных опусканий интенсивностью $-3 \div -7,5$ мм/год. На фоне общего опускания как область относительного поднятия

выделяется морфоструктурная область Вятских Увалов. Если на прилегающей к ней территории скорость опускания составляет $-4,2 \div -5$ мм/год, то в пределах Вятских Увалов она уменьшается до -3 мм/год и менее. Вся структура оконтуривается изолинией -4 мм/год. Несколько меньшими скоростями абсолютного опускания по сравнению с возвышенностями Чермозско-Бабкинской седловины и Предуральского краевого прогиба характеризуется Верхнекамская морфоструктура.

Средний Урал также оказался вовлеченным в общее опускание с интенсивностью $-6 \div -6,5$ мм/год, превышающей опускание платформенных структур. Отмечается слабое относительное поднятие Урала по отношению к Предуральскому прогибу, где скорость опускания составляет $-7 \div -7,5$ мм/год.

Сечение изолиний скоростей движений на карте (через 2 мм/год), установленное в соответствии с обеспеченностью территории геодезическими данными о скоростях движений, и точность их вычисления не позволили передать на карте некоторые детали в дифференциации скоростей, выявляемых по графику.

Согласно Д. А. Лилиенбергу вся исследуемая область входит в трансрегиональную зону абсолютных опусканий Северо-востока Русской равнины.

Поскольку современные движения земной коры носят колебательный, волнообразный характер с чередованием эпох поднятий и опусканий, то, возможно, современное опускание Северо-востока Русской равнины и Урала знаменует собой одну из таких «отрицательных» тектонических эпох, за которой последует вновь эпоха поднятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Современные** вертикальные движения земной коры. — Тр. ЦНИИГАиК. М.: Геодезиздат, 1958, вып. 123.
2. **Лилиенберг Д. А.** Современные тектонические движения и морфоструктурные особенности Восточного Кавказа и Закавказья. — В кн.: Современные движения земной коры. М., 1963 (Сборник ст., вып. I).
3. **Сетунская Л. Е., Финько Е. А., Мартынова З. И.** Некоторые результаты полевого обследования линий повторного нивелирования. — В кн.: Современные движения земной коры. М.: Изд. АН СССР, 1963 (Сборник ст., № 1).
4. **Лилиенберг Д. А., Сетунская Л. Е.** Методика и некоторые результаты геолого-геоморфологического обследования знаков повторного нивелирования. — В кн.: Проблемы современных движений земной коры. М., 1969 (Сборник ст.).
5. **Сетунская Л. Е.** Особенности современных тектонических движений Русской платформы и Урала (по профилю Лиепая—Свердловск). — В кн.: Современные тектонические движения земной коры и методы их изучения. М.: Изд. АН СССР, 1961 (Сборник ст.).
6. **Рождественский А. П.** Новейшая тектоника и развитие рельефа Южно-го Приуралья. — М.: Наука, 1971.
7. **Мещеряков Ю. А.** Рельеф СССР. — М.: Мысль, 1972.
8. **Сетунская Л. Е., Чулленкова И. Н.** Новейшие и современные тектонические движения Вятской зоны поднятий. — В кн.: Современные движения земной коры. Тарту, 1965 (Сборник ст., № 2).

9. **Иванова Н. Г., Розанов Л. Л., Сетунская Л. Е.** Вопросы геоморфологии и неотектоники бассейна Вятки. — Геоморфология, 1971, № 2.

10. **Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы.** М-6 1 : 2 500 000. — М.: ГУГК, 1973.

11. **Морфоструктурный анализ современных вертикальных движений Европейской части СССР/** Дилиенберг Д. А., Сетунская Л. Е., Благоволлин Н. С. и др. — Геоморфология, 1972, № 1.

Содержание

Дьяконов Б. П., Блюмин М. А., Улитин Р. В., Яценко В. Р. Геодинамические исследования на Урале	3
Яценко В. Р. Современные движения земной коры на Урале	7
Абрамов В. Е. Некоторые результаты интерпретации данных повторных нивелировок по Свердловскому профилю ГСЗ	34
Васильев А. Б. Применение метода коллокации для анализа геодинамических наблюдений	45
Васильев А. Ф. Математическая обработка результатов геодезических измерений при наблюдениях за динамическими процессами	49
Дьяконов Б. П., Улитин Р. В. Геодинамика и изменение физических параметров пород земной коры	55
Шалиро В. А. Сравнительное исследование временной динамики магнитного поля на аномалиях векового хода и результатов повторного нивелирования на Среднем и Южном Урале	61
Солуха В. И. Изучение современных движений земной поверхности наклономерным методом	65
Сетунская Л. Е. Особенности современных тектонических движений и морфоструктурного плана Среднего Предуралья	68

Редактор изд-ва *Л. В. Устьянцева*
 Техн. редактор *Н. В. Семенова*
 Корректоры *Л. В. Устьянцева, И. Ю. Маланичева*

Сдано в набор 28.01.81 Подписано в печать 10.12.80 Формат 60×90¹/₁₆
 Т 22227 Бумага типограф. № 1. Литературная гарнитура. Печать высокая.
 Печ. л. 5 Уч.-изд. л. 5,25 Тираж 500 Заказ 21 Цена 50 коп.

Цех № 1 объединения «Полиграфист»,
 г. Свердловск, ул. Мамина-Сибиряка, 145.

Рефераты

УДК 551.241

Геодинамические исследования на Урале. Дьяконов Б. П., Блюмин М. А., Улитин Р. В., Яценко В. Р. Современные движения земной коры на Урале. Сборник статей. М., изд. ВАГО, 1980, с. 3—6.

Обращается внимание на необходимость целенаправленного и комплексного исследования современных тектонофизических процессов на Урале. Предлагается программа геодинамических исследований на 1981—1985 гг., предусматривающая применение геодезических и геофизических методов. Планируется разработка технических средств для выполнения режимных исследований физических параметров горных пород.

Рис. 1.

УДК 551.241

Современные движения земной коры на Урале. Яценко В. Р. Современные движения земной коры на Урале. Сборник статей. М., изд. ВАГО, 1980, с. 7—33.

Излагается постановка нивелирных работ на Урале, их точность и пригодность для составления карты современных вертикальных движений земной коры Уральского региона.

Рис. 3. Табл. 12. Библ. 12 назв.

УДК 551.24:528

Некоторые результаты интерпретации данных повторных нивелировок по Свердловскому профилю ГСЗ. Абрамов В. Е. Современные движения земной коры на Урале. Сборник статей. М., изд. ВАГО, 1980, с. 34—44.

Рассматривается возможность использования повторных нивелировок, близких к Свердловскому профилю ГСЗ, для изучения характера вертикальных деформаций вдоль профиля. Приводится статистический анализ данных повторных нивелировок. На основе анализа деформации сделан вывод о том, что структуры Центрального Урала по данному пересечению за время наблюдений выступали по отношению к деформациям как единый консолидированный блок.

Рис. 2. Табл. 9. Библ. 9 назв.

УДК 528.481:558.115

Применение метода коллокации для анализа геодинамических наблюдений. Васильев А. Б. Современные движения земной коры на Урале. Сборник статей. М., изд. ВАГО, 1980, с. 45—48.

Рассматривается методика вычисления инвариантов поля деформации с помощью коллокационных преобразований координат пунктов линейно-угловых геодезических сетей, создаваемых на геодинамических полигонах. Отмечается, что значения сигнальной составляющей коллокационной модели могут быть интерпретированы как признаки локальных аномалий гравитационного поля и активных локальных структур.

Библ. 7 назв.

УДК 528.14

Математическая обработка результатов геодезических измерений при наблюдениях за динамическими процессами. Васильев А. Ф. Современные движения земной коры на Урале. Сборник статей. М., изд. ВАГО, 1980, с. 49—54.

Предлагается использовать информацию о группах взаимно устойчивых знаков (пунктов или реперов) в геодезической сети в процессе математической обработки циклов измерений, выполняемых при наблюдениях за динамическими процессами. Дано теоретическое обоснование методики совместного уравнивания циклов измерений с использованием информации о группах взаимно устойчивых знаков и приведены результаты обработки на примере нивелирной сети.

Рис. 1. Табл. 3. Библ. 4 назв.

УДК 551.241

Геодинамика и изменение физических параметров пород земной коры. Дьяконов Б. П., Улитин Р. В. Современные движения земной коры на Урале. Сборник статей. М., изд. ВАГО, 1980, с. 55—60.

Рассмотрены экспериментальные данные о вариациях сейсмоакустической эмиссии и электропроводности горных работ. Показано, что изменение этих параметров обусловлено перераспределением напряжений в массивах горных пород и процессами трещинообразования при деформации земной коры под действием земных приливов.

Рис. 3. Табл. 1.

УДК 528.481+550.382

Сравнительное исследование временной динамики магнитного поля на аномалиях векового хода и результатов повторного нивелирования на Среднем и Южном Урале. Шапиро В. А. Современные движения земной коры на Урале. Сборник статей. М., изд. ВАГО, 1980, с. 61—64.

Сопоставляются результаты изучения зон аномальных изменений геомагнитного поля вдоль нескольких широтных профилей в пределах Среднего и Южного Урала. Показано, что выделенные по аномалиям векового хода геомагнитного поля тектонически активные структуры в Предуралье и Зауралье совпадают с зонами наиболее контрастных, по данным повторного нивелирования, участков земной коры.

Рис. 2. Библ. 6 назв.

УДК 525.622

Изучение современных движений земной поверхности наклономерным методом. Солуха В. И. Современные движения земной коры на Урале. Сборник статей. М., изд. ВАГО, 1980, с. 65—67.

При сопоставлении данных повторного нивелирования с интервалом 20—30 лет и результатов наклономерных наблюдений обнаруживается систематическое расхождение в скорости современных вертикальных движений земной поверхности. Это связано с усреднением при нивелировании короткопериодических и более высокочастотных колебаний, регистрируемых наклономерами.

Рис. 1. Табл. 1. Библ. 4 назв.

Особенности современных тектонических движений и морфоструктурного плана Среднего Предуралья. Сегунская Л. Е. Современные движения земной коры на Урале. Сборник статей. М., изд. ВАГО, с. 68—74.

Для анализа современных тектонических движений Среднего Предуралья и прилегающей территории были использованы данные повторного нивелирования по линии Вологда—Свердловск и материалы специальных геоморфологических исследований, проведенных на этой территории. В результате геолого-геоморфологического обследования линии повторного нивелирования дана оценка репрезентативности геодезических данных. Было установлено, что подавляющее большинство геодезических знаков устойчиво по отношению к влиянию нетектонических факторов и может быть использовано для анализа современных движений.

Библ. 11 назв.

Цена 50 коп.

3704