

## ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ЭСТОНСКОЙ ССР ПО ДАННЫМ ПОВТОРНЫХ НИВЕЛИРОВОК

Г. А. ЖЕЛНИН,

кандидат физико-математических наук

Для изучения современных тектонических движений земной коры в последнее время стало возможным применение метода повторных точных нивелировок. Применение этого метода значительно расширило территориальные границы изучения тектонических движений. Теперь могут изучаться и территории, отстоящие далеко от водных рубежей.

В основу этого метода положено предположение, что расхождение в превышениях, полученных в результате проведения первой и повторной нивелировок одной и той же трассы, зависит не только от ошибок измерений, но является следствием и современных вертикальных движений земной коры. Соотношение между указанными двумя явлениями определяет эффективность метода. Совершенно ясно, что достоверные выводы могут быть получены лишь в том случае, если изменение в превышениях, вызванное движением земной поверхности, по своему значению превысит значение ошибки измерений. А для этого, учитывая незначительную величину годового смещения земной коры, требуется время.

Иначе говоря, первая и повторная нивелировки должны быть выполнены через значительный промежуток времени, зависящий как от точности самих измерений, так и от скорости происходящего движения. Последнее условие и задерживало применение этого метода.

Настоящая работа представляет собой попытку применить указанный метод для изучения вертикальных движений, происходящих на территории Эстонской ССР. Целью ее является: 1) определить тот минимальный отрезок времени между сроками производства нивелировок, который (в зависимости от точности работ) обеспечил бы надежность выводов, 2) рассмотреть все нивелировки, выполненные на территории республики, с точки зрения их пригодности для предстоящих выводов и 3) на основании отобранного материала дать предварительные выводы о современных движениях земной поверхности на территории республики.

### I. Исходные данные и точность возможных выводов

Для побережья Эстонской ССР предложен целый ряд схем размещения линий одинакового смещения земной поверхности (изобаз). Все эти схемы получены в результате обширных исследований, основанных на использовании уровнемерных определений многих пунктов Балтийского моря. Однако все эти схемы резко отличаются друг от друга.

На рис. 1 приведены схемы Р. Виттинга (1922) и Я. Бикиса (1940), а также результаты геоморфологических исследований В. Рамсея (1929). Согласно Виттингу, вся северо-западная часть территории Эстонии претерпевает поднятие, а нулевая изобаза проходит линию Пярну—Нарва. По Бикису же вся территория республики, за исключением западных частей островов Сааремаа и Хийумаа, а также узкой полосы побережья восточнее Локса, опускается. Из схемы Моделя (1950, на рис. 1 не приведена) видно, что поднимается лишь узкая полоса побережья Финского

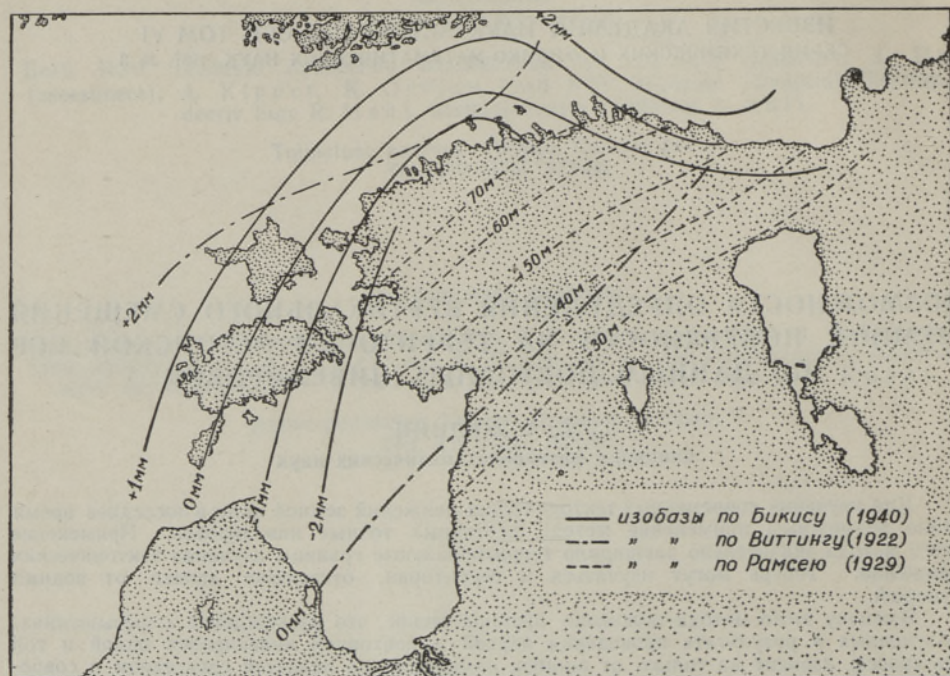


Рис. 1. Схема размещения изобаз по Бикису, Виттингу и по геоморфологическому исследованию Рамсея.

залива от Пальдиски до Кунда. Размещения изолиний в глубине материка эти схемы, конечно, не дают. Все эти данные приведены нами лишь для того, чтобы показать разноречивость имеющихся выводов и определить ориентировочную густоту размещения изобаз. Последнее понадобится нам для определения возможного изменения в превышениях двух пунктов, расположенных на известном расстоянии друг от друга.

На основании имеющихся схем за среднюю густоту изолиний можно принять три миллиметровые изобазы на расстоянии 100 км; это означает, что пункт, отстоящий от начального на 100 км, претерпевает относительное смещение 3 мм в год.

Каким же должен быть минимальный отрезок времени между двумя нивелировками в зависимости от точности работ и принятой нами относительной скорости смещения земной поверхности, чтобы получить достоверный вывод?

Пункт, расположенный в 100 км от первого, принятого нами за начальный, за  $t$  лет сместится по высоте на  $3t$  мм.

Ошибка первого нивелирования  $m_1$  выразится формулой

$$m_1 = \pm \sqrt{\eta_1^2 L + \sigma_1^2 L^2},$$

где  $\eta_1$  и  $\sigma_1$  — средние квадратические величины случайной и систематической ошибок нивелирования на 1 км хода, а  $L$  — расстояние между пунктами (в данном случае 100 км).

Ошибка повторного нивелирования, выполненного через какой-то промежуток времени, будет иметь аналогичный вид, причем  $\eta_2$  и  $\sigma_2$  — километровые ошибки второй нивелировки.

Разность в превышениях, полученных в результате первой и второй нивелировок, будет иметь ошибку  $M$ , причем

$$M = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2}.$$

Мы предполагаем, что разность в превышениях  $R$  вызвана лишь относительным смещением земной коры на данном участке, но не локальными изменениями в положении конечных пунктов. Чтобы наши выводы были надежными, потребуем, чтобы  $R$  по крайней мере в три раза превышало величину ошибки, т. е. чтобы  $R \geq 3M$ .

Величина  $R$  получена как разность превышений из нивелировок, выполненных через  $t$  лет. Если годовое смещение земной коры на расстоянии в 100 км будет равно 3 мм, то получим, что  $R$  должно равняться  $3t$  мм. Так как  $R$ , с одной стороны, связано соотношением  $R \geq 3M$ , а с другой стороны  $R = 3t$  мм, то получим  $t \geq M$ . Отсюда следует, что промежуток времени между первой и второй нивелировками в годах должен превышать значение ошибки двойного нивелирования, данной в миллиметрах.

Если принять, что первая и вторая нивелировки выполнены с одинаковой точностью, получаемой обычно при точных нивелировках ( $\eta = \pm 2$  мм,  $\sigma = \pm 0,4$  мм), то получим условие  $t \geq 63$ . Следовательно, при такой точности работ повторная нивелировка должна быть проведена приблизительно через 60—65 лет. Поскольку первая нивелировка на территории Эстонии была выполнена в 1871 году, то промежуток времени можно считать вполне достаточным, вопрос лишь в точности старых работ. Если же исходить из той точности, с которой были проведены нивелирные работы на территории Эстонской ССР в 40-х годах ( $\eta = \pm 0,6$  мм,  $\sigma = \pm 0,1$  мм), то нам потребуется всего 16—17 лет. И таким периодом для высокоточных работ мы также располагаем.

Ясно, что на основании одних только повторных нивелировок мы сможем дать размещение изобаз лишь относительно какого-нибудь начального пункта. За такой пункт рационально принять г. Таллин, а именно подземный репер Ласнамяэ, надежность закладки и неизменность положения которого не вызывают сомнений. На таллинском репере мы остановились еще и потому, что он связан с футштоком, благодаря чему наши выводы могут быть связаны с исследованиями, базирующимися на равномерных наблюдениях. К сожалению, мы затрудняемся принять для района г. Таллина какое-нибудь вполне определенное абсолютное значение годового смещения земной поверхности, так как имеющиеся данные сильно отличаются друг от друга (по Виттингу (1918) +3,7 мм, по Виттингу (1922) несколько менее +2 мм, по Бикису —1,9 мм, по Моделю +0,5 мм). Поэтому за нулевую нами условно принята изобаз, проходящая в районе г. Таллина. Следует также отметить, что в самом г. Таллине замечаются местные смещения земной поверхности, представляющие самостоятельный интерес, в особенности при рассмотрении вопросов строительства и планировки города.

С какой же точностью мы можем получить выводы о годовом смещении отдельных точек территории республики относительно принятого начального пункта? Принятое нами соотношение  $R \geq 3M$  ориентировочно определяет и предполагаемую точность наших выводов, а именно  $1/3$  значения величины смещения. Для того чтобы увеличить точность наших выводов, надо изменить соотношение между  $R$  и  $M$ , увеличив  $R$  или уменьшив  $M$ . Уменьшение  $M$  практически невозможно, так как изменить точность ранее выполненных работ мы не можем, а новые работы проводятся с максимально возможной в настоящее время точностью. Остается

увеличить  $R$ , но  $R = at$  ( $a$  — годовое смещение), следовательно, надо увеличить период между повторными нивелировками. Увеличение же промежутка времени между повторными нивелировками грозит сохранности высотных знаков, а следовательно, ставит под угрозу и интересующие нас выводы. Приведем такой пример: при сравнении данных нивелирования 1881 г. по трассе Тапа—Тарту с данными нивелирования 1934 г. мы предполагали пятью общими пунктами, при сравнении же с данными 1950 г. — только одним пунктом, остальные были за этот период уничтожены.

## II. Обзор и анализ гипсометрических работ, выполненных на территории Эстонской ССР

Первые обширные гипсометрические работы на территории Эстонии и Латвии связаны с именем выдающегося астронома-геодезиста первой половины XIX века, директора Тартуской обсерватории В. Струве. В первой геодезической работе этого ученого<sup>[2]</sup> были тригонометрически определены высоты более чем 280 пунктов. Вычисление высот велось от уровня Рижского залива. В последующей работе — знаменитом градусном измерении вдоль меридиана Тартуской обсерватории — Струве пополнил общее количество ранее определенных пунктов.

В результате этой работы была определена высота порога главного входа в Тартускую обсерваторию, принятая впоследствии за исходную при нивелировании южной Эстонии.

Последующие гипсометрические работы выполнялись тем же методом и были связаны с развитием триангуляционных работ на территории Эстонии.

В 70—80-х годах прошлого столетия гипсометрические работы получают большой размах. Здесь следует отметить как государственные работы, начатые в 1871 г. Корпусом военных топографов (КВТ), так и работы, проводимые по инициативе и на средства отдельных обществ.

**1. Геометрические нивелировки обществ:** Рассмотрим геометрическое нивелирование северной части территории Эстонии, предпринятое Эстляндским сельскохозяйственным обществом и выполненное в 1868—1869 гг. землемером Ф. Мюллером, а также аналогичную работу по южной Эстонии (и северной Латвии), проведенную в 1874—1875 гг. по заданию Лифляндского общепольного экономического общества (исполнители — инженер Брокк и студент Тартуского университета Г. Хельман).

Нивелирование велось вдоль основных шоссейных дорог в виде замкнутых полигонов или отдельных сравнительно коротких висячих ходов. В работах употреблялись малоточные нивелиры (увеличение  $20\times$ , цена деления уровня  $1'$ ) на легких штативах в рейки, разделенные на десятые доли фута. Расстояние нивелира от реек колебалось в пределах 60—70 м.

Высотным знаком служила горизонтальная черта, высеченная на каменных постройках или устоях мостов. Общее количество закрепленных таким образом высотных пунктов у Мюллера 700, у Брокка — 199, у Хельмана — 61. Протяженность нивелирных ходов в работах Мюллера 2355 верст, в работах Брокка — 1161 верста и Хельмана — 213 верст.

При нивелировке северной Эстонии высоты отнесены к среднему уровню Финского залива по данным таллинского футштока, нивелировка же южной Эстонии базировалась на отметке порога Тартуской обсерватории, полученной Струве путем тригонометрического нивелирования.

О точности указанных работ можно судить по невязкам полигонов и путем сравнения с результатами более поздних определений. За среднюю ошибку нивелирования для обеих нивелировок можно принять  $\pm 9$  мм на версту, в отдельных случаях ошибка замыкания полигона достигала нескольких футов.

Как видно, эти нивелировки, имевшие в свое время большое значение для проведения мелиоративных и изыскательских работ, а также послужившие основным материалом для составления гипсометрической карты этого района, не имеют в настоящее время ни практического, ни научного значения. Обозначение высотных знаков этих нивелировок настолько ненадежно и неприметно, что розыски их затруднительны и не могут принести сколько-нибудь значительной пользы.

**2. Нивелир-теодолитные работы КВТ.** В 1871 году к гипсометрическим работам на территории Эстонии приступил Корпус военных топографов. Для гипсометрических работ был использован нивелир-теодолит, инструмент, предназначенный в основном для горизонтальной съемки. Это была пробная работа, преследовавшая цель выяснить возможности применения инструмента для точных гипсометрических работ. Результаты оказались малоутешительными, точность высотных определений составляла  $\pm 7$  мм на версту. Выполненная работа подтвердила непригодность этого инструмента для проведения подобных работ. Последующие высотные определения КВТ проводились уже способом геометрического нивелирования.

Превышения определялись нивелир-теодолитом способом тригонометрического нивелирования, выполняемого на расстоянии в 100 саженей на три специальные марки, вделанные в двухсаженные вертикальные рейки. Точность отсчета вертикального круга (сектора) —  $4''$ , цена деления уровня —  $1,5''$ . Расстояния определялись дальномером. Нивелирование велось в 1871—1872 гг. вдоль железной дороги Гатчина—Нарва—Тапа—Таллин—Пальдиски, только что построенной и в 1870 г. сданной в эксплуатацию. Этот момент необходимо учесть, так как знаки, заложенные тогда в новопостроенных зданиях, не могли гарантировать на первое время неизменность положения.

По трассе было заложено 47 высотных знаков типа стенной марки. Ход был проложен в одном направлении за исключением участка Нарва—Раквере, выполненного в двух направлениях. Руководителем и одним из исполнителей этой работы был видный геодезист-астроном Н. Цингер.

Вышеуказанный нивелир-теодолитный ход связал между собой кронштадтский и таллинский футштоки. Контролем работ должно было служить равенство уровней Финского залива в Таллине и Кронштадте. Однако, согласно результатам нивелирования, оказалось, что разница в уровнях достигает 65 см при возможной ошибке нивелирования  $\pm 12$  см. Объяснить это расхождение падением уровня Финского залива было несколько рискованно. Надо думать, что был допущен какой-либо просчет, особенно на тех участках, которые были пройдены в одном направлении. Более позднее нивелирование той же трассы подтвердило это заключение.

**3. Нивелирование КВТ по трассе Тапа—Тарту—Валга—Рига в 1881—1882 гг.** Эта работа была выполнена нивелиром обычной конструкции (уровень при подставке, увеличение 30 раз). Рейки двусторонние, трехметровые, с делениями, равными одной двухсотой сажени по одной стороне и с сантиметровыми — по другой. Нивелирование велось одновременно двумя исполнителями с различных концов трассы, каждым в одном направлении. Расстояние между инструментом и рейками — 80 саженей.

Вероятная ошибка нивелирования, согласно данным производителя работ Д. Гедеонова, колеблется в пределах 3—4 мм на версту. Высотные знаки в виде стенной марки закладывались примерно через 20 верст. Ход шел от Тапа до Тарту вдоль железной дороги, от Тарту через Валга до Риги — вдоль шоссе. Точность работ, вычисленная нами для трассы Тапа—Тарту, —  $\eta = \pm 3,2$  мм и  $\sigma = \pm 0,44$  мм на версту. Вся невязка этой трассы между ходом туда и обратно достигает 10 см и полностью приходится на участки Кильтси—Вягева и Табивере—Тарту при хорошей сходимости других.

К данной нивелировке всячим ходом привязана марка в стене Тартуской астрономической обсерватории.

**4. Нивелирования 1897 и 1910—1911 гг.** Ввиду того, что нивелиртеодолитные определения не соответствовали требуемой точности, в 1897 г. была повторно пронивелирована трасса Гатчина—Нарва—Тапа—Таллин. Нивелирование велось в основном по высотным знакам 1871 года.

В южной части Эстонии нивелирные работы проводились в 1910—1911 гг. За исходную высоту была принята отметка стенной марки 1881 г. в г. Валга. Работы велись вдоль железной дороги Валга—Псков и узкоколейной железной дороги Валга—Мыйзакула—Пярну.

На основании имеющегося каталожного материала нами вычислена точность нивелирования по этим трассам.

Ход Нарва—Таллин	$\eta = \pm 3,3$ мм	$\sigma = \pm 1,0$ мм
Валга—Пярну	$\pm 6,2$ „	$\pm 1,2$ „
Валга—Псков	$\pm 2,5$ „	$\pm 0,3$ „

В этот же период проводились и обширные ведомственные нивелировки: нивелировка железных дорог (1904) и нивелирные работы, связанные с установлением режима рек и съемкой городов.

**5. Нивелирные работы буржуазного времени (1933—1940).** Толчком к постановке обширных нивелирных работ на территории Эстонии послужила программа Балтийской геодезической комиссии (БГК), членом которой была и буржуазная Эстония. БГК обязывала своих членов — страны, примыкающие к Балтийскому морю, — к проведению точных нивелирных работ вдоль берегов для связи имеющихся футштоков. Предусматривалось создание шести замкнутых полигонов высокоточной нивелировки со средним периметром в 350 км.

Работы начались в 1933 г. Учитывая требования картографических работ, нивелировку было решено начать с северо-восточной части республики. Первый полигон высокоточной нивелировки, Тапа—Йыхви—Муствээ—Йыгева—Тапа, был начат от временного знака в г. Тапа. Так как за истекший период стенная марка 1871 г. в Тапа пропала, то высота временной начальной точки (вновь заложеной марки) была получена передачей высот от ближайших знаков 1897 и 1881 гг. (Раквере, Лехтсе, Кильтси). Среднее значение полученных отметок было принято за начальное с последующим уточнением его передачей высоты от таллинского футштока.

В последующие годы высокоточные нивелирные ходы были проложены по всем основным магистралям, образовав шесть замкнутых полигонов протяженностью 300—400 км каждый. Всячими нивелирными ходами была осуществлена связь с нивелирными сетями соседей.

Нивелирование замкнутых полигонов осуществлялось в прямом и обратном направлениях, всячие ходы нивелировались дважды в прямом и дважды в обратном направлениях. Узловые и конечные точки нивелирной

сети были закреплены надежными подземными центрами. Всего таких центров было заложено 21. Подземный центр в виде полусферической головки из бронзы закладывался в верхнюю плоскость бетонного монолита, имеющего форму усеченной пирамиды (высота 1 м, верхняя и нижняя грани  $0,4 \times 0,4$  и  $1,0 \times 1,0$  м) и устанавливаемого на глубине 2,5 м. При учете того обстоятельства, что максимальная глубина промерзания почвы для данной территории равна 1,8 м, эта глубина вполне достаточна. Следует, однако, отметить, что при закладке подземных реперов не всегда учитывались геологические факторы. Так, подземный репер в г. Таллине, по улице Теллискиви, был заложен в очень неустойчивый грунт.

Высокоточные ходы проложены в основном вдоль шоссеиных дорог и лишь на 10% по железной дороге. Общая протяженность их 1727 км. На этом расстоянии, кроме указанных 21 подземного репера, заложено 1012 ственных реперов и 117 ственных марок. Общее количество высотных знаков 1150 на 1727 км хода; таким образом, среднее расстояние между знаками составляет 1,5 км.

Стенные реперы в виде сферической головки изготовлялись из бронзы или чугуна и устанавливались в фундаменты зданий или в устой мостов. Лишь на некоторых залесенных участках (например по трассе Таллин—Хаапсалу) из-за отсутствия надежных сооружений реперы устанавливались в верхние грани специально вкопанных бетонных монолитов.

Стенные марки закладывались на расстоянии 10 км одна от другой. Как это ни странно, но марки не являлись основными высотными знаками, они привязывались к высокоточному ходу с пониженной точностью.

В работах употреблялся прецизионный нивелир Цейсс-А с плоскопараллельной пластинкой. Рейки трехметровые, инварные, с полусантиметровыми делениями. Нивелирование выполнялось способом совмещения, из середины, при длине расстояния от нивелира до рейки 50 м. Расстояние отбивалось троссом. Для высокоточного нивелирования инструкцией 1936 г. были установлены следующие требования точности:  $\eta = \pm 1,0$  мм,  $\sigma = \pm 0,2$  мм. Вычисленные нами точности отдельных ходов колеблются в следующих пределах:  $\eta =$  от  $\pm 0,245$  до  $\pm 0,390$  мм при среднем значении  $\pm 0,319$  мм;  $\sigma =$  от  $\pm 0,005$  до  $\pm 0,060$  мм при среднем значении  $\pm 0,029$  мм.

В отношении высокоточного нивелирования буржуазного времени можно отметить, что по точности выполнения оно полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым действующими инструкциями к нивелированию высокой точности, однако по методике выполнения не соответствует им. Ввиду этого указанное нивелирование отнесено лишь к «точным» работам.

Внутри высокоточных полигонов эстонской нивелировки должна была быть развита сеть так называемой точной нивелировки. Работы были начаты в 1936 г. на северо-восточной окраине республики, где была создана сеть общей протяженностью в 340 км. В 1938—1939 гг. точная нивелировка проводилась на островах Муху и Сааремаа. Эта сеть, протяженностью около 250 км, была в 1940 г. привязана к высокоточному ходу Хаапсалу—Пярну. Привязка интересна тем, что она выполнена по льду через пролив Суур-Вяйн шириною в 8 км. Ошибка этой связи  $\pm 3,5$  мм. Общая протяженность сети точных нивелировок 730 км.

Составленный в 1940 г. каталог высот марок и реперов эстонской нивелировки носил предварительный характер. Сеть не была уравнена. Высоты давались от среднего уровня Финского залива по данным таллинского футштока за период 1923—1934 гг. Эстонское нивелирование на участках Тапа—Йыхви, Тапа—Йыгева, Тарту—Валга, Выру—Петсери (общей протяженностью 280 км) явилось повторным.

6. **Высокоточное нивелирование ГУГК 1948 года и работы Института физики и астрономии АН ЭССР.** В 1948 г. Главным управлением геодезии и картографии было выполнено высокоточное нивелирование по трассе Нарва—Раквере—Таллин—Лелле—Пярну—Рига. Нивелирование было проведено по трассам 1934—1937 гг. с включением всех сохранившихся реперов и марок. Ход отступал от трассы 1934—1937 гг. на участке Раквере—Лообу и Тори—Пярну. На участке Нарва—Йыхви ход шел по старой трассе, но по вновь заложенным знакам: все прежние знаки были уничтожены во время Великой Отечественной войны, т. к. этот район находился в зоне длительных и упорных боев.

Проведение этого нивелирования, явившегося почти на всем своем протяжении повторным, дало толчок к постановке исследования по определению вертикального движения земной поверхности в пределах данной территории. Для увеличения объема повторных ходов Институтом физики и астрономии АН ЭССР (ИФА) было выполнено в период 1950—1956 гг. нивелирование участков Тарту—Тапа—Лообу (до соединения с высокоточной нивелировкой 1948 г.), Хаапсалу—Таллин и Тарту—Пука—Мыйзакюла.

В работах ИФА использовалась такая же аппаратура и работы велись по той же программе, что и в 1933—1940 гг.

### III. Сравнение повторных ходов

Поскольку повторные ходы не образуют замкнутых полигонов, то сравнение мы проведем по отдельным участкам. Сравнению подлежат следующие участки:

По трассе	Нивелировки		
	старые	буржуазного времени	последнего времени
Нарва—Тапа—Таллин	1871—1872, 1897	1934—1935	1948
Тапа—Тарту—Валга	1881—1882	1934—1938	1950—1956
Таллин—Лелле—Пярну		1936—1937	1948
Таллин—Хаапсалу		1937	1953
Пука—Мыйзакюла		1939	1956
Мыйзакюла—Пярну	1910—1911	1938	
Валга—Выру—Петсери	1910—1911	1939	

#### 1. Сравнение старых нивелировок между собою и с данными нивелировок буржуазного времени

**А. Трасса Нарва—Тапа—Таллин.** Определение смещения земной поверхности как разности в превышениях конечных точек из нивелирования 1897 и 1871 гг. нам кажется необоснованным. Надо учесть то положение, что конечные пункты этих нивелировок закреплены так же ненадежно, как и остальные пункты: они были заложены в только что воздвигнутые сооружения. Поэтому будет правильнее принять за среднее изменение в превышениях отдельных участков подъем сглаженной кривой, полученный по графику изменения превышений всех имеющихся общих пунктов. В таком случае мы получим среднее изменение в превышениях по трассе Тапа—Нарва, равное  $-0,026$  сажени или  $-55,5$  мм.



Это даст годовое смещение пункта Нарва относительно Тапа  $-2,1$  мм. Ошибка этой разности значительно превышает полученные выводы и тем делает их сомнительными. Изменения в превышениях на участке Тапа—Таллин мы исследовать вообще не будем, так как нивелирование 1871 г. было выполнено по этой трассе лишь в одном направлении и, следовательно, ошибка определения здесь будет еще больше.

При сравнении этих двух старых нивелировок с нивелированием 1934 г. ( $\eta = \pm 0,32$  мм,  $\sigma = \pm 0,01$  мм) участок сравнения сужается: во-первых, стенная марка 1871 г. на станции Тапа была уничтожена, таким образом, участок сравнения доходит лишь до Раквере; во-вторых, от Нарвы до Йыхви трасса 1934 г. идет вдоль шоссеиной дороги, т. е. отклоняется от трассы 1871 и 1897 гг. На трассе сохранились и были включены в нивелирование 1934 г. шесть знаков 1871 г. и два знака 1897 г. (в нивелирование 1897 г. включены все знаки 1871 г.), причем часть из них показывает сильное локальное оседание. Ошибка нивелирования на этом стокилометровом участке (Нарва—Раквере) для работ 1871 г. составляет  $\pm 130$  мм, для работ 1897 г.  $\pm 105$  мм. Ошибка повторного нивелирования (1934) по сравнению с этими значениями столь незначительна ( $\pm 3,3$  мм), что мы можем ее не учитывать. Изменение в превышениях между конечными точками участка, взятое с графика сравнения нивелировок 1934 и 1871 гг. (промежуток времени равен 63 годам), будет равно  $-131$  мм; 1934—1897 гг. (промежуток — 37 лет)  $-52$  мм. В первом случае ошибка разности в превышениях равна самому превышению, во втором случае — значительно его превосходит. Для годового смещения земной поверхности в районе Нарвы относительно района Раквере соответственно получим  $-2,1$  мм и  $-1,4$  мм, с ошибками, равными или превышающими эти значения.

Итак, в результате проведенного сравнения мы получим (без всякой, однако, уверенности) оседание Нарвы относительно Тапа порядка 2—2,5 мм в год. Этот вывод мы можем принять лишь как ориентировочный. Причина такой неопределенности полученного вывода — малая точность работ 1871 и 1897 гг., недостаточно надежное закрепление конечных пунктов и сравнительно короткий промежуток времени между повторными работами. Последнее обстоятельство можно было бы в некоторой мере исправить, если привлечь данные высокоточного нивелирования 1948 г. К сожалению, эта возможность отпадает, поскольку на всей этой трассе сохранилось всего два общих пункта.

**Б. Трасса Тапа—Тарту—Валга.** При сравнении данных нивелирования 1881 г. с данными 1934—1938 гг. по трассе Тапа—Тарту надо учесть, что начальный пункт нивелирования 1881 г. в г. Тапа за прошедшее время пропал и нивелирование 1934 г. начато от вновь заложеного репера. Таким образом, сравнению подлежит участок Кильтси—Тарту протяженностью в 85 км. На данном участке пять общих точек — марки 1881 г., заложенные в водонапорные башни станций. (Все марки, за исключением Тарту, были уничтожены во время Великой Отечественной войны.) Продолжительность по времени 55 лет. Изменение в превышениях между конечными пунктами Кильтси—Тарту равно  $+41$  мм с возможной средней ошибкой  $\pm 46$  мм. Если отнести происшедшее изменение за счет смещения земной коры на этом участке, то получим, что годовой подъем Тарту относительно Кильтси равен  $0,8$  мм с ошибкой такого же порядка. Положительное смещение Тарту относительно Кильтси не вяжется, однако, с геоморфологическими выводами. Более подробное исследование этого вопроса приводит к выводу, что марка в Кильтси

осела за время, прошедшее между проложением прямого и обратного ходов нивелирования 1881—1882 гг. Поэтому делать какие-либо выводы о смещении земной коры на основании имеющихся данных мы считаем рискованным.

По трассе Тарту—Валга сохранились лишь конечные пункты, для наших выводов этого недостаточно.

**В. По южной Эстонии.** Для вывода изменений в превышениях между данными нивелировок 1910—1911 гг. и нивелировок буржуазного времени по южной Эстонии у нас слишком мало данных. Это небольшой участок в 24 км между Выру и Петсери по железной дороге и отдельные пункты в Валга, Мыйзакула и Пярну, превышения между которыми получены нивелированием по разным трассам. Поэтому от каких-либо выводов мы воздержимся.

Итак, использование старых нивелировок не дало нам почти никаких выводов о поведении земной коры в данном районе. Наш вывод о возможном поднятии района Тапа относительно Нарвы порядка 2 мм в год далеко не убедителен и требует строгого контроля. Данные старых нивелировок, несмотря на значительный промежуток времени, из-за своей малой точности и ненадежного закрепления знаков не могут быть использованы для интересующих нас выводов.

## 2. Сравнение нивелировок 1933—1940 гг. с нивелировками 1948—1956 гг.

Сеть повторных ходов последнего периода образует систему с двумя узловыми пунктами в Лообу и Таллине. Сеть имеет вид, приведенный нами на рис. 3. Из шести узловых и конечных пунктов этой сети только три закреплены подземными реперами (Хаапсалу, Таллин, Мыйзакула), а остальные (Лообу, Пярну, Йыхви) кончаются на трех близлежащих стенных знаках. К сожалению, не все подземные центры гарантируют неизменность положения. Так, в г. Таллине, где заложено три подземных репера, один из них за период 1936—1948 гг. изменил свою относительную высоту на 8—9 мм.

Значительно менее надежны и устойчивы стенные знаки, в особенности стенные реперы. Как пример приведем данные о состоянии реперов на трассе Тарту—Йыгева, заложенных в 1938 г. и осмотренных в 1950 г. Из 37 стенных реперов этой трассы 7 было уничтожено вообще, 2 носили следы тяжелых и 10 следы легких ударов. Таким образом, 19 из 37, т. е. более 50% реперов стали или вообще непригодными, или изменили свое положение. Стенные марки значительно устойчивее, поскольку они в меньшей мере подвергаются внешним воздействиям.

Так как ни для одной из конечных или узловых точек сети, кроме Таллина, мы не имеем никаких предварительных выводов о скорости смещения земной коры, то за условный нуль примем подъем в Таллине. В таком случае легко будет перейти в дальнейшем и к абсолютным значениям.

Расхождения в превышениях между общими для обеих нивелировок пунктами относительно начального пункта мы представим графически. К примеру проведем сравнение по трассе Тарту—Лообу (рис. 2). Учитывая, что отдельные участки этой трассы пройдены в разные промежутки времени (Лообу—Тапа — разрыв между повторными нивелировками 17 лет, Тапа—Йыгева — 17 лет, Йыгева—Тарту — 12 лет), то мы приведем все участки к одному периоду, в данном случае к 17 годам. Действуя

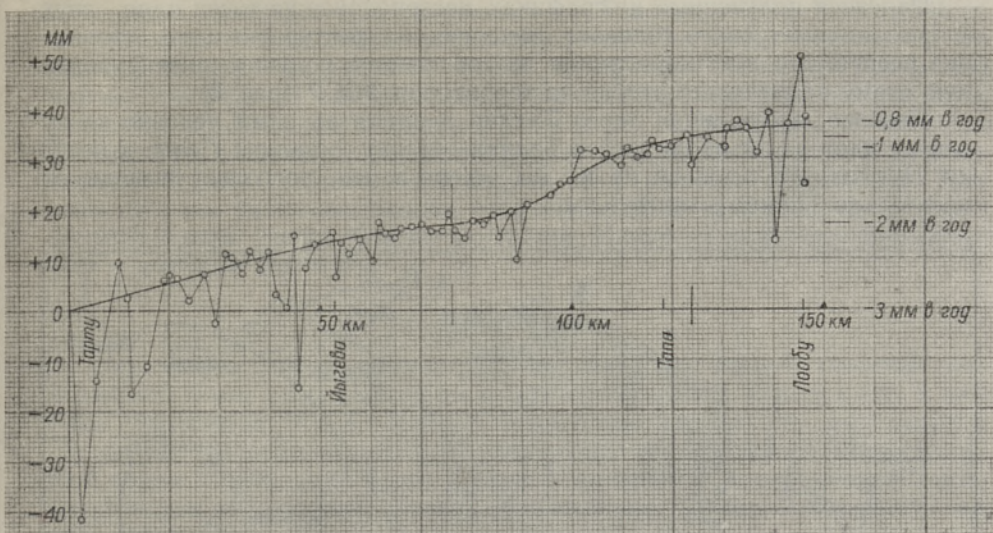


Рис. 2. График изменения превышений по трассе Лообу—Тапа—Тарту.

подобным образом, мы допускаем, что скорость движения земной поверхности остается неизменной. Итак, помножив расхождения в превышениях на участке Йыгева—Тарту на 17/12, мы будем иметь расхождения, отнесенные к одному промежутку времени. На составленном графике проведем сглаженную кривую, которая представит нам среднее изменение в превышениях за указанный период, т. е. смещение земной поверхности, происшедшее по этой трассе относительно начального пункта (на графике — Тарту). На этих же графиках получим и местоположение точек, имеющих годовой подъем в 1, 2 и 3 мм. Для этого отложим по оси *y* количество миллиметров (в масштабе), равное периоду протекшего времени, и найдем по оси *x* соответствующие расстояния. На рассматриваемом графике за исходное принято смещение пункта Лообу, равное  $-0,8$  мм в год относительно Таллина; последнее получено по данным обработки материалов трассы Таллин—Лообу—Йыхви.

В нижеследующей таблице мы приводим полученные в результате обработки графиков значения годового смещения основных пунктов исследуемой сети относительно Таллина и средние ошибки этих величин.

Название пункта	Расстояние от Таллина в км	Годовое смещение относительно Таллина в мм	Ошибка определения в мм
Таллин	0	0	0
Лелле	80	-0,4	$\pm 0,8$
Пярну	170	+1,2	1,5
Вазалемма	45	+0,8	0,2
Хаапсалу	109	+2,6	0,4
Лообу	70	-0,8	0,4
Раквере	108	-1,7	0,6
Йыхви	168	-2,9	0,8
Тапа	98	-1,1	0,5
Йыгева	164	-2,2	0,6
Тарту	217	-3,0	1,1
Пука	274	-3,0	1,5
Мыйзакюла	354	-2,1	1,8

Перенеся полученные на графиках местоположения точек одно-, двух- и трехмиллиметрового годового смещения на контурную карту территории республики и наметив линии их соединения, получим нижеприведенную схему размещения изобаз на территории ЭССР (рис. 3).

Изобазы, проходящая через Таллин и принятая нами условно за нулевую, идет на юг вдоль шоссе Таллин—Пярну, оставляя Лелле к востоку. Продолжить изобазу на юг мы остерегаемся, поскольку выводы относительно Пярну сомнительны.

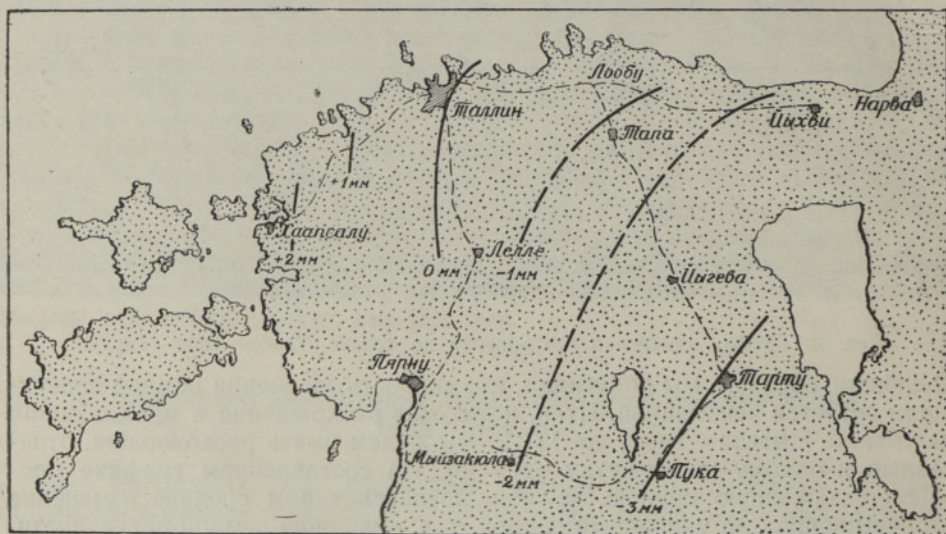


Рис. 3. Схема размещения изобаз по данным настоящего исследования.

Положительная одномиллиметровая изобазы намечается в районе Вазалемма, около Хаапсалу пройдет  $+2$  мм изобазы. Отрицательные изобазы пройдут:  $-1$  мм изобазы между Лообу и Тапа с вероятным поворотом на юг,  $-2$  мм изобазы по линии Сонда—Вягева и далее к Мыйзакула, а  $-3$  мм по линии Тарту—Пука. Большой интерес представляет проложение повторных ходов по линии Мыйзакула—Пярну и Пярну—Хаапсалу. С проложением этих ходов были бы образованы два повторных полигона Таллин—Тапа—Пука—Пярну—Таллин и Таллин—Пярну—Хаапсалу—Таллин, что послужило бы для контроля и уточнения наших выводов.

Полученное нами размещение изобаз значительно отличается от выводов, основанных на геоморфологических данных (Рамсей, 1929 г.). В особенности это касается западной и юго-западной частей территории, где, согласно нашим выводам, изобазы принимают меридианное направление.

Если сравнить наши выводы со схемами, основанными на данных водомерных наблюдений, то увидим, что наше размещение изобаз в значительной мере повторяет схему Бикиса: почти меридианное направление изобаз по западной окраине территории с резким поворотом на восток в районе г. Таллина. Однако, для перехода к абсолютным значениям полученных нами изобаз мы не решаемся воспользоваться данными Бикиса, получившего для Таллина отрицательное годовое смещение  $-1,9$  мм. Нам кажется, что при выводе годового смещения земной коры в Таллине была допущена ошибка. На основании данных точных и вы-

сокоточных нивелировок, выполненных в г. Таллине в 1936, 1943 и 1948 гг. и связавших между собою подземный репер Ласнамяэ (заложен в коренную породу плитнякового плато) с районом морского порта, мы вправе говорить об относительном оседании района Таллинского порта относительно Ласнамяэ порядка 4,7 мм в год. Если признать, согласно Бикису, что абсолютное смещение района Таллинского порта (где и находится футшток) равно  $-1,9$  мм, то для района окрестностей Таллина получим смещение, равное  $+2,8$  мм в год. В таком случае нулевая изобазы нашей схемы пройдет по линии Нарва—Тарту, что приблизит нас к выводам Виттинга.

### Закключение

Настоящую работу следует рассматривать как первую попытку дать возможно более строгие выводы о движении земной поверхности в глубине территории ЭССР. Работу предстоит продолжить и расширить. Предстоит трудоемкая работа по увеличению объема повторных нивелирных ходов. Необходимо будет привлечь материалы водомерных и гравиметрических наблюдений, полнее использовать геолого-геоморфологические выводы.

Интерес к разбираемому вопросу был и остается большим. Мы имеем уже ряд выводов о поведении земной поверхности в отдельных частях нашей обширной Родины. В настоящее время ведется большая комплексная работа, охватывающая запад Европейской части СССР. Настоящая работа, уточняющая размещение изобаз на территории ЭССР, должна рассматриваться как небольшой вклад в это большое дело. Аналогичные работы ведутся и за границей, в частности, подобная работа завершена нашим ближайшим соседом Финляндией. Наша работа должна быть в этом смысле связующим звеном. Предложенная нами в настоящей работе схема размещения изобаз, даже с учетом имеющихся точностей, еще недостаточно согласуется со схемой, полученной Э. Кяэрийне-ном в 1953 г. Только замкнув повторные полигоны, мы сможем уточнить наши выводы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Записки Военно-Топографического Отдела за 1877, 1878, 1883, 1884, 1889, 1894 гг.
2. W. Struve, Resultate der in den Jahren 1816 bis 1819 ausgeführten astronomisch-trigonometrischen Vermessung Livlands, St. Petersburg, 1844.
3. F. Müller, Beiträge zur Orographie und Hydrographie von Estland, St. Petersburg, 1869—1871.
4. Seidlitz, General-Nivellement von Livland, Dorpat, 1877.

Институт физики и астрономии  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
17 X 1956

### MAAKOORE VERTIKAALNIHKE MÄÄRAMISE VÕIMALUSEST EESTI NSV TERRITOORIUMIL KORDUSNIVELLEERIMISE ANDMEIL

G. Zelnin,  
füüsikalis-matemaatiliste teaduste kandidaat

#### Resüme

Kõnesoleva ülesande lahendamiseks tuli eelkõige kindlaks teha, kui pikk ajavahemik, sõltuvalt teostatud tööde täpsusest, peab olema kordusnivelleerimiste vahel, et tulemused oleksid küllalt kindlad.

Varematest uurimustest (Witting, Bikis, Model jt.) selgub, et maakoore võimalik aastane vertikaalne nihkumine Eesti NSV sisemaal on umbes 3 mm saja kilomeetri kohta ristsuunas isobaasidele. Arvestades selle nihkumise kiirusega ja oletades, et esimene ja teine nivelleerimine on teostatud täpsusega, mis vastab täpse nivelleerimise nõuetele ( $\eta = \pm 2$  mm,  $\sigma = \pm 0,4$  mm), ilmneb, et kordusnivelleerimiste vahe peab olema 63 aastat.

Kui arvestada täpsust, mis on iseloomulik hilisematele töödele ( $\eta = \pm 0,6$  mm,  $\sigma = \pm 0,1$  mm), siis oleks nõutav ajavahemik 16—17 aastat. Esimesed nivelleerimised teostati meie territooriumil 1868. a. Järelikult vajalik ajavahemik on kindlustatud ja küsimus seisab ainult tööde täpsuses. Suure täpsusega nivelleerimised on teostatud aastail 1933—1940 ja 1948—1956. Seega on ajavahemik, mis lahutab neid mõõtmisi, üldjoontes piisav.

Järgmisena tuli läbi vaadata ja analüüsida kõik suureulatuslikud nivelleerimistööd, mis teostati Eesti NSV territooriumil alates XIX sajandi teisest poolest kuni käesoleva ajani, ja lähema uurimise alla võtta need, mis rahuldavad nii täpsuselt kui ka ajaliselt kordusnivelleerimiste kohta püstitatud nõudeid.

Kordusnivelleerimise andmete võrdlust raskendas see asjaolu, et möödunud aja jooksul osa punkte, sealhulgas ka üksikute käikude lähtepunktid, olid hävinud. Mõnikord läks korduskäik osaliselt teist teed mööda. Võrreldes 1871—1911. a. tööde resultate omavahel ja hilisemate töödega, võime ainult orienteeruvalt rääkida Tapa tõusust Narva suhtes kiirusega 2 mm aastas, kusjuures selle määramise viga on niisama suur kui kiirus ise. Tartu liikumisest Tapa suhtes meie ei saa midagi öelda, sest 1881. a. andmed ei ole usaldusväärsed. Nii jäävad meile võrdlusmaterjaliks ainult kodanliku aja ning 1948.—1956. aasta tööde andmed.

Kahjuks ei moodusta võrreldavad nivelleerimise käigud kinnist polügooni, vaid süsteemi kahe sõlmpunktiga, nimelt Tallinnas ja Loobus. Käesolevas töös on algpunktiks võetud Tallinn ja nullisobaasiks -- Tallinna läbiv isobaas. See valik on teostatud kaalutlusel, et Tallinna veeseisumõõtja andmeid on kasutatud kõikides uurimustes, mis põhinevad merenivoo vaatlusandmeil. Algpunkti valik Tallinnas kergendab üleminekut nihkumiste absoluutväärtustele. Kahjuks annavad olemasolevad uurimused Tallinna jaoks erinevad aastased nihkumised, nimelt  $-1,9$  mm kuni  $+3,4$  mm.

Kordusnivelleerimise andmete võrdlus on teostatud graafiliselt (joon. 2). Üksikute punktide aastased nihked ja nende määramise vead on antud tabelis lk. 215. Uurimuse lõpptulemused on esitatud isobaaside skeemil (joon. 3), mis erineb tunduvalt teiste autorite skeemidest (joon. 1). Kõige lähem on ta Bikise resultaatidele, kuid Bikise tulemusi mõjutab arvatavasti asjaolu, et Tallinna sadamarajoon, kus asub ka veeseisumõõtja, vajub Lasnamäe suhtes.

Saadud tulemused nõuavad täpsustamist, mida on võimalik teha, kui õnnestub sulgeda kordusnivelleerimise polügoonid.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Füüsika ja Astronoomia Instituut

Saabus toimetuses  
17. X 1956

## WIEDERHOLTES NIVELLEMENT ALS MITTEL ZUR BESTIMMUNG VON GELÄNDEHEBUNGEN IN DER ESTNISCHEN SSR

G. Želnin

### Zusammenfassung

Die bisherigen Forschungen basieren auf Wasserstandsbeobachtungen. Daraus können keine Schlüsse in bezug auf die Binnenbezirke Estlands gezogen werden.

Es wird nun in dieser Arbeit versucht, für diesen Zweck Resultate von Nivellements zu benutzen, die in Estland seit der zweiten Hälfte des XIX Jahrhunderts durchgeführt wurden. Dabei wird vorausgesetzt, dass die durch wiederholtes Nivellement festgestellte Veränderung der Höhenunterschiede zweier Punkte durch eine Bewegung der Erdkruste hervorgerufen ist, und dass diese Bewegung gleichmässig mit der Zeit verläuft.

In der Arbeit werden alle Nivellements in Estland seit 1868 behandelt. Für sichere Schlüsse sind nur die Nivellements von 1934—1940 und 1948—1956 zu gebrauchen, da sie den erwähnten Anforderungen sowohl in bezug auf die Genauigkeit als auch in bezug auf das Zeitintervall genügen.

Die benutzten Nivellements sind graphisch zu vergleichen (Fig. 2), wobei als Ausgangspunkt die Stadt Tallinn angenommen und als Nullisobase die Isobase durch Tallinn gewählt ist. Die Resultate sind im Schema — Fig. 3 — dargestellt, welches sich von allen vorherigen Schemen (Fig. 1) unterscheidet. Am nächsten jedoch steht unser Schema den Resultaten von Bikis, die leider durch die bis vor kurzem unbekannte lokale Senkung des Hafengebiets von Tallinn beeinflusst sind, wo sich der Pegel befindet.

Zur Präzisierung der erhaltenen vorläufigen Resultate ist das Schliessen der wiederholten Nivellementszüge notwendig.

Institut für Physik und Astronomie  
der Akademie der Wissenschaften der Estnischen SSR

Eingegangen  
am 17. Okt. 1956