

ИЗУЧЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ НЕТРАДИЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ ИССЛЕДОВАНИЯ

**АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ИМ. ЭНГЕЛЬГАРДТА (АОЭ)
КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

В.В. ЛАПАЕВА,

кандидат физико-математических наук,

А.И. НЕФЕДЬЕВА,

доктор физико-математических наук,

Ш.С. КАРАТАЙ,

доктор медицинских наук,

В.П. МЕРЕЖИН, Ю.А. НЕФЕДЬЕВ,

кандидаты физико-математических наук

При строительстве крупных промышленных объектов, длительной эксплуатации социально значимых инженерных сооружений, планировании развития на перспективу инфраструктуры того или иного региона страны или его части и т.д. требуется знать критерии комплексной оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций, в первую очередь природного происхождения, на этой территории. Это требование является естественным, поскольку любая территория имеет определенную предрасположенность к тем или иным природным катаклизмам как малого, так и большого масштабов действия. К последним можно отнести, например, весенние паводки, оползни, лесные пожары, землетрясения, наводнения и многое другое. Наряду с этим, как показывают астрономические, геодезические и геофизические исследования, Земля и окружающее ее пространство непрерывно меняют свою метрику. Причиной этому служат деформации и колебания земной коры, вызванные движениями по поверхности планеты как целых континентов, так и локальных (то есть охватывающих небольшие по площади территории) перемещений отдельных, небольших по размерам, тектонических плит, а также присутствие потоков разогретого вещества в ее недрах. Понятно, что все эти явления в свою очередь могут спровоцировать наступление того или иного природного катаклизма. Непринятие во внимание этого обстоятельства при сооружении крупных инженерных объектов длительного пользования может послужить со временем основой к возникновению такой чрезвычайной ситуации, основным виновником которой окажется человеческий фактор.

Для избежания подобных ситуаций существуют специальные службы слежения, использующие традиционные методы и аппаратуру, целью которых является изучение тех нестационарных явлений, происходящих на контролируемой ими территории, которые могут оказаться предвестниками возникновения более крупного природно-

го катаклизма, чтобы дать прогноз на появление последнего в будущем. Однако следует отметить, что не всегда эти службы оправдывают себя, поскольку они чаще лишь фиксируют, а не предсказывают появление такого катаклизма. Ярким примером этому служат безуспешные попытки предсказания мест, мощности и моментов наступления землетрясений. В этой связи полагаем, что сочетание традиционных методов исследования с нетрадиционными может оказать существенную помощь в понимании самой природы и причин предрасположенности данного региона к тому или иному природному катаклизму.

В данной работе предметом изучения выберем такое природное явление, как землетрясение. В частности, мы сосредоточимся на тех из них, которые имели место в 1988–1989 гг. на востоке нашей республики. В качестве нетрадиционного метода их исследования используем данные астрономических наблюдений, которые были получены казанскими астрономами, и будем обращаться к ним на протяжении этой работы.

СЛУЖБА ШИРОТЫ

Астрономы еще в XIX веке обнаружили, что у большого числа звезд, по астрономическим меркам близко расположенных к нам, наблюдаются периодические и непериодические смещения от некоторых их средних положений на небесной сфере в течение как продолжительных, так и непродолжительных по времени интервалов. Поскольку сами звезды находятся на громадных расстояниях от нас, так что их можно считать неподвижными, то, как несложно понять, они не имеют никакого отношения к указанным смещениям. Уже упоминавшиеся нами деформации земной коры, движения тектонических блоков и вещества внутри нашей планеты приводят также к изменениям наклона ее поверхности, что вызывает непрерывное смещение сетки меридианов и параллелей, вследствие чего меняются широта и долгота любой точки земной поверхности. Следует также подчеркнуть, что эти изменения наклона имеют довольно сложный характер и содержат в себе несколько составляющих разной природы. По этой причине возникает острая необходимость иметь службу широты для слежения за меняющейся метрикой Земли и окружающего ее пространства. И такая международная служба создана и существует уже более 200 лет. В ее работе уже многие годы активное участие принимают казанские астрономы.

Как показывают исследования, указанные смещения звезд лучше всего выявляются по широтным наблюдениям, которые в первую очередь нацелены на определение географической широты места наблюдений φ . Они проводятся в ряде астрономических учреждений мира и России, в том числе и в Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта Казанского государственного университета (в дальнейшем АОЭ). Не вдаваясь в детали самой службы в целом, отметим лишь вклад астрономов АОЭ, где наблюдения за смещениями звезд ведутся, начиная с 1932 года. Данные этих наблюдений используются отечественными и международными службами (к последним мы можем отнести, например, Международную службу движения полюса с центром в г. Мицусаве, Япония) для нахождения точных координат полюса Земли. Вклад астрономов АОЭ в деятельность таких международных служб очень значителен, что неоднократно подчеркивалось иностранными астрономами на различных международных астрономических мероприятиях, а Центральное Бюро Международной Службы Вращения Земли, расположенное в Париже, до сих пор совершенно бесплатно высылает в АОЭ данные о параметрах Земли. С 1984 г. и по настоящее время АОЭ входит в астрооптическую подсистему Государственной Службы по определению Параметров Вращения Земли с центром в Институте метрологии времени и пространства, куда еженедельно высылаются текущие результаты наблюдений. Сама обсерватория располагается в лесу, в 20 км от г. Казани и в 2 км от р. Волга.

Служба широты осуществляется обычно на телескопах, специально сконструированных для этой цели. В частности, в АОЭ поначалу наблюдения проводились на пассажном инструменте, а с 1946 по 1957 г. были продолжены на зенит-телескопе Бамберга. С августа 1957 г. и по настоящее время наблюдения ведутся на большом зенит-телескопе-180 (далее ЗТЛ-180) по одной и той же программе. Павильон ЗТЛ-180 расположен на наблюдательной площадке, свободной от крупных деревьев и кустар-

ников. Он кирпичный, общая его высота над поверхностью земли равна 4.4 метра, а пола над землей – 1 метр. Столб, на котором стоит инструмент, сделан из бето-на и имеет диаметр основания 2.5 метра. Высота столба над полом павильона 0.7 метра. Крыша павильона раздвижная, состоит из двух половин.

Сам ЗТЛ-180 – это широкоугольный визуальный телескоп с фотографической регистрацией отсчетов окулярного микрометра и уровней Талькотта. Инструмент изготовлен в Ленинградском оптико-механическом объединении. Диаметр свободного объектива равен 180 мм, фокусное расстояние – 2360 мм, шаг микрометричного винта – 0.28 мм, ширина поля зрения – 1 градус 40 минут. Из 18 инструментов, входящих в астрооптическую подсистему Государственной Службы Российской Федерации определения Параметров Вращения Земли, в число которых входят также фотографические зенитные трубы, астролябии, циркумзениталы, ЗТЛ-180, АОЭ является одним из самых точных инструментов, уступая лишь аналогичному телескопу Благовещенской широтной станции (Приморский край, Россия).

Контроль ориентировки осей ЗТЛ-180 проводится по специальной программе один раз в сезон наблюдений. Регулировка азимутов и положения горизонтальной оси выполняются редко (раз в несколько лет) ввиду большой устойчивости инструмента, а регулировка положения вертикальной оси осуществляется всякий раз перед наблюдениями или во время оных, по мере необходимости, специальными винтами в течение всех лет наблюдений. Строгий контроль за метрологическими параметрами ЗТЛ-180 (цена оборота микрометричного винта, цена деления уровней, ходовые поправки винта и т.д.) проводится также в течение всех лет наблюдений.

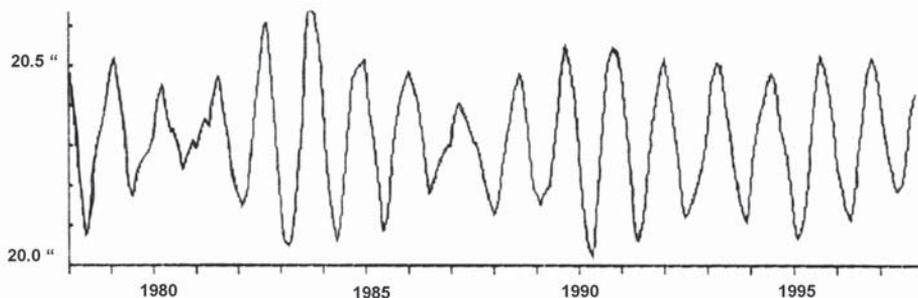


Рис. 1. Кривая изменчивости средней широты АОЭ за период 1978-1997 гг.

Собранные из разных обсерваторий мира данные наблюдений Международной Службы Движения Полюса представляют собой богатейший материал, позволяющий решать многие практические задачи, связанные, например, с проблемами навигации морских и воздушных судов посредством нахождения надежных значений параметров вращения Земли для уточнения координат земного экватора. Эти данные содержат также информацию о глобальных перемещениях в недрах планеты крупных тектонических плит, потоков вещества, колебаний земной коры и т.д., изучение которых позволяет лучше понять ее внутреннее строение. Наряду с этим не меньший интерес вызывают также данные наблюдений, выполненные за продолжительное время в отдельно взятой обсерватории, поскольку содержат многочисленные «шумы» разной природы и продолжительности, состоящие, как правило, из большого числа (периодических и случайных) составляющих, обычно небольшой амплитуды. Эти «шумы» необходимо изучать, так как они содержат в себе богатейшую информацию о геологическом строении и его особенностях, а также о геодинамических явлениях, в том числе сейсмического характера, той местности и ее окрестностей, где располагается данная обсерватория.

Привлекательность данных любой обсерватории заключается в их: 1) однородности; 2) высокой точности измерения; 3) продолжительности; 4) уникальности. Наблюдения в каждой обсерватории, как правило, проводятся непрерывно по выбранной раз

и навсегда программе из года в год, десятками лет, а иногда столетиями. В частности, в АОЭ служба широты ведется уже более 70 лет, а полученный материал обладает всеми перечисленными выше достоинствами (1-4). В астрономической практике принято выражать любые измерения широты в угловой мере. В этой связи подчеркнем, что все рассматриваемые ниже изменения широты оказываются в пределах десятых-сотых долей угловой секунды дуги окружности (имеющей обозначение «”»). Тем не менее они легко фиксируются астрономами и позволяют получать надежные результаты при существующей точности определения средней широты. Последняя, по данным АОЭ, оказывается в пределах одной тысячной доли угловой секунды дуги (см. табл. 1). Это, по нашим оценкам, на порядок и более превосходит точности измерений, получаемых с помощью традиционных методов исследования.

ПОЛУЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Рассмотрим сначала вкратце алгоритм получения данных наблюдений на примере АОЭ. Ее программа службы широты [1] включает в себя наблюдения в течение каждого года, по возможности непрерывно, 64 звезд, которые для удобства разделены на 4 группы. В свою очередь группа разбивается на два звена, в каждом из которых насчитывается по 8 звезд, объединенных в пары. Все звезды подобраны таким образом, чтобы выполнялся ряд обязательных условий. Например, (а) сумма разностей зенитных расстояний 4 пар звезд в звене на среднюю эпоху наблюдений должна быть близкой к нулю, или (б) звезды в паре должны иметь примерно равные друг другу звездные величины и т.д.

Наблюдения начинаются с пар звезд, из которых состоит каждое звено. По паре звезд по способу Талькотта [2] определяется только единичное значение широты φ_i , где i – номер пары в данном звене, по следующим формулам

$$\varphi_i = \frac{1}{2} \times (\delta_S + \delta_N) + \frac{1}{2} \times \Delta M_i, \quad (1)$$

$$\Delta M_i = (m_3 + m_B + L) \times R + I_1 \times (i_B - i_3) / 2 + I_2 \times (i_B - i_3) / 2 + D + k + \rho, \quad (2)$$

($i = 1, 2, 3, 4$)

где δ_S и δ_N – склонения южной и северной от положения зенита звезд пары на момент наблюдений; ΔM_i – разность зенитных расстояний звезд в паре; m_3 и m_B – показания винта окулярного микрометра в положении трубы телескопа «Запад» и «Восток»; L – расстояние между 6 и 8 штрихами пластинки, которое принимается во внимание только для звеньев с номерами $j = 3, 4, 7$ и 8 при наблюдениях на 6 и 8 штрихах; R – цена оборота винта окулярного микрометра; I_1 и I_2 – показания талькоттовских уровней; i_3 и i_B – цена деления талькоттовских уровней; k – поправка за кривизну параллели; D – поправка за нормальную дисторсию объектива телескопа; всякие мелкие поправки, обусловленные изменениями метрологических параметров телескопа из-за колебаний температуры и давления в павильоне в момент наблюдений, учитывается членом ρ .

Для получения единичного значения φ_i при закрепленной трубе с помощью микрометрического винта измеряется разность зенитных расстояний обеих звезд пары. При этом одна из них обязательно наблюдается к югу, а другая – к северу от зенита. Небольшие смещения трубы телескопа во время наблюдений фиксируются высокоточными талькоттовскими уровнями.

По каждому звену определяется 4 значения φ_i , что дает возможность найти мгновенное значение широты φ_j , где j – номер звена, как среднее по этим единичным измерениям, с помощью формулы

$$\varphi_j = \frac{1}{4} \times \sum_{i=1}^4 \varphi_i + \Delta\delta_j. \quad (3)$$

Необходимость введения поправки $\Delta\delta_j$ возникает только тогда, когда нам требуется объединить отдельные, кратковременные ряды наблюдений, выполненные в разные годы в данной обсерватории, в единый ряд с продолжительностью, например, не один десяток лет. Как показывают исследования, средняя квадратичная погрешность такого определения значения φ_j оказывается равной 0.07"–0.08" угловой секунды дуги.

В течение одной ночи может наблюдаться от 2–3 (июнь-июль) до 5–6 (декабрь-январь) звеньев. Иными словами, за ночь исследователь несколько раз определяет мгновенное значение широты, что позволяет проводить их осреднение.

Найденное значение φ_j используется, в свою очередь, для определения так называемых «нормальных точек» или, что то же самое, средних значений широты на данный временной интервал. Это осуществляется посредством осреднения всех мгновенных значений широт внутри некоторого, заранее подобранного по временной продолжительности интервала. В АОЭ этот интервал осреднения по практическим соображениям выбран равным 14 суткам. Каждая нормальная точка обычно содержит в себе в среднем от 5 до 20 значений φ_j , что позволяет говорить нам о высокой надежности ее определения. Эти нормальные точки затем используются для построения кривой изменчивости со временем средней широты данной обсерватории на тот период времени, за который были выполнены данные наблюдения. При этом, чтобы устранить на последней неравновесные и не равностоящие (друг от друга) по времени средние значения широт и короткопериодические флуктуации, вызванные случайными ошибками наблюдений и вносящие искажения в конечные результаты, для ее корректного построения применяется метод аналитического сглаживания. На рисунке 1 приводится сглаженная кривая изменчивости средней широты АОЭ со временем, полученная за период 1978–1997 гг. Имеющиеся в нашем распоряжении данные измерений позволяют существенно расширить этот период, вплоть до 1959 года. Однако, чтобы не терять чистоты информации на рисунке 1, мы для наглядности ограничили лишь указанными выше годами. Приведенная кривая, по сути, представляет собой проекцию движения полюса Земли на тот меридиан, на котором располагается АОЭ. Здесь по горизонтальной оси отложено время (в годах), а по вертикальной – средняя широта на данный момент времени.

Однако сама по себе эта кривая особого интереса у нас не вызывает, так как она предназначена для решения сугубо специальной проблемы – изучению движения полюсов Земли. Для наших целей нам из этой кривой нужно убрать все составляющие, связанные непосредственно с движением полюсов, которые уже известны и хорошо изучены астрономами. Тогда оставшийся после их вычета остаток, который мы в дальнейшем назовем «кривой неполярных изменений средней широты», будет содержать «шумы», которые и должны стать предметом наших исследований.

К таким составляющим, как показывают исследования, относятся: (1) полярные изменения средней широты; (2) полярные изменения средней широты с годовым и полугодовым периодами; (3) чандлеровское движение полюсов; (4) свободные, почти суточные по продолжительности, перемещения полюсов; (5) вековое движение полюсов; (6) неполярные изменения средней широты. Что касается последней составляющей, то она содержит в себе как периодические, так и непериодические – поступательные компоненты. Периодические неполярные изменения средней широты своим по-

явлением обязаны воздействиям на гравитационное поле Земли гравитационных полей Солнца и Луны, в то время как непериодические неполярные изменения средней широты вызваны влиянием на данные наблюдений различных геодинамических явлений, происходящих внутри планеты. В принципе, каждая из перечисленных составляющих (1)-(5) плюс периодические компоненты составляющей (6) могут быть описаны приближенно некоторыми уравнениями, что позволяет достаточно корректно осуществить процедуру их вычета из кривой изменчивости средней широты и получить интересующую нас кривую неполярных изменений средней широты.

К сожалению, рамки этой статьи не позволяют нам подробно рассмотреть каждую из перечисленных составляющих, и поэтому прокомментируем вкратце только некоторые из них. Так, составляющая (1) связана с перемещениями полюса по поверхности Земли, которое зависит в свою очередь от движения оси вращения фигуры Земли вокруг вектора момента количества движения. Из механики известно, что для возникновения периодических полярных колебаний нужно, чтобы этот вектор обязательно совпадал с вектором мгновенной скорости вращения Земли. Перемещение воздушных масс по поверхности планеты, образование и таяние снежного покрова, сезонные изменения направлений морских течений и ряд других геофизических явлений изменяют фигуру эллипсоида вращения Земли, что служит основной причиной появления составляющей (2).

Из всех перечисленных выше составляющих, безусловно, самой примечательной оказывается составляющая (3), связанная с колебаниями наклона оси собственного вращения планеты относительно некоторого ее среднего положения. В результате этого каждый из полюсов описывает по поверхности Земли с периодом, равным 428 суткам, неправильную спиралевидную кривую, которая при этом не удаляется от некоторого ее среднего положения более чем на 10 метров. Такое перемещение полюсов в астрономии получило название чандлеровского, по имени американского астронома С. Чандлера, впервые открывшего это явление.

Имея в своем распоряжении кривую неполярных изменений средней широты данной обсерватории, к ней можно применить хорошо известные из математики методы, позволяющие раскладывать ее на составляющие и выделить из них те, которые связаны с геологией и геодинамическими явлениями, в том числе сейсмического характера. Это дает возможность высунуть многие интересующие нас особенности и, в частности, понять природу землетрясений данного региона. На вероятную связь данных астрономических наблюдений, в частности, данных службы широты с землетрясениями, а также на возможность с их помощью предсказывать наступление последних указывали многие исследователи (см., например, [3, 4]).

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения сейсмической ситуации в данном регионе по широтным наблюдениям необходимо учитывать следующее. Во-первых, как показывают исследования, на долю неполярных изменений средней широты приходится лишь 20-30% от общего числа ее изменений. Во-вторых, из этих же исследований найдено, что спектр неполярных изменений средней широты достаточно широк и содержит составляющие с периодом от доли суток до десятилетий. Поэтому, чтобы не терять информацию, имеет смысл изучать неполярные изменения в разных участках спектра, так как в каждом из них могут присутствовать интересующие нас “шумы”.

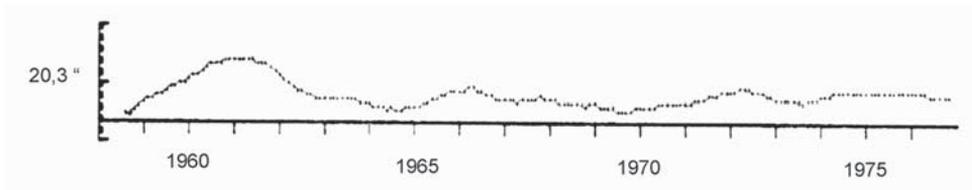


Рис. 2. Кривая медленных вариаций кривой неполярных изменений широты на широте АОЭ за 1959–1970 гг.

Обратимся сначала к долгопериодическим или, точнее, к медленным вариациям кривой неполярных изменений широты. Они приводятся на рисунке 2 на широте АОЭ за 1959-1970 гг. Их получают посредством исключения из колебаний широты всех периодических составляющих как полярных, так и неполярных. Это достигается применением специального линейного преобразователя к сглаженным широтам, представленным, например, на рисунке 1, взятым через 0.1 года. На этом рисунке по горизонтальной оси отложено время (в годах), а по вертикальной – изменения средней широты.

В таблице 1 приводятся изменения средних значений средней широты с указанием погрешностей ее определения по временным интервалам разной продолжительности. Границы интервалов, указанных в таблице, подобраны так, чтобы выделить отчетливые изменения средней широты на некотором узком участке на кривой медленных неполярных изменений средней широты. Здесь N – число средних широт, участвовавших в усреднении данного интервала.

Таблица 1

Изменение среднего значения средней широты на фиксируемых временных интервалах

Годы	N	Среднее значение средней широты	Ср. кв.ошибка определения
1979.0-1997.0	181 55 50	20.3146"	+ 0.0011"
1979.0-1986.9	80	20.3267	0.0009
1987.0-1988.9	20	20.2973	0.0022
1989.0-1997.0	81	20.3085	0.0008

Из данных рисунка 2, в частности, следует, что наиболее значительные изменения средней широты, вплоть до 0.1", происходили в 1959–1962 гг. Однако имеющаяся в нашем распоряжении информация позволяет сделать вывод, что к явлениям сейсмического характера эти изменения широты не имеют отношения. Появление последних можно объяснить значительным подъемом уровня воды в р. Волга в результате заполнения Куйбышевского водохранилища. Тогда можно констатировать, что в момент заполнения, длившегося примерно 3 года, часть тектонической плиты Русской платформы на том участке, где разместилось водохранилище, существенно прогнулась. После 1962 года она постепенно восстановила свое нормальное положение. Такое явление, охватившее обширную площадь территории нашей республики, при котором происходит медленное изменение значения средней широты за довольно продолжительное время, безусловно, можно отнести к категории геодинамических. Мы приводим этот результат лишь по той причине, что такой прогиб плиты не был зафиксирован специальными службами слежения, хотя здесь явно просматривается действие человеческого фактора, в то время как с помощью астрономических методов исследования такие медленные изменения наклона отдельных участков поверхности планеты легко выявляются. Это, несомненно, подчеркивает одно из достоинств нетрадиционных методов изучения, позволяющих отслеживать тонкие детали того или иного локального геодинамического явления, которые традиционными методами исследования даже не выявляются.

К вышеизложенному можно добавить еще одну интересную деталь. Уровень воды в водохранилище не остается постоянным, а меняется: примерно полгода оно заполнено, а следующую половину года уровень воды достигает своего минимума. Это не происходит бесследно, и уже отмеченная нами часть тектонической плиты периодически деформируется: полгода она слегка прогибается, достигая своего минимума, а в следующую половину года восстанавливает свое нормальное положение. Полага-

ем, что именно этим обстоятельством можно объяснить появление на кривой рисунка 3 составляющей с периодом изменения, равным ≈ 1 году.

Сейсмическая ситуация в Республике Татарстан складывается так, что крупных землетрясений со значениями магнитуд $M > 5$ за всю ее историю не зафиксировано. Тем не менее это вовсе не исключает вероятность того, что такое событие может произойти. Однако небольшие по магнитуде ($M \leq 2-5$) землетрясения время от времени дают о себе знать. По этой причине остановимся подробнее на этих явлениях, произошедших в 1987–1989 гг. на востоке нашей республики. В указанный период времени сейсмологическими станциями «Татнефтегеофизика» зафиксировано около 30 подземных толчков силой от 1–2 до 5–6 баллов. Наиболее значительные толчки имели место 10 июня 1988 г., 16 июля 1988 г., 17 апреля 1989 г. и 11 ноября 1989 г. соответственно с магнитудами, равными 2.5, 2.7, 3.3 и 2.7. Предпоследнее из перечисленных землетрясений, эпицентр которого находился около г. Набережные Челны, по балльности оказался наиболее сильным.

В связи с этим отметим, что опасными являются не только сильные, но и слабые землетрясения, поскольку они могут активизировать оползневые и обвальные-карстовые явления на поверхности Земли и послужить непосредственной причиной возникновения различных аварий и чрезвычайных ситуаций, в том числе связанных с человеческим фактором.

Посмотрим теперь, как эти небольшие землетрясения отразились на результатах наших наблюдений. С этой целью обратимся к данным рисунка 3 и таблицы 1. На рисунке 3 приводится кривая короткопериодических вариаций кривой неполярных изменений широты на широте АОЭ за период 1978–1997 гг., то есть за тот временной интервал, внутри которого произошли все 4 землетрясения на востоке Татарстана в соответствии с данными таблицы 1. На этом рисунке по горизонтальной оси отложено время (в годах), а по вертикальной – изменение средней широты.

Данные таблицы 1 показывают, что за весь рассматриваемый период (то есть за 1978–1997 гг.) на выбранных нами временных интервалах средняя широта в 1987–1988 гг. была меньше ее среднего значения за весь этот период наблюдений на $0.017''$, а после 1988 г. – на $0.007''$. По сравнению же с 1979–1986 гг. в 1987–1988 гг. средняя широта уменьшилась на $0.03''$, а после 1987 г. – на $0.02''$. Из анализа кривой изменения средней широты за 1959–1997 гг. следует, что в течение 1973–1980 гг. средняя широта менялась незначительно. Ее ощутимые изменения начались после 1980 года, что совпадает с началом проявления сейсмичности на территории РТ. При этом наиболее значительные изменения средней широты (в сторону ее уменьшения) происходили в 1987–1988 гг., что по времени предшествует датам наступления землетрясений. После землетрясений средняя широта осталась на $0.02''$ меньше своего прежнего значения.

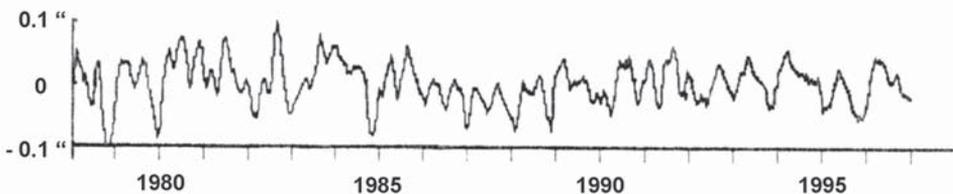


Рис. 3. Кривая неполярных изменений широты АОЭ за 1978–1997 гг.

В то же время анализ кривой, представленной на рис. 3, показывает, что в ней присутствуют регулярные компоненты с периодами, равными 1.58, 1.13, 1.00, 0.59, 0.54, 0.50, 0.46 и 0.37 года, амплитуды которых в среднем не превышают значений $0.02''$. Для изучения их стабильности для каждого года нами были вычислены такие характеристики этого компонент, как амплитуда и начальная фаза [5]. Их анализ показывает, что в 1985–1987 гг., то есть за 2–3 года до момента наступления землетрясений на востоке Татарстана, уже происходили значительные нарушения регулярности периодических компонент, что выразилось в резких изменениях значений их ампли-

туд и начальных фаз. Так, перед 1988 годом амплитуда короткопериодических вариаций неполярных изменений широты значительно уменьшилась, что отчетливо видно на рисунке 3. Вместе с тем, как можно видеть из этого же рисунка, к 1996 году амплитуды этих вариаций неполярных изменений вновь стали возрастать. В будущих исследованиях, чтобы выявить какие-либо закономерности в изменениях широты, необходимо значительно увеличить по сравнению с приведенным в таблице 1 период данных наблюдений.

Укажем еще на одну особенность в изменениях широты, очевидно, связанную с землетрясениями. На рисунке 4 показана часть несглаженной кривой колебания широты за 1978–1990 годы, построенная по наблюдаемым широтам, то есть по нормальным точкам (жирная линия 2). На этом же рисунке дана широта, вычисленная по координатам полюса (тонкая линия 1), а также указаны моменты наступления землетрясений на востоке Татарстана. Нетрудно видеть, что за 4–5 месяцев до указанных дат наступления каждого из этих землетрясений имели место резкие аномальные отклонения наблюдаемой широты от вычисленной. «Отколовшиеся» нормальные точки включают в себя 18–20 отдельных значений широт, что исключает случайный характер их отклонений. Читая эти строки должен осознать, что астрономические методы исследования позволяют регистрировать не афтершоки (то есть слабые затухающие толчки после прошедшего землетрясения), как это имеет место при использовании традиционных методов исследования, а предвестники наступающего землетрясения, что дает нам возможность оповещать заранее руководство данного региона о грядущей опасности и необходимости принятия мер. Это, безусловно, является достоинством нетрадиционного метода исследования.

Итак, результаты предварительных исследований показывают, что данные службы широты служат неплохим индикатором изучения локальных геодинамических явлений. При этом регистрация по неполярным изменениям широты наступления слабого по магнитуде ($M \leq 2$) землетрясения, эпицентр которого располагается за несколько сотен километров от места расположения обсерватории, осуществляется уверенно. Оно выражается в аномальных изменениях широты в разных спектральных интервалах: медленных и короткопериодических вариациях (за 2–3 года до наступления самого землетрясения) и нерегулярных аномальных отклонениях наблюдаемой широты от вычисленной за 4–5 месяцев опять же до наступления землетрясения.

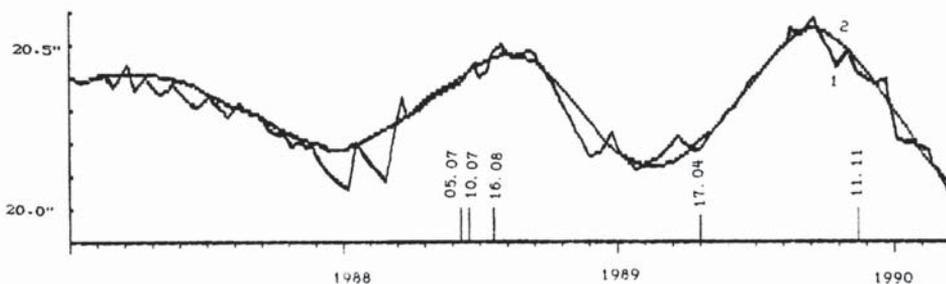


Рис. 4. Аномальные отклонения наблюдаемой широты от вычисленной по координатам полюса (1 – широта по координатам полюса, 2 – результаты наблюдений). Вертикальными черточками показаны даты наступления землетрясений на востоке Татарстана

Относительно наступления сильных землетрясений с магнитудами $M > 7$, то с этим мы по-настоящему еще не сталкивались, хотя можно привести два примера из практики наблюдений АОЭ. Так, наблюдатели АОЭ, проводившие широтные наблюдения, никак не могли найти причину резкого отклонения значения широты (в максимуме оно достигало $0.35''$, что по астрономическим меркам является аномальным), полученного 4 марта 1977 г. в 16.6 часа среднего времени. Широты, полученные в АОЭ и в 22, и 23 часа 4 марта и в последующие дни, имели нормальные значения, то есть находились в пределах среднего значения. Все прояснилось только тогда, когда из

сообщений СМИ мы узнали о разрушительном землетрясении, произошедшем в Румынии в ночь с 4 на 5 марта 1977 г. Сопоставив моменты наступления землетрясения с временем наблюдений широтных звеньев на широте АОЭ, было найдено, что «отскочившее» звено проявило себя за 3 часа до момента наступления землетрясения. Сильное землетрясение, которое произошло опять же в Румынии 30 августа 1986 года, «наблюдалось» астрономами АОЭ. Оно проявилось в том, что пузырьки талькоттовских уровней при закрепленной трубе телескопа колебались в пределах одного деления шкалы (цена деления равна 1.0"). При этом период колебаний был равен одной секунде времени. Колебания пузырьков продолжались в течение 10 минут, постепенно затухая. К сожалению, из-за отсутствия у нас шкалы перевода колебаний талькоттовских уровней от угловых единиц измерения к линейным (ее еще предстоит построить) нам не удалось оценить амплитуду этого землетрясения на широте АОЭ.

Из приведенных примеров следует, что с помощью широтных наблюдений можно фиксировать колебания земной коры, происходящие за многие тысячи километров от места расположения обсерватории. Однако наше предупреждение о наступлении сильного землетрясения, эпицентр которого находится очень далеко, может запоздать, так как мы пока не в состоянии регистрировать резкие, небольшие по продолжительности изменения широты всего за несколько часов до его наступления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе мы провели предварительные исследования, чтобы убедиться самим и убедить окружающих в возможности использования астрономических данных наблюдений, в частности, службы широты, для изучения сейсмической ситуации у нас в республике. Однако для применения астрономических методов в прикладных исследованиях еще требуются их доработки, которые могут занять не один год кропотливой работы. Тем не менее уже понятно то, что они могут занять достойное место в ряду других, уже используемых на практике методов и оказать существенную помощь в разработке критериев комплексной оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций на региональном уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапаева В.В., Урасина И.А., Соколова Н.Г., Чудинов Н.Н. Обработка 10-летнего широтного ряда АОЭ с повышенной точностью. – Известия АОЭ, 1985, № 49/50, с.111–197.
2. Блажко С.Н. Курс практической астрономии. – М.: Наука, 1979. – 425 с.
3. Машимов М.М. Планетарные теории геодезии. – М.: Недра, 1982. – 263 с.
4. Мориц Г., Мюллер А. Вращение Земли: теория и наблюдения (перевод с английского под редакцией Я.С.Яцкива). – Киев: Наукова Думка. 1992. – 511 с.
5. Лапаева В.В., Урасина И.А., Кистерский А.П. Исследование широтного ряда АОЭ за 1978–1984 гг. Известия АОЭ, 1990, № 55, с.48–59.