

Нишанбаев Н., Чжан.В.

**Прогнозирование
землетрясения
геодезическими методами**

Учебное пособие

Министерство высшего и среднего специального образования
Республики Узбекистан

ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО – СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ
КАФЕДРА «ГЕОДЕЗИЯ И КАДАСТР»

Нишанбаев Н., Чжан.В.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ
МЕТОДАМИ

Учебное пособие

ТАШКЕНТ 2013

Удк 528,48

Нишанбаев Н.М, Чжан.В. Прогнозирование землетрясения геодезическими методами.

Учебное пособие для выполнения расчетно-графических работ по курсу «Инженерная геодезия». Т. ТАСИ 2013

Объем 68 листов, 14 рис., 9 табл.

Пособие посвящено вопросам прогнозирования землетрясения по результатам высокоточных геодезических измерений. Рассмотрены вопросы создания геодезических сетей на всей территории Республики Узбекистан. Прогнозирование выполняется на основе изучения поведения геодезических знаков планово-высотной сети.

Кафедра «Геодезия и кадастр»

Печатается по решению научно – методического совета ТАСИ

Рецензенты:

1. Доцент кафедры «Геодезия и кадастр» к.т.н. Авчиев Ш.К.
2. Начальник экспедиции Центрального Аэрогеодезического предприятия Ходжаев И. В.

Рекомендовано к печати научно- методическим совет ТАСИ

Введение

Актуальность выбранной научно-исследовательской темы заключается в том, что в настоящее время по СМИ(Средствах Массовой Информации) постоянно ведутся сообщения, о том, где и когда происходят землетрясения. Республика Узбекистан является одним из высокосейсмичных регионов Средней Азии и характеризуется сложным геолого-геофизическим строением. Существует несколько методов определения предсказания землетрясения. Нами рассматривается только геодезический метод, как наиболее точный с точки зрения измерений. Используется современный метод измерения – спутниковая технология. Заключается в создании пунктов GPS на земной поверхности, за которыми необходимо вести постоянные наблюдения.

Цель исследования заключается в том, чтобы использовать спутниковую технологию, а именно определение координат пунктов с системой GPS наблюдения за пунктами GPS. Вести эти наблюдения несколькими циклами по изменению пространственных координат и определять горизонтальное и вертикальное смещение пунктов.

Традиционная методика наблюдения за горизонтальными и вертикальными смещениями методом триангуляции и высокоточным нивелированием в этом случае не эффективно, потому что при выполнении такой методики наблюдается малая площадь охватываемой территории, а мировая практика показывает, что прогнозирование землетрясения на обширные территории принимать, возможно. Японская и Шведская, а также Калифорнийская (США) методика предсказания землетрясения на обширной территории вполне является реальной. Дело в том, что с развитием спутниковой технологии, необходимо иметь горизонтальные и вертикальные смещения пунктов на больших территориях.

Задача исследования вытекает из опытов Японских и Шведских исследований заключающаяся в том, что необходимо исследовать движение земной поверхности в возможно больших территориях. Для этого

необходимо максимально использовать по возможности пункты 1 класса триангуляции, в некоторых других случаях нужно проектировать новые пункты для ведения наблюдений с применением спутниковой технологии. Отсюда вытекают и задачи исследования.

Новизна настоящей работы заключается в том, что нужно использовать современную геодезическую технологию для прогнозирования или предсказания землетрясения, а именно тот новый потенциал науки в области спутниковой технологии, применение GPS станции для определения координат пунктов, а в дальнейшем автоматизировать эти работы.

Научно – практические результаты исследования

В результате исследования получены пространственные координаты более десяти пунктов, с помощью GPS, которые были выполнены в 1 цикле измерений. По изменениям этих координат после второго и последующего цикла наблюдений будут получены горизонтальные и вертикальные смещения земной коры. При приостановлении или уменьшении величины изменения этих координат может говорить о возможном землетрясении.

Апробация научно-исследовательской работы будет направлена институту Сейсмологии.

Методика исследования

Прогнозирование землетрясения выполняется геодезическим методом, как наиболее точным по техническим соображениям. Современный метод прогнозирования осуществляется с помощью системы спутниковой технологии – системой GPS. Опыт наиболее развитых стран, как Китай, Япония, Швеция и других стран, показывает на то, что на всей территории страны создается геодезическая система GPS. Определяются пространственные координаты этих пунктов. Точность наблюдения ± 5 мм в плане и по высоте ± 10 мм. Предусматривается автоматизировать систему.

Введение

Всемирный финансово-экономический кризис, разразившийся в 2008 году, по словам президента Республики Узбекистан Ислама Каримова в книге «МИРОВОЙ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ КРИЗИС, ПУТИ И МЕРЫ ПО ЕГО ПРЕОДОЛЕНИЮ В УСЛОВИЯХ УЗБЕКИСТАНА» приобретает сегодня большие масштабы и глубину в оценках многих международных экспертов и специалистов, получает больше вопросов, чем ответов о причинах и прогнозах его дальнейшего развития.

В Узбекистане созданы достаточный запас прочности и необходимая ресурсная база для того, чтобы обеспечить устойчивую и бесперебойную работу нашей финансово-экономической, бюджетной, банковско-кредитной системы, а также предприятий и отраслей реальной экономики.

Несмотря на Всемирный экономический кризис в Узбекистане применяются все меры по отстраиванию или уменьшению влияния Мирового кризиса на экономику страны.[20]

Большое внимание уделяется строительству гражданских и промышленных объектов, а также строительству международных и региональных автомобильных и железных дорог.

Создаются многотысячные рабочие места, в областях за счет создания малых и средних предприятий. Особое место уделяется развитию науки.

Общая теория предсказания сводится к тому, что земная кора всегда находится в движении, которая наиболее чувствительна вокруг разломов.

Построить геодезические пункты на разломе на расстоянии 3-10 км от него и соединить их точными геодезическими линейными и угловыми измерениями не представляет особого затруднения. Полученная фигура называется триангуляцией. Современная геодезическая технология позволяет выполнить эту задачу в разных вариантах – в виде трилатерации и создание

линейно-угловой сети. Опорные пункты можно построить с помощью приемников GPS.

Поставленную задачу можно развернуть на большие расстояния, и обширные территории, используя при этом возможности системы GPS и «Глонасс». Создается геодезическая локальная и глобальная сеть. Используя спутниковую навигационную систему, определяют пространственные координаты пунктов.

Повторные измерения позволяют получить координаты пунктов вновь. Через несколько циклов, по отношению пунктов менее подвергающимся деформациям вычисляют превышения, которые являются величинами подъема и горизонтального смещения. Изображения изучения этих явлений, наиболее эффективно используя компьютерную графику.

Есть еще другая теория, выдвинута сейсмологами, о том, что необходимо вести мониторинг за подъемом земной коры. Она поднимается и останавливается перед землетрясением. Эта теория подтверждена практикой. Для гашения сейсмогенной энергии, сейсмологами предлагается рыть колодцы глубиной 0,5-1,0 км, шириной 6 м, через каждые 0,5-1,0 км. Изучение поведения геодезических пунктов до и после землетрясения, выполненные после Ашхабадского, Ташкентского землетрясения показывают, что геодезические пункты поднимаются и смещаются местами до 100 мм. Автоматизацию геодезических измерений и обработку информации можно выполнить двумя путями.

Во-первых, если прогнозировать землетрясение у разлома, то нужно автоматизировать измерение углов и линий, а также получение данных и их обработку.

Во-вторых, если автоматизировать геодезические измерения в глобальных территориях, не говоря о межконтинентальном масштабе, то нужно разработать программу автоматизации получения и обработки результатов измерения с применением GPS.

История изучения региональных разломов Средней Азии, в т. ч. Узбекистана, подробно изложена в многочисленных работах [40 и др.], однако, в них сейсмоактивность отдельных разломов детально не рассматривается. Эта проблема частично освещена Н.П.Васильковским [9], Р.Н.Ибрагимовым [18], М.А.Ахмеджановым и др. [20], А.Р.Ярмухамедовым [1] и др. в связи с приуроченностью к разломам эпицентров землетрясений. Детальные сеймотектонические, сейсмогеодинамические исследования отдельных сейсмоактивных разломов проведены в Сибири в районе Гоби-Алтайского землетрясения [15], Туркмении в районе Ашхабадского землетрясения [16], Тянь-Шане [7,14,18,45], на территории Узбекистана до настоящего времени они не осуществлялись. Ниже нами приводятся результаты изучения строения, динамики и сейсмоактивности Каржантауского разлома. Геолого-геоморфологические характеристики Каржантауского разлома приведены Н.П.Васильковским, В.П.Коржаевым, О.М.Борисовым, М.А.Ахмеджановым, О.А.Рыжковым, Р.Н.Ибрагимовым, Д.Х.Якубовым, А.Р.Ярмухамедовым, В.А.Захаревичем и др. Внутреннее строение, глубина проникновения, ширина, эволюция развития и сейсмогеодинамика полностью не изучены.

Морфологическая выраженность разломной зоны. Каржантауский разлом III ранга [3] прослеживается по юго-восточному склону одноименного хребта и проходит в северо-восточном направлении через селения Хондайлык, Хумсан, севернее Богуста и далее по правому берегу р.Пскем. Зона выражена интенсивно дробленными до милонита породами мощностью 250-300 м и характеризуется приуроченностью к ней жерл вулканов, субвулканических тел верхнего палеозоя. Плоскость сместителя падает на северо-запад под углом 40-45°. Участками по разлому наблюдается надвигание палеозойских пород на мезозой-кайнозойские Чирчикской, Бурчмуллинской, Пскемской впадин, вертикальная составляющая достигает 3000 м [36]. По линии надвига перемещению с амплитудой до 100 м подвергались отложения Карачатауской террасы долины р. Чирчик.

Следовательно, заложенный в палеозойское время разлом мобильно развивался и в четвертичное время. На площади исследования измерить углы падения разлома и, особенно, установить места надвигания палеозойских образований на мезозой-кайнозойские не удалось, за исключением одного пункта, расположенного между реками Таваксай и Азатбаш. Здесь в вертикальном разрезе отчетливо устанавливается надвигание вулканитов (лавобрекчии дацитов и фельзитов) верхнего палеозоя на красноцветные песчаники мела. Плоскость надвигания неровная и падает под углом от 15 до 25°. Продолжение Каржантауского разлома от г.Чирчика к Ташкенту в обнажениях не наблюдается. На основе геолого-геофизических данных и глубокого бурения продолжение на юго-запад в виде флексурно-разрывной зоны под мезозой-кайнозойским чехлом Приташкентского внешнеорогенного прогиба доказано О.А.Рыжковым [35] и др., которые назвали ее Приташкентской, Ташкентской, Ташкент-Каржантауской и др.

1. Теоретические основы прогнозирования землетрясений геодезическими методами

1.1 Классификация деформации точек земной поверхности

Развитие инженерной геодинамики тесно связано с вопросом определения абсолютных значений элементов движения точек, тем или иным образом закрепленных на поверхности земли.

Эти значения имеют некоторый доверительный интервал, т.е. носят вероятностный характер. Опорные пункты, по отношению к которым определяют смещения точек, не являются абсолютно стабильными во времени. Геодинамические наблюдения стремятся организовать так, чтобы полученные относительные смещения наилучшим образом, т.е. с наибольшей доверительной вероятностью, отражали абсолютные величины смещений.

Прежде чем перейти к изложению приемов и методов определения смещений, представляется целесообразным рассмотреть вопрос о видах движений, которые возникают при нарушении устойчивости точек. Для этого выделим на его поверхности элементарную площадку ΔS и поместим на ней начало системы неподвижных прямоугольных координат XYZ .

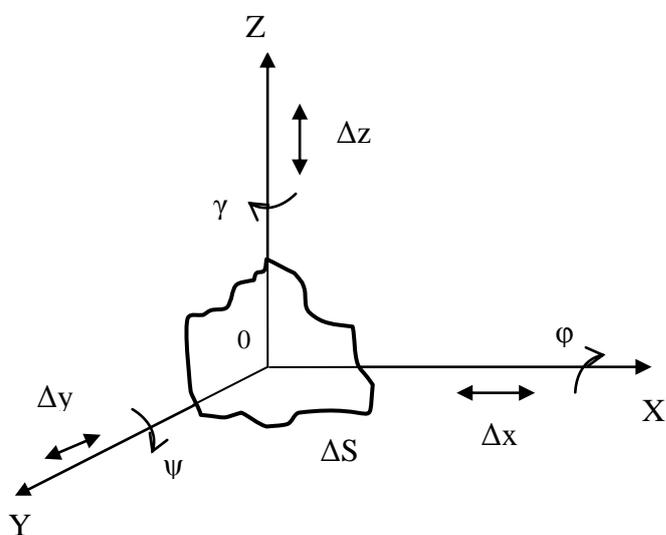


Рис.1 Элементы движения точки земной поверхности

Как принято в геодезии, ось OZ направим вертикально вверх, ось OX - к северу, а ось OY - к востоку. При смещении поверхности склона площадка ΔS может совершать шесть различных движений: три смещения, параллельных осям координат, величины которых обозначим Δx , Δy и Δz , и три поворота около тех же осей OX , OY и OZ . Величины углов поворота обозначим φ , ψ , и γ , причем будем считать их положительными, если, глядя вдоль оси по направлению на начало координат O , увидим, что вращение совершается по часовой стрелке. Следовательно, перемещение площадки ΔS во времени полностью характеризуется двумя видами движений - *поступательным* и *вращательным*, т.е. определяется семимерным пространством. Но так как вращательное движение площадки ΔS может быть выражено через пространственные координаты отдельных ее точек, то перемещения точек можно описать в четырехмерном пространстве.

Вращательное движение площадки ΔS около осей OX и OY вызывает ее наклоны по отношению к оси OZ , а вращение около оси OZ - неравномерные смещения ее точек в горизонтальной плоскости.

Здесь следует заметить, что в процессе деформаций отдельные точки некоторого блока имеют еще и взаимные (относительные) перемещения друг относительно друга, что, в свою очередь, нарушает целостность этого блока. Такие смещения вызывают изменение напряженно-деформированного состояния склона.

В интерпретации с точки зрения геодинамики, переходя к координатам какой-либо точки, путь, пройденный ею за промежуток времени $\Delta t = t_2 - t_1$, получим по формуле

$$I = \sqrt{[x(t_2) - x(t_1)]^2 + [y(t_2) - y(t_1)]^2 + [z(t_2) - z(t_1)]^2},$$

где $x(t_1)$, $y(t_1)$, $z(t_1)$ — координаты некоторой точки в момент времени t_1 ; $x(t_2)$, $y(t_2)$, $z(t_2)$ — то же, в момент времени t_2 .

Если в момент времени t_1 расстояние между двумя точками было $I(t_1)$, а через некоторый промежуток Δt в момент времени t_2 оказалось равным $I(t_2)$, причем $I(t_2) \neq I(t_1)$, то их взаимное перемещение за этот же промежуток времени Δt будет

$$\Delta I = I(t_2) - I(t_1).$$

Смещения классифицируют как по величине, так и по скорости их протекания. По величине их можно разделить на две основные группы: *микросмещения* и *макросмещения*. Первые непосредственно не ощущаются и не проявляются в виде каких-либо качественных изменений, как на поверхности земли, так и на расположенных на нем зданиях и сооружениях. Они могут быть обнаружены и зарегистрированы специальными высокочувствительными приборами. Вторые — такие смещения, которые сопровождаются различными качественными изменениями (например, появлением трещин в зданиях и дорожных покрытиях, перекосов конструкций, вызывающих торможение при работе технологических линий, и др.).

По скорости, аналогично сейсмическим явлениям, смещения можно разделить на: *брадисмещения* и *тахисмещения*. Первые протекают сравнительно медленно, а иногда очень медленно и не представляют особой опасности. Вторые имеют большую скорость и иногда вступают в фазу быстрых смещений или обрушений.

Приведенная классификация смещений позволяет дифференцированно подойти к решению вопроса о точности, а следовательно, и к выбору оптимальной методики геодинимических наблюдений за поведением точек земной поверхности для решения задач по прогнозированию землетрясения.

1.2 Расчет точности наблюдений за деформациями для определения скорости движения точек земной поверхности

Для выяснения этого важного вопроса рассмотрим одну из механико-математических моделей смещений во времени.

С точки зрения механики, смещение относится к неравномерному движению со скоростью

$$v = dS/dt.$$

Переходя к конечным приращениям, получим среднюю скорость смещения точки за время Δt :

$$v = \Delta S/\Delta t.$$

Используя известные приемы теории погрешностей измерений, после несложных преобразований среднее квадратическое отклонение скорости смещений можно представить в виде

$$\sigma(v) = \frac{1}{\Delta t} \sqrt{\sigma^2(\Delta S) + v^2 \sigma^2(\Delta t)},$$

где $\sigma(\Delta S)$ — среднее квадратическое отклонение исследуемой точки; $\sigma(\Delta t)$ — среднее квадратическое отклонение времени между циклами наблюдений.

Отсюда относительная погрешность определения скорости смещений будет

$$\frac{\sigma(v)}{v} = \sqrt{\frac{\sigma^2(\Delta S)}{\Delta S^2} + \frac{\sigma^2(\Delta t)}{\Delta t^2}}.$$

Следовательно, при проектировании наблюдений за смещениями возникают задачи определения необходимой точности наблюдений смещений ΔS , периода наблюдений Δt и оценки точности его $\sigma(\Delta t)$ по заданным значениям $\sigma(v)$ или $\sigma(v)/v$. Из выражений видно, что число уравнений, связывающих искомые и заданные величины, оказывается недостаточным для однозначного определения указанных параметров, т.е. требуется

гипотетическое построение модели смещений и примерное отыскание ее параметров.

Если, например, задаться некоторыми значениями $\sigma(\Delta S)$ и $\sigma(\Delta t)$, то относительная погрешность определения скорости смещений будет зависеть от самой скорости или параметров, по которым она определяется. Очевидно, что при увеличении скорости уменьшается относительная погрешность ее определения.

Пусть значение относительной погрешности скорости удовлетворяет заданному условию

$$\sigma(v)/v \leq 1/K.$$

Тогда с учетом выражения можно написать

$$\frac{\sigma^2(\Delta s)}{\Delta s^2} + \frac{\sigma^2(\Delta t)}{\Delta t^2} \leq \frac{1}{K^2}.$$

Воспользовавшись принципом равного влияния источников погрешностей, для определения указанных выше параметров получил следующие выражения:

$$\Delta t \leq K\sigma(\Delta t)\sqrt{2};$$

$$\sigma(\Delta t) \leq \frac{\Delta t}{K\sqrt{2}};$$

$$\sigma(\Delta S) \leq \frac{v\Delta t}{K\sqrt{2}}.$$

Таким образом, задаваясь некоторым приемлемым для конкретных условий наблюдений средним квадратическим отклонением $\sigma(\Delta t)$, можно получить необходимый период наблюдений за смещениями. Если же имеется хотя бы приближенное представление о ходе смещений во времени, то определяют

период времени Δt , в течение которого смещения изменяются в некоторой степени равномерно.

Смещения точек земной поверхности имеют характер неравномерного движения. Действительно, в начальный период развития процесса (в период активизации) скорость смещений постепенно нарастает и спустя некоторый промежуток времени вступает в катастрофическую фазу. Затем скорость убывает и переходит в стадию временной стабилизации. Поэтому среднее квадратическое отклонение $\sigma(\Delta S)$ необходимо определять для некоторой заданной ступени ΔS . Необходимо учитывать и тот факт, что скорость смещений неравномерна.

Если ввести условие

$$\sigma(v) \leq \sigma_0(v),$$

где $\sigma_0(v)$ — предельное значение среднего квадратического отклонения скорости, то из уравнения получим

$$\begin{aligned} \sigma(\Delta t) &\leq \sigma(\Delta S) / v; \\ \sigma(\Delta S) &\leq \frac{\sigma_0(v)}{\sqrt{2}} \Delta t. \end{aligned}$$

Выбирая вновь такое значение Δt , при котором скорость смещений сохраняется практически постоянной, вычисляем $\sigma(\Delta S)$, а по скорости v находим $\sigma(\Delta t)$.

1.3 Периодичность производства геодезических измерений

Первый цикл измерений осадок проводится сразу же после возведения фундаментов.

Количество циклов измерений осадок фундаментов за период достижения полной нагрузки от здания или сооружения на основание должно

быть не менее четырех (при 25, 50, 75, 100% всего давления). В эксплуатационный период проводится не менее трех циклов измерений. Геодезические наблюдения за осадками сооружений, построенных в глинистых грунтах продолжают в течение 5-10 лет после сдачи объекта в эксплуатацию, а в песчаных грунтах 2-3 года. В соответствии с цикличностью измерений назначается проектной организацией.

В общем виде скорость V осадки определяется по формуле

$$V = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

где Δs – величина осадки, Δt – время.

Прологарифмировав и продифференцировав и переходя к среднеквадратическим ошибкам, получим

$$m_v = \sqrt{\left(\frac{m\Delta s}{\Delta s}\right)^2 + \left(\frac{m\Delta t}{\Delta t}\right)^2}$$

Если принято, что

$$\frac{m\Delta s}{\Delta s} = \frac{m\Delta t}{\Delta t}, \text{ то}$$

$$\frac{mv}{v} = \frac{m\Delta t}{\Delta t} \sqrt{2}, \quad \frac{1}{N} = \frac{m\Delta t}{\Delta t} \sqrt{2}$$

отсюда

$$m\Delta t = \frac{\Delta t}{N\sqrt{2}}$$

Экспериментальными исследованиями установлено, что $\frac{1}{N} = \frac{t}{10}$, поэтому

$$m\Delta t = \frac{\Delta t}{10 \cdot 1,4}; \text{ Если принять, что } m\Delta t = 0,1 \text{ месяц, то } \Delta t = 1,4 \text{ месяца. Таким}$$

образом, установлена цикличность 1,4 месяца.

1.4 Моделирование кривой осадок сооружений

Осадок точки фундамента (рис) аппроксимируется выражением

$$S_t = S_k \cdot e^{-bt}.$$

Логарифмируя, находим $\ln S_t = \ln S_k - bt$.

Если принять, что $\ln S_t = y$, $\ln S_k = a$, $t = x$, то формула принимает вид формулы

$$f = \sum_{i=1}^n (a + bx_i - y_i).$$

Формула $S_t = S_k \cdot e^{-bt}$ является экспоненциальной кривой, которая изображает поведение осадок земной коры или осадок отдельных групп сооружений. По этой формуле можно прогнозировать возможное землетрясение.

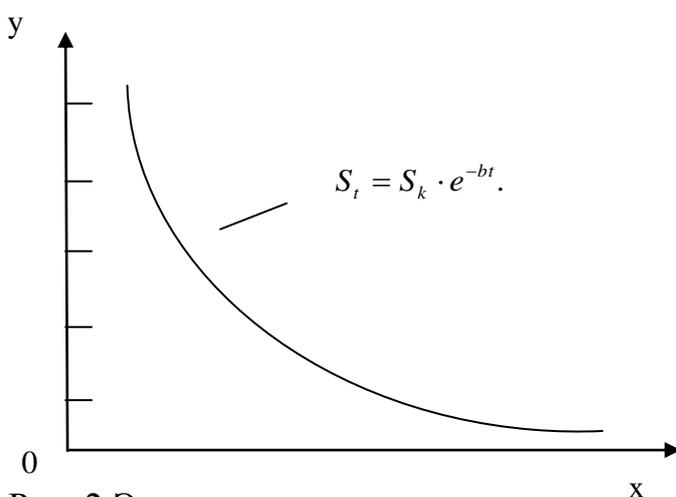


Рис. 2 Экспоненциальная кривая

Функция ошибок будет

$$f = \sum_{i=1}^n (a + bx_i - y_i).$$

Продифференцировав по условиям $\frac{df}{da} = 0$, $\frac{df}{db} = 0$ получим следующие нормальные уравнения:

$$\left\| \begin{aligned} na + \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) b &= \sum_{i=1}^n y_i \\ \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) a + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) b &= \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{aligned} \right\|$$

Уравнение запишется в виде матрицы:

$$\begin{pmatrix} n \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{pmatrix}$$

Из этого уравнения определяются коэффициенты a , b уравнения проектной линии:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2},$$

где, n – число измерений, x_i , y_i – абсциссы и ординаты точек на продольном профиле.

Из этого можно записать регрессионную модель оптимальной проектной линии

$$\hat{y}_{ij} = a + bx_i.$$

где, \hat{y}_{ij} величина предсказуемая регрессионной моделью.

1.5 Связь между сейсмическими деформациями грунта

Землетрясения в 7 баллов и более относятся к сильным, так как при них здания и сооружения, усиленные сейсмостойкими конструкциями, получают повреждения из-за смещения оснований фундаментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях. В результате таких смещений в несущих элементах конструкций возникают перенапряжения и они становятся непригодными к сопротивлению повторным сейсмическим колебаниям, которые, как правило, имеют место в сейсмически активных районах.

Например, железобетонное сейсмостойкое здание универмага разрушилось от неравномерной осадки основания во время землетрясения силой в 11 баллов в 1948 г., так как его фундамент получил неравномерную осадку до 60 см на длину 45 м.

Максимальный наклон здания был определен по формуле

$$i_{\max} = \frac{dh}{l},$$

где dh — разность осадок;

l — горизонтальное расстояние между точками 1,2 , обозначенными на рисунке. Он составил: по осадке фундамента

$$i_{\max} = \frac{42,5}{900} = 47,2 \cdot 10^{-3},$$

а по отношению к верхней части здания

$$i_{\max 2} = \frac{5,5}{30} = 183 \cdot 10^{-3}.$$

При этом следует учитывать, что на подрабатываемых территориях наклон зданий более $10 \cdot 10^{-3}$ уже считается опасным.

Максимальная кривизна (неравномерность наклонов) составила

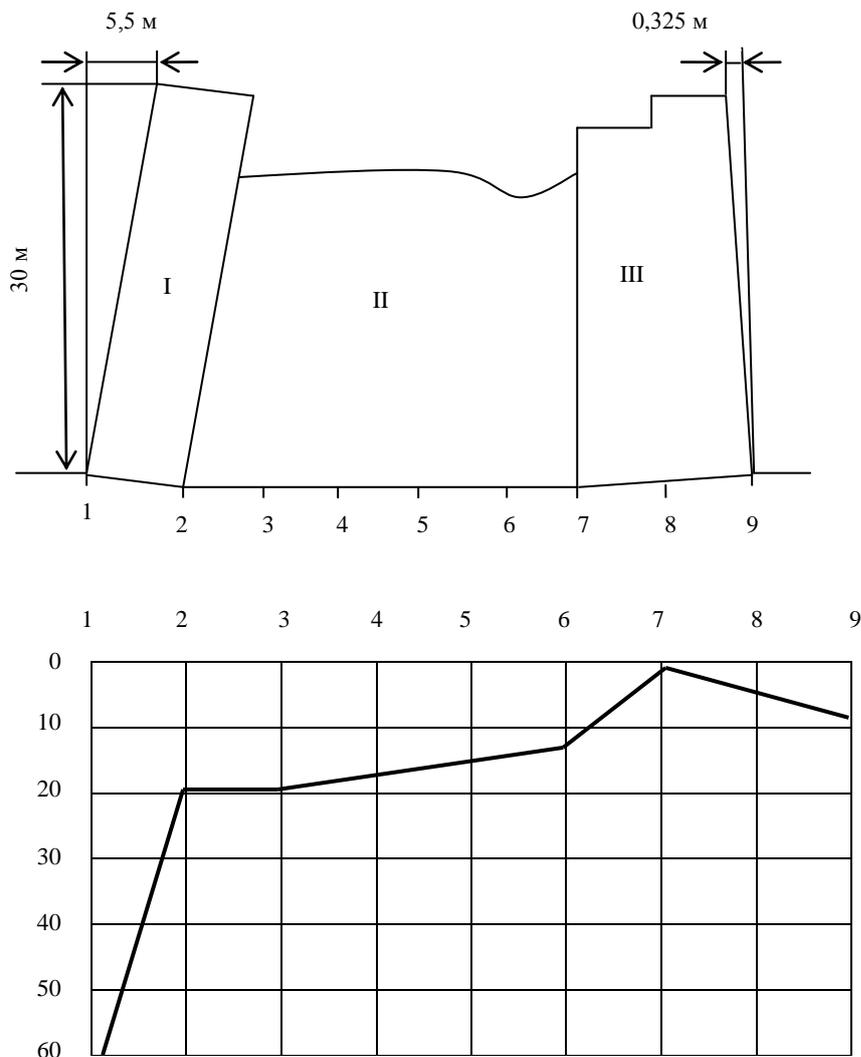
$$K = \frac{47,2 \cdot 10^{-3}}{9} = 52,5 \cdot 10^{-4},$$

а радиус кривизны был

$$R = \frac{1}{K} = \frac{10^{-4}}{52,5} = 0,19 \text{ км.}$$

На подрабатываемых же территориях кривизна более $2 \cdot 10^{-4}$ и радиус кривизны R менее 5 км также считаются опасными.

Поэтому в данной работе сделана попытка установления корреляционной связи между деформациями грунта при сильных землетрясениях и процентом поврежденных сейсмостойких зданий из числа обследованных при допущении, что землетрясения, интенсивностью в 7 баллов и более, рассматриваются как независимые однородные случайные явления, которые произошли на поверхности земного шара.



Осадка, см	62,5	20	20	17,5	15	12,5	0	3,75	7,5
Расстояние, м	9	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	4,5	4	

Рис.3 Деформация здания в результате осадки грунта после землетрясения

Основными характеристиками приняты величины векторов q , как суммы горизонтальных ξ и вертикальных η деформаций грунта, и процент поврежденных сейсмостойких зданий из числа обследованных.

Так как количество статистических данных о землетрясениях и повреждениях невелико, по сравнению со всевозможными случаями повреждений, то корреляционный анализ может дать только первое приближение о рассматриваемой связи.

Таблица 1

№ п. п	Год	Район земного шара	Величина максимальной деформации грунта, см			Число обследованных сейсмостойких зданий	Из них	
			по горизонтали ξ	по вертикали η	вектор ρ		повреждено	% от общего числа обследованных
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1923	Токио (Япония)	150	25	152	710	85	12
2	1942	Веллингтон (Новая Зеландия)	-	7	7	224	94	42
3	1948	Фукуи (Япония)	75	16	76	47	11	23
4	1952	Южная Калифорния	60	30	67	32	25	78
5	1957	Мехико (Мексика)	-	2000	2000	55	45	82
6	1960	Консепсион (Чили)	2	150	150	1786	188	10
7	1964	Ниигата (Япония)	-	10	10	1500	310	21
8	1964	Анкоридж (Аляска)	300	75	509	22	15	68
9	1966	Ташкент	-	4	4	283	168	59
		Всего	-		-	4659	941	395

В таблице 1. приведены данные по ряду землетрясений, которые произошли в разное время и в разных частях земного шара.

К поврежденным отнесены здания, получившие недопустимые осадки или крены, сдвиги, трещины и прочее в несущих частях, а также отрывы стен в разных направлениях и полностью разрушенные.

Таблица 2

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
q	4	7	10	67	76	150	152	309	2000	2775
P	59	42	21	78	23	10	12	68	82	395

Для вычисления коэффициента корреляции и параметров уравнения регрессии составлен вариационный ряд из результативных векторов и процента поврежденных зданий P от числа обследованных, q – деформации грунта.

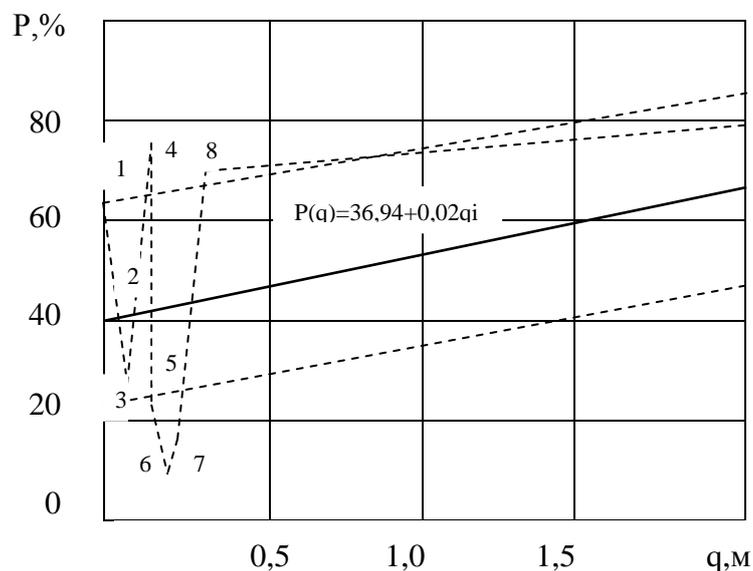


Рис.4 X График корреляционной связи между процентом поврежденных зданий и величиной сейсмической деформации с доверительными границами при доверительной вероятности 0,95

График (рис.4), составленный по таблице 2 показывает, что корреляция носит прямолинейный характер и уравнение связи будет иметь вид $P(q) = a+bq$.

Это уравнение показывает ход изменения $P\%$ разрушений сейсмостойких зданий от величины деформации грунта q при сильных землетрясениях.

Коэффициенты a и b уравнения получены по методу наименьших квадратов, для чего были составлены уравнения погрешностей:

$$a + bq_i - P(q)_i = v_i; (i=1, 2, 3, \dots 9).$$

Нормальные уравнения решены по способу исключения неизвестных и в результате получены значения коэффициентов a и b :

$$a = + 36,94; b = + 0,02.$$

Корреляционное уравнение связи будет иметь следующий вид:

$$P(q)_i = 36,94 + 0,02q_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, 9).$$

Для оценки точности коэффициентов a и b были вычислены эмпирические значения процента поврежденных зданий по формуле и разности v по формуле. Вычисления приведены в табл.3.

Стандарт единицы веса оказался равным

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^9 v_i^2} = 27.$$

Таблица 3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X
a	36,94	36,94	36,94	36,94	36,94	36,94	36,94	36,94	36,94	332,46
bd	0,08	0,14	0,20	1,34	1,52	3,00	3,04	6,18	40,0	55,50
P(q)	37,02	37,08	37,14	38,28	38,46	39,94	39,98	43,12	76,94	387,96
M(P)	59,00	42,00	21,00	78,00	23,00	10,00	12,00	68,00	82,00	395,00
V	-21,98	-4,92	16,14	-39,72	15,41	29,94	27,98	-24,88	-5,06	-7,04
V²	483	24	260	1578	239	896	783	619	26	4908

Весы и стандарты неизвестных a и b равны:

$$P_a = 7; \quad \sigma_a = 10;$$

$$P_b = 3295890; \quad \sigma_b = 0,01.$$

Доверительные границы неизвестных при $K = 8$, $P = 0,95$ и $t_p = 2,4$:

$$13 < a < 61;$$

$$0 < b < 0,04.$$

На рис.4 показана фактическая линия хода изменения процента разрушений в зависимости от сейсмической деформации грунта эмпирическая линия, которая аппроксимирует этот ход.

Обратный вес функции будет

$$\frac{1}{P(P_i)} = Q_{11} + q_i^2 Q_{22} + 2q_i Q_{12}.$$

В этой формуле

$$Q_{11} = \frac{1}{P_{(a)}}; Q_{22} = \frac{1}{P_{(b)}}; Q_{12} = -\frac{[q]}{n} \cdot Q_{22} = \frac{[q]}{[q^2]} \cdot Q_{11}.$$

Эмпирические стандарты вычислены по формуле

$$\sigma_{pi} = \sigma_0 \sqrt{\frac{1}{P_{pi}}} \quad (i=1, 2, 3, \dots 9).$$

В результате вычислений обратные веса и стандарты эмпирической регрессии оказались равными:

$$\begin{array}{llllll} \frac{1}{P_{p1}} = 0,14 & \sigma_{p1} = 10; & \frac{1}{P_{p4}} = 0,13 & \sigma_{p4} = 9; & \frac{1}{P_{p7}} = 0,12 & \sigma_{p7} = 9; \\ \frac{1}{P_{p2}} = 0,14 & \sigma_{p2} = 10; & \frac{1}{P_{p5}} = 0,13 & \sigma_{p5} = 9; & \frac{1}{P_{p8}} = 0,11 & \sigma_{p8} = 9; \\ \frac{1}{P_{p3}} = 0,14 & \sigma_{p3} = 10; & \frac{1}{P_{p6}} = 0,12 & \sigma_{p6} = 9; & \frac{1}{P_{p9}} = 0,10 & \sigma_{p9} = 8. \end{array}$$

На (рис.4) показана доверительная зона эмпирической регрессии для $P = 0,95$. Для характеристики силы связи P с q вычислен коэффициент корреляции. Он равен 0,50.

Доверительный интервал, накрывающий действительное значение коэффициента корреляции, определен с помощью критерия Фишера. Он оказался равным:

$$\text{Для } P = 0,95 \quad 0,38 < r < 0,90;$$

$$\text{Для } P = 0,68 \quad 0,15 < r < 0,74.$$

Ввиду того, что во время землетрясения на устойчивость сейсмостойких зданий оказывают влияние не только деформации грунта, но и такие факторы, как качество проектных и строительных работ, строительных материалов, механические и сейсмические свойства грунтов в основаниях, форма и размеры здания и другие факторы, то полученный коэффициент корреляции можно считать значительным.

Большой диапазон зоны доверия объясняется малым числом наблюдений.

Из всего изложенного следует, что хотя эмпирический процент повреждений, определенный на основании геодезических измерений деформации грунта, недостаточно точен ($\sigma_0 = 27$), все же для предварительных расчетов перед детальным обследованием последствий землетрясений он вполне приемлем.

Кроме того, установленная между деформацией земной поверхности и повреждением сейсмостойких зданий корреляция говорит о том, что в сейсмически активных районах необходимы систематические геодезические наблюдения за зданиями, сооружениями и земной поверхностью.

2. Геодезические методы измерения при прогнозировании землетрясения

2.1 Прогноз землетрясения

Многие годы наблюдений человека за планетой, на которой он живет, привели к мысли о том, что Земля – не мертвое, бездушное тело, а живой, развивающийся по своим законам, сложнейший организм. Незнание или игнорирование этих законов может привести к бунту "неживой" природы против человека и человечества. Уже в наше время мы все чаще становимся свидетелями, а порой и соучастниками экологических катастроф, часто возникающих в результате конфликта человека и "неживой" природы. Причина этих катастроф во многих случаях – проявление той внутренней жизни нашей планеты, которая еще не до конца познана наукой.

По своим разрушительным последствиям, количеству жертв, материальному ущербу и деструктивному воздействию на среду обитания человека землетрясения занимают одно из первых мест среди других видов природных катастроф. Эти грозные явления природы опасны не сами по себе, а потому что происходят именно там, где человек живет и работает.

Исторически так сложилось, что людям было удобно и экономически выгодно селиться именно там, где, как оказалось, время от времени возникают землетрясения. Внезапность возникновения землетрясений еще больше усугубляет их разрушительные последствия. Разрушения и гибель людей вызываются не только собственно вибрациями грунта, но и различными вторичными природными явлениями, которые могут активизироваться в результате землетрясения (крип, оползни, обвалы, снежные лавины, разжижение грунта и др.). Большую опасность представляют вторичные техногенные воздействия и последствия: пожары, взрывы, выбросы радиоактивных и токсичных материалов. Часто основной ущерб при землетрясениях связан именно с вторичными явлениями.

Стихийные явления, и землетрясения в том числе, неизбежны. Их нельзя предотвратить, но уменьшить их разрушительное влияние можно и нужно. Для этого необходимо знать причины возникновения землетрясений, изучать

процессы, связанные с их подготовкой и возникновением, разрабатывать методы прогноза этих явлений. Но нельзя не сказать и о позитивной роли геофизических явлений: с их помощью наука получает бесценную информацию о процессах, происходящих в недрах земли и человеку недоступных.

По современным представлениям землетрясение есть следствие возникновения разрыва горных пород (гигантской трещины) в глубинах земных недр. Этот разрыв распространяется, или, как говорят, прорастает со скоростью первых километров в секунду, а его берега при этом излучают упругие волны. Упругие волны достигают земной поверхности за несколько секунд, что и вызывает при сильных землетрясениях разрушение зданий и сооружений, ведет к гибели людей.

Прогноз землетрясений - сложная научная проблема и благородная цель сейсмологии. Точно предсказать время возникновения очередных сейсмических толчков, а тем более предотвратить их, к сожалению, невозможно. Однако разрушения и число человеческих жертв могут быть уменьшены путем проведения в сейсмоактивных районах разумной и долговременной государственной политики, основанной на повышении уровня осведомленности населения и федеральных органов об угрозе землетрясений и умении противостоять подземной стихии.

Под прогнозом землетрясений понимают определение места, времени и силы (магнитуды) землетрясения. По времени прогноз подразделяется на долгосрочный (на десятилетия вперед), среднесрочный (на годы вперед), краткосрочный (на дни-месяцы вперед) и оперативный (на минуты-часы вперед). Следует заметить, что деление это в достаточной степени условное. Каждый этап прогноза базируется на определенном наборе предвестников - геофизических явлений (в основном), опережающих и предвещающих возникновение землетрясения.

К настоящему времени во всем мире насчитывается несколько сотен различных по своей природе предвестников землетрясений. Их можно

разделить на две группы. Первая, наиболее многочисленная и наиболее изученная группа-геофизические предвестники, т.е. предвестники, связанные с закономерным поведением различных геофизических полей на разных этапах подготовки землетрясения. Предвестники этой группы покрывают практически весь диапазон прогноза по времени: от долгосрочного до оперативного. Вторая группа - предвестники, связанные с необычным поведением биологических объектов перед возникновением землетрясения. Эта группа предвестников менее изучена, чем первая. Их можно отнести к краткосрочным и оперативным.

В свою очередь геофизические предвестники делятся на сейсмические, гидрогеодинамические, деформационные, геохимические, термические, гравитационные, электромагнитные. В последние годы с развитием спутниковых технологий дистанционного наблюдения за земной поверхностью и "атмосферой" появились сообщения, например, об аномальном разогреве земной поверхности в эпицентральной области, об аномальном изменении погодных условий, о характерных изменениях структуры трещиноватости земной поверхности в районе подготовки землетрясения.

Несмотря на огромное количество предвестников, ни один из них не дает точных указаний на время, место и силу грядущего землетрясения. В разных сейсмоактивных районах различные предвестники работают по-разному, давая большой разброс в оценках места, времени и силы будущего землетрясения. Это связано как со сложностью самого объекта исследований - очага землетрясения, условий его зарождения и развития, отсутствием количественной теории подготовки землетрясения, так и с существенным влиянием помехообразующих факторов, которые далеко не всегда удается исключить из рассмотрения. Поэтому прогноз землетрясений, как и прогноз погоды, по своей природе имеет вероятностный характер. Следует также заметить, что сообщения о предвестниках землетрясений являются, по большей части, единичными и по ним затруднительно, а порой и невозможно

оценить даже ретроспективно их статистические характеристики: вероятность правильного прогноза, вероятность ложной тревоги, среднее время ожидания землетрясения после возникновения предвестника.

Анализ многолетних данных по ряду геофизических (в основном сейсмологических) предвестников показал, что вероятность успешного прогноза по каждому из них не превышает 0.5. Одним из возможных выходов из этой ситуации является совместное использование нескольких прогностических признаков. При этом исходят из того, что каждый отдельный предвестник отражает ту, или иную сторону многогранного и не до конца ясного процесса подготовки землетрясения и не является достаточно информативным с точки зрения статистики. Поэтому их комплексное использование позволит повысить надежность и эффективность прогнозных оценок. Практика последних лет показала оправданность такого подхода, по крайней мере, для среднесрочного (первые годы) прогноза.

2.2 Прогнозирование землетрясений традиционными геодезическими методами

Первые нивелирные измерения на территории России были выполнены между Москвой и Петербургом в 1873-1876 гг. К 1917 г. было проложено 45 тыс. км нивелирных линий.

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

Повторные высокоточные геодезические измерения дают возможность установить скорость современных движений, глобальных и региональных тектонических процессов, происходящих в земной коре, проявляющихся в верхней мантии Земли и выражающихся в движении континентальных плит,

внутриплитовых деформациях земной коры и крупномасштабных измерениях гравитационного поля.

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

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

Анализ результатов повторных геодезических измерений дает возможность изучить характер деформации земной поверхности, происходящей в результате тектонической активности и техногенной деятельности вследствие вмешательства человека при добыче полезных ископаемых из недр Земли или строительстве сложных инженерных сооружений, создании водохранилищ, каналов и т. д.

В настоящее время наибольшее распространение получил метод высокоточного геометрического нивелирования для выявления современных вертикальных движений Земной коры, который базируется на результатах планомерных повторных измерений.

Высотная геодезическая основа страны состоит из нивелирных сетей I, II, III и IV классов. Нивелирные линии I и II классов, составляющие высокоточную нивелирную сеть полигонов, имеют протяженность около 600 тыс. км.

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

Прогноз землетрясений методом геодезических измерений подтверждался неоднократно, так как перед землетрясением в Армении за 2

месяца было выполнено очередное нивелирование I класса по линии: Лениканан - Спитак Кировокан и, конечно, повторное нивелирование было сделано сразу после землетрясения. Оказалось, что процесс землетрясения поднял Спитак на 1,2 м. После землетрясения вода в водопроводных трубах потекла в противоположную сторону. Затем через каждые 2 месяца выполнялись повторные нивелирные измерения. Движение земной коры приостановилось. По нашим оценкам в данной местности произойдет еще несколько землетрясений, т. е. закономерность движения земной коры должна прийти в стабильное состояние.

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

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

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

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

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

Уравнивание полученных скоростей узловых точек полигонов линий повторного нивелирования было выполнено параметрическим методом.

По результатам многочисленных геодезических измерений установлено, что происходит опускание в Москве и Московской области до 3 мм/год, а на юго-востоке от Московской области происходит подъем земной поверхности. По материалам измерений на геодинамических полигонах были получены данные для сейсмического районирования в строительстве для Ташкента, Алма-Аты, Душанбе и Ашхабада. Получены закономерности движения земной поверхности для различных регионов; изучены смещения земной поверхности в результате Толбачинского извержения, Газлийских землетрясений (1976 и 1984 гг.); прослежена миграция очага, получены характеристики смещений в районе сильнейшего Муйского землетрясения (1957 г.).

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

2.3 Стратегия прогноза землетрясения

Под практически значимым прогнозом будем понимать тот, который дает достоверные ответы на три вопроса: местонахождение готовящегося очага землетрясения; установление максимально возможной силы, которую способен породить этот очаг; определение момента землетрясения.

Согласно, возможности современных прогнозных систем следующие: точность места ожидаемого землетрясения — сотни километров, возможной энергии — шесть порядков, времени — годы. Совершенно очевидно, что такой прогноз практической ценности не имеет. И это подтвердилось в 1989 г. в Калифорнии, когда сильное землетрясение, ожидавшееся в 300 км к югу от Сан-Франциско, случилось в 50 км от него.

Это, конечно же, не могло не сказаться и на принципах использования геодезического метода для прогноза землетрясений. Выполняемые во многих странах для этих целей геодезические исследования не отвечают своему основному назначению — выделению участков сейсмогенных зон, в которых идет процесс накопления закономерного упругого изгиба земной поверхности. Стандартная плотность пунктов геодезических сетей недостаточна для обнаружения и уверенного выделения сравнительно узких (5— 10 км) сильно деформированных подготовкой землетрясения участков земной поверхности. К сожалению, не отвечают этому и геодезические построения на геодинимических полигонах. Даже если пункты на них расположены

достаточно близко друг от друга, то или их число, или взаимное расположение не отвечает указанной задаче.

Сейсмическая активность Земли достаточно высока. Ежегодно ее сотрясают 8—10 сейсмических гигантов ($M \geq 7$), а не очень сильных ($M \approx 5$) землетрясений случается около 300. К счастью, большая часть их происходит в безлюдных местах. Но и, то сравнительно небольшое количество сильных (и не очень) землетрясений, случающихся в городах и густонаселенных местностях и вызывающих многочисленные человеческие жертвы и неисчислимы материальные потери, настоятельно требует срочного осуществления практически значимого прогноза. В первую очередь, необходимо создать геодезические прогнозные системы на тех участках сейсмогенных зон, где землетрясения несут прямую угрозу человеку, его материальным богатствам и экологии.

Если мы действительно хотим положить начало избавлению жителей сейсмоопасных регионов от страха ожидания внезапных землетрясений и ужасных последствий, то переходить к предлагаемой стратегии прогноза следует незамедлительно.

Теория упругой отдачи Рейда-Певнева наглядно подтвердила определяющую роль повторных геодезических измерений в деле прогноза сильных землетрясений. А.К. Певнев главным результатом своих исследований считает «...установление факта существования единственно достоверного, прямого, поддающегося непосредственному измерению признака подготовки очага землетрясения. Таким признаком является закономерная деформация земной поверхности над зреющим очагом.

Исследования позволили определить и те параметры деформационного поля очага, знание которых необходимо и достаточно для точного прогноза места очага и его возможной силы. Так как ширина очаговой зоны составляет 20 – 25 км, то совершенно очевидно, что для определения полной длины искомой кривой необходимо, чтобы геодезическое построение полностью

перекрывало эту зону. Таки образом, в ортогональном к разлому направлении размеры геодезического построения должны быть 30 – 60 км». А.К. Певнев предлагает пересекать сейсмогенную зону ортогональными к разлому створами – «прогнозными профилями», которые могут быть и в виде вытянутых геодезических сетей шириной около 1 км. Частота расположения пунктов должна быть переменной – к разлому чаще. В центральной части на расстоянии 5 км от разлома, они должны располагаться примерно через 500м, дальше расстояние между ними должно возрастать, но не более 1км.

2.4 Обнаружение деформационных предвестников геодезическими методами

Для разработки концепции построения сетей GPS с целью прогноза землетрясений важное значение имеют данные о характере деформационных процессов в зонах подготовки будущих землетрясений. К сожалению, данных о деформациях, предвещающих сейсмические события, в настоящее время очень мало. Гораздо больше эмпирического материала, дающего представления о характере проявления постдеформационных процессов в функции магнитуды и параметров очага, его линейных размеров, глубины. До сих пор не потеряли своего значения данные по векторам смещений пунктов в эпицентральных областях, полученные по материалам триангуляционных работ в Японии. Благодаря высокой плотности пунктов, покрытия больших площадей и сохранности пунктов, ранее созданные сети триангуляции Японии часто «покрывали» эпицентральные области будущих землетрясений, доставляя после повторных съемок ценнейший материал для изучения деформационного поля эпицентральных областей. Поскольку к настоящему времени практически все острова Японии покрыты сплошной сетью GPS со сторонами порядка 15-25 км, можно надеяться на получение в скором времени не только постдеформационных, но и преддеформационных характеристик, так как точность GPS более чем на порядок выше точности сетей триангуляционных.

Насколько нам известно, вопрос о том, какая компонента деформаций – вертикальная или горизонтальная более значима, представительна и универсальна для прогноза пока не исследовался. Исторически этот вопрос решался естественным образом: до появления дальномеров единственная возможность изучать деформационные процессы обеспечивалась только нивелированием, как наиболее точным геодезическим методом. Именно нивелировки совместно с геоморфологическими данными дали исключительно ценный научный материал, реализованный в картах современных вертикальных движений, для изучения деформирования больших площадей, как тектонически активных, так и “спокойных” территорий в интервалах времени, исчисляющихся уже многими десятками лет. Нивелирные работы использовались как для долгосрочного, так и среднесрочного прогноза. Так в 1971-1972 годах обнаружены методом повторного нивелирования изменения превышений по нивелирному профилю в районе мыса Африка (Камчатка), которые связаны с землетрясением 15.12.1971г., $M=7.7$. Изменения превышений по знаку совпадают с механизмом землетрясения (взброс). Однако, для краткосрочного и даже среднесрочного прогноза этот метод нецелесообразен в виду его громоздкости, длительности, зависимости от погодных условий и невозможности автоматизации при развитии сетей на больших площадях, хотя с точки зрения обеспечиваемой точности и надежности измерения вертикальной компоненты деформаций нивелировка стоит пока вне конкуренции по сравнению с вертикальной компонентой получаемой из GPS наблюдений. В связи со сказанным, в дальнейшем, имея в виду вопросы обнаружения среднесрочных и краткосрочных деформационных предвестников землетрясений, ограничимся только опытами с дальномерами и GPS.

Надо сказать, что хотя теперь все внимание исследователей обращено к GPS, дальнометрия до сих пор продолжает использоваться в научных исследованиях по проблеме прогноза землетрясений и этот метод

следует пока сохранить, так как для расстояний порядка 5-10 км дальнометры-рефрактометры обеспечивают не только высокую точность измерения горизонтальной компонент деформаций – вплоть до $5 \cdot 10^{-6}$, но и обеспечивают получение информации в более короткие интервалы времени, вплоть до 5-15 минут, что пока проблематично для GPS. Уязвимая сторона лазерной дальнометрии – необходимость оптической видимости, т.е. не всепогодность. Это исключительно серьезный недостаток, не позволяющий при краткосрочном прогнозе опираться только на светодальнометрию. Первый опыт использования светодальнометров кратко описан в работе Т.Рикитаке где показана динамика изменения линии длиной 25 км, измеренная геодезическим инструментом. Линия пересекает разлом Сан-Андреас, в окрестностях которого в 1960 г. произошло землетрясение Холлистер с $M=5.0$. За 15 минут до землетрясения началось резкое изменение длины линии. Эти аномальные изменения можно трактовать как деформационные. Второй случай, представляющий для нас интерес, относится к исследованиям, связанным с изучением временных и пространственных деформаций кальдеры "Long Valley" в западной Калифорнии. Измерения также выполнены геодезическим инструментом, к этому времени уже двухволновым, гарантирующим измерение расстояний 10-15 км на уровне точности $1-2 \cdot 10^{-6}$. Ретроспективно можно отметить некоторые особенности характера изменения длин линий по всему региону. Отчетливо заметно, что линии, ближайšie (30-40 км) к положению будущего эпицентра землетрясения практически не меняли своей длины, а более удаленные имели явную тенденцию к увеличению, до величин более чем на порядок, по сравнению с ошибками измерений. Эта тенденция сохранилась и после землетрясения, во время которого произошел незначительный, порядка $1 \cdot 10^{-6}$, скачок практически для всех линий. Лишь для одной линии заметно резкое изменение знака перед событием с образованием типичной бухты с амплитудой $\sim 2 \cdot 10^{-6}$. Это изменение можно трактовать как прогностический признак, но вряд ли кто

проявил тревогу, когда остальные 17 линий такого явного признака не обнаружили. Более детальные данные по линейным деформациям за месяц до и после землетрясения, на наш взгляд, каких-либо прогностических признаков не проявляют. Хотелось бы отметить, что важно иметь геодезическую сеть с линейными размерами – единицы - десятки км в районах, где в долгосрочном плане возможно сейсмическое событие. Оборудование полигона и начало наблюдений в комплексе методов должно быть начато на возможно ранней стадии. Обязателен постоянный мониторинг, по крайней мере, на нескольких пунктах, если нет возможности осуществлять его на всех пунктах. Адекватная обработка и анализ всех материалов должен осуществляться автоматизированно в режиме реального времени.

Полученные скорости GPS пунктов позволят составить детальные карты современных движений, как по горизонтальной, так и вертикальной компоненте. За десятилетний интервал годовые скорости вертикальных движений будут определяться на уровне 0.3-0.5 мм/год, с меньшими затратами, чем при использовании нивелировок. В практическом плане GPS сеть может служить основой при решении инженерно-технических задач самого различного назначения. Современные точностные возможности GPS системы можно охарактеризовать следующим образом.

По опыту обычных полевых геодезических измерений за 3 часовой цикл может быть обеспечена точность измерения линии длиной 10-20 км не хуже 1-2 см. В условиях стационарных измерений, когда может быть изучено и ослаблено влияние основных ошибок, связанных с неточным учетом влажности, влиянием многопутности лучей и “блужданием” фазового центра приемника, для указанных длин линий ошибка может быть уменьшена до уровня 0.5 мм. Изучение изменений скорости линейной деформации по всей сети даст материал для оценки магнитуды готовящегося землетрясения – по размеру площади, на которой проявляются деформации.

Деформационные предвестники первичны по отношению к изменениям других параметров среды, наблюдающимся перед сейсмическим событием, и изучение деформаций на разных стадиях подготовки землетрясений может внести весомый вклад при решении задачи прогноза в долгосрочном, среднесрочном и краткосрочном плане. Инструментальное изучение деформационных характеристик среды на больших площадях тектонически активных районов важно так же для уточнения карт сейсмического районирования. Аппаратурной основой решения задачи об изучении деформационных предвестников будет технология GPS, позволяющая осуществлять в приемлемые сроки покрытие больших площадей, с необходимой густотой пунктов и обеспечивающая точность определения деформационных характеристик. Особо следует отметить всепогодность GPS, что имеет исключительное значение для решения задачи краткосрочного, сутки-часы до события, прогноза. Однако здесь следует иметь в виду, что предстоят дополнительные исследования для обеспечения точности, чтобы выдавать результаты через малые интервалы времени (15-30 минут); в настоящее время технология GPS на столь малых интервалах времени необходимой точности обеспечить не может, но переход к регистрации с частотой в 1 сек для стационарных GPS станций решит данную проблему. Отдавая приоритет технологии GPS, следует продумать вопросы комплексирования аппаратуры: двухволновые лазерные дальнометры и скваженные деформографы не потеряли своего значения и данные по ним могут существенно повысить информативность и достоверность результатов, особенно для краткосрочного прогноза. Как показал анализ материалов наблюдений на GPS сетях, частично перекрывающих эпицентральные области землетрясений, прогностических деформационных признаков четко не обнаруживается даже для сильных землетрясений. Обусловлено это, на наш взгляд, тем, что построенные сети со сторонами в десятки-сотни километров, а также и характер обработки результатов, не отвечают задачам краткосрочного обнаружения

деформационных предвестников. Для этих целей должны строиться сети со сторонами 5-10 км, при этом выдача результатов должна следовать каждые 15-30 минут, а не раз в сутки, как это было для указанных выше землетрясений.

В геологическом отношении Приташкентский район относится к орогенической области, подвижной и активной в тектоническом отношении. Ташкентский полигон расположен на юго-западном погружении Каржантау-Чаткальских гор; на востоке окаймляется Кураминскими и Чаткальскими горами, на севере – Каратаусскими, на юге – Нуратинскими и Мальгузарскими.

История тектонического развития Приташкентского района связана с его расположением в зоне перехода от орогена к платформе. С этим связаны и особенности проявления здесь сейсмичности. В тектоническом отношении полигон расположен на сочленении геотектонических областей постплатформенного Тяньшаньского орогена восточной части Туранской плиты. Палеозойский фундамент Приташкентского района расположен на абсолютных отметках от 800 до 3000 метров ниже уровня моря и покрыт 1-3 километровой толщиной мезокайнозойских отложений. Поверхность палеозойского фундамента испытывает общее погружение с востока на запад. Большинство поднятий и прогибов пересечены разрывными нарушениями, создающими блоковое строение фундамента. Основными элементами поверхности палеозойского фундамента, где расположен геодинамический полигон, является Каржантаусское поднятие и Ташкентско-Голодностепский прогиб. Этот прогиб (впадина) зародился в олигоцене и служит переходной границей между Тянь-Шанем и Туранской плитой. Протяженность впадины в направлении юго-запад – северо-восток около 200 км, а ширина – 25-30 км.

Палеозойский фундамент Приташкентского района разбит крупными разломами. В западной части района, прилегающей к г. Ташкенту, простирается Келесский, Каракамышский, Чирчикский разломы и

Ташкентская флексурно-разрывная зона. Эти разрывные нарушения простираются в направлении юго-запад – северо-восток. Мезозойско-кайнозойский чехол Приташкентского внешнеорогенного прогиба является продолжением на юго-запад Каржантаусского разлома в виде флексурно-разрывной зоны.

Серия северо-восточных разломов палеозойского основания г.Ташкента (Ташкентский, Каракамышский, Чирчикский и др.), по-видимому, – составляющая часть Каржантаусского разлома.

Каржантаусский разлом со своей флексурно-разрывной зоной располагается на границе участков различного движения поднятий и Ташкентско-Голодностепского прогиба, по середине которой течет р.Чирчик. На всем протяжении от пос. Таваксай этот разлом четко фиксируется на правом берегу р. Чирчик надвиганием палеозойских пород на отложения мезокайнозоя. Эта разрывная зона является тектонически активной, о чем свидетельствуют такие сильные землетрясения, как Ташкентское 26.04.1966 г., Таваксайское 6.12.1977 г., Назарбекское 11.12.1980 г. Эпицентры этих землетрясений находятся вблизи Ташкентской разрывной зоны.

С 1967 г. на Ташкентском геодинимическом полигоне проводятся систематические геодезические исследования вертикальных движений земной поверхности. В результате этих исследований было установлено продолжающееся поднятие на западной окраине города, а на остальной части – чередование направленности движений, современные вертикальные движения имеют дифференцированный характер и ту же направленность, что и неотектонические.

Высотная сеть Ташкентского геодинимического полигона, контролирующая вертикальные движения земной коры, представлена линиями нивелирования I класса и специального повторного нивелирования, общей протяженностью 606 км. Линии нивелирования закреплены на местности постоянными знаками, рассчитанными на долговременную

сохранность: фундаментальными, грунтовыми, стенными реперами, марками и центрами пунктов триангуляции.

Схема полигонов сети повторного нивелирования на территории г. Ташкента, использованная при составлении Карты современного вертикального движения земной коры (СВДЗК), приведена на рис.5.

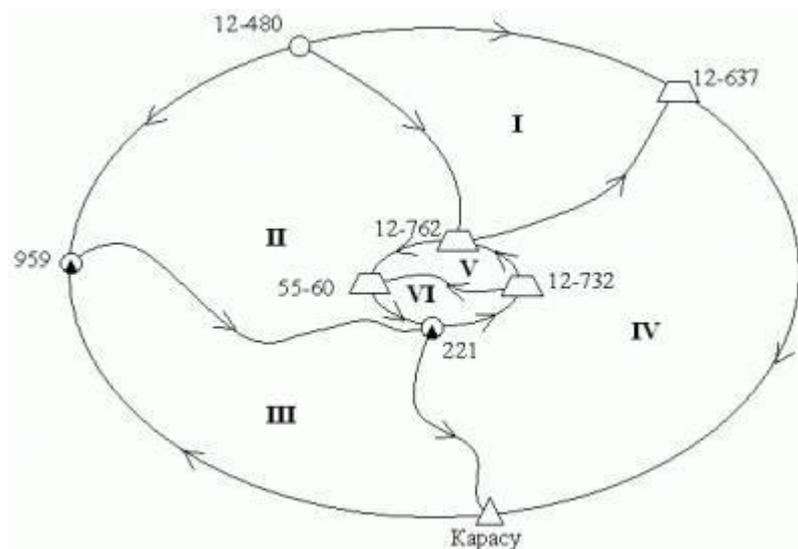
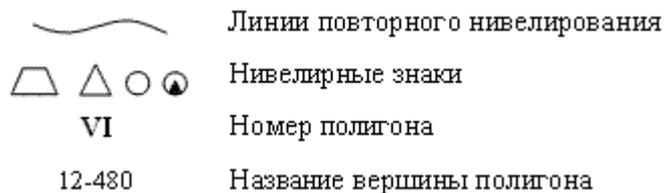


Рис.5 Карта современного вертикального движения земной коры (СВДЗК)

г.Ташкента



Для составления карты современных вертикальных движений земной коры были использованы измерения, выполненные в 1992-1993 (I цикл) и 2000-2002 (II цикл) годах.

На Карте современных вертикальных движений земной коры (Карта СВДЗК) абсолютные скорости современных вертикальных движений земной поверхности представлены изолиниями (линиями равных скоростей), проведенными через 1 мм/год и дополняющей их раскраской: зеленой – зона опускания, коричневой – зона поднятия. Изолинии проведены с учетом тектонического строения и рельефа местности, исходя, в основном из гипотезы унаследованности современных вертикальных движений земной

коры от тектонических движений прошлых геологических эпох, сформировавших современный рельеф.

Карта СВДЗК отображает структуру современных тектонических движений на территории г. Ташкента и его окрестностей, согласно которым можно выделить следующие зоны.

ЗОНЫ ПОДНЯТИЯ:

Зоны поднятия характеризуются небольшими величинами и среди них можно выделить следующие участки:

1. Центральный район описываемой территории, охватывающий центральную и западную части г.Ташкента, испытывает поднятие от нуля до 1 мм/год;
2. Северо-восточный район описываемой территории, охватывающий северную и восточную части г.Ташкента, испытывает поднятие от нуля до 2 мм/год. Максимальное поднятие до 1,5 мм/год наблюдается в районе Северо-Востока-2.

ЗОНЫ ОПУСКАНИЯ:

Практически всю описываемую территорию можно охарактеризовать как зону подверженную опусканию. Наиболее подвержены опусканию следующие участки:

1. Юго-западный район описываемой территории, где расположены г.Янгиюль, г.Нариманов, пос. Дангир, Халкабад, Каунчик, Рамадан, Шахсиабд, Коксарай, р-н Сергели, р-н Куйлюк, р-н Кумарык испытывает опускание от нуля до 6 мм/год. Максимальное опускание наблюдается в районе г.Сергели до 6,0 мм/год и в районе бывшего свх. Москва до 6,6 мм/год (после Ташкентского землетрясения 26 апреля 1966 года здесь продолжительное время наблюдалось трещинообразование);
2. Район расположения Астрономической обсерватории и ул.Муртазаева испытывает опускание от нуля до 1 мм/год;
3. Район пос.Келес испытывает опускание до 0,8 мм/год.

Следует отметить, что земная поверхность подверженная опусканию хорошо согласуется с распространением в топографии лесов, садов и виноградников. Это обстоятельство подтверждает закономерность выявленного геодезическими методами опускания этой части земной поверхности.

Отмеченные выше участки с повышенными значениями скоростей вертикальных движений, вероятнее всего, маркируют на поверхности Земли активные в настоящее время сейсмогенные разломы в земной коре. С этой точки зрения Карта современных вертикальных движений земной коры на территории г.Ташкента и его окрестностей дает возможность частично решить проблему прогноза землетрясений, в частности, позволяет прогнозировать места возможного проявления повышенной сейсмичности. В результате проведенных исследований на территории г.Ташкента и его окрестностей, на некоторых участках линий повторного нивелирования были выявлены повышенные значения градиента скорости, характеризующиеся величинами от 0,15 сек/год до 3,24 сек/год. По всей видимости, повышенные значения градиентов маркируют активные в настоящее время разломы в земной коре.

В результате проведенных исследований на территории г.Ташкента и его окрестностей выявлены следующие зоны с повышенным значением горизонтальных градиентов скорости современных вертикальных движений земной коры:

Каржантаусский разлом – активизирован в пределах г.Ташкента, маркируется участком с повышенным значением градиента скорости: от фундаментального репера 12-732 до фундаментального репера 55-60; от фундаментального репера 12-762 до фундаментального репера 12-732, характеризуется величиной градиента – от 0,21 сек/год до 3,24 сек/год. Наблюдается поднятие восточного крыла разлома по отношению к западному.

Участок, расположенный между Ташкентским и Каржантаусским разломами в южной их части – характеризуется повышенным значением градиента скорости 0,55 сек/год. Возможно, повышенное значение градиента маркирует взаимное влияние и (или) взаимодействие внутренних границ блоковых структур в земной коре.

Особенности строения и развития Каржантауского разлома и сочленяющихся с ней структурных элементов продолжает вызывать огромный интерес исследователей, так как наиболее крупные сейсмические события Приташкентского района связываются именно с ней, с ее развитием.

Определение погрешности измерения линейных базисов в зависимости от продолжительности наблюдений в статическом методе.

При выполнении поверки устанавливается следующий порядок работ:

- 1) Установить антенны пары приемников над центрами пунктов – концов эталонного базиса. При наличии ориентирных стрелок (меток) на корпусах антенн – ориентировать их на истинный север. Измерить высоту установки антенны над центрами пунктов с помощью рулетки (или входящих в комплект приемника средств измерений).
- 2) Включить приемники. Проверить рабочие установки приемников. Убедиться, что приемники принимают сигналы со спутников. Измерения выполняются в соответствии с рекомендациями фирмы – изготовителя.
- 3) Устанавливать последовательно длительность сеанса измерений 60, 30, 15, 8, 4, 2 минуты. Перед началом измерений в каждом сеансе измерить метеопараметры (температуру, давление, влажность). Записать их в журнал. Выключить приемник.
- 4) Выполнить обработку результатов измерений при помощи прилагаемого программного обеспечения. В обработку должны приниматься качественные измерения. Качество измерений и результатов их обработки определяется в соответствии с требованиями фирмы – изготовителя.

- 5) Определить t_{\min} - минимальное время сеанса, при котором получаются устойчивые и надежные результаты измерений. Установить длительность одного сеанса 60 мин., если $t_{\min} < 8$ мин. и 90 мин., если $t_{\min} > 8$ мин. Если в прилагаемой документации установлено минимальное время сеанса наблюдений то пункты 3) –5) можно пропустить.
- 6) Повторить измерения при выбранной длительности сеанса 6 раз, фиксируя в каждом сеансе время, начало наблюдений. Половину измерений выполнять в другой день при другом окне наблюдений.
- 7) Выключить аппаратуру.
- 8) Выполнить обработку наблюдений.

Аппаратура признаётся годной к эксплуатации, если разности между измеренными и эталонными значениями базиса не превышают допустимого значения абсолютной основной погрешности, вычисленной по формуле:

$$\Delta \text{ доп} = 2 \times (a + b \times 10^{-D}),$$

где a и b – численные значения в мм.

D – длина базиса в мм.

Статический метод. Статический метод считается “классическим” методом спутниковых измерений. Метод предполагает, что измерения выполняются одновременно между двумя и более неподвижными приемниками продолжительный период времени. За время измерений изменяется геометрическое расположение спутников, которое играет значительную роль в решении неоднозначности. Большой объём измерений позволяет зафиксировать пропуски циклов и правильно их смоделировать.

Статический метод применяется при выполнении высокоточных работ, при измерениях векторов более 15 – 20 км, а также при ограниченных окнах наблюдений с минимальным количеством спутников.

Продолжительность сеанса зависит от длины измеряемых в сеансе линий, количество одновременно наблюдаемых спутников, типа приемников и требуемой точности. В течение 90% времени наблюдений в сеансе должны приниматься сигналы не менее чем от 4-х спутников.

Основные требования статического метода:

- . наблюдение на пункте не менее 4-х спутников;
- . интервал записи – 20 сек.

Работа на станции начинается с установки антенны. Штатив, на котором устанавливается антенна, должен быть надёжно закреплён для обеспечения неизменности высоты антенны во время измерений.

Центрирование и нивелирование антенны выполняется оптическим центриром с точностью ± 2 мм. При наличии ориентирных стрелок (меток) антенна ориентируется на север.

Все спутниковые измерения относятся к фазовому центру антенны. Ошибка измерения высоты антенны влияет на точность определения всех трех координат пункта. Высота измеряется рулеткой или специальным устройством дважды: до и после наблюдений. Если разность высот антенны в начале и конце сеанса превышает 2 мм, то этот сеанс из обработки исключается, а до 2 мм – усредняется. Измерения выполняются в соответствии с Руководством пользователя используемого приемника и записываются в журнале установленного образца.

Измерения начинаются согласно утвержденному “Расписанию спутниковых измерений”. Разрешается включение приемника за 5 минут до установленного начала измерений. Опоздание не допускается, так как это уменьшит время совместной работы приемников в сеансе рекомендуется иметь между исполнителями (бригадами) радиосвязь. Решение о досрочном прекращении сеанса принимает руководитель работ.

Перед началом измерений проверяются (устанавливаются) рабочие установки приемника, такие как угол отсечки (маска) наблюдаемых спутников, интервал записи, сохранение измерений и объем свободной памяти. Интервал записи должен быть одинаковым для всех совместно работающих приемников. После включения приемника необходимо убедиться, что приемник отслеживает необходимое количество спутников и вычисляет своё местоположение.

До начала сеанса наблюдений в приемник вводится название пункта, высота антенны, код оператора и другая информация, ввод которой предусмотрен Руководством пользователя. Параллельно ведутся записи в полевом журнале установленного образца.

В процессе наблюдений необходимо проверять работу приемника каждые 15 минут. Проверяются: электропитание, сбои в приеме спутниковых сигналов, количество захваченных спутников, значение DOP. При ухудшении этих показателей рекомендуется увеличить время наблюдений.

При необходимости во время сеанса измеряются метеопараметры: температура воздуха, давление, влажность.

Необходимым условием бесперебойной работы приемника на станции является непрерывность подачи электропитания. В комплекте приемника на станции должны быть заряженные запасные батареи (аккумуляторы). В случае сбоя в электропитании необходимо как можно быстрее подключить запасную батарею. При этом, если приемник бездействовал более 10% от времени измерений соответственно увеличивается продолжительность сеанса.

Спутниковые приемники работают в температурном диапазоне, установленном изготовителем. Атмосферные осадки, туман и т. п. не влияют на работу приемника. Разряды атмосферного электричества могут вызвать сбои в измерениях. При холодной погоде снижается время работы аккумуляторов.

2.5 Причины возникновения землетрясений

Любое землетрясение - это мгновенное высвобождение энергии за счет образования разрыва горных пород, возникающего в некотором объеме, называемом очагом землетрясения, границы которого не могут быть определены достаточно строго и зависят от структуры и напряженно-деформированного состояния горных пород в данном конкретном месте.

Деформация, происходящая скачкообразно, излучает упругие волны. Объем деформируемых пород играет важную роль, определяя силу сейсмического толчка и выделившуюся энергию.

Большие пространства земной коры или верхней мантии Земли, в которых происходят разрывы и возникают неупругие тектонические деформации, порождают сильные землетрясения: чем меньше объем очага, тем слабее сейсмические толчки. Гипоцентром, или фокусом, землетрясения называют условный центр очага на глубине, а эпицентром - проекцию гипоцентра на поверхность Земли. Зона сильных колебаний и значительных разрушений на поверхности при землетрясении называется плейстосейстовой областью. По глубине расположения гипоцентров землетрясения делятся на три типа: 1) мелкофокусные (0-70 км), 2) среднефокусные (70-300 км), 3) глубокофокусные (300-700 км). Чаще всего очаги землетрясений сосредоточены в земной коре на глубине 10-30 км. Как правило, главному подземному сейсмическому удару предшествуют локальные толчки - форшоки. Сейсмические толчки, возникающие после главного удара, называются афтершоками. Происходящие в течение значительного времени афтершоки способствуют разрядке напряжений в очаге и возникновению новых разрывов в толще горных пород, окружающих очаг.

Очаг землетрясения характеризуется интенсивностью сейсмического эффекта, выражаемого в баллах и магнитуде. В России используется 12-балльная шкала интенсивности Медведева-Шпонхойера-Карника (MSK-64).

Согласно этой шкале, принята следующая градация интенсивности землетрясений: I-III балла - слабые, IV-V - ощутимые, VI-VII - сильные (разрушаются ветхие постройки), VIII - разрушительные (частично разрушаются прочные здания, падают фабричные трубы), IX - опустошительные (разрушается большинство зданий), X - уничтожающие (разрушаются мосты, возникают оползни и обвалы), XI - катастрофические (разрушаются все сооружения, изменяется ландшафт), XII - губительные катастрофы (вызывают изменения рельефа местности на обширной

территории). Магнитуда землетрясения по Чарльзу Ф. Рихтеру определяется как десятичный логарифм отношения максимальных амплитуд сейсмических волн данного землетрясения (A) к амплитуде таких же волн некоторого стандартного землетрясения (A_x). Чем больше размах волны, тем соответственно больше смещение грунта:

Магнитуда 0 означает землетрясение с максимальной амплитудой 1 мкм на эпицентральной расстоянии в 100 км. При магнитуде, равной 5, отмечаются небольшие разрушения зданий. Опустошительный толчок имеет магнитуду 7. Самые сильные из зарегистрированных землетрясений достигают величины 8,5-8,9 по шкале Рихтера. В настоящее время оценка землетрясений в магнитудах применяется чаще, чем в баллах.

Между интенсивностью (I_0) землетрясения в эпицентре, которое выражается в баллах, и магнитудой (M) существует соотношение

$$I_0 = 1,7 \cdot M - 2,2; M = 0,6 \cdot I_0 + 1,2.$$

Более сложное уравнение характеризует связь между интенсивностью колебания I_0 , магнитудой M и глубиной очага H :

$$I_0 = aM - b \log H + c,$$

где a , b , c - коэффициенты, определяемые эмпирически для конкретного района землетрясения.

Линии, соединяющие пункты с одинаковой интенсивностью колебаний, называются изосейстами. В эпицентре землетрясения поверхность Земли испытывает в основном вертикальные колебания. При удалении от эпицентра возрастает роль горизонтальной составляющей колебаний.

Энергия, выделяющаяся при землетрясениях, $E = \rho \cdot 2\pi r V (a / T)$, где V - скорость распространения сейсмических волн, ρ - плотность верхних слоев Земли, a - амплитуда смещения, T - период колебаний. Исходным материалом для расчета энергии служат данные сейсмограмм. Б. Гутенберг, как и Ч. Рихтер, работавший в Калифорнийском технологическом институте,

предложил связь между энергией землетрясения и его магнитудой по шкале Рихтера:

$$\log E = 9,9 + 1,9M - 0,024M^2.$$

Данная формула показывает колоссальное возрастание энергии при увеличении магнитуды землетрясения (рис. 2). Энергия землетрясений в несколько миллионов раз превышает энергию стандартной атомной бомбы в 100 кт ($1000 \cdot 10^{18}$ эрг). Например, при Ашхабадском землетрясении 1948 году выделилось энергии 10^{23} эрг, при Хаитском в Таджикистане в 1949 году - $5 \cdot 10^{24}$ эрг, в 1960 году в Чили - 10^{25} эрг. По всему земному шару в среднем за год за счет землетрясений выделяется около $0,5 \cdot 10^{26}$ эрг энергии.

Важным понятием в сейсмологии является удельная сейсмическая мощность, то есть количество энергии, выделившейся в единице объема, например в 1 м^3 , за единицу времени 1 с. Сейсмические волны, образующиеся при мгновенной деформации в очагах землетрясений, производят основную разрушающую работу на поверхности Земли. Известны три главных типа упругих волн, создающих такие сейсмические колебания, которые ощущаются людьми и вызывают разрушения: объемные продольные (Р-волны) и поперечные (S-волны), а также поверхностные волны.

Продольные волны представляют собой чередование зон сжатия и растяжения горных пород, и они проходят через твердые, жидкие и газообразные вещества. При своем распространении продольные волны как бы попеременно сжимают горные породы или растягивают их. Часть энергии Р-волн, выходя из недр Земли на ее поверхность, передается в атмосферу в виде звуковых волн, которые воспринимаются людьми при частоте более 15 Гц. Р-волны являются самыми быстрыми из объемных волн. Скорость распространения Р-волн, где m - модуль сдвига, ρ - плотность среды, в которой распространяется волна, и l - коэффициент, связанный с модулем всестороннего сжатия K .

Поперечные волны при своем распространении сдвигают частицы вещества под прямым углом к направлению своего пути. Они не распространяются в жидкой среде, так как модуль сдвига в жидкости равен нулю. Скорость поперечных волн меньше продольных. Эти сейсмические волны раскачивают и смещают поверхность грунта как по вертикали, так и по горизонтали.

Ко второму типу относятся поверхностные сейсмические волны, распространение которых ограничено зоной, близкой к поверхности Земли. Они подобно ряби, расходящейся по глади озера. Различают поверхностные волны Лява и волны Рэлея.

Волны Лява (L) заставляют частицы грунта колебаться из стороны в сторону в горизонтальной плоскости, параллельной земной поверхности под прямым углом к направлению своего распространения. Волны Рэлея (R) возникают на границе раздела двух сред и воздействуют на частицы среды, заставляя их двигаться по вертикали и горизонтали в вертикальной плоскости, ориентированной по направлению распространения волн. Скорость волн Рэлея меньше, чем волн Лява, и обе они распространяются медленнее, чем продольные и поперечные сейсмические волны и довольно быстро затухают с глубиной, а также с удалением от эпицентра землетрясения.

Предположим, что на рис. 6 (А) изображен участок поверхности примерно 50—100 км в поперечнике, причем самые слабые породы залегают вдоль линии *xy* (например, это может быть старый разлом). Представим себе, что пунктирные линии — это очень длинные прямые заборы, поставленные под прямым углом к линии слабых пород, и что поверхность медленно деформируется региональными силами, возникшими в земной коре. Со временем заборы приобретут форму, показанную на рис. (Б). Пока это продолжается (а этот процесс может длиться столетие и более), в породах накапливается упругая энергия, как в сжатой пружине. В конце концов, напряжение может достичь такой величины, что слабые породы уже

не смогут его выдержать и внезапно произойдет разрыв вдоль линии ослабления. Таким образом, освободится накопленная энергия (как если бы мы внезапно отпустили сжатую пружину). По обе стороны от разрыва породы вернутся в ненапряженное состояние. Движение проявится наиболее сильно вблизи разрыва, а по мере удаления от него в обе стороны будет постепенно уменьшаться. Волны, порожденные этим внезапным движением отдачи, и называются землетрясением.

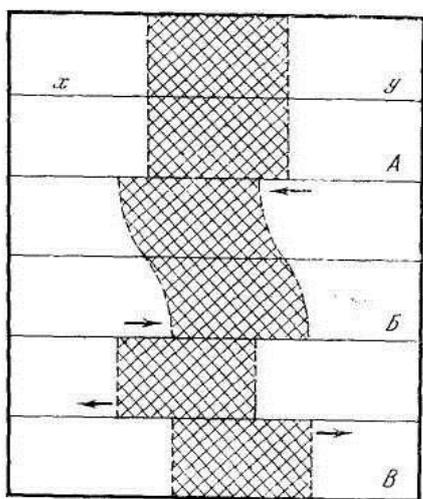


Рис.6 Упругая отдача. Региональные напряжения медленно деформируют участок, на котором наиболее слабые породы залегают вдоль линии XU , накапливая в породах упругую энергию, пока он не приобретет форму, показанную на рис. B . Когда напряжение превысит прочность пород, произойдет разрыв вдоль линии XU , с высвобождением накопленной энергии в виде сейсмических волн и образованием геологического разлома (B)

2.6 Активные разломы на территории Узбекистана

Территория Узбекистана занимает центральную часть Средней Азии и расположена в области перехода от горных сооружений Тянь-Шаня к Туранской платформе. Эта переходная область характеризуется неоднородными проявлениями сейсмичности, обусловленной сложным геодинамическим взаимодействием литосферных плит.

Одна из самых активных в сейсмическом отношении Южно-Тянь-Шаньская зона имеет почти прямолинейную форму и простирается далеко на восток, захватывая территорию западного Китая. На юге Узбекистана она резко меняет своё ориентацию и протягивается в северо-западном направлении через Туранскую плиту, возможно, вплоть до Мангышлака. Здесь, в центральной части Туранской плиты, на западном продолжении Южно-Тянь-Шаньской зоны, в Бухарской области Узбекистана, произошли самые крупные из известных на этой платформенной территории Газлийские землетрясения с магнитудами $M=7.0$ и 7.3 в 1976 г. и с $M=7.2$ - в 1984 г.

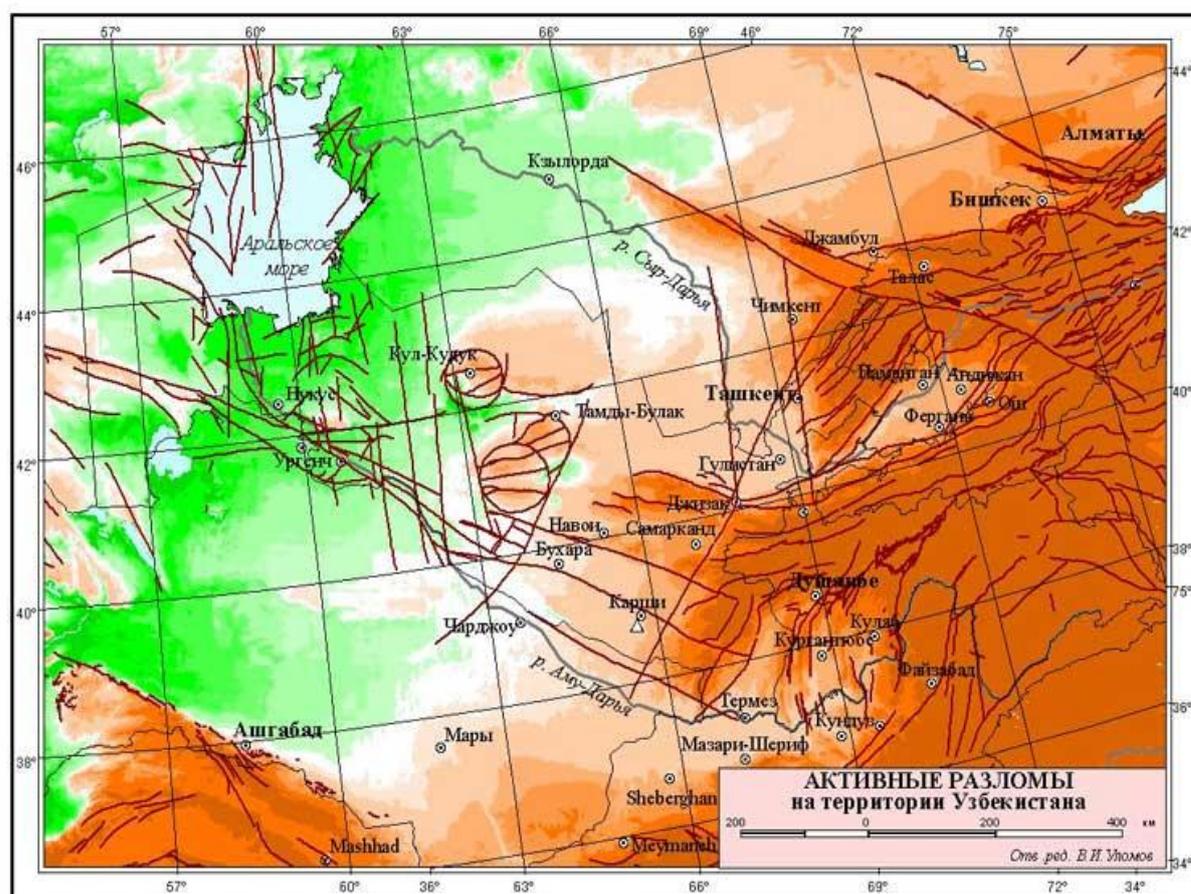


Рис.7 Активные разломы на территории Узбекистана

2.7 Тектонические движения и структурная зональность Каржантауского разлома

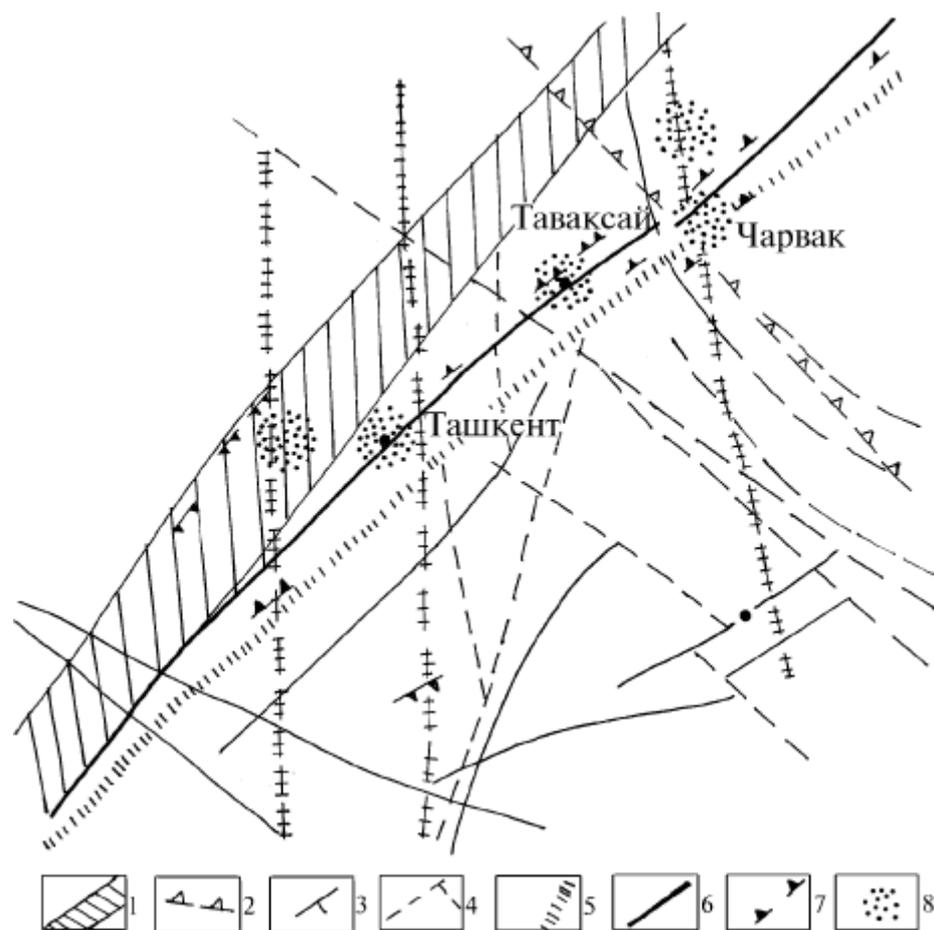


Рис.8 Схема района исследования с элементами разрывной тектоники и эпицентрами землетрясений зоны Каржантауского разлома. Составил А.Р. Ярмухамедов.

Разломы: 1 – отрезок Западно-Тянь-Шаньского; 2 – поперечный Угам-Кумбельский; 3 – продольные; 4 – поперечные разрывы и линеаменты; 5 – разломы и линеаменты, выраженные в геофизических полях; 6 – Каржантауский; 7 – палеосейсмодислокации; 8 – эпицентры землетрясений с $M > 5$.

2.8 Мониторинг геодезических процессов

Неопределенности в оценке сейсмоопасности различных участков территории земной поверхности вызваны отсутствием достаточных сейсмотектонических материалов. Но уточнение исходного сейсмического балла возможно при условии проведения мониторинговых сейсмогеологических и топогеодезических исследований. Достоверное знание сейсмической опасности конкретной территории позволит снизить стоимость строительства, обеспечить безопасное проживание населения и функционирование предприятий и сооружений, значительно сократить затраты на восстановительные работы.

Изучение современных движений и деформаций, происходящих в земной коре требует проведения в мониторинговом режиме высокоточных геодезических измерений смещений реперов специально оборудованных наблюдательных станций - геодинамических полигонов. Жесткие требования к проведению подобного рода геодезических работ - обширные территории, охватываемые измерениями, высокий уровень точности определения величин сдвижений и деформаций, короткие периоды между сериями инструментальных измерений, все это предопределяет необходимость использования при проведении исследований современного высокоточного и производительного геодезического оборудования.

Определения величин смещений и деформаций производятся путем многократных переопределений координат реперов и геометрических элементов - длин и превышений специально оборудуемых наблюдательных станций. Тип, конструкция, размеры и плотность реперов наблюдательной станции выбираются в зависимости от геологических условий исследуемых объектов и поставленных задач фундаментальных и прикладных исследований. Репера наблюдательных станций закладываются согласно соответствующим инструктивным материалам, в результате чего становится возможным суммарное поле деформаций разложить на поля естественных и техногенных деформаций. Количество пунктов деформационной

геодезической сети во многом зависит от площади исследуемой территории. Плотность сети наблюдательных пунктов во многом определяется размерами техногенных объектов, удалением от них, параметрами охраняемых сооружений, тектоникой месторождения и определяется индивидуально в каждом конкретном случае. Как правило, в качестве реперов наблюдательной станции используются уже существующие пункты геодезических сетей - государственной геодезической сети (ГГС). Для увеличения плотности сети используются отдельные репера существующих профильных линий, заложенных для изучения процесса сдвижения традиционными геодезическими методами, а также репера, специально закладываемые на разных этапах мониторинговых измерений для уточнения параметров развития процесса сдвижения на отдельных участках.

Таким образом, при исследовании геодинамических процессов с применением GPS-технологий, в основном используются два пространственно-временных режима - разовое переопределение исходных координат пунктов ГГС и опорных геодезических сетей, и измерение величин смещений и деформаций в мониторинговом режиме. Наиболее часто при выполнении продолжительных исследований находит применение комбинированный режим, когда при выполнении нулевого цикла работ переопределяются исходные координаты реперов наблюдательной станции, а при выполнении последующих циклов измерений определяются смещения и деформации, произошедшие за определенный период времени.

Для успешного применения комплексов спутниковой геодезии при изучении процесса деформирования большое значение имеет организация и планирование полевых работ, особое внимание уделяется конструкции реперов наблюдательной станции. Как уже отмечалось выше, исследование деформаций в мониторинговом режиме, подразумевает многократное, от цикла к циклу, выполнение точных геодезических измерений на одних и тех же пунктах сети, по одной программе работ с дальнейшим анализом изменений геометрических взаимосвязей между реперами. Из этого вытекает

важная особенность геодинимических полигонов: возможность детального изучения условий проведения наблюдений на каждом пункте сети и использование их при планировании времени и периода проведения спутниковых измерений, специальная подготовка отдельных пунктов сети с целью устранения причин затрудненного или некачественного приема спутникового радиосигнала. Поскольку одним из самых главных требований производства высокоточных геодезических работ с применением GPS-оборудования является хорошая радиовидимость на всех определяемых пунктах, которая обеспечивается следующими факторами: низким значением коэффициента PDOP, высоким соотношением "сигнал/шум", качеством радиосигнала и отсутствием потери целых циклов при приеме радиосигнала, необходимо учитывать эти факторы заранее.

В заключение следует отметить, что применение современных методов традиционной и спутниковой геодезии для наблюдений за процессом движения земной поверхности позволило нам проводить исследования на качественно более высоком уровне. Измерения, проводимые с использованием современных геодезических комплексов показали свою высокую эффективность для решения задач геомеханики, благодаря чему стали возможными не только дискретные измерения, но и регулярный мониторинг деформаций и напряжений, происходящих в земной коре.

3. Применение спутниковой технологии для предсказания землетрясений

3.1 Спутниковые системы геопозиционирования GPS и ГЛОНАСС

Метод сбора данных с помощью GPS и ГЛОНАСС приемников принципиально не отличается от традиционных полевых геодезических работ, но имеет ряд несомненных преимуществ, вытекающих из особенностей и технических возможностей спутниковой технологии позиционирования.

Помимо задач сбора и обновления информации, GPS-технологии решают и еще одну важную проблему геоинформационной системы - создание координатной основы цифровой карты, любой объект которой имеет вполне определенные координаты, <привязанные> к жесткой координатной основе. Как правило, исходной координатной основой являются пункты ГГС (Государственной геодезической сети), более или менее равномерно расположенные на территории. Развитие геодезических сетей с применением традиционных приборов и методов слишком долгий и дорогой процесс, особенно там, где внешние условия (отсутствие прямой видимости на залесенной территории, в горах, городах) препятствуют проведению традиционных геодезических работ. Поэтому применение GPS-технологий может существенно снизить затраты на проведение комплекса работ по созданию координатной основы, а главное, повысить точность и надежность геодезической сети.

Спутниковые навигационные системы GPS (параллельное название NAVSTAR – Navigation Satellite Timing And Ranging) и ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система) применяются для решения навигационных и геодезических задач, а также для точного временного обеспечения пользователей системы.

Разработка GPS начата в 70-х годах. Запуск спутников первого блока начался в 1973 году и в 1983 году система открыта для гражданского использования. GPS состоит из трёх подсистем (сегментов): космических

аппаратов (КА), наземного контроля и управления (НКУ), аппаратуру пользователей (АП).

КА состоит из “созвездия” искусственных спутников Земли и средств вывода их орбиту. На каждом спутнике установлены солнечные батареи питания, двигатели корректировки орбит, несколько высокоточных атомных эталонов частоты, аппаратура для приёма и передачи радиосигналов, бортовые компьютеры. Подсистема КА состоит из 24-х спутников (из них 3-резервные), расположенных по четыре в шести орбитальных плоскостях, развёрнутых через 60 градусов. Наклон плоскостей экватор равен 55 градусов. Орбиты практически круговые. Средняя высота спутников 20180 км, период обращения 11 ч 58 мин. Скорость перемещения вдоль орбиты около 3,9 км\ч.

НКУ состоит из станции слежения за спутниками, службы точного времени, главной станции с вычислительным центром и нескольких станций загрузки информации на спутники. Основной задачей НКУ является мониторинг целостности GPS: контроль за работой спутников, сбор необходимой информации для определения и прогнозирования координат спутников (эфемерид), формирования времени системы и его синхронизации относительно всемирного времени, загрузка данных в память каждого спутника (дважды в сутки).

АП состоит из аппаратно-программных средств, реализующих основное назначение СНС: приемник спутниковых сигналов (далее по тексту “приемник”) с комплектом дополнительного оборудования и программного обеспечения для обработки спутниковых измерений. GPS приемники в зависимости от конструкции и встроенного программного обеспечения делятся на два типа: одночастотные, выполняющие измерения только по частоте L1 (C/A-код, P-код, фаза несущей частоты) и двух частотные, выполняющие измерения по L1 и L2 (P-код, фаза несущей частоты).

Система ГЛОНАСС по своей структуре, принципом работы и характеристикам аналогична системе GPS и может использоваться совместно с ней.

Главным преимуществом совместного использования двух систем является значительное увеличение числа наблюдаемых спутников, что позволит повысить точность измерений, их надёжность достоверность при уменьшений и времени наблюдений.

GPS и ГЛОНАСС работают в гринвичской пространственной прямоугольной геоцентрической системе координат. Начало координат расположено в центре масс Земли. Ось Z направлено на условный земной полюс, соответствующий среднему за 1900-1905 гг. его положению принятому в качестве международного условного начало. Ось X лежит на пересечении экватора и плоскости гринвичского меридиана, ось Y в плоскости экватора дополняет систему до правой. Системы координат GPS и ГЛОНАСС определены независимо друг от друга и отличаются между собой: GPS работает в системе координат WGS-84 (World Geodetic System, 1984), ГЛОНАСС - в системе координат ПЗ-90 (Параметры Земли, 1990). Эти системы основаны на разных эллипсоидах. Параметры эллипсоидов приведены в табл.4.

Таблица 4

Система координат	Полуось а, м	Сжатие
WGS-84	6 378 137	1:298,257223563
ПЗ-90	6 378 136	1:298,257839303

Технология относительного метода определения координат местоположения (относительного позиционирования) заключается в одновременном выполнении спутниковых измерений двумя (и более) приемниками. Так, если один приемник установлен на пункте с известными координатами, а другой – на определяемом, то в результате спутниковых измерений можно получить пространственные координаты второго пункта.

Если оба приёмника установлены на пунктах с неизвестными координатами, то можно получить приращение координат и вычислить расстояние между ними. Применение этого метода позволяет определить пространственный вектор между пунктами с точностью $5 \text{ мм} + 1 \times 10^{-6} D \text{ мм}$, где D -расстояние в мм.

При использовании спутниковой технологии рекомендуются две основные схемы построения сетей:

замкнутых геометрических фигур (полигонов);
радиальная.

Построение в виде замкнутых геометрических фигур представляет собой систему пунктов с определением векторов между ними таким образом, чтобы они образовали замкнутые геометрические фигуры (полигоны).

Построение в виде радиальных сетей представляет собой систему с определением векторов между референсными приемниками и мобильным приемником. Эти векторы считаются “висячими”.

Сегодня GPS система включает в себя 28 спутников. Для покрытия земного шара необходимо только 24 спутника, остальные выступают в качестве запасных. Спутники распределены по шести орбитам на высоте около 20 000 км (по четыре спутника на каждой орбите) и имеют наклон 55° по отношению к экватору. Они движутся со скоростью около 3 км/с (два оборота вокруг Земли менее чем за сутки). Такая конфигурация системы позволяет принимать сигнал сразу от нескольких спутников практически в любом месте Земли (за исключением некоторых приполярных областей). Каждый спутник рассчитан на работу в течение десяти лет. Новые спутники запускаются на орбиту по мере необходимости, например в случае выхода, из строя или необходимости провести профилактические работы.

Упрощенная схема функционирования GPS приемника

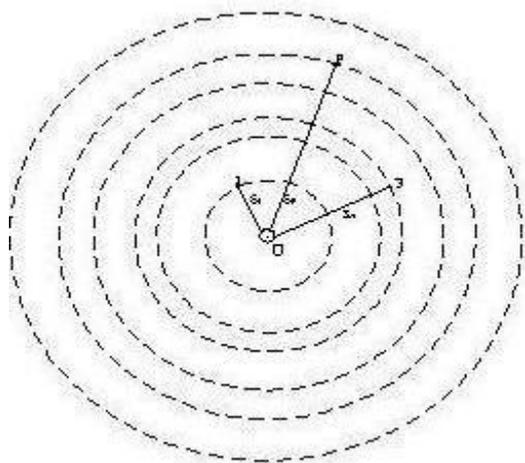


Рис.9 Схема определения координат точек относительно спутников

$$S_1 = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2}$$

$$S_2 = \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + (z_2 - z_0)^2}$$

$$S_3 = \sqrt{(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 + (z_3 - z_0)^2}$$

3.2 Управление GPS – приемником

GPS – приемника Z – 12 фирмы ASHTECH спроектированный для наиболее полного использования системы «NAVSTAR», обеспечивает высокую точность при топографической съемке и навигации. Модель Z – 12 наиболее сложный GPS приемник – предлагающий действительное автоматическое слежение в режиме полного видения. Благодаря двадцати независимым каналам, он автоматически отслеживает все видимые спутники, делая ненужным ручной, программируемый или предварительно программируемый выбор общих спутников, одновременно наблюдаемых на пунктах сети.



Рис. 10 GPS – приемник Z – 12 фирмы ASHTECH.

Система включает микропоисковую антенну, смонтированную на прецизионном основании, обеспечивающем точную установку на съемочной точке. Основание содержит компас для точной установки и ориентации антенны. Приемник Z – 12 прост в обращении. После установления штатива надо подключить питание в обычном полевом режиме использования.

Кнопки управления находятся спереди, а входные и выходные разъемы – сзади.

Функциональность достигается с помощью нескольких простых в использовании экранов. INFORMATION в заглавной строке экрана означает только отображение CONTROL в заглавной строке означает экран с которым взаимодействуют, как например, экраны 4 и 9. Все под – экраны в главе описания экрана верхнего уровня.

Таблица 5

ЭКРАН	ДИСПЛЕЙ / ФУНКЦИЯ
0	Информация по слежению за спутниками
1	Орбитальная информация
2	Навигационная информация
3	Информация о времени слежения
4	Управление режимами приемника
5	Управление дифференциальными режимами
6	Маршрутная навигация
7	Управление приемом спутников
8	Ввод системных команд
9	Ввод идентификаторов точек сети
10	Информация о расположении спутников
11	Информация по спутниковому прогнозу
12	Экран для ввода штрихового кода

Передняя панель

Передняя панель приемника включает подсвечиваемый жидкокристаллический дисплей размером 8 строк 40 символов и 16 кнопок для ввода данных и управления приемником.

Задняя панель

Приемник Z – 12 работает на входном напряжении между 10 и 32 vdc от внешнего источника питания. Два входных разъема позволяют использовать два внешних источника питания. Когда только один источник питания

подсоединен он близок к тому, чтобы разрядиться продолжительный гудок указывает на то, что напряжение упало ниже 10 вольт.

ON/OFF – осуществляет включение и выключение приемника;

CAMERA IN – позволяет записывать точное время срабатывания фотокамеры;

1PPS BNS – разъем выдает сигнал с частотой 1Гц, синхронизированный с GPS – временем;

ANTENNA – это разъем для кабеля 2-х частотной (L1 – L2) антенны;

SERIAL PORT 1 and 2 – доступны четыре серийных порта RS – 232. Два порта (А и В) используются для передачи записанных данных из приемника в компьютер и для передачи другой информации из приемника и в него. Все четыре используются в дифференциальном режиме. Разъем 1 соответствует портам А и С, разъем 2 – В и Д.

Основание антенны

Геодезическая микропоисковая антенна располагается на прецизионном основании, защищенном водонепроницаемой крышкой. Низко шумовой предуселитель, расположенный в основании антенны обеспечивает достаточное усилие для кабеля до 30 метров длиной.

Восемь отверстий обозначенных буквами от А до Н на экране антенны позволяют измерять высоты антенны при помощи специальной складной измерительной линейки, внешний диаметр отверстий – 0,1318 метра, диаметр экрана 0,1430 метра.

3.3 Методы определения пространственных координат статическим методом

Существует три метода проведения съемки при использовании одновременно двух и более приемников GPS. Эти методы имеют общее название относительные или дифференциальные определения и называются статической, псевдокинематической, кинематической съемкой.

При статической съемке определяются разности фазовых измерений от двух GPS – приемников, захвативших одновременно несколько общих спутников. Один приемник собирает данные о положении известного пункта, другой о положении неизвестного.

Статическая съемка является самым надежным и самым точным методом, определяющим приращение координат с миллиметровой точностью.

В псевдокинематической съемке над статической состоит в малом времени нахождения на точке, над кинематической – в отсутствии необходимости поддержания захвата спутников во время перемещения спутника приемника, недостаток, меньшая точность, чем в статической и кинематической съемках, из – за меньшего размера сегмента данных, более чувствительных к влиянию ионосферных измерений между повторными измерениями.

Кинематический метод позволяет определить большое количество базисных векторов на местности с хорошей спутниковой видимостью. Кинематическая съемка начинается с установки приемников на известной базисной линии для инициализации съемки и устранения фазовой неоднозначности.

Эти три метода могут использоваться в различных комбинациях. При этом большого влияния требует выбор оптимального метода измерения для каждого из участков съемочного проекта.

При составлении съемочного проекта не менее важно выбрать маршрут, обеспечивающий наилучшую видимость спутников.

Последовательность операций при выполнении статической съемки:

- установка приемников с антеннами;
- измерение высоты антенны;
- включение приемника для накопления данных;
- ввод информации о точке;
- пересылка данных из приемника в компьютер для дальнейшей обработки.

В статической съемке используется минимум две стационарные GPS антенны, которые одновременно измеряют псевдодальности и фазы несущих от нескольких общих спутников за конкретный период времени. Одна из антенн центрируется на известном пункте, другие устанавливаются на неизвестных пунктах.

Занимая одновременно более одного пункта, можно исключить некоторые общие ошибки и существенно увеличить точность. Для точного и надежного определения базисных векторов и координат неизвестных пунктов данные, накопленные в поле, обрабатываются на персональном компьютере в камеральных условиях.

4. Анализ результатов опытных работ по применению GPS – технологии

4.1 Задачи и цели

В результате развертывания глобальных навигационных систем, создания специальной геодезической приемной аппаратуры открываются перспективы перехода на современную новую технологию выполнения топографо-геодезических работ которые обеспечивают необходимую точность и отличаются оперативностью и экономичностью. Используемая в настоящее время геодезическая приемная аппаратура позволяет быстро и с высокой точностью передавать координаты на значительные расстояния с меньшими материальными и временными затратами по сравнению с традиционными наземными методами. Она является эффективным средством при создании геодезической основы для топосъемок, для наблюдений за деформациями сооружений (мостов, плотин, трубопроводов и т.д.) для определения координат отдельных точек, для получения расстояний в труднодоступной местности (болотистой, залесенной и т.д.), на участках, разделенных водными пространствами, для оперативного выполнения работ в неблагоприятных метеорологических условиях (дождь, снег, туман).

Целью работы являлась выполнение опытно-производственных работ по определению координат пунктов геодезической сети с помощью геодезических спутниковых систем и освоение новой современной технологии, основывающейся на использовании геодезических спутниковых систем.

4.1. Краткая характеристика объекта, геометрическая схема триангуляции и оценка точности

В нашей работе сметой предусматривалось определение координат и высот четырнадцати пунктов триангуляции 1, 2 и 3 классов, относящихся к «Приташкентскому построению», созданному в 1967 году на объекте «Ташкентский геодезический полигон».

После проведения рекогностировки пунктов по согласованию с руководством ЦАГП были внесены следующие изменения в запроектированный объем работ:

В связи с тем, что здание, на котором расположен пункт Ходжаокрар, находится в аварийном состоянии и в данный момент ремонтируется, этот пункт из числа определенных исключается.

В результате проведенной работы выполнено следующее:

1. Два цикла измерений Ахангаранского эталонного базиса светодальномерами СТ-5 и GPS – системой.
2. Цикл определений пунктов триангуляции 1, 2 и 3 классов в различных комбинациях статистическим методом съемки.
3. Два цикла определения пунктов полигонометрии псевдокинематическим методом.
4. Обработка GPS – измерений на персональном компьютере с помощью программного обеспечения PRISM.

СХЕМА

Расположения пунктов, определяемых GPS системой на объекте
«Ташкентский»

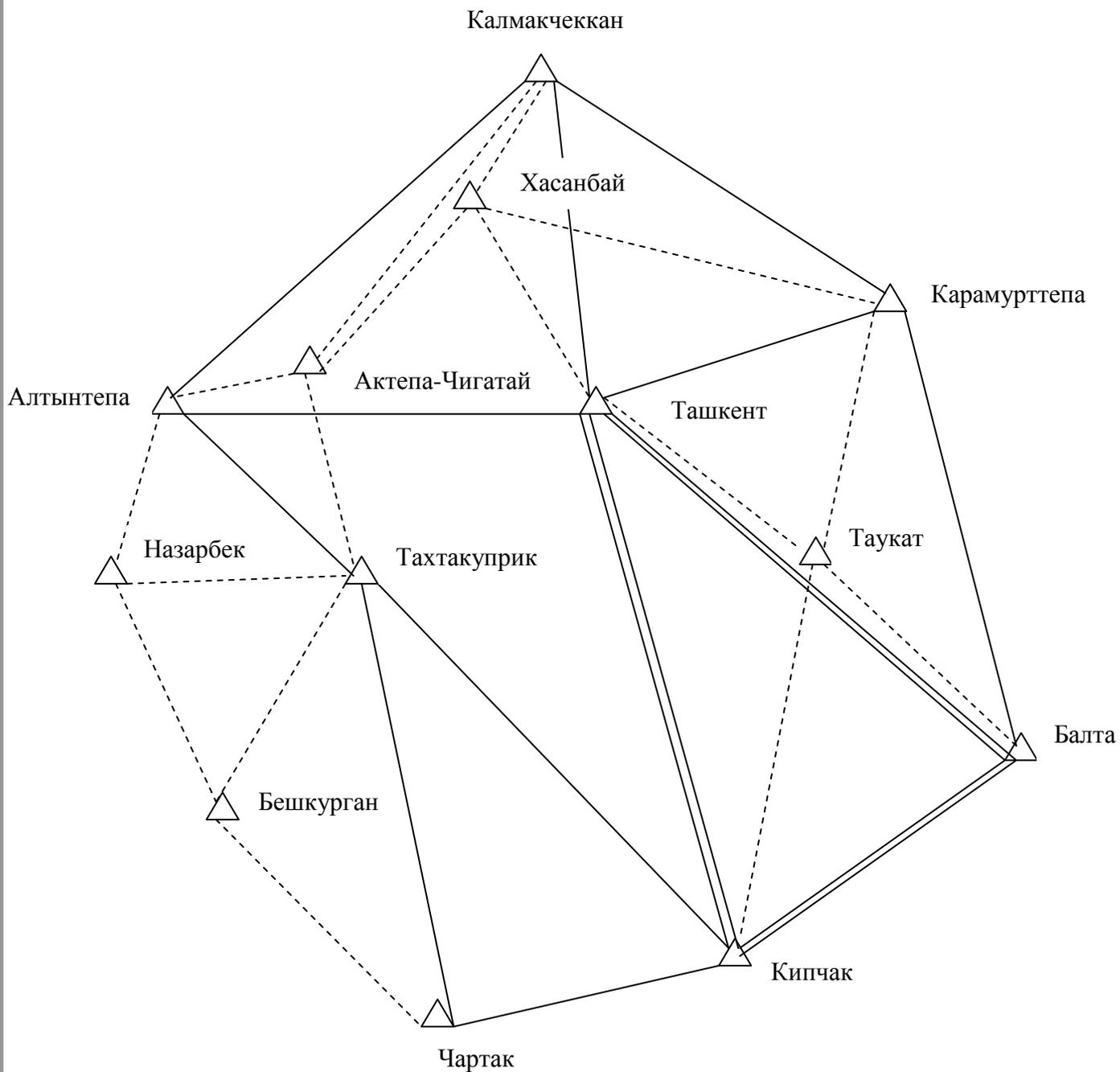
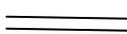


Рис.11

Условные обозначения

	Стороны триангуляции 1 класса
	Стороны триангуляции 2 класса
	Стороны триангуляции 3 класса
	Сигнал

4.3 Схема определения координат пункта GPS – системы на объекте «Ташкентский»

Производство геодезических измерений традиционными методами особенно в городских условиях связано с определенными трудностями: зависимость от погодных условий; влияние задымленности и загазованности атмосферы; проведение измерений с пунктов, расположенных на крышах зданий и сооружений или со сложных сигналов; ограничения по времени высокоточных наблюдений, которые, как правило выполняются в утренние и вечерние часы суток. Применение GPS – методов взамен традиционных позволяет сократить сроки выполнения полевых и камеральных работ и обеспечить необходимую точность получения конечных результатов. Для сравнения двух методов на объекте «Ташкентский» с помощью GPS – измерений были повторно получены координаты и высоты пунктов геодезической сети.

На пунктах в качестве наружных знаков установлены металлические сигналы высотой от 8 до 35м, которые могут значительно влиять на прием спутниковых сигналов и тем самым качество измерений, за исходный пункт был принят фундаментальный репер 12-732, координаты которого определены с расположенного рядом пункта Ташкент.

Работы выполнялись с использованием приемной геодезической аппаратуры фирмы «ASHTECH», которая состояла из 4 GPS приемников Z-12. Измерения производились статическим методом. Параметры приемников использовались по умолчанию: интервал записи данных – 20 сек; Минимальное число спутников – 3; Минимальный угол возвышения спутников – 10^0 . Для повышения точности измерений на каждом пункте определялись метеоданные. При проведении измерений базовая станция постоянно располагалась на исходном пункте.

СХЕМА

расположения пунктов, определенных GPS – системой на объекте
«Ташкентский»

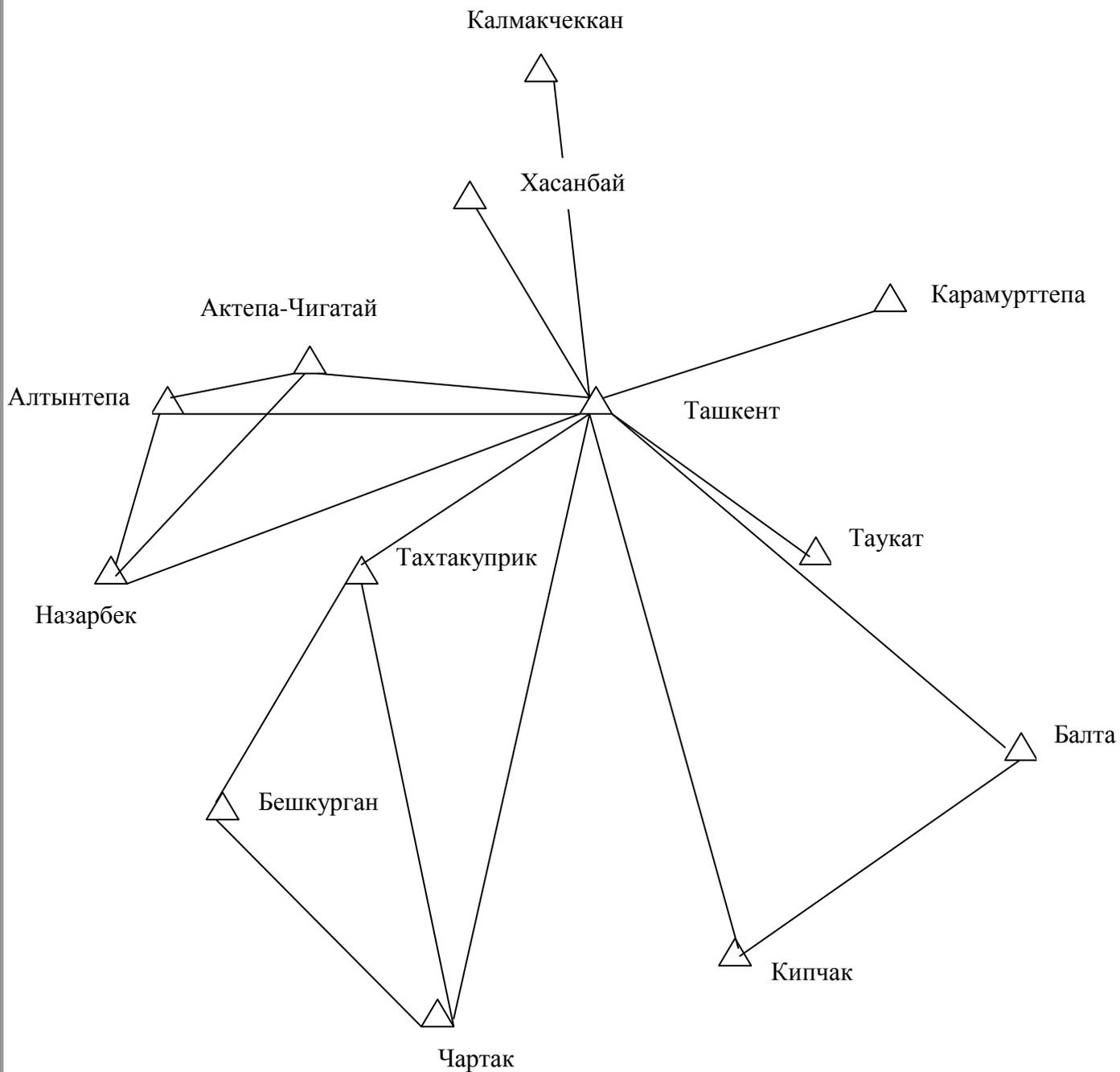


Рис.12

Условные обозначения

—	Определенный вектор
△	Сигнал

Высоты контрольных точек определялись геометрическим нивелированием. GPS – измерения выполнялись в соответствии с рекомендациями фирмы «ASHTECH», изложенными в руководстве пользователя приемника Z-12. Наибольшие расхождения в координатах, определенных двумя методами, получены на п. Кипчак и п. Балта. Снижение точности определения координат на п. Кипчак, как можно предположить, вызвано влиянием металлического наружного знака на прохождение спутникового сигнала и рядом расположенных деревьев.

На пункте Балта координаты были получены дважды:

1. При установке подвижной станции на пункте без контрольных точек.
2. При установке подвижных станций только на контрольных точках, с которых по результатам линейных и угловых измерений были повторно определены координаты п. Балта. Ниже приведены разности координат из сравнения двух методов: для первого случая

$\Delta X = - 356$ мм, $\Delta Y = - 560$ мм и $\Delta H = +1185$ мм,

Для второго случая

$\Delta X = - 39$ мм, $\Delta Y = +94$ мм и $\Delta H = +322$ мм.

Большие расхождения в первом случае обусловлены тем, что рядом с пунктом расположено высокое дерево, закрывающее значительную часть небосвода. Расхождение высот из сравнения двух методов получены примерно одного порядка, за исключением п. Ташкент и п. Таукат, и составляющим в среднем 0,4м.

В обработку приняты все измерения, включая и заведомо неприемлемые которые в связи с отказом компьютера (внесен вирус) отредактировать невозможно.

4.4 Результаты измерений

По результатам сравнения длин линий определенных из наблюдений GPS и измеренных электронным тахеометром, небольшие расхождения получены на п. Калмакчеккан между контрольными точками B001 – B002 и

на Актепа-Чигатай между пунктом и контрольной точкой E002, на п. Калмакчеккан эти расхождения можно объяснить влиянием деревьев и большой металлической цистерны, расположенной около контрольной точкой B002. На п. Актепа-Чигатай можно предполагать, что расположения связаны с влиянием металлических частот сигнала близко расположенных к приемной антенне станции. При сравнении превышений, определенных двумя методами, наибольшие расхождения получены на п. Хасанбай и на п. Актепа-Чигатай по линиям, контрольная точка – пункт, что не наблюдается между контрольными точками. Это еще раз подтверждает о влиянии металлических наружных знаков на результаты измерений.

Из сравнения длин сторон геодезической сети г. Ташкента, полученных из наблюдений GPS и измеренных светодальномером, наибольшие расхождения по сторонам п.Актепа-Чигатай-п. Тахтакупрюк, п.Алтынтепа-п.Тахтакупрюк, и П.Назарбек – п. Тахтакупрюк. Все эти расхождения получены с одним знаком по сторонам, связанным с п. Тахтакупрюк и требуют, прежде всего анализа материалов линейных измерений, выполненных светодальномером.

ВЕДОМОСТЬ

Сравнений длин линий измеренных электронным тахеометром на Ташкентском геодезическом полигоне и полученных из наблюдений GPS.

Таблица 6

Название линий	Длины линий, приведенные по гор-ту S, м		ΔS , мм	Прим-е
	Электронный тахеометр	GPS		
Алтынтепа - Калмакчеккан	15910,599	15910,545	+54	
Актепа – Чигатай - Алтынтепа	4815,695	4815,753	-58	
Актепа – Чигатай - Назарбек	7545,597	7545,828	-56	
Актепа – Чигатай - Тахтакуприк	7617,597	7617,423	+174	
Алтынтепа – Тахтакуприк	10796,230	10796,085	+145	
Чартак - Тахтакуприк	12317,322	12317,376	-54	
Калмакчеккан - Ташкент	11833,732	11833,644	+88	
Алтынтепа - Назарбек	6083,082	6083,106	-24	
Таукат - Ташкент	8436,608	8436,553	+55	
Ташкент - Хасанбай	6819,719	6819,733	-14	
Назарбек - Тахтакуприк	8169,074	8169,962	+112	

Примечание. В Узбекистане 122 пунктов триангуляции 1 класса, 3602 пунктов 2 класса, 5640 пунктов 3 класса.

ВЕДОМОСТЬ

Сравнения координат и высот пунктов триангуляции геодезической сети
г. Ташкента, полученных из наблюдений GPS и приведенные в каталоге.

Таблица 7

Название пункта	ΔX ΔY , мм	Н, м GPS	Н, м из кат.	ΔH , мм	Примечание
Фунд. Реп. 12-732 (0001)			476,417		
Ташкент (Т0001)	-16 -17	476,872	476,874	-2	
Карамурттепа (А000)	-24 -23	537,616	537,167	+449	
Калмакчеккан (В000)	-66 -43	532,599	532,3	+299	
Хасанбай (С000)	-14 -60	480,167	479,6	+567	
Таукат (D000)	-21 +83	480,534	480,449	+85	
Актепа-Чигатай (Е000)	-94 +59	452,821	453,046	-225	
Алтынтепа (F000)	-75 +90	453,273	453,9	-627	
Назарбек (G000)	-111 +180	427,146	427,6	-454	
Тахтакуприк (H000)	+118 +45	449,790	450,2	-410	
Бешкурган (I000)	-67 132	428,044	428,486	-442	
Чартак (J000)	-33 +152	390,798	391,256	-467	
Кипчак (K000)	-12 +325	425,662	425,785	-123	
Балта (L000)	-39 +94	467,716	467,394	+322	

Полученные результаты выполненных работ на объекте «Ташкентский» показывает, что для получения координат и наклонных дальностей с необходимой точностью, отвечающей требованиям современной геодезической сети, необходимо учитывать следующее: при планировании полевых измерений, определяемые пункты должны располагаться в открытой местности и удобных местах, доступных для спутниковых наблюдений; на исходных и на не больших металлических наружных знаках оказывающих экранирующее действие на спутниковые сигналы, наблюдения необходимо выполнять с вынесенной центров; время наблюдений устанавливать в зависимости от точности, предъявляемой к координатам определяемых пунктов и их удаленности от исходных пунктов, для контроля повышения точности координаты пунктов должны определяться с двух и более исходных пунктов.

При высокоточных наблюдениях, для исключения влияния плохой спутниковой геометрии, в программу наблюдений необходимо включать несколько серий измерений, равномерно распределенных в течении суток. При наблюдений выше изложенных рекомендаций и учитывая, что точность измерений по спутниковой технологии значительно выше, чем традиционными методами, приемную геодезическую аппаратуру фирмы «ASHTECH» можно использовать, для определений плановых координат пунктов в геодезических сетях 3 и 4 классов;

Для высокоточных линейных измерений при наблюдениях за геодезическими процессами, за деформациями различных сооружений и выполнения научно-исследовательских работ.

4.5 Методика GPS измерений на Таваксайском полигоне

Измерение координат отдельных пунктов для определения современных движений земной поверхности Таваксайского геодинамического полигона использован статический метод измерений с GPS-приемников фирмы ASHTECH.



Рис. 13 Схема геолого-структурного строения Таваксайского полигона с учетом геодезических построений

Схемы GPS наблюдений в каждом цикле абсолютно идентичные, т.е. одни и те же антенны и приемники устанавливались на одних и тех же реперах. GPS наблюдения велись в статическом режиме 2-х частотными приемниками Z – XII и Z – Surveyor фирмы Ashtech (США).

В 2001 и 2003 годы выполнены измерение смещение пунктов на Таваксайском полигоне (Рис.12) космогеодезическим методом (GPS). Анализ результатов измерений движений пунктов установлено в следующем (Таблицы 1, 2).

Изменение положение пунктов в двух циклах в целом не значительны. Только в отдельных пунктах устанавливаются перемещения превышающие допустимую ошибку, а вертикальное смещение находится в пределах ошибки измерения.

Тем не менее, в западном блоке ограниченный Таваксайским разломом намечается движение на северо-запад, и все пункты испытывают погружение. В восточном блоке разлома проявляется противоположное движение, т.е. на северо-восток и юго-восток. Это показывает на активность разлома. В зоне Таваксайского разлома намечается сдвиговое движение. В северном блоке Каржантауского разлома, относительно восточного блока Таваксайского разлома намечается растяжение.

Сопоставления положений реперов во времени (горизонтальное смещение).

Таблица 8

№	Название реперов	Дата измерений											
		6.06.01		27.11.01.		09.07.02		30.10.02		15.05.03		9.07.03	
		г/с	д/у	г/с	д/у	г/у	д/у	г/с	д/у	г/с	д/у	г/с	д/у
1	Кладбище	0	0	7	171.87	6	9.66	8	219.81	96	66.10	96	247.98
2	8167	0	0	9	251.56	39	88.53	38	254.88	43	18.85	32	161.56
3	Высота	0	0	2	0	3	135.00	11	225.00	27	21.80	21	196.70
4	Астропункт	0	0	7	296.56	2	116.56	14	155.22	35	340.02	29	167.90
5	1339	0	0	4	345.96	8	344.74	10 2	81.55	113	278.63	49	159.71
6	Пашня	0	0	8	315.00	7	116.56	9	186.34	17	356.63	12	184.76
7	Новый	0	0	4	236.31	11	344.74	25	158.63	36	337.01	17	166.76
8	Ферма	0	0	0	0	15	356.19	21	165.96	41	354.43	36	181.59
9	6974	0	0	9	282.52	9	347.47	19	158.75	39	1.47	29	174.09
10	Скала	0	0	9	276.34	6	80.53	10	191.31	28	4.09	27	197.10

Сопоставления положений реперов во времени (вертикальное смещение)

Таблица 9

№ п/п	Название реперов	06.06.01	27.11.01	09.07.02	01.11.02	15.05.03	09.07.03
1.	Кладбище	0	-9	18	-15	-23	1
2.	8167	0	-9	97	-67	-48	-3
3.	Высота	0	1	32	-15	-21	-2
4.	Астропункт	0	5	31	-5	-22	-9
5.	Репер 1339	0	0	35	-58	27	7
6.	Пашня	0	3	22	0	-20	1
7.	Новый	0	0	31	-1	-28	-2
8.	Ферма	0	0	51	-17	-4	-6
9.	6974	0	-11	44	23	-32	-8
10.	Скала	0	-5	32	22	-27	6

Сопоставлением III-II циклов измерений выявляются: в Каржантауском поднятии проявился аномальное движение - вертикальное до 105 (± 5 мм) и горизонтальное до 39 (± 2 мм). Все пункты смещены в восточном или ЮВ направлении, при этом весьма аномальным является пункт 8167.

Пункт расположенный в зоне Каржантауского разлома сдвинен в меридиональном направлении также как пункт 6974.

В целом на полигоне проявляется общее вертикальное поднятие земной коры.

В Чирчикской впадине скорости воздымания пунктов ниже (19-31 ± 5 мм), чем в Каржантауском поднятии (31-106 ± 5 мм). В северном крыле Каржантауского разлома в целом появляется правый сдвиг кроме пункта 6974. Аналогичная тенденция отмечается в южном крле разлома, т.е. в Чирчикской впадине.

Сопоставлением IV-III циклов измерений установлены: смена знака вертикального движения т.е. все пункты испытали опускание. При этом аномально опустились пункты 8167 на 67мм, 1339 на 58 мм, 674 на 21 мм, -

расположенные на Каржантауском поднятии; пункт ФЕРМА испытал опускание на 17 мм. Пункты в Чирчикской впадине опустились до 5 мм.

В горизонтальном плане все пункты смещены в ЮЗ направлении кроме пункта 1339 который смещен субширотно. Аномальными смещениями характеризуются пункты 1339(102 мм), 8167(38мм) в Каржантауском поднятии, а пункты Чирчикской впадины до 25 мм, а разлома-21 мм.

Сопоставление I-IV циклов измерения показало тенденцию движения пунктов вышеописанную сопоставление результатов 3и 4 циклов измерений той же разницей, что все пункты изменили знак и характеризуются противофазным движением кроме пункта 1339, который не изменил направление смещения. При этом пункты Каржантауского поднятия характеризуются поднятием от 17 до 30 мм, Чирчикской впадины от 3 до 30 мм. Аномальное горизонтальное смещение испытывает пункт 1339 до 108 мм и вертикальное опускание –23 мм. Остальные пункты 2-3 раза превышают ошибку измерения.

По результатам четвертого цикла произошел смена знака движений высотных положений пунктов. Такая тенденция проявилась и в горизонтальном смещении пунктов. Тенденция горизонтальных смещений между измерениями 4- и 3 циклами и 4 и 1 циклами сходны, но с разницей изменения знака движений высотных положений пунктов. Такая тенденция высотных и горизонтальных движений пунктов может быть объяснена низкочастотным колебательным движением земной коры во времени. Факт вертикального воздымания и одновременное смещение земной коры полигона как единый блок в южном направлении весьма интересна. При этом намечается активность Каржантауского разлома. По-видимому, здесь синхронно проявляется напряжения сжатия (с севера) и растяжения вызванная поднятием.

В целом измерениями движения в геоструктурах полигона устанавливается аномальное поднятие земной коры.

Заключение

Таким образом, в диссертации рассмотрен вопрос о прогнозировании землетрясений геодезическими методами.

Анализ всех предыдущих работ по этому направлению показывает, что необходимо разработать методику прогнозирования землетрясения, применяя новую геодезическую технологию с применением системы GPS и ГЛОНАСС. Опыт работ, развитых в этом направлении стран, а именно Японии, Китая, США, России и других, показывает на актуальность этой темы. Дело в том, что на всей территории планеты (кроме Антарктиды), происходят землетрясения. Человечество бессильно перед такими природными явлениями, а ученые всего мира, занимающиеся в этом направлении условно делятся на 2 группы:

- 1 – группа сейсмологи;
- 2 – группа геодезисты.

Сейсмологи активно занимаются предсказанием землетрясений, заключающихся в определении сейсмографами горизонтальные и вертикальные смещения на реальное время. Несмотря на это прогноз землетрясений дает не точные результаты.

Геодезические измерения являются точной математической наукой дающей большой и конкретный материал для прогноза землетрясений. Но для этого необходимо выполнить большое количество геодезических измерений. Это осуществлялось с применением триангуляционных методов. С появлением приборов для точного измерения линий, этот метод в настоящее время является не эффективным. Появилась новая методика измерения для определения положения точки на поверхности земной коры. К ним относится GPS система.

Конкретно на территории Узбекистана необходимо запроектировать пункты GPS в таком количестве, чтобы они охватывали всю территории. Если эти пункты расположить по пунктам триангуляции 1 класса, то их количество будет равно 122, но это не означает, что пунктов GPS должно

быть столько. Конкретное количество пунктов GPS будет дополнительно изучено. Необходимо учесть и тот факт, что для Ташкентского мегаполиса составлен договор о построении в Ташкенте главного геодезического пункта. В настоящее время такой пункт построен и сдан в эксплуатацию. Определение координат других пунктов относительно главного пункта осуществляется в непосредственном слежении спутников и главного геодезического пункта. Погрешность определения новых пунктов GPS осуществляется с точностью ± 5 мм в плане и $\pm 10 - \pm 15$ мм по вертикали.

Периодические измерения в сейсмоопасных регионах деформационных параметров, позволяют локализовать эпицентральную область и примерно оценить силу готовящегося землетрясения. Мониторинг деформационных параметров в эпицентральной области, по анализу аномальности изменений, позволяет делать заключение о вероятном времени сейсмического события.

GPS технология, позволяющая изучать деформационное поле для целей прогноза, имеет существенные преимущества перед наземными методами в части точности, площадного охвата, возможности автоматизации измерений и комплексирования с другими измерительными комплексами. Уже сейчас GPS незаменима как инструмент «быстрого реагирования» для изучения пост-сейсмических деформаций в эпицентральных областях происшедших землетрясений.

Несмотря на отдельные достижения в области прогнозирования землетрясения, необходимо эту науку по возможности развивать в дальнейшем.