

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**  
На правах рукописи

**Факультет «Инженерного сервиса»**

**Кафедра «Геодезия и кадастр»**

**ПРЕМЕНЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ПРИБОРОВ  
СПУТНИКОВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРИ  
МОНИТОРИНГЕ ПРОЦЕССОВ ОПОЛЗНЕОБРАЗОВАНИЯ**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание степени магистра прикладной геодезии

*5A540101 «Прикладная геодезия»*

**Научный руководитель:**  
кандидат технических наук, доцент  
**Ташпулатов С.А.**

**Научный консультант:**  
главный геодезист Госкомземгеодезкадастра  
**Белевич С.В.**

**ТАШКЕНТ -2010**

- Введение**
  - 1 **Основные сведения об Ангренском буроугольном месторождении**
    - 1.1 Общие сведения о районе местоположения объекта
    - 1.2 Геологическое строение территории объекта
    - 1.3 Тектоника района и ее развитие
    - 1.4 Сейсмичность объекта
    - 1.5 Климатические условия района работ
    - 1.6 Геодинамическое районирование месторождения
  - 2 **Методы наблюдений за оползневыми процессами**
    - 2.1 Классификация смещений на оползневых склонах
    - 2.2 Классификация видов наблюдений за оползневыми процессами
    - 2.3 Особенности построения наблюдательных станций на оползневых склонах
    - 2.4 Развитие оползневых деформаций на рабочем борту карьера
      - 2.4.1 Участок «Северный»
      - 2.4.2 Участок «Центральный»
  - 3 **Современные средства геодезических измерений**
    - 3.1 Электронные тахеометры
    - 3.2 Приборы спутникового позиционирования
  - 4 **Математические модели, применяемые при определении координат**
    - 4.1 Определение координат из кодовых измерений расстояний
    - 4.2 Определение координат из фазовых измерений на несущей частоте
    - 4.3 Определение координат из доплеровских измерений
    - 4.4 Определение относительного местоположения
  - 5 **Рекомендация по применению методики геодезического обеспечения по наблюдению за оползнеопасными участками**
    - 5.1 Выводы
- Заключение**  
**Список использованной литературы**  
**Приложения**

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы все более актуальными становятся исследования геомеханического состояния горного массива, в том числе различных форм оползневых процессов и разработка методов предупреждения их схода и минимизации ущерба. Интерес к подобным исследованиям во многом обусловлен тем, что многие населенные пункты и предприятия горнодобывающей промышленности, расположенные в горной части нашей страны, находятся в зоне возможного оползнеобразования. Проявление оползневых процессов в любой форме может привести к серьезным социальным, экономическим и экологическим последствиям: человеческим жертвам, нарушениям функционирования объектов промышленности (особенно горнодобывающей), материально-финансовым потерям, нарушениям природного равновесия.

Необходимо отметить, что результаты инструментальных наблюдений за процессом сдвижения по традиционной методике не полностью отражают геомеханические процессы, происходящие во время сдвижения земной поверхности, так как они выполняются только в плоской двухмерной системе координат. При этом фиксируются только те сдвижения, которые происходят в вертикальной плоскости и в направлении продольной линии. Кроме того, традиционные геодезические и маркшейдерские приборы не могут обеспечить требуемую точность и необходимую производительность полевых и камеральных работ. Преодоление этих недостатков достигается проведением инструментальных наблюдений GPS-приборами (приборами спутникового позиционирования). Исследование геомеханических процессов методами спутниковой геодезии позволяет с одной стороны получать полный вектор смещения реперов, а с другой стороны значительно расширяет границы исследуемых областей влияния техногенных факторов на процесс деформирования прилегающих к объектам территорий.

Закономерным следствием развития цивилизации и возрастающих темпов технического прогресса является все большее влияние именно техногенных факторов. Основным, а зачастую и единственным способом определения параметров напряженно-деформированного состояния оползневого массива являются натурные инструментальные измерения смещений в пространстве и во времени специально оборудованными реперами наблюдательных станций, закрепленными на земной поверхности и элементах зданий и сооружений, расположенных в зоне развития оползневого процесса. Поскольку ликвидация последствий оползневых разрушений обходится во много раз дороже, чем мероприятия по их предотвращению, проблема обнаружения оползневого процесса на этапе его скрытого

развития, принятия своевременных мер по разработке проектных решений и осуществления противооползневых мероприятий требует серьезного внимания и профессионального подхода.

Правительство Республики Узбекистан уделяет особое внимание проблемам изучения оползневых процессов и борьбе с ними придается большое значение. В 2003 году Кабинетом Министров было утверждено Постановление № 124 "О мерах по улучшению защиты населенных пунктов, предприятий и других объектов и земель от селевых потоков, снежных лавин, оползней и обвалов". В нем в число первоочередных мероприятий включено систематическое обследование зон активизации опасных оползневых участков и возникновения возможных обвалов и обеспечение достоверной информацией о них соответствующих служб и организаций.

Особенности развития оползневых процессов определяются многочисленными факторами, имеющими естественную и техногенную природу, основными из которых являются: геологическое строение и рельеф склона; гидрогеологические, гидрологическое и климатические условия; тектонические движения; характер растительности; хозяйственно-экономическая деятельность человека.

Закономерным следствием развития человеческой цивилизации и возрастающих темпов технического прогресса является все большее влияние именно техногенных факторов.

В настоящее время развитие горнодобывающей промышленности в Республике Узбекистан характеризуется освоением месторождений со сложными инженерно-геологическими условиями, увеличением масштабов и глубины отработки полезных ископаемых, требованиями рынка к повышению качества и разнообразию предлагаемой продукции. Общими тенденциями развития горнодобывающей промышленности нашей страны являются: высокая концентрация производства, повышение сложности горнотехнических и геомеханических условий эксплуатации с ростом глубины карьера и обнаженных площадей, эксплуатация бедных и забалансовых запасов полезных ископаемых.

Традиционно используемые методы добычи полезных ископаемых открытым способом не в полной мере отвечают современным требованиям рынка и, следовательно, тенденциям перспективного развития горнодобывающей промышленности.

Все вышесказанное в полной мере можно отнести и к угольному разрезу "Ангренский", флагману угольной промышленности Республики Узбекистан. Кроме

больших запасов угля, составляющих свыше 1900 млн. т., Ангренское месторождение богато многими полезными ископаемыми: каолинами, известняками и рядом других. Их промышленная разработка позволило бы предложить на внутреннем рынке востребованную экспортзамещающую, а на внешнем рынке – конкурентоспособную продукцию, открыло бы возможность развития новых производств.

Обеспечение бесперебойной работы, безопасной эксплуатации с учетом перспективного развития разреза является одной из основных задач геодезической службы. Для предотвращения и предупреждения оползневых процессов, изучения их механизма и динамики, на так называемой "Ангренской станции слежения" (АСС) выполняются инструментальные геодезические работы по систематическому наблюдению за процессами сдвигения оползневых склонов угольного разреза "Ангренский" и подъездов к нему. Жесткие требования к проведению подобного рода геодезических работ – высокий уровень точности определения величин сдвижений, необходимость проведения частых серий инструментальных измерений, безопасность выполнения измерений – все это предопределяет необходимость использования при проведении натурных наблюдений современного высокоточного и производительного геодезического оборудования.

**Целью настоящей работы** является разработка методики применения современных средств геодезических измерений при выполнении работ по наблюдению (мониторингу) состояния оползневых склонов на примере экспериментальных геодезических работ, выполненных на "Ангренской станции слежения". Достижение указанной цели предполагает решение следующих **задач**:

- сбор, систематизация и анализ имеющейся научно-технической литературы и публикаций, посвященных данной тематике;
- изучение современных геодезических приборов и оборудования, их технических характеристик с целью применения за оползневые процессы;
- изучение методов обработки и интерпретации получаемых результатов с применением специального программного обеспечения;
- обработка результатов спутниковых измерений, выполненных на "Ангренской станции слежения" в 1999-2004 гг., их анализ и интерпретация;
- разработка общих принципов применения современных средств геодезических измерений при исследовании оползневых процессов.

## **1. Основные сведения об Ангренском угольном месторождении**

### **1.1. Общие сведения о районе местоположения объекта**

Ангренское угольное месторождение расположено в долине реки Ахангаран между Чаткальским и Кураминскими хребтами, в 110км юго-восточнее города Ташкента. По административному делению оно находится на территории Ахангаранского тумана Ташкентского вилоята Республики Узбекистан.

### **1.2 Геологическое строение территории объекта**

Ангренское угольное месторождение относится к числу почти закрытых. Долина покрыта плащом четвертичных отложений и лишь на склонах можно наблюдать узкие прерывистые полосы обнаженных пород мезозоя и кайнозоя.

Первоначально (1933-1934г.г.) месторождение разведывалось как каолиновое, с 1940 г. по 1956 г. - преимущественно как угольное, а на новом этапе — как комплексное.

Для месторождения типичны уголь, первичные и вторичные каолины, глиежи и опоки. Строительные материалы и цементное сырье в предгорных районах имеется почти повсеместно. В Ангренском месторождении они входят в комплекс, но не занимают ведущего положения. На этом основании его следует называть каолино-угольным. Домезозойские образования района Ангренского месторождения, благодаря своей насыщенности магматическими породами, выделяют его из числа других угольных месторождений Средней Азии.

Выходы палеозойских пород как в прилегающих к долине реки Ахангаран, Чаткальском и Кураминском хребтах, так и в пределах собственной ее долины обладают общими чертами седиментации, магматизма, метаморфизма, рудогенеза, тектоники и возраста складчатости, в связи с чем в современном структурно-формационном районировании Узбекистана рассматривается в единой Кураминской зоне Срединного Тянь-Шаня. Около 90% ее площади сложено магматическими формациями верхнего палеозоя, мощность которых по данным Н.П.Васильковского (1952г.) и А.С.Аделунга (1958г.) в районе месторождения достигает 10700м. Время образования вулканогенной серии — средний карбон — нижний триас. По северо-восточной границе месторождения расположен крупный лакколит липоритового порфира пермского возраста, прорывающий и перекрывающий более древние сиреневые порфирито-туфы Атчинской свиты, развитые на остальной части месторождения. Вулканогенные толщи залегают на подстилающих

формациях несогласно и представлены чаще липаритами и кварцевыми порфирами, порфиристо-туфами.

Кора выветривания сохранила текстурные признаки исходных вулканических пород и связана с последними постепенными переходами: на дне Углереза первичные каолины имеют реликтовую текстуру обнажающихся рядом с разрезом кварцевых порфиров, а на Чушка-Булак каолинизированные эффузивы непосредственно переходят в порфиристо-туфы акчинской свиты. Вверх по разрезу наблюдаются последовательные изменения вещественного состава отложений, от слабо каолинизированных излившихся, либо магматических пород до первичных каолинов.

Кора выветривания образовалась в среднетриасовое-раннеюрское время за счет химического выветривания и разложения на месте более древних магматических пород и по сути является древним элювием, образовавшимся в условиях выровненной поверхности пенеплена при длительном тектоническом спокойствии и замедленности процессов эрозии.

Юрские отложения залегают трансгрессивно на коре выветривания палеозоя с резким угловым и азимутальным несогласием и характерны трехчленным строением разреза. Нижняя его часть представлена по площади базальными терригенными слоями, средняя - угленосными породами, а верхняя - пестроцветными каолинами.

Самостоятельное значение на месторождении имеют также разрезы другого типа, в которых компактная залежь расщепляется за счет многочисленных, преимущественно песчаниковых породных про слоев различной мощности. Это явление происходит в зонах миграции палеорусел рек, заложенных еще в тоарском периоде. Характерной особенностью комплекса этих фаций является господство восстановительной среды и обилие гумуса. Разрезы скважин, расположенных на 50-60 м друг от друга трудно сопоставимы между собой; это обстоятельство было причиной того, что в течении 15 лет с начало промышленной разведки геологи характеризовали угленосные отложения Ангреновского месторождения как очень сложные и внутреннее не сопоставимы комплекс пластов угля.

Ангреновское месторождение расположено в зоне перехода высокогорной части депрессии с высокоподнятыми и пропиленными глубокими каньонами четвертичными отложениями депрессии, где осадки на отдельных участках отлагались в обычной для областей аккумуляции последовательности, согласно залегают на неогеновых отложениях и вовлечены в складкообразовательные движения.

В высокогорной части четвертичные отложения образуют ярусы террас с превышением последней, самой древней до 400 м над поймой реки.

Весь левобережный склон представляет собой склоновые части террас ташкентского цикла, сложенные лессами, обвальными брекчиями и каменными потоками, залегающими в основании лессов. На левобережье сохранились узкие полосы 3 и 2 террас. На отдельных участках сохранилась высокая структурная терраса (6-я), поднятая над современной поймой реки на 250-300 м. Она прослеживается с перерывами по всему левобережью, а восточнее Наугарзан-Сая совпадает с поверхностью палеогеновых отложений. К реке она обрывается уступом высотой 180-200 м.

Водораздельные участки левого берега прикрыты лессами различной мощности (70 м), образующими 2-3 не везде отчетливо выраженных уступа. Левобережье от Наугарзан-Сая до Нишбаш-Сая выделяется как район лессовых террас от 4-ой и выше. В боковых долинах Наугарзана, Джигиристана и Нишбаша получили полное развитие все молодые террасы до 4-ой включительно. В Джигиристан-Сая отмечается крупный конус выноса сохранившимися площадками 4, 3, 2-ой террас.

Левый берег реки Ахангаран — это склон долины, с формировавшийся до 4-го террасового цикла и моделированный позднейшими эрозии.

Правый берег — прямая противоположность левому. В восточной части месторождения развиты все террасы долины реки Ахангаран — 1-ой до 2-ой. Но уже через 2-2,5 км от Туганбаши-Сая они сливаются с обширными конусами выноса саев Баксук, Дукент и Карабау, покрывающими 70% площади правобережья. Центральное место занимает конус выноса Дукент-Сая площадью 35 кв.км. Конусы выноса образуют ровную поверхность с уклоном на юг, тогда как современные потоки направлены на юго-восток перпендикулярно реке Ахангаран.

### **1.3 Тектоника района и ее развитие.**

*Разрез Ангренинский, Ангрени-Северный, Центральная площадь.* В материалах отчета Ю. П. Бутовой и др. по площади, были установлены две относительно хорошо выраженные брахисинклинальные складки. В юго-восточной части площади была отмечена еще антиклинальная складка с осью широтного простиранья. На остальной части площади местами были отмечены небольшие обособленные поднятия или опускания с расплывчатыми контурами, сливающиеся с общим погружением.

Разрывные нарушения, охарактеризованы как взбросы или взбросо-надвиги, причем последние из них выделены только среди мел-палеогеновых или четвертичных отложений. Большая часть нарушений была выявлена по повторению в разрезах скважин отложений

нижнего, среднего или верхнего эоцена, либо по повторению пачек угля или аномальной мощности угольной залежи.

Все выделенные на участке нарушения были признаны взбросами или взбросами-надвигами, но, что характерно в большинстве случаев с круто-наклонными плоскостями сместителей и дугообразно-изогнутыми выходами на дневную поверхность при небольшом количестве дислокаций с более пологими наклонами сместителей. Как правило, последние характеризовались незначительной протяженностью.

На части рабочего борта Углереза (1,5 км вдоль рабочего борта карьера и 1 км по падению разрывов, до бровки рабочего борта) были установлены 3 крупных взброса-надвига, с субпараллельными, с юго-запада на северо-восток под азимутами 35-60 град., простираниями выходов сместителей ей под четвертичными отложения и 9 более мелких разрывов. Все взбросо-надвиги обладают изменяющимися углами наклона сместителей. Выявленные нарушения характеризуются следующими:

Всего на Ангреном месторождении выделено 87 тектонических нарушений, из них 77 взбросов и 10 сбросов. Амплитуда нарушений колеблется от 1-х метров до 900 м. Выделено 6 крупных нарушений с амплитудой 100-900 м, установлено 38 средних нарушений с амплитудой 10-80 м, 33 мелких нарушений с амплитудой до 10 м. Протяженность нарушений от 130 до 14400 м. Крупные нарушения составили по суммарной протяженности 24%, средние — 53% и мелкие — 20%. Усредненный по Ангреному месторождению коэффициент нарушенности  $K$ , не велик - всего 12,7 м/га. Формирование разрывной тектоники месторождения произошло в основном за счет тангенциальных дислокаций, и отражающих влияний надвигающегося на Ангреноскую плиту Кураминского горста. Такие дислокации проявились нарушениями типа взбросов (88,5%), удельный вес которых значительно выше радиальных дислокаций — сбросов (11,5%). Рассмотрено неоднократность и многоплановость вулканических проявлений в районе.

#### **1.4. Сейсмичность объекта.**

Район подвержен частым землетрясениям интенсивностью до 5-6 баллов (1959г.), эпицентры землетрясений в непосредственной близости от Ангрена отмечались лишь в 1955-1957 годах. В пределах Ангреноского плато зафиксировано большое количество эпицентров, особенно в 1958г. В 1984г, у города Пап Наманганской области, а в 1985г. У города Кайракум в Худжанской области.

## **1.5. Климатические условия района работ.**

Климат района резко континентальный, с сухим жарким летом и прохладной зимой. Среднегодовая температура воздуха за период наблюдения с 1980-2004 г.г. равна 11,7° — 13,7°С; максимальная отмечалась в июле 1985г. (+ 40°С), минимальная — в январе 1987г. (- 19,9°С). В среднем для района характерна плюсовая температура. Абсолютная минимальная температура почвы наблюдалась в январе 1987г. (-29°С). В среднем отрицательная температура почвы наблюдается только в зимний период (декабрь-февраль); величина ее не ниже — 10°С. В целом характерно превышение температуры почвы над температурой воздуха.

Для района характерны ветры двух направлений: Первые дуют вверх по долине в северо-восточном направлении и часто несут осадки; вторые — юго-западного направления дуют с гор и обычно сухие. Средняя скорость ветра колеблется в пределах 1,2-3,1 м/сек, а максимальная скорость ветров преобладающих направлений достигает 18-20 м/сек.

Осадков в течение года выпадает 425-970 мм, максимальное их количество составило 970,0 мм (1993г.), минимальное — 425 (2001г.). Большая часть осадков приходится на весенний период. Снег выпадает в ноябре — декабре и держится по март. В течение зимы снежный покров непостоянный. Нередки обильные снегопады, так в феврале 2003 г. выпало 207 мм осадков.

## **1.6 Геодинамическое районирование месторождения**

На рабочих уступах разреза "Ангрнский" и прилегающем к нему юго-восточной части участке работ (от портала отводного канала реки Ангрн) ситуация в геодинамическом отношении считается как относительно спокойная, так как за последнее время были выявлены лишь незначительные геодинамические зоны второго порядка, имеющие прерывистый характер и различную ориентировку,

-южная часть как по ширине, так и глубине является наиболее активной в геодинамическом отношении. Выявленные зоны, в большинстве своем первого порядка (наиболее активные), крутопадающие, с углами падения 70-90 град. простираются с юго-востока на северо-запад, в сторону действующего разреза. Режимными профилями установлена активизация геодинамических зон в выделенном интервале, как по ширине, так и по активности в период выпадения осадков.

Западный борт (участок, прилегающий к контуру разреза ПК-12: ПК-26). Ширина фронта работ - 2,0 км, глубина - 0,4 км. Геофизические профилями выявлены геодинамические зоны первого и второго порядков, в основном, северо-восточного простирания, крутопадающие в сторону выработанного пространства.

Сейчас можно предположить следующую геодинамическую модель месторождения. Оно как бы состоит из отдельных сжатых сегментов. При чем движение их (сегментов) происходит и в настоящее время, что подтверждается пространственным совпадением внешней границы зоны надвига (выхода сместителя под четвертичные отложения) и вала выпирания, расположенного северо-восточнее ГРЭС. В такой ситуации при разгрузки призмупора, т.е. участков, на которых происходит затухание нарушений (зоны с пониженной мощностью отложения) будет происходить релаксация напряжений и, как следствие, образование оползней.

Вышеизложенное касалось можно достаточно уверенно интерпретировать следующим образом. В пределах рабочего борта углеразреза "Ангренский" по данным КСЗ (кругового сейсмического зондирования) и наземной газовой съемки намечается образование крупного оползня объемом более 200 млн.куб.м.

Особенно угрожающее положение, что подтверждается режимными наблюдениями КСЗ, отмечается в северной части рабочего борта, где в зоне активизации оползня находится электросиловая подстанция.

Проблема прогноза устойчивости южного стационарного борта углеразреза "Ангренский" гораздо сложнее, т.к. обуславливающих факторов больше. К выше рассмотренным тектоническим, здесь необходимо добавить возможное влияние фильтрации из отводного канала, воздействие Атчинского оползня и нагрузок со стороны породных отвалов.

Южный борт своей западной частью начинает входить в так называемую зону сжатия и поэтому в его пределах будут продолжаться, а в дальнейшем при большем его раскрытии интенсифицироваться, процессы образования оползней. Неустойчивость массива подтверждается и результатами исследований КСЗ и газовой съемки.

**Исходя из изложенного можно сделать вывод:**

- геологическое строение Ангреновского угольного месторождения сложно и многообразно;
- тектоника района представлена относительно хорошо выраженными брахисинклинальными складками, а в юго-восточной части отмечена еще

антиклинальная складка с осью широтного простираения. На остальной части местами отмечены небольшие обособленные поднятия или опускания с расплывчатыми контурами, сливающиеся с общим погружением. Разрывные нарушения, охарактеризованы как взбросы или взбросо-надвиги;

- район подвержен частым землетрясениям интенсивностью до 5-6 баллов;
- климат резко континентальный, с сухим жарким летом и прохладной зимой;
- на рабочих уступах разреза "Ангренский" ситуация в геодинамическом отношении относительно спокойная, так как за последнее время были выявлены лишь незначительные геодинамические зоны второго порядка, имеющие прерывистый характер и различную ориентировку.

## **2. Методы наблюдений за оползневыми процессами**

### **2.1. Классификация смещений на оползневых склонах**

Как было уже отмечено, натурные наблюдения за развитием оползневых процессов тесно связаны с вопросом определения абсолютных значений элементов движения оползневых точек, тем или иным образом закрепленных на оползневом склоне. Эти значения имеют некоторый доверительный интервал, т. е. носят вероятностный характер. Опорные пункты, по отношению к которым определяют смещения оползневых точек, не являются абсолютно стабильными во времени. Это обстоятельство заставляет ограничиваться рассмотрением некоторых относительных смещений на оползневом склоне. Инструментальные наблюдения организуют так, чтобы полученные относительные смещения наилучшим образом отражали величины реальных смещений оползневого массива.

Прежде всего рассмотрим виды движений, которые возникают при нарушении устойчивости склона. Для этого выделим на его поверхности элементарную площадку  $\Delta S$  и поместим на ней начало системы неподвижных прямоугольных координат XYZ (рис. 1).

Как принято в геодезии, ось OZ направим вертикально вверх, ось OX – к северу, а ось OY – к востоку. При смещении поверхности склона площадка  $\Delta S$  может совершать шесть различных движений: три смещения, параллельных осям координат, величины которых обозначим  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ , и  $\Delta z$  и три поворота около тех же осей OX, OY и OZ. Величины углов поворота обозначим  $\varphi$ ,  $\psi$  и  $\gamma$ , 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  $\Delta S$  во времени полностью характеризуется двумя видами движений – поступательным и вращательным, т. е. определяется семимерным пространством. Но так как вращательное движение площадки  $\Delta S$  может быть выражено через пространственные координаты отдельных ее точек, то перемещения грунтовых масс на склоне можно описать в четырехмерном пространстве.

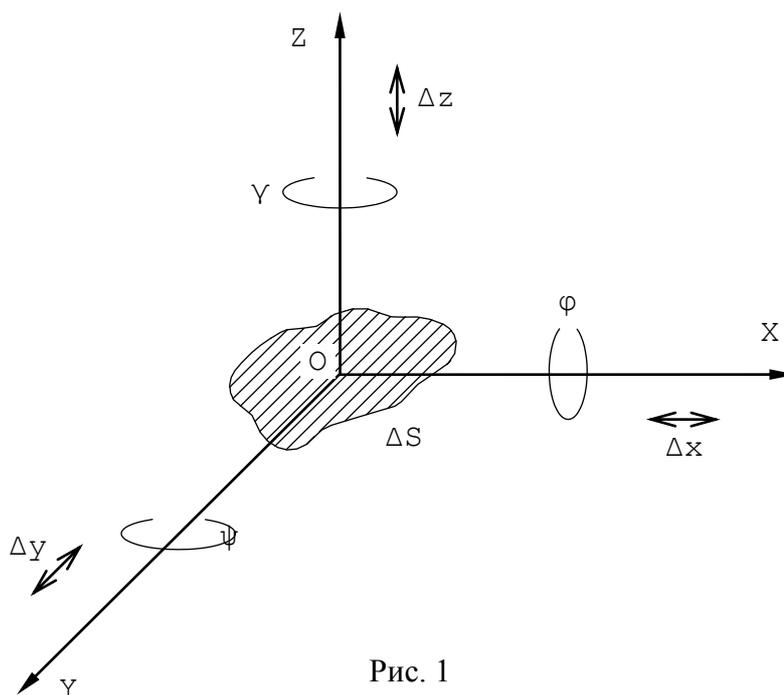


Рис. 1

Вращательное движение площадки  $\Delta S$  около осей  $OX$  и  $OY$  вызывает ее наклоны по отношению к оси  $OX$ , а вращение около оси  $OY$  – неравномерные смещения ее точек в горизонтальной плоскости.

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

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

$$l = \sqrt{[x(t_2) - x(t_1)]^2 + [y(t_2) - y(t_1)]^2 + [z(t_2) - z(t_1)]^2}, \quad (1)$$

где  $x(t_1)$ ,  $y(t_1)$ ,  $z(t_1)$  – координаты некоторой точки склона 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 склона было  $l(t_1)$ , а через некоторый промежуток  $\Delta t$  в момент времени  $t_2$  оказалось равным  $l(t_2)$ , причем  $l(t_2) \neq l(t_1)$ , то их взаимное перемещение за этот промежуток времени  $\Delta t$  будет

$$\Delta l = l(t_2) - l(t_1) \quad (2)$$

Оползневые смещения классифицируют как по величине, так и по скорости их протекания. По величине их можно разделить на две основные группы:

- микросмещения;
- макросмещения.

**Микросмещения** непосредственно не ощущаются и не проявляются в виде каких-либо качественных изменений как на склоне, так и на расположенных на них зданиях и сооружениях. Они могут быть обнаружены и зарегистрированы специальными высокочувствительными приборами. **Макросмещения** – такие смещения, которые сопровождаются различными качественными изменениями (например, появлением трещин в зданиях и на дорожных покрытиях, перекосов конструкций, вызывающих торможение при работе технологических линий и др.)

По скорости, аналогично сейсмическим явлениям, оползневые смещения можно разделить на:

- брадисмещения;
- тахисмещения.

**Брадисмещения** протекают сравнительно медленно и не представляют особой опасности на склоне. **Тахисмещения** имеют большую скорость и иногда вступают в фазу быстрых смещений или обрушений склона.

Приведенная классификация смещений на оползневых склонах позволяет дифференцировано подойти к решению вопроса о точности, и, следовательно, и к выбору оптимальной методики наблюдений за оползневыми смещениями.

## 2.2. Классификация видов наблюдений за оползневыми процессами

При выборе метода наблюдений за оползневыми процессами и разработке технологии их выполнения необходимо руководствоваться принципом получения наиболее полной и достоверной информации об оползневом склоне.

Проведение наблюдений на оползневых склонах обеспечивает решение следующих двух основных задач: изучение механизма и динамики оползневого процесса и обеспечение

безопасности эксплуатации объектов. Исходя из характера поставленных задач, наблюдения (измерения) на склоне можно рассматривать с точки зрения статики и с точки зрения динамики, в соответствии с этим их делят на **геостатические** и **геодинамические**.

По результатам геостатических наблюдений получают первичную информацию о склоне в виде топографических, геоморфологических и других планов и карт. С течением времени они обновляются и корректируются с учетом происшедших изменений на склоне.

Геодинамические наблюдения позволяют получить геометрические параметры смещений на оползневом склоне. Основное требование, предъявляемое к ним, – максимальная точность, а это требует в каждом конкретном случае индивидуального подхода как к выбору методики таких наблюдений, так и технологии их выполнения. Значительное место в повышении мобильности и точности геодинамических наблюдений занимает создание и использование специальной аппаратуры, вспомогательных устройств и приспособлений.

В настоящее время методика изучения режима оползневых процессов, кроме непосредственно инструментальных геодинамических наблюдений, предусматривает решение следующих основных вопросов:

- механико-математическое обоснование и расчет точности геодинамических наблюдений;
- разработку проектов опорных планово-высотных сетей и методики наблюдений на пунктах этих сетей;
- выбор оптимальной методики инструментальных наблюдений за поверхностными и глубинными смещениями склона, а также за деформациями зданий и сооружений, расположенных на нем;
- механико-математическую и математико-статистическую обработку и анализ результатов инструментальных наблюдений с учетом всех факторов оползнеобразования.

Завершающим этапом наблюдений на оползневом склоне является представление результатов их обработки и анализа в виде таблиц, а также наглядная графическая интерпретация в виде различных графиков и специальных геодинамических карт оползневого склона. От полноты и надежности информации, полученной в результате геодинамических наблюдений, во многом зависят точность и детальность выводов о механизме и динамике оползневых процессов.

Определение зоны оползнеобразования, геометрических и физических параметров оползня, контроль за развитием оползневых процессов с учетом времени может производиться как **прямыми**, так и **косвенными** методами. Прямые (маркшейдерские) методы используются для непосредственного измерения размеров сдвижений и деформаций. К ним можно отнести:

- непосредственные инструментальные измерения по реперам наблюдательной станции для определения абсолютных и относительных значений сдвижений и деформаций оползней;
- дистанционные инструментальные измерения (например, геодезические засечки) по реперам наблюдательной станции при невозможности нахождения людей на оползневом склоне;
- топографические съемки оползневых участков с применением наземной стереофотограмметрической и аэрофототопографической съемки, а также методов пространственного лазерного сканирования.

Косвенные методы основаны на измерении физических характеристик оползневого склона с использованием радиометрических, электрометрических, ультразвуковых и других способов, позволяющих оценить изменение напряженного состояния тела оползня для прогноза вероятности обрушения. К косвенным методам также относят и изучение геологических и гидрогеологических условий очага оползнеобразования и прилегающих районов, изучение физико-механических свойств пород, составляющих тело оползня. Косвенные методы наиболее целесообразны при относительно небольших размерах оползневого массива.

Систематические наблюдения за очагами оползнеобразования можно разделить на два основных этапа:

- разведку и выявление оползневых очагов;
- наблюдение оползневых очагов и разработку мероприятий по ликвидации оползневых явлений.

### **2.3. Особенности построения наблюдательных станций на оползневых склонах**

Основным принципом построения наблюдательных станций на оползневых склонах является обеспечение заданных допусков определения смещений оползневых реперов. При этом необходимо учитывать, что условия выполнения измерений на оползневых склонах требуют внесения определенных изменений в методики производства измерений и

требования нормативно-технических инструкций, регламентирующих производство геодезических работ. Основные факторы, обуславливающие эти особенности, сводятся к следующему:

- стороны геодезических сетей, развиваемых на оползневых склонах зачастую значительно короче сторон классных и разрядных геодезических сетей, поэтому погрешности центрировок и редукций больше влияют на результаты измерений;
- из-за значительных наклонов визирных лучей увеличивается влияние инструментальных погрешностей приборов;
- природные условия, растительность и застройка создают над склоном микроклимат с быстроизменяющимися температурными полями, которые искажают визирные лучи, тем самым ухудшая результаты измерений.

При разработке проектов наблюдательных станций на оползневых склонах необходимо соблюдение следующих основных требований:

- места закладки рабочих реперов должны быть удобными для производства измерений и обеспечивать их сохранность и стабильность на достаточно большой промежуток времени;
- число ступеней построения геодезических сетей должно быть минимальным;
- схемы построения должны быть максимально простыми (типовыми) и обеспечивать надежный контроль выполняемых измерений;
- стоимость создания и выполнения измерений на наблюдательной станции должны быть минимальными без понижения точности и качества измерений.

При проектировании наблюдательных станций используются следующие типовые схемы построения геодезических сетей:

- геодезические четырехугольники (рис. 2);
- центральные системы (рис. 3);
- геодезические засечки (рис. 4);
- нивелирные полигоны (рис. 5).

Кроме того, часто в практике применяются различные комбинации указанных выше типовых схем.

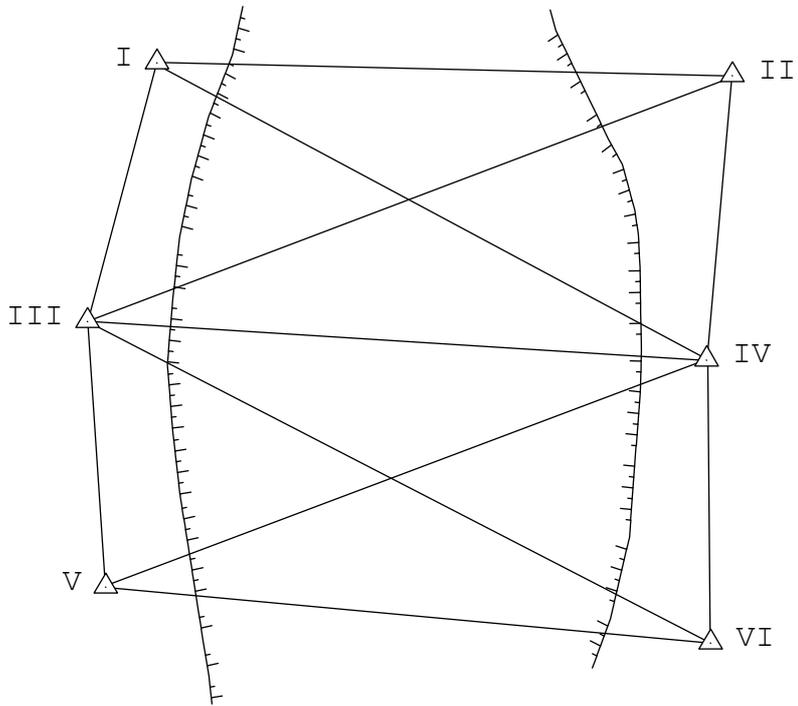


Рис. 2

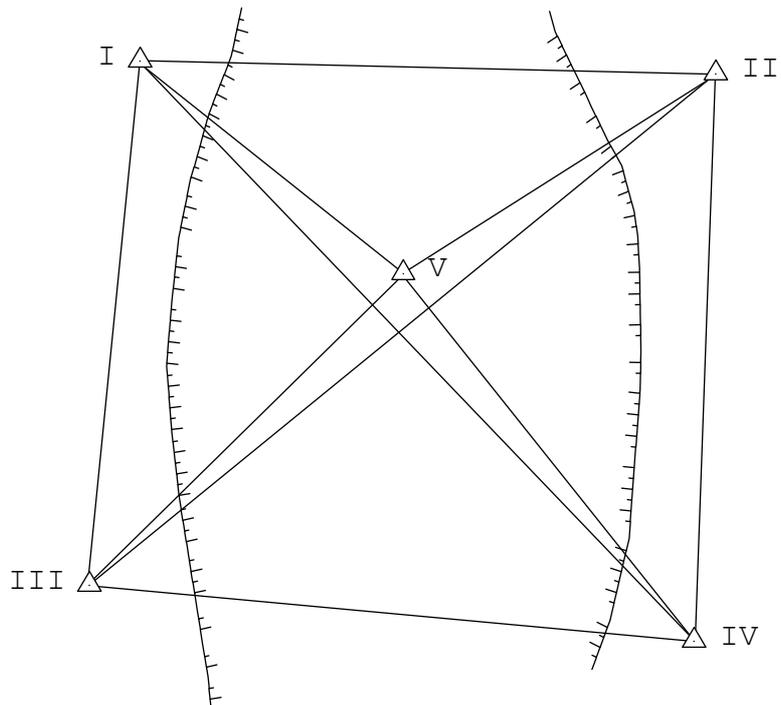


Рис. 3

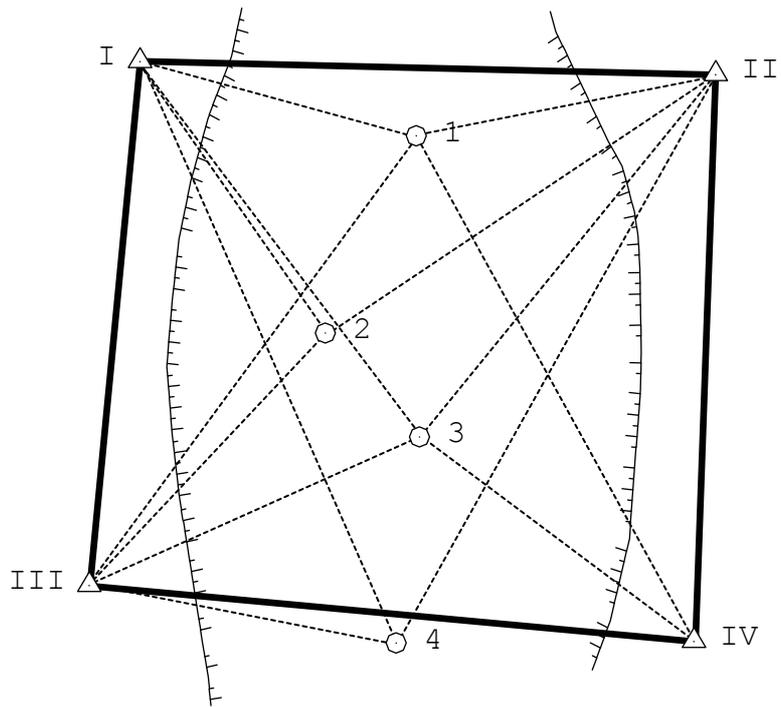


Рис. 4

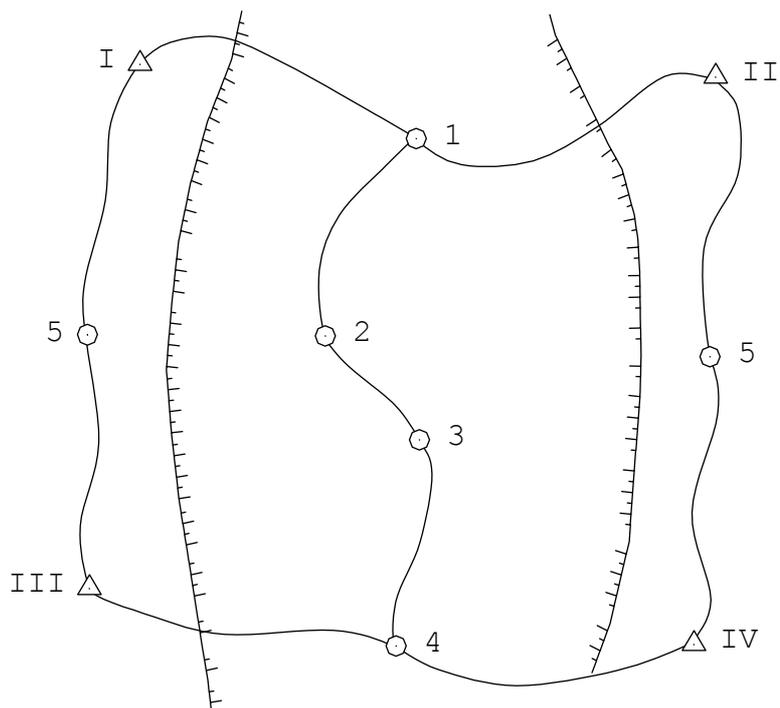


рис. 5

**На основе вышесказанного можно сделать вывод:**

Как правило, при измерениях традиционными методами исследуется только непосредственно сами оползни и примыкающие к ним зоны. За пределами ближней зоны измерения либо не проводятся вообще, либо проводятся в недостаточных объемах по причине высокой трудоемкости подобных работ. Изучение более обширной зоны оползневых участков позволило бы получать реальные, объективные данные о происходящих деформационных процессах оползневого тела с учетом микрорегиональных и региональных деформаций земной коры и использовать их для оценки ситуационной безопасности и долговременного прогнозирования.

Для решения задач мониторинга (в том числе и постоянного) смещений и деформаций оползневого тела наиболее перспективным и целесообразным представляется использование геодезических спутниковых приемников системы GPS NAVSTAR, позволяющими с минимальными затратами оперативно, практически в режиме реального времени, выполнять одновременное, без разделения во времени и пространстве, определение вертикальных и горизонтальных движений не только собственно оползневого тела, но и прилегающей территории.

#### **2.4 Развитие оползневых деформаций на рабочем борту карьера**

В настоящее время на площади рабочего борта разреза "Ангренский" продолжается развитие оползневых деформаций на участках: "Старая подстанция "Север"", "Центральный" и "Верхний комплекс".

##### **2.4.1. Участок "Северный"**

Данный участок охватывает площадь рабочего борта от автодороги Ташкент-Ош до оползня "Центральный". Первые деформации в виде трещин проявились в мае 1993 г. Трещины развиваются в четвертичных лессовых породах с включением дресвы, мощностью 10-15 м, ниже которых расположена 70-75 метровая толща галечников. Верхняя граница зоны развития деформаций контролируется тектоническим нарушением, проходящим вдоль автодороги Ташкент-Ош. В настоящее время трещинами длиной 100-500 м охвачен верхний уступ (+7) на площади 700x300 м, трещины продолжают развиваться, разрывая нижерасположенный уступ, а по правому флангу прослеживаясь до головной части оползня "Центральный". Объем деформирующегося блока в пределах абсолютных отметок 1110,0 м составляет 3,5 млн.куб.м.

Основными причинами формирования оползневых деформаций явились увлажнения пород поверхностными водами подрусловых потоков Саякская и длительное (более 10 лет) состояние вскрышных уступов, которое привело к формированию узких сосредоточенных подземных русел в толще промытых галечников.

Результаты высокоточных топогеодезических наблюдений и измерения системой GPS показали, что общее направление смещения массива юго-восточное  $130^\circ$  —  $135^\circ$ , общая величина смещения за 2-х летний период (с 05.01.2000г. по 18.12.2001г.) составляет 20-70 см, вертикальная деформация 7-38 см.

Максимальные перемещения отмечаются в средней и нижней части участка, где они достигают 34 см (Rp2, створ 1-1) и 52 см (Rp3, створ 1-1, Rp3-4, створ 2-2). Скорости смещения изменяются от 0,4 — 0,7 мм/сут с ноября по февраль до 0,8-4,7 мм/сут в апрель-май. Наиболее высокие скорости смещения отмечались весной 2000г. — 2,5-4,7 мм/сут Rpб, створ 2-2.

В августе 2000г. вдоль автодороги Ташкент-Ош и на площади участка "Старая подстанция "Север" Центральным аэрогеодезическим предприятием заложено 10 реперов, по которым до июня 2001 г. проведено 3 цикла инструментальных наблюдений методом GPS. За 10 месяцев величина перемещения реперов составила вдоль автодороги 5-15 см, в средней части — 13-40 см. Направление смещения — юго-восточное  $150-200^\circ$ . В настоящее время развитие деформаций продолжается, трещины прослеживаются по дну водоотводящей траншеи вдоль автодороги Ташкент-Ош, что создает угрозу ее безопасности.

#### **2.4.2. Участок "Центральный".**

Данный участок расположен в средней части рабочего борта разреза на уступах от (+2 до 4), образовался в мае 1987г. объемом 56-58 млн.куб.м. К 2001 г. разгружено около 45 млн.куб.м. Место образования оползня было предопределено местом слияния подрусловых потоков подземных вод Саякская и Боксукская. Смещение оползня происходит по глинистому прослою водонасыщенных сузакских песчано-глинистых отложениях палеогена, которые вскрыты горными работами. В настоящее время деформации распространились выше по борту на уступах (+2 до +6) развиваются трещины длиной 100-300 м.

Максимальные подвижки оползня отмечаются на верхней оползневой ступени. Результаты топогеодезических наблюдений показали, что по наиболее активному реперу 8-ми годовая величина смещения составляла в 1990-94 г.г. 4,1-6,3 м. В 1995-96 г.г. отмечалась низкая оползневая активность, когда смещение за год составляло 0,8-1,4 м. В 1997-99 г.г.

активность оползня достигла прежней величины 3,0-5,0м/год. В 2000 году активность оползня резко возросла до 8,5 м/год. В 2001 г. смещения также оставались на высоком уровне — 7,3м/год. Общее смещение за период с 1987 по 2001 год составило более 60 м.

Направление движения оползневых масс 147°-153° на юго-восток. Величина вертикальных деформаций составляет от 0,4-0,5м/год на правом юго-западном фланге оползневой ступени до 0,4-1,5м/год в ее центральной части и на левом северо-восточном фланге.

В развитии оползня отмечались 2 периода активизации: в 1990-94 и в 1998-2001 годах в эти периоды скорости смещения достигали 34-42 мм/сут. В конце 2001 и начале 2002 года скорости смещения оползня сохраняются на уровне 20-24 мм/сут.

Из тела оползня "Центральный" на начало 2003 года выбрано более 45 млн.куб.м. В настоящее время его протяженность сократилась с 750 м в 90 г. до 320 м в 2003 г., максимальная мощность составляет 30-35 м, от прежнего объема осталось порядка 20% или 10-11 млн.куб.м.

Развитию оползней способствует высокая обводненность массива. По данным ГРЭ АО "Уголь" выклинивание подземных вод в пределах рабочего борта на февраль 2003 года составляет 1100 куб.м/час при общем водопитоке 2300 куб.м/час, в том числе Бадамзар-Сай- 95 куб.м/час, Саяк-Сай — 550 куб.м.час и Боксук-Сай до 250 куб.м/час. На оползне "Центральный" из известняков алайского яруса выклинивается до 200куб.м/час.

Для осушения разреза в 2002г. На участках Бадамзар, Саяк, Боксук-Саях было пробурено 12 скважин, ведется откачка. Общий объем воды из подрусловых потоков составляет 110куб.м/час. В 2003 г. предусматривается пробурить еще 6 скважин, довести откачку до 200куб.м/час. Кроме того, производится сбор и транспортировка по трубам поверхностных вод из Боксук-Сая в объеме 340куб.м/час и Саяк-сая 50куб.м/час. Таким образом общий объем воды с северного рабочего борта составляет 500 куб.м/час.

Исходя из геолого-тектонических условий массива выстраивается следующая схема механизма развития оползней.

Оползень "Центральный" характерен установившимся режимом движения по слабонаклонной (3-4) зоне скольжения контакта известняков и водонасыщенных глин. Выше оползня "Центральный" по разрывным тектоническим нарушениям выделяются еще два крупных блока, в пределах которых углы падения толщи палеогеновых известняков возрастают до 10°-12°. Смещение оползня снижает упор для вышерасположенного блока, подвижки которого, в свою очередь, вызывает развитие деформаций на блоке участка

"Старая подстанция "Север", т.е. все деформирующие блоки рабочего блока связаны друг с другом и характеризуются регрессивным развитием.

Таким образом, оползневые процессы в 2004 году в разрезе Ангренском продолжают развиваться в течении почти 10 лет и с каждым годом оползневая ситуация усложняется и практически сегодня не контролируема. Все это может привести к непредсказуемым последствиям для устойчивости рабочего борта разреза Ангренский и безопасности эксплуатации участка 110 км автодороги Ташкент-Ош.

**Исходя из изложенного в главе 2 можно заключить:**

- **в зависимости от смещений на склонах наблюдения за оползневыми процессами на практике используются самые разнообразные геодезические методы;**
- **необходимо систематические наблюдения за очагами оползнеобразования для разведки и выявления оползневых очагов, а также для наблюдения оползневых очагов и разработки мероприятий по ликвидации оползневых явлений.**

### **3. Современные средства геодезических измерений**

#### **3.1. Электронные тахеометры**

Тахеометр - это оптический инструмент, позволяющий измерять не только углы, но и расстояния. Термин "тахеометр-автомат" относился к инструменту, позволяющему быстро получать горизонтальные углы, превышения и горизонтальные проложения. Таким образом, вполне можно считать, что термин "тахеометр" соответствует современным приборам или системам, называемым на английском языке "total station". Часто употребляемое прилагательное "электронный" лишь подчеркивает отличие современных приборов от их оптико-механических предшественников.

Выпускаемые в настоящее время электронные тахеометры можно условно поделить на три группы – простейшие, универсальные и роботизированные. Если ранее в основе классификации геодезических приборов лежала точность измерений, то сегодня основой классификации в основном является степень автоматизации и компьютеризации.

**К первой группе** можно отнести механические тахеометры с минимальной автоматизацией и ограниченными встроенными программными средствами. Как правило, такие тахеометры имеют угловую точность измерений 5"-10", линейную – 3-5 мм/км. Некоторые тахеометров не имеют внутренней памяти или имеют ограничения, например,

запись 500 или 1000 точек. К этому классу тахеометров, в частности, относятся тахеометры системы TPS300 фирмы Leica Geosystems (Швейцария).

Ко **второй группе** можно отнести также механические тахеометры с расширенными возможностями. Такие тахеометры оснащаются большим количеством встроенных программ, большой внутренней памятью – до 10 тыс. и более точек. Угловая точность измерений таких приборов, как правило, 1"-3", линейная – 2-3 мм/км. Фирмой Leica Geosystems данный класс тахеометров представлен моделями системы TPS1000/TPS1100. В тахеометрах системы TPS1000/TPS1100 имеется возможность программирования и разработки собственных прикладных программ.

К **третьей группе** можно отнести роботизированные тахеометры с сервомоторами. Такие тахеометры обладают всеми возможностями приборов предыдущей группы. Наличие сервомоторов, встраиваемых радиокommunikационных устройств, систем автоматического слежения за отражателем позволяет отнести эти системы к самостоятельной группе тахеометров-роботов. К классу подобных тахеометров относятся некоторые тахеометры систем TPS1000/TPS1100 и TPS2000.

Практически во всех системах TPS имеются модели тахеометров с возможностью выполнения измерений без отражателя.

За рубежом семь фирм-производителей – Trimble (прежнее название Geotronics) (США), Leica (Швейцария), Carl Zeiss (Германия), Sokkia, Topcon, Nikon, Pentax (Япония) выпускают более 100 моделей и модификаций электронных тахеометров.

Конкуренция на рынке полевых геодезических систем обуславливает их непрерывное совершенствование, заставляя фирмы-производители находить наиболее эффективные решения, упрощать процессы измерений и использовать максимально удобные пользовательские интерфейсы, создавать интегрированные системы, комбинирующие функции компьютеров, тахеометров, спутниковых приемников и других систем.

Развитие компьютерных и коммуникационных технологий, спутниковой, региональной и глобальной связи уже сегодня позволяет осуществлять в реальном времени обмен данными между полевым прибором и камеральным производством.

Широкое применение полевых пен-компьютеров (pen/penpad computer или touch screen computer), в основе создания которых лежала идея избавления от клавиатуры при работе с компьютером и возврат к использованию ручки или карандаша, но уже без полевого бумажного журнала, позволяет сегодня полностью перейти к безбумажным технологиям полевых работ.

В зависимости от конфигурации и программного обеспечения пен-компьютеры могут использоваться как вспомогательные средства при выполнении съемок, а также быть ядром современной компьютеризированной системы сбора и обработки полевой информации. Появился термин "электронная мензула" (electronic plane-table), объединяющий пен-компьютер с системой сбора полевой информации – тахеометром или спутниковым приемником.

С помощью пен-компьютеров можно обработать на месте результаты съемки, выполненной тахеометром или геодезическими спутниковыми приемниками. Программное обеспечение позволяет "электронные абрисы", начерченные от руки на экране пен-компьютера, превратить в точный цифровой план местности, соответствующий всем необходимым требованиям. Наличие радиокommunikационного устройства обеспечивает обмен информацией с базой данных камерального производства.

**Электронные тахеометры** фирмы Leica Geosystems имеют следующие кодовые обозначения:

- TC – электронный тахеометр;
- TCR – электронный тахеометр для измерения без отражателя;
- TCM – электронный тахеометр моторизованный;
- TCMR – электронный тахеометр моторизованный для измерения без отражателя;
- TCA – электронный тахеометр автоматический.



В систему **TPS300** входят такие модели электронных тахеометров, как TC/TCR 303, 305, 307. Тахеометры предназначены в основном, для использования на строительной площадке и соответствуют классу точных тахеометров. Тахеометры также можно использовать при локальных наблюдениях небольших оползневых массивов, а использование безотражательных измерений позволяет проводить наблюдения на опасных оползневых участках. Основные технические характеристики тахеометров приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры	TC/TCR 303	TC/TCR 305	TC/TCR 307
Точность горизонтального и	3"	5"	7"

вертикального круга			
Компенсатор	электронный, двухосевой точность установки $\pm 1''$		
Измерение расстояния с отражателем (стандартное измерение)	точность $\pm 2$ мм + 2 ppm; дальность 3000 м (один отражатель в средних атмосферных условиях)		точность: $\pm 2$ мм + 2 ppm; дальность: 2500 м
Измерение расстояния без отражателя (TCR)	–	точность $\pm 3$ мм + 2 ppm; дальность 80 м (на визирную планку)	
Клавиатура и дисплей	односторонние, жидкокристаллический, 8 строк Ч 24 знака		
Центрир	лазерный, точность 0,8 мм на 1,5 м		
Прикладные задачи	разбивка, топография, свободная станция, площадь, измерение расстояния между двумя пикетами		
Регистрация данных	внутренняя память, 4000 записей		
Зрительная труба	увеличение 30 <sup>Ч</sup> , поле зрения трубы 1° 30', минимальное расстояние визирования 1,7 м		
Питание	встроенный аккумулятор NiMH на 1000 измерений		
Вес	4,2 кг	4,2 кг	4,2 кг



В систему **TPS1000/TPS1100** входят такие модели как TC/TSM/TCA 1800, TC/TCR/TCM/TCRM/TCA 1101, 1102, 1103, 1105. Тахеометры данной системы предназначены для выполнения высокоточных измерений, построения высокоточных геодезических сетей. Использование моторизованных тахеометров позволяет оптимизировать выполнение многократно повторяющихся измерений при непрерывном мониторинге за деформационными процессами с автоматической коррекцией всех инструментальных погрешностей. Автоматические тахеометры имеют возможность автоматического точного наведения на визирную цель или непрерывного слежения за движущимися визирными целями. С помощью модуля

дистанционного управления Leica RCS1100 можно выполнять, контролировать и управлять процессом измерения, находясь на точке визирования. Тахеометры системы TPS1100 имеют встроенный язык программирования, который позволяет создавать прикладные программы для реализации специфических задач пользователя. Основные технические характеристики типовых моделей тахеометров системы TPS1000/1100 приведены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры	ТСМ 1800	ТС/ТСР 1101	ТСА 1103
Точность горизонтального и вертикального круга	1"	2"	3"
Двигатель тахеометра	скорость вращения 45°/с, точность позиционирования 0,3"	–	скорость вращения 45°/с, точность позиционирования 0,3"
Компенсатор	жидкостный, двухосевой, диапазон установки ±4», точность установки ±1»		
Измерение расстояния с отражателем (стандартное измерение)	точность ±2 мм + 2 ppm; дальность 2500 м (один отражатель в средних атмосферных условиях)		
Клавиатура и дисплей	двухсторонние, жидкокристаллический, 8 строк Ч 32 знака		
Центрир	лазерный, точность 0,8 мм на 1,5 м		

Прикладные задачи	разбивка и вынос в натуру, ориентирование/передача высот, засечки, площадь, измерение расстояния между двумя пикетами, референцная линия, круговые приемы, одиночный ход, удаленные точки, координатная геометрия, съемка поверхностей, определение координат неприступных (невидимых) точек.		
Регистрация данных	внутренняя память, карточка РСМСІА, интерфейс RS232		
Зрительная труба	увеличение 30 <sup>Ч</sup> , мин. расстояние визирования 1,7 м		
Питание	встроенный аккумулятор NiMH на 600 измерений		
Вес	6,5 кг	4,7 кг	4,9 кг

В систему **TPS2000** входят такие модели как TC/TCA 2003. Высокопроизводительные тахеометры системы TPS2000 применяются для измерений повышенной точности



при наблюдениях за деформациями, строительстве прецизионных сооружений. Наряду с автоматическими контрольными измерениями тахеометры особенно эффективны при использовании в различных системах контроля и управления.

Одной из таких систем является автоматическая полярная станция APSWin, предназначенная для мониторинга за состоянием зданий и оползней в горах и открытых горных выработках, наблюдений за плотинами, трубопроводами, градирнями и т. п. сооружениями. APSWin имеет целый ряд интегрированных функций, таких как обработка измерений в режиме on-line, сравнение проектных и измеренных значений, таймер начала и окончания измерительных циклов и др. Система позволяет выполнять периодические измерения на 50 визирных целей (отражателей, постоянно закрепленных на объекте слежения) через заданные интервалы времени. Кроме того, возможно подключение к APSWin до 4-х моторизованных тахеометров.

Основные технические характеристики тахеометров TC/TCA 2003 приведены в таблице 3

Параметры	ТС/ТСА 2003
Точность горизонтального и вертикального круга	0,5"
Двигатель тахеометра	скорость вращения 45°/с, точность позиционирования 0,3"
Компенсатор	жидкостный, двухосевой, диапазон установки $\pm 4''$ , точность установки $\pm 1''$
Измерение расстояния с отражателем (стандартное измерение)	точность $\pm 1$ мм + 1 ppm; дальность 2500 м (один отражатель в средних атмосферных условиях)
Клавиатура и дисплей	двухсторонние, жидкокристаллический, 8 строк Ч 35 знаков
Прикладные задачи	те же, что и в TPS1000/1100
Регистрация данных	внутренняя память, карточка PCMCIA, интерфейс RS232
Зрительная труба	увеличение 30 <sup>Ч</sup> , мин. расстояние визирования 1,7 м
Вес	7,3 кг



**Система лазерного сканирования CYRAX2500** является уникальной системой для получения полной и объективной визуальной информации об исследуемом объекте. Технология основана на применении лазерного безотражательного дальномера, который встроен в сканер с автоматическим изменением направления луча лазера. В сканере помимо стандартных угломерных систем имеются механизмы (сервоприводы), позволяющие изменять вертикальный и горизонтальный углы визирной оси лазера. Это позволяет, задав определенную область сканирования, получить массив (облако) точек, характеризующих трехмерную поверхность исследуемого объекта. При этом плотность точек, составляющих поверхность, может быть от 0,25 мм до практически любых

(даже 1 м). Сканирование одного участка при самом плотном сканировании выполняется за 15 минут.

Принцип производства полевых работ и обработки отдельных кадров съемки (сканов) во многом похож на наземную стереофотограмметрическую съемку. Сканирование выполняется с пунктов геодезического обоснования с обязательным перекрытием сканов. Обработка выполняется при помощи специального программного обеспечения Cyclone.

**Вывод:** Данная система может использоваться для систематической съемки поверхности оползневых участков (особенно недоступных и опасных) и определения деформационных процессов как разности цифровых математических моделей, полученных в разных циклах. Это позволяет получать полную картину динамики всего оползневого тела.

Основные технические характеристики системы приведены в таблице 4

Таблица 4

Параметры	Значение
Точность сканирования одиночной точки	6 мм с расстояния 1,5-50 м
Точность определения расстояния до одиночной точки	4 мм
Точность угловых измерений на одиночную точку	10»
Расстояние до сканируемого объекта	максимальное – до 100 м, рекомендуется 1,5-50 м.
Диапазон сканирования в горизонтальной и вертикальной плоскости	40°Ч40°
Регистрация данных	Переносной компьютер типа Notebook, Laptop
Питание	сеть 220 В, два аккумулятора 12 В, продолжительность работы 8 часов
Вес	27,8 кг

### 3.2. Приборы спутникового позиционирования

В настоящее время в мире существует несколько глобальных спутниковых радионавигационных систем (СРНС). Область применения СРНС – решение навигационных и геодезических задач, а также для точное временное обеспечение пользователей этих систем. СРНС предназначены, в основном, для военных пользователей и функционируют, как правило, под эгидой министерств обороны соответствующих стран. Они являются всепогодными навигационными системами космического базирования и обеспечивают определение пространственных координат местоположения, скорости и времени непосредственно в приемнике пользователя на основе беззапросных (пассивных) дальномерных измерений, выполняемых по радиосигналам нескольких навигационных спутников с известными координатами.

Спутниковые технологии являются эффективным и достаточно экономичным средством определения координат и имеют следующие преимущества:

- нет необходимости в прямой видимости между пунктами геодезической сети, что исключает строительство дорогостоящих геодезических сигналов и позволяет размещать пункты в местах, удобных для их последующего использования;
- практически нет ограничений на расстояния между пунктами;
- возможность работы практически в любое время года и суток при любой погоде;
- одновременное определение всех трех координат пунктов;
- высокий уровень автоматизации полевых и камеральных работ.

Из действующих СРНС – NAVSTAR GPS (США), ГЛОНАСС (Россия), GNSS (Европейский Союз), PRARE (Германия), DORIS (Франция) – наиболее распространены и широко применяются приемники систем NAVSTAR GPS и ГЛОНАСС, которые по своей структуре, принципам работы и характеристикам аналогичны друг другу и могут использоваться совместно.

СРНС NAVSTAR GPS состоит из трех основных подсистем (сегментов): космических аппаратов (ПКА), наземного контроля и управления (ПНКУ), аппаратуры пользователей (ПАП).

ПКА состоит из определенного числа ("созвездия") навигационных спутников. Основная функция ПКА – формирование и излучение радиосигналов, необходимых для определения местоположения пользователей. Для этого на каждом спутнике установлено следующее оборудование: аппаратура для приема и передачи радиосигналов, бортовой

компьютер, бортовой высокоточный атомный эталон частоты и времени, солнечные батареи питания, двигатели корректировки орбит, а также различное оборудование, используемое для ряда других военных проектов (например, обнаружение атомной вспышки). Бортовые эталоны времени и частоты обеспечивают практически синхронное излучение навигационных сигналов всеми спутниками, что является обязательным условием для реализации беззапросных измерений в приемниках пользователей.

Выбор состава и конфигурации орбитальной группировки навигационных спутников обеспечивает заданную рабочую зону (одновременное наблюдение в любой точке Земли), возможность реализации различных методов измерений, непрерывность и точность координатных определений.

ПКА GPS состоит из 24-х спутников (3 – резервные), расположенных по четыре в шести орбитальных плоскостях, развернутых через  $60^\circ$ . Наклон плоскостей к экватору равен  $55^\circ$ . Орбиты практически круговые. Средняя высота спутников 20145 км, период обращения примерно 11 ч 57 мин, скорость перемещения вдоль орбиты около 3,9 км/с. Средний срок службы спутников – 10 лет.

На рис. 6 показаны орбиты спутников GPS – вид на широте  $35^\circ$  и вид на полюсе.

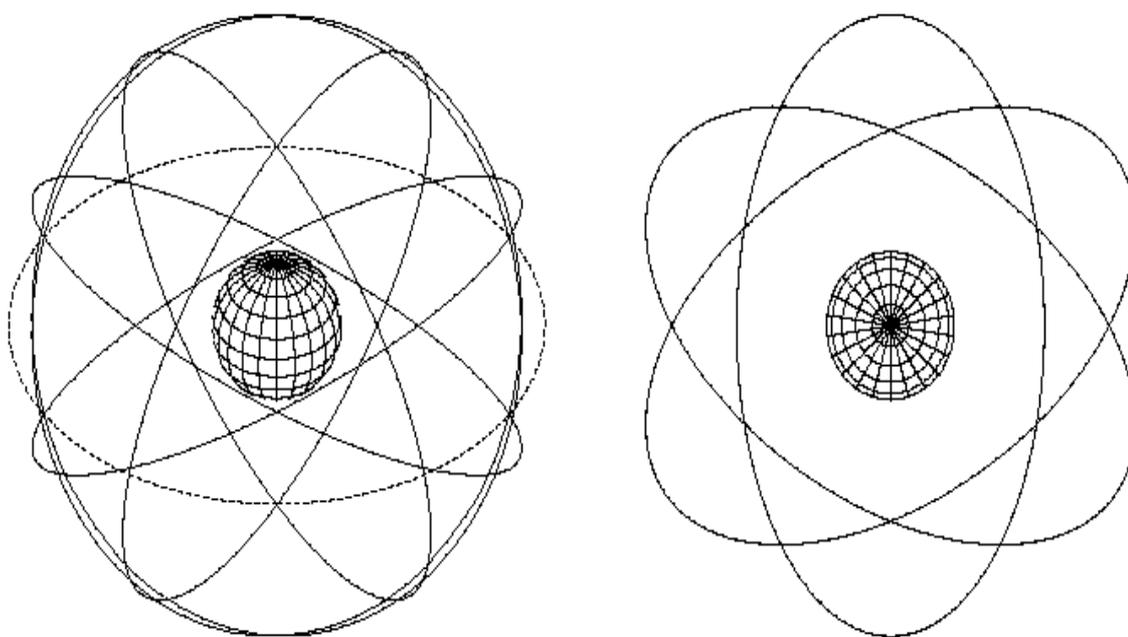


Рис. 6

Для передачи навигационных сигналов (дальномерных кодов, меток времени, данных о координатах спутника, идентификационных признаков и др.) на каждом спутник имеется генератор основных колебаний с опорной частотой 1,023 МГц (С/А-код) и 10,23 МГц (Р-, Y-

код). Эти колебания излучают на несущих частотах  $f_1 = 1575,42$  МГц ( $L_1$ ) с длиной волны 19,0 см и  $f_2 = 1227,60$  МГц ( $L_2$ ) с длиной волны 24,4 см. Частота  $L_1$  модулирована двумя дальномерными кодами: точным (Precision) P-кодом и легкодоступным (Clear Acquisition) C/A-кодом. Частота  $L_2$  модулирована одним P-кодом. P-код, в отличие от C/A-кода, предназначен для санкционированных (в основном, военных) пользователей GPS.

Все спутники GPS используют одни и те же частоты, но каждый спутник имеет свой код. В любое время, без предварительного уведомления, может быть введен так называемый режим избирательного (селективного) доступа SA (Selective Availability), при котором намеренно с целью понижения точности измерений искажают дальномерный код и эфемериды спутников. Правительство США отменило режим SA с 1 мая 2000 года. Для этих же целей предусмотрен режим дополнительного шифрования A-S (Anti-Spoofing), когда P-код переводится в новый, Y-код.

Спутники по своей модификации и функциональным возможностям объединены в группы – блоки I, II и II R. В настоящее время на орбите работают спутники блоков II и II R. Проектируется запуск спутников нового поколения (блок II F) с увеличенным сроком службы, которые будут дополнительно передавать третью частоту  $L_5$ , а также будут запрограммированы на выборочное отключение при прохождении над определенной территорией.

В СРНС NAVSTAR GPS используется гринвичская пространственная прямоугольная геоцентрическая система координат WGS-84 (World Geodetic System, 1984). Начало координат расположено в центре масс Земли. Ось Z направлена на условный земной полюс, соответствующий среднему за 1900-1905 гг. его положению, принятому в качестве Международного условного начала (МУН). Ось X лежит на пересечении экватора и плоскости гринвичского меридиана, ось Y в плоскости экватора дополняет систему координат до правой.

ПНКУ состоит из станций слежения за спутниками, службы точного времени, главной станции (Колорадо Спрингс, США) с вычислительным центром и нескольких станций загрузки информации на спутники, работающими в автоматическом режиме. Основной задачей ПНКУ является мониторинг целостности СРНС: наблюдение и контроль за траекториями спутников, сбор необходимой информации для определения и прогнозирования координат спутников (эфемерид), контроль за работой аппаратуры спутников, управление режимами ее работы и параметрами спутниковых сигналов,

формирование времени системы и его синхронизация относительно Всемирного времени, загрузка данных в память каждого спутника.

Навигационные спутники периодически пролетают над станциями слежения, что позволяет определять и прогнозировать их эфемериды, формировать необходимую служебную информацию и загружать ее в бортовой компьютер.

Синхронизация различных процессов в СРНС обеспечивается с помощью высокостабильного (атомного) эталона времени и частоты, который используется в процессе юстировки бортовых эталонов навигационных спутников.

Пользователи СРНС делятся на две категории: военные и гражданские. В составе GPS действуют Служба точного позиционирования PPS (Precise Positioning Service) и Служба стандартного позиционирования SPS (Standard Positioning Service). PPS базируется на использовании Р-кода и двух несущих частот, SPS – на использовании С/А-кода и одной несущей частоты.

Разрешенная точность абсолютного определения местоположения для гражданских пользователей GPS – примерно 10-30 м, а для военных – примерно 30 см, что достигается за счет полного использования Р-кода. Гражданские пользователи подразделяются на две основные группы по области применения СРНС – навигационное использование и геодезическое использование.

ПАП состоит из аппаратно-программных средств, предназначенных для приема и обработки спутниковых радиосигналов с целью определения пространственных координат и другой необходимой пользователям информации (времени, направления и скорости, пространственной ориентации и др.).

Стандартный комплект ПАП для геодезического применения состоит из двух (или более) приемников спутниковых сигналов с комплектом дополнительного оборудования и программного обеспечения для обработки спутниковых измерений.

**По типу выполняемых измерений и доступности кода** GPS-приемники делятся на три группы:

кодовые – измеряющие псевдодальности на основе С/А-кода;

фазовые – измеряющие фазу принимаемого сигнала с использованием С/А-кода;

Р-кодовые – измеряющие фазу принимаемого сигнала с использованием Р-кода, что достигается за счет установки специальной платы на входе приемника.

**По количеству используемых частот** приемники бывают одночастотные и двухчастотные.

**По способам слежения за спутниками** приемники классифицируются на одно- и многоканальные. Захват и отслеживание спутников в многоканальных приемниках выполняется независимыми приемными каналами. Наиболее распространены 9, 12-ти канальные приемники, в которых приемный канал может работать с любым спутником, а также 24-х канальные приемники, в которых каждому спутнику сопоставлен определенный канал.

**По используемым СРНС для определения координат** приемники делятся на односистемные – GPS или ГЛОНАСС, и совмещенные (двухсистемные) – (GPS или ГЛОНАСС).

В СРНС координаты наземных пунктов определяются методом обратной пространственной линейной засечки, где измеряются дальности от приемника до спутника, искаженные различного рода погрешностями (так называемые "псевдодальности"). Сама процедура определения местоположения получила название "позиционирование". Псевдодальности определяются на основе беззапросных измерений по дальномерным кодам и сдвигам фаз несущих частот: приемник принимает электромагнитные колебания со спутника, сравнивает их с колебаниями, выработанными в приемнике, и определяет дальность до спутника. Источниками погрешностей при измерениях являются ошибки эталонов времени и частот, ошибки шкал времени (часов) спутника и приемника и их несинхронность, ошибки эфемерид, атмосферные влияния (ионосферы и тропосферы), многопутность сигнала, собственные шумы приемника и другие. Для исключения большинства погрешностей координаты вычисляются по измерениям от нескольких (3-4) спутников.

Методы позиционирования делятся на две группы:

- определение абсолютных координат местоположения из псевдодальностей, полученных по дальномерным кодам (C/A, P, Y) – автономный и дифференциальный методы;
- определение приращения координат (или вектора) между пунктами, на которых установлены приемники, из псевдодальностей, полученных по измерениям фаз несущей частоты сигнала спутников – относительный метод.

Автономное позиционирование является автономным в том смысле, что координаты местоположения приемника определяются независимо от измерений, выполняемых другими

приемниками. Данный метод чувствителен ко всем источникам погрешностей, а при точных измерениях используется для нахождения приближенных координат. Точность автономного позиционирования для гражданских пользователей составляет 5-10 м.

Принцип дифференциального позиционирования заключается в коррекции измерений, выполняемых приемником на определяемом пункте, специальными поправками, транслируемыми приемником на исходном пункте с известными координатами. Коррекция выполняется в режиме реального времени или учитывается в ходе вычисления координат после измерений. Передача и прием поправок в реальном времени выполняется при помощи специального оборудования – радиомодема. Точность дифференциального позиционирования составляет 1-5 м – при использовании только кодовых поправок, и 1-2 см – при использовании дополнительно фазовых поправок (Real Time Kinematic – RTK).

Относительный метод определения координат местоположения (относительное позиционирование) заключается в одновременном выполнении спутниковых измерений двумя (и более) приемниками. В относительном методе через абсолютные координаты пунктов, полученные из непосредственных измерений, определяется приращение координат (пространственный вектор) между ними, которое будет свободно от ошибок абсолютного позиционирования. Применение относительного метода позволяет определить пространственный вектор между пунктами с точностью  $5\text{мм} + 1\text{мм} \times 10^{-6} D$ , где  $D$  – расстояние между пунктами в мм.

При реконструкции и развитии опорных геодезических сетей государственного значения, в которых требуется максимальная точность, используется только относительный метод спутниковых измерений.

Относительный метод позиционирования имеет следующие разновидности:

- статический;
- быстростатический;
- псевдокинематический (псевдостатический, реокупация);
- кинематический.

Наличие и реализация методов зависит от конструктивных особенностей приемника и используемого программного обеспечения для обработки спутниковых измерений.

В статическом методе измерения выполняются между двумя (и более) неподвижными приемниками в течение продолжительного периода времени (1 час и более). Статический метод является "классическим", при котором достигается наивысшая точность спутниковых

измерений. Поэтому именно данный метод используется при выполнении основных геодезических работ.

В быстростатическом методе продолжительность сеанса в статическом методе уменьшается до 5-10 минут за счет оптимального использования всех доступных качественных измерений при двух частотах. Данный метод используется только в двухчастотных приемниках.

В псевдокинематическом методе продолжительность сеанса в статическом методе уменьшается за счет совместного использования двух 5-10 минутных сеансов наблюдений, разделенных часовым (и более) интервалом, в течение которого заметно изменяется взаимное расположение (конфигурация) наблюдаемых спутников.

В кинематическом методе одновременные измерения выполняются между неподвижным (референчным) и мобильным приемниками. Для выполнения метода на первом пункте выполняется так называемая "инициализация" – решение (разрешение) неоднозначности фазовых измерений – и далее при перемещении мобильных приемников между пунктами непрерывно поддерживается захват 4-5 спутников. При потере захвата повторяется процедура инициализации.

Точность спутниковых измерений обеспечивается при нормальных условиях наблюдений, которые должны соответствовать следующим требованиям:

- минимальное количество наблюдаемых спутников – 4-5;
- допустимое значение показателя DOP (Dilution Of Precision) на всем протяжении измерений;
- минимум невозстановливаемых сбоев (пропусков циклов – Cycle Slip) при приеме спутниковых сигналов на всем протяжении измерений;
- минимальный угол возвышения наблюдаемых спутников над горизонтом – не менее  $15^\circ$ ;
- отсутствие помех, препятствующих приему сигнала или искажающих сигнал (влияние многопутности);
- нормальное атмосферное влияние.

Использование в сеансе измерений большего количества одновременно наблюдаемых спутников увеличивает объем измерений, что позволяет повысить достоверность и надежность определения векторов. Значение DOP учитывает взаимное геометрическое

расположение спутников и места установки антенны на момент измерений. Меньшее значение указывает на хорошую геометрию и, следовательно, хорошие условия измерений.

Пропуски циклов – потери в измерениях целых длин волн фазы несущей частоты при временной потере захвата спутников. Задача обработки спутниковых измерений выявить пропуски и исправить их. Большое количество неисправленных пропусков может привести к ошибочному определению векторов.

Сигналы со спутников, находящихся при углах возвышения над горизонтом менее 15°, искажаются влиянием тропосферы.

Многопутность влияет на фазовые и кодовые измерения и снижает точность определения векторов.



Геодезический спутниковый приемник GPS System500 предназначен для определения пространственных координат местоположения при выполнении топографо-геодезических работ по созданию и обновлению геодезических сетей, мониторингу, топографическим, гидрографическим и кадастровым съемкам, постоянному наблюдению за деформационными процессами, разбивке инженерных объектов. Приемник имеет три базовые конфигурации:

- SR510 – одночастотный приемник;
- SR520 – двухчастотный приемник;
- SR530 – двухчастотный приемник для режима кинематики в реальном времени.

Модели SR510 и SR520 могут быть легко доведены до уровня SR530 без замены основных элементов. Для использования GPS System500 в качестве постоянно действующей референционной станции приемник комплектуется прецизионной Choke Ring антенной.

Основные технические характеристики системы приведены в таблице 5

Таблица 5

Параметры	SR510	SR520	SR530
Методы измерений	статика, быстрая статика, кинематика, обработка RTCM поправок (опционно)	статика, быстрая статика, кинематика, кинематика в движении, обработка RTCM	статика, быстрая статика, кинематика, кинематика в движении и в режиме реального

		поправок (опционно)	времени, обработка RTCM поправок
Количество независимых каналов слежения	12	12	12
Измеряемые величины	C/A код, фаза несущей по L <sub>1</sub> и L <sub>2</sub>	P код, фаза несущей по L <sub>1</sub> и L <sub>2</sub>	P код, фаза несущей по L <sub>1</sub> и L <sub>2</sub>
Точность определения векторов (постобработка) – статика (длинные векторы) – статика, быстрая статика – кинематика – только по коду	нет 5-10 мм + 2 ppm 10-20 мм + 2 ppm типично 30 см	3 мм + 0,5 ppm 5 мм + 1 ppm 10 мм + 1 ppm типично 30 см	3 мм + 0,5 ppm 5 мм + 1 ppm 10 мм + 1 ppm типично 30 см
Регистрация данных	PCMCIA 4, 10, 85 МБ, внутренняя память 4 или 10 МБ (опционно)		
Питание	2 внешние батареи по 6 В, 6 часов непрерывной работы		
Вес	1,25 кг	1,15 кг	1,15 кг

При использовании спутниковых методов определения координат обычно применяются две основные формы построения сетей:

- полигональная (замкнутых геометрических фигур) (рис. 7);
- радиальная (рис. 8).

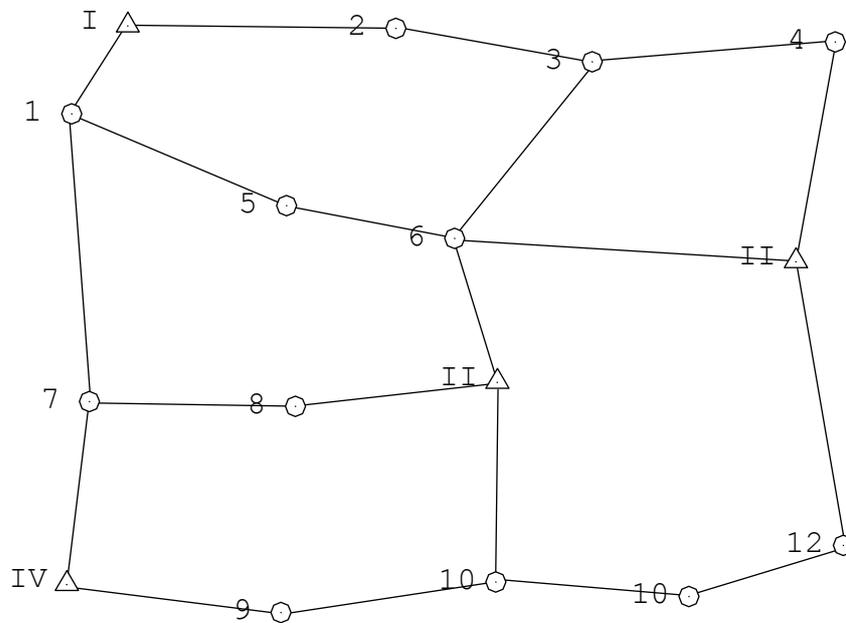


Рис. 7

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 пунктов с определением векторов между референсным приемником и мобильным приемником.

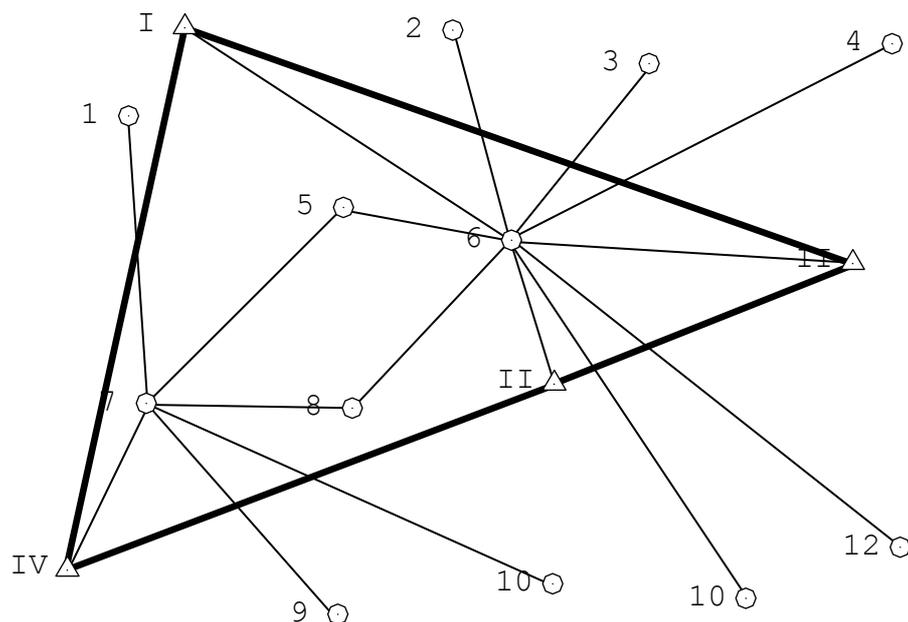


Рис. 8

Спутниковые измерения могут быть выполнены в результате использования несущей либо частоты, либо кодов модуляции, позволяющих получить псевдодальности. Кодовые измерения могут основываться на P-коде и на C/A-коде. Псевдодальность – это измерение кажущегося времени распространения сигнала от спутника до антенны приемника, причем перевод этого значения времени в расстояние осуществляется через скорость света. Кажущееся время распространения представляет собой разность между временем приема сигнала (измеренным в системе отсчета времени, характерной для приемника) и временем его излучения (измеренным в системе отсчета времени, характерной для спутника). Отличие псевдодальности от реальной дальности обусловлено влиянием несинхронности хода часов на спутнике и в приемнике.

Псевдодальности наиболее просты в геометрическом смысле, так как это фактически дальномерные измерения, отягощенные погрешностями часов. Когда одновременно наблюдается четыре спутника, возникает возможность определить трехмерное положение наземного приемника, а также поправку часов приемника относительно шкалы времени. По геодезической терминологии, выполняется дальномерная засечка со спутников, являющихся опорными пунктами. Как и при любой засечке, точность определения есть функция геометрического положения приемника относительно четырех наблюдаемых спутников. Наилучшая геометрия засечки должна быть в случае, когда четыре спутника равномерно расположены по горизонту, а их высоты равны  $40-70^\circ$ . Следует, однако, иметь в виду, что дальномерные измерения менее точны по сравнению с фазовыми, выполняемыми на несущей частоте.

Кроме того, помехой для точного использования псевдодальностей является эффект многопутности (многолучевости), т. е. явления при которых часть спутникового сигнала принимается антенной приемника после отражения от подстилающей поверхности земли и других предметов.

Измерения фазы несущей частоты более точны, чем псевдодальномерные, и гораздо менее подвержены влиянию многолучевости. Длина волны наибольшей из несущих частот  $L_1 = 19$  см, поэтому даже грубая интерполяция фазы дает сантиметровую точность. Согласно методике радиодальномерных измерений фазовые измерения имеют неоднозначность, поэтому до определения абсолютной дальности на начальную эпоху они дают только приращения расстояний (так называемый "интегральный доплер") за период наблюдений. Неоднозначностью называется неизвестное целое число фазовых циклов восстановленной фазы несущих колебаний, содержащееся в неразрушенной последовательности измерений и

обусловленное временем прохождения радиосигнала от отдельного спутника до конкретного приемника.

Фазу несущей можно определить из кодово-модулированного сигнала, используя код или другую методику. Сигнал  $L_1$ , модулированный P- и C/A-кодом, может, таким образом, отслеживаться P- или C/A-кодowymi приемниками, а также бескодовыми. Сигнал  $L_2$ , который следует использовать совместно с  $L_1$  для устранения ионосферных эффектов при очень точных определениях (точнее,  $2\text{Ч}10^{-6}$  для относительных координат), не модулирован C/A-кодом, так что приемники для высокоточных определений должны иметь доступ к P-коду или работать без кода.

Можно также отслеживать фазу модуляции P-кодом (на частоте 10,23 МГц) или несущую сигналов P-кода без знания самих кодов. Большая длина волны (примерно 30 м) этого сигнала по сравнению с несущей  $L_1$  диапазона позволяет легко разрешить неоднозначность целого числа циклов. Однако большая длина волны делает такие измерения более подверженными влиянию многопутности.

Основной источник погрешностей в спутниковых измерениях – непредсказуемое поведение стандартов времени и частоты, являющихся опорными в приемнике и на спутнике. Хотя спутники оборудованы атомными стандартами частоты (водородными цезиевыми или рубидиевыми), нестабильность этих стандартов может порождать ошибки координат в несколько метров, если не исключить это влияние путем получения разностей сигналов.

Наиболее точные результаты можно получить, если использовать разности фаз. Это могут быть первые, вторые и даже третьи разности фаз. Дифференциальные (разностные) измерения могут быть относительно приемников, спутников и времени. Современная концепция дифференциальных фазовых измерений состоит в том, чтобы формировать разности в следующем порядке:

- первая – разность между приемниками;
- вторая – разность между спутниками;
- третья – разность между различными моментами времени.

Линейные комбинации фаз показаны на рис. 9.

Измерения, базирующиеся на первой разности (т. е. между приемниками), представляют собой мгновенную разность текущих фаз принимаемого сигнала, измеряемых одновременно двумя приемниками при наблюдениях одного и того же спутника:

$$\begin{bmatrix} \rho_i^p(t_1) - \rho_j^p(t_1) \\ \rho_i^q(t_1) - \rho_j^q(t_1) \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} \rho_i^p(t_2) - \rho_j^p(t_2) \\ \rho_i^q(t_2) - \rho_j^q(t_2) \end{bmatrix} \quad (3)$$

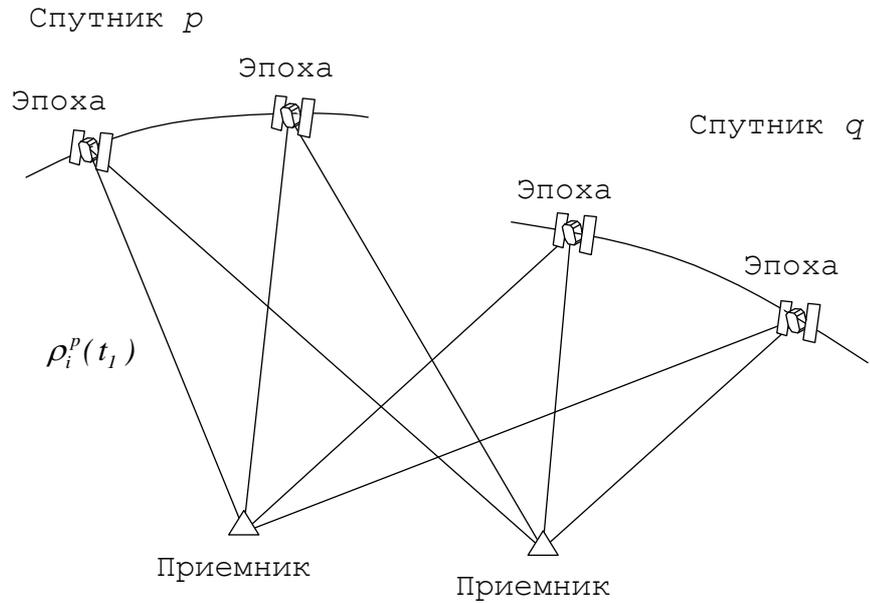


Рис. 9

Измерения, базирующиеся на второй разности (т. е. между приемниками и между спутниками), представляют собой разность между первой разностью, полученной для одного спутника, и соответствующей первой разностью, полученной для выбранного опорного спутника.

$$\begin{bmatrix} \rho_i^p(t_1) - \rho_i^q(t_1) \\ \rho_j^p(t_1) - \rho_j^q(t_1) \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} \rho_i^p(t_2) - \rho_i^q(t_2) \\ \rho_j^p(t_2) - \rho_j^q(t_2) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Измерения, базирующиеся на третьей разности (т. е. между приемниками, между спутниками и между различными моментами времени), представляют собой разность между второй разностью, относящейся к другому моменту времени.

$$\begin{bmatrix} \rho_i^p(t_2) - \rho_i^p(t_1) \\ \rho_j^p(t_2) - \rho_j^p(t_1) \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} \rho_i^q(t_2) - \rho_i^q(t_1) \\ \rho_j^q(t_2) - \rho_j^q(t_1) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Эфемериды – это набор координат, которые определяют положение спутников на орбите в различные моменты времени. Для определения координат наземного приемника, как абсолютных, так и относительных, требуется ввод эфемерид на определенные моменты времени наблюдений.

При определении абсолютных координат погрешности эфемерид приводят к погрешностям в координатах определяемого пункта примерно такой же величины, как и сами погрешности эфемерид. Погрешности координат пунктов могут быть значительно уменьшены путем осреднения, когда в течение нескольких часов наблюдается ряд спутников. Однако при определении относительных координат погрешности эфемерид порождают примерно равные изменения в координатах обеих станций, поэтому влияние погрешностей на определение относительных координат значительно уменьшается. **Приближенный подсчет влияния погрешности эфемерид на вектор между двумя приемниками показывает, что влияние данной погрешности в эфемеридах спутника на погрешность относительных координат (погрешность вектора) происходит с коэффициентом равным отношению длины вектора к высоте орбиты. Например, погрешность орбиты, равная 20 м, будет приводить к погрешности базы  $1 \cdot 10^{-6}$  или 1 см на 10 км длины вектора.**

**Важным ограничителем точности геодезических работ, выполняемых при помощи GPS, являются ошибки эфемерид, используемых при обработке данных, на величину которых пользователь, к сожалению, не может повлиять.**

В целом эфемериды можно разделить на уточненные, получаемые из обработки измерений, и прогнозируемые. Уточненные эфемериды определяются по наблюдениям спутников и поэтому являются оценкой положения спутника на период наблюдений. Данные слежения собирают с нескольких опорных станций и обрабатывают по методу наименьших квадратов для получения орбиты, наилучшим образом соответствующей этим данным. Путем использования специальных методов обработки и тщательно спланированных программ наблюдений можно получить орбиты на метровом уровне точности.

"Бортовые эфемериды" (широковещательные), которые получают путем экстраполяции уточненной орбиты на несколько дней вперед, позволяют получать координаты пунктов в реальном масштабе времени с использованием псевдодальностей. В настоящее время точность таких эфемерид находится на уровне 20-100 м.

Хотя бортовые эфемериды предназначены для обеспечения воздушной, наземной и морской навигации, использование их в дифференциальном методе позволяет обеспечить точность определения базы порядка нескольких единиц на  $10^{-6}$  (несколько сантиметров на 10 км базы). Непосредственно использовать эти эфемериды смогут только те спутниковые приемники, которые имеют встроенное устройство расшифровки закодированного навигационного сообщения. Одновременно с выполнением наблюдений принимается

навигационное сообщение и эфемериды записываются для дальнейшего использования на этапе обработки данных.

**Исходя из изложенного в главе 3 можно заключить:**

**Спутниковые технологии являются эффективным и достаточно экономичным средством определения координат и имеют значительные преимущества перед традиционными способами: нет необходимости в прямой видимости между пунктами геодезической сети; практически нет ограничений на расстояния между пунктами; возможность работы практически в любое время года и суток при любой погоде; одновременное определение всех трех координат пунктов; высокий уровень автоматизации полевых и камеральных работ.**

## **4 Математические модели, применяемые при определении координат**

### **4.1 Определение координат из кодовых измерений расстояний**

Измеренная в эпоху  $t$  с помощью кодового сигнала псевдодальность от пункта наблюдений  $i$  до спутника  $j$  может быть представлена в виде

$$R_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c\Delta\delta_i^j(t) \quad (6)$$

Где  $R_i^j(t)$  – измеренная с помощью кодового сигнала псевдодальность от пункта наблюдений  $i$  до спутника  $j$ ;  $\rho_i^j(t)$  – геометрическое расстояние между спутником и пунктом наблюдений;  $c$  – скорость света;  $\Delta\delta_i^j(t)$  – временной член, обусловленный несинхронностью часов; он учитывает совместное уклонение от времени GPS часов спутника и приемника.

Обозначим координаты спутника в эпоху  $t$  через  $x^j(t)$ ,  $y^j(t)$ ,  $z^j(t)$ , а координаты приемника через  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $z_i$ . Тогда геометрическое расстояние между спутником и пунктом наблюдений будет равно

$$\rho_i^j = \sqrt{(x^j(t) - x_i)^2 + (y^j(t) - y_i)^2 + (z^j(t) - z_i)^2} \quad (7)$$

Рассмотрим член  $\Delta\delta_i^j(t)$ , обусловленный несинхронностью часов, для случая одного измерения в одну эпоху, имея в виду определение единичного пункта  $i$ . Наблюдение каждого спутника вносит одну неизвестную поправку часов, что иллюстрирует верхний индекс  $j$  при временном члене. Пренебрегая несинхронностью часов приемника,

расположенного в пункте  $i$ , получим уравнение для псевдодальности до первого спутника, содержащее четыре неизвестных – три координаты пункта и поправку часов спутника. Наблюдение каждого дополнительного спутника добавляет одно уравнение, содержащее те же неизвестные координаты пункта и новую поправку часов спутника. Поэтому число неизвестных всегда будет больше числа измерений. Даже если рассматривать еще одну эпоху наблюдений, необходимо будет моделировать новые значения поправок часов спутников, учитывая ход часов. Однако параметры хода часов спутников известны и содержатся в транслируемом навигационном сообщении в виде трех коэффициентов  $a_0, a_1, a_2$  полинома на референционную эпоху  $t_0$ .

Поэтому формула

$$\delta^j(t) = a_0 + a_1(t - t_0) + a_2(t - t_0)^2 \quad (8)$$

позволяет вычислить поправку часов спутника на эпоху  $t$ . Отметим, что полином (8) позволяет исключить влияние большей части несинхронности часов спутника, но все-таки небольшое остаточное влияние имеет место.

Объединенный член  $\Delta\delta_i^j(t)$  состоит из двух частей

$$\Delta\delta_i^j(t) = \delta^j(t) - \delta_i(t) \quad (9)$$

где поправка часов спутника  $\delta^j(t)$  определяется выражением (8), а поправка часов приемника  $\delta_i(t)$  остается неизвестной. Подставив (9) в (6), получим

$$R_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c\delta^j(t) - c\delta_i(t) \quad (10)$$

Это и есть уравнение, которое необходимо исследовать применительно к определению неизвестных. При наблюдении в одну эпоху  $t$  возникают четыре неизвестных: три координаты пункта и неизвестная поправка часов приемника  $\delta_i(t)$ . Все четыре неизвестных можно определить сразу после того, как будут выполнены одновременные наблюдения четырех спутников.

Выполним более общий анализ выражения (10). Обозначим число наблюдаемых спутников  $n_i$ , а количество эпох наблюдений –  $n_j$ , тогда имеем  $n_i n_j$  уравнений наблюдений. Для получения единственного решения необходимо, чтобы число неизвестных не превышало число уравнений наблюдений. Перенеся в левую часть вычисляемую поправку часов спутника, получим

$$\begin{aligned}
 R_i^j(t) - c\delta^j(t) &= \rho_i^j(t) - c\delta_i(t), \\
 n_j \times n_t &\geq 3 + n_t
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Здесь число измерений и число неизвестных записано под соответствующим членом. Если это выражение соответствует одной эпохе, т. е.  $n = 1$ , то  $n_t > 4$ . Подчеркнем, что каждая эпоха должна рассматриваться отдельно, а положение пункта  $i$  и поправки часов на эпоху могут быть получены лишь тогда, когда выполняются одновременные наблюдения. Следовательно, приемник  $i$  может перемещаться. Это соответствует случаю наблюдений в кинематическом режиме, когда необходимо определять местоположение подвижного носителя в любую желаемую эпоху. Такие траекторные измерения или работа в навигационном режиме явились первоначальной целью создания GPS. Если в поле зрения приемоиндикатора находится не менее четырех спутников, то в любую эпоху можно определить местоположение (и скорость) приемника  $i$ .

При наблюдениях в статическом режиме, когда приемник  $i$  в процессе наблюдений неподвижен, ситуация несколько отличается от описанной. В этом случае нет необходимости наблюдать одновременно четыре спутника. Это можно увидеть, анализируя уравнение (11) для случая наблюдения двух спутников (т. е.  $n_j = 2$ ). Соответствующий результат  $n_t > 3$  говорит о том, что достаточно наблюдать два спутника в течение трех эпох. На практике это приводит либо к неудовлетворительным результатам, либо вообще результат решения получается неопределенным из-за плохой обусловленности системы уравнений; исключение составляет случай, когда наблюдения выполнены в эпохи, разделенные большим интервалом времени (несколько часов). Однако если выполнены наблюдения двух спутников в течение трех эпох, а затем наблюдались два других спутника в последующие три эпохи (т. е. следующие за предшествующими через несколько секунд), то задача может быть решена. Такое решение на практике встречается достаточно редко, но и его нельзя исключать (например, в городских условиях).

## 4.2 Определение координат из фазовых измерений на несущей частоте

Псевдодальности можно получать также из результатов фазовых измерений на несущей частоте. Математическая модель, описывающая эти измерения, имеет вид

$$\Phi_i^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_i^j(t) + N_i^j + f^j \Delta\delta_i^j(t)
 \tag{12}$$

Где  $\Phi_i^j(t)$  – измеренная фаза несущих колебаний, выраженная в фазовых циклах;  $\lambda$  – длина волны;  $\rho_i^j(t)$  – та же геометрическая дальность, что и в модели, описывающей кодовые измерения. Не зависящая от времени величина фазовой неоднозначности  $N_i^j$  является целым числом, и поэтому ее часто называют целочисленным неизвестным или целочисленной многозначностью. Символом  $f^j$  обозначена частота колебаний излучения спутника, выраженная в циклах в секунду.

Если подставить (9) в (12), то модель фазы приобретает вид

$$\Phi_i^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_i^j(t) + N_i^j + f^j \delta^j(t) - f^j \delta_i(t) \quad (13)$$

Здесь вновь предполагается, что поправка  $\delta^j(t)$  в соответствии с выражением (8) известна. При наблюдении  $n_j$  спутников в течение  $n_t$  эпох и при определении местоположения одиночного пункта  $i$  имеет место  $n_j \times n_t$  измерений. Число неизвестных приведено под соответствующими членами в правой части следующей формулы:

$$\begin{aligned} \Phi_i^j(t) - f^j \delta^j(t) &= \frac{1}{\lambda} \rho_i^j(t) + N_i^j - f^j \delta_i(t), \\ n_j \times n_t &\geq 3 + n_j + n_t \end{aligned} \quad (14)$$

Однозначное решение при наблюдении в одну эпоху (т. е. при  $n_t = 1$ ) возможно лишь тогда, когда не принимается в расчет необходимость определения целого числа  $N_i^j$ . В этом случае модель определения расстояния по фазовым измерениям эквивалентна модели кодовых измерений дальности и, следовательно,  $n_j \ll 4$ . В основном это означает, что фазовая модель может быть использована для наблюдений в кинематическом режиме при условии, что многозначность была разрешена изначально (т. е. при наблюдении в статическом режиме). Если многозначность необходимо разрешать, то теоретически необходимое число спутников  $n_j$  равно двум. При этом минимально необходимое число эпох наблюдений  $n_t$  равно пяти. Практически же при наблюдении  $n_j$  спутников, число которых равно четырем, результаты получатся удовлетворительными. В этом случае необходимое число эпох наблюдений  $n_t > 3$ .

### 4.3 Определение координат из доплеровских измерений

В соответствии с выражением  $D = \rho + c\Delta\delta$  математическая модель доплеровских измерений имеет вид

$$D_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c\Delta\delta_i^j(t) \quad (15)$$

и может рассматриваться как производная по времени от псевдодальности, измеренной в кодовом или фазовом режиме. В выражении (15)  $D_i^j(t)$  – измеренная величина доплеровской частоты (при умножении на соответствующий коэффициент она имеет размерность скорости изменения расстояния);  $\rho_i^j(t)$  – мгновенное значение радиальной скорости относительного перемещения спутника и приеме индикатора;  $\Delta\delta_i^j(t)$  – производная по времени от разности поправок часов спутника и приемоиндикатора.

Радиальная составляющая скорости при неподвижном приемо-индикаторе имеет вид

$$\rho_i^j(t) = \frac{\underline{\rho}^j(t) - \underline{\rho}_i}{\|\underline{\rho}^j(t) - \underline{\rho}_i\|} \times \underline{\rho}^j(t) \quad (16)$$

где  $\underline{\rho}$  – неизвестный вектор местоположения приемника;  $\underline{\rho}^j(t)$  – мгновенный вектор положения спутника;  $\underline{\rho}^j(t)$  – мгновенный вектор скорости спутника.

На основании (8), вклад в  $\Delta\delta_i^j$  несинхронности часов спутника будет равен

$$\delta^j(t) = a_1 + 2a_2(t - t_0) \quad (17)$$

Эта величина является известной, в результате чего можно сказать, что уравнение наблюдений (15) содержит четыре неизвестных. Три из них – это координаты приемника  $\underline{\rho}_i$ , а четвертое – ход часов приемника  $\delta_i(t)$ . Следовательно, по сравнению с моделью кодовых измерений доплеровские уравнения содержат вместо поправки часов приемоиндикатора ход этих часов. Поэтому можно определять местоположение в статическом режиме.

При совместной обработке кодовых измерений псевдодальностей и доплеровских измерений при определении местоположения в статическом режиме имеется пять неизвестных: три координаты пункта, поправка часов приемоиндикатора и ход его часов. Каждое наблюдение спутника дает два уравнения наблюдений: **псевдодальность**,

измеренную в кодовом режиме, и доплеровскую частоту. Следовательно, для нахождения всех неизвестных достаточно наблюдать три спутника.

#### 4.4 Определение относительного местоположения

Сущность метода состоит в определении координат пункта относительно пункта, координаты которого известны и который в большинстве случаев в процессе наблюдений неподвижен. Другими словами, определение относительного местоположения заключается в определении вектора, соединяющего два пункта, который часто называют "базой".

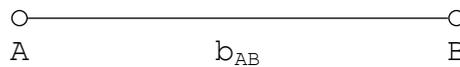


Рис. 12

На рис. 12 точка А обозначает (известный) референционный пункт, В – неизвестный пункт, а  $b_{AB}$  – вектор между ними. Введя соответствующие векторы местоположения  $\underline{X}_A$ ,  $\underline{X}_B$ , выражение

$$\underline{X}_B = \underline{X}_A + \underline{b}_{AB} \quad (18)$$

можно записать в координатном виде, а компоненты вектора  $\underline{b}_{AB}$  имеют вид

$$\underline{b}_{AB} = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix} \quad (19)$$

При этом можно использовать математические модели для измерения дальностей в кодовом и фазовом режимах (см. формулы (11) и (14)) аналогично тому, как это было сделано раньше. Единственным отличием является использование известных координат референцией станции. Эти координаты должны быть заданы в системе WGS-84, их приближенное значение обычно определяется из кодовых измерений. Как правило, для всех случаев практического применения достаточно иметь точность, характеризующуюся ошибкой в 50 м.

Режим определения относительного местоположения наиболее эффективен, если на референцией и определяемой станции наблюдения выполняются синхронно. Одновременность наблюдений означает, что на обоих пунктах используют одни и те же метки времени. Рассматривая случай синхронных наблюдений с двух пунктов А и В двух спутников  $j$  и  $k$ , можно сформировать линейные комбинации для случаев первых, вторых и

третьих разностей. Большинство систем математического и программного обеспечения обработки результатов измерений используют эти три вида разностей (три подхода), поэтому в данной главе описаны основы их математических моделей.

**Исходя из изложенного в главе 4 можно заключить, что:**

**- разнообразие математических моделей определения координат из кодовых измерений расстояний, из фазовых измерений на несущей частоте из доплеровских измерений и определение относительного местоположения, а также программного обеспечения позволяют вычислить местоположения точки с достаточной точностью.**

## **5. Рекомендации по применению методики геодезического обеспечения по наблюдению за оползнеопасными участками**

**Целью выполнения работ** по наблюдениям за основными оползнеопасными участками Ангренской станции слежения является определение величин и скоростей смещений реперов, закрепленных на поверхности оползневых тел, методами натуральных инструментальных измерений для изучения и прогнозирования геодинамического состояния оползневых зон.

В качестве **исходных пунктов** применяют пункты государственной геодезической сети 2, 3 классов и 1 разряда вне зоны возможных деформаций и влияния исследуемых оползневых участков.

Места **закрепления**, конструкция и количество рабочих реперов слежения определяется в зависимости от условий, складывающихся на каждом конкретном оползне.

Закрепление рабочих реперов выполнялось в соответствии с требованиями заказчика согласно указаниям [8]

**Инструментальные измерения** состоят из геодезических работ по планово-высотному определению рабочих реперов слежения. Вертикальные и горизонтальные смещения реперов определяются как разности соответствующих координат рабочих реперов между циклами наблюдений.

Определение координат рабочих реперов слежения выполняются геодезическими спутниковыми двухчастотными GPS-приемниками. Спутниковые приемники прошли в 2000 г. метрологическую аттестацию на эталонном базисе.

Для определения координат используются полигонально-радиальная схема построения, в качестве референчных пунктов использовались исходные пункты.

Спутниковые измерения выполняются статическим методом с дискретностью записи 20 секунд с параметрами приемников, установленными по умолчанию. Продолжительность сеанса измерений на каждом репере должно быть не менее 1 часа. Для измерений выбираются наиболее благоприятные периоды по данным спутникового альманаха при помощи модуля планирования программного обеспечения SKI. После завершения измерений файлы приемника Ashtech преобразуются из своего формата в общий обменный формат RINEX для последующей совместной обработки с файлами измерений Leica.

Для обеспечения одноклассности и однородности сети, спутниковые измерения во всех циклах выполняются с одними и теми же параметрами.

**Математическая обработка результатов** спутниковых измерений выполняются с использованием программы SKI, версия 2.3 (Leica Geosystems, 1998).

Обработка состоит из нескольких этапов:

1. Проверка соответствия семантической информации о пунктах (названия, высоты антенн), введенной в процессе измерений, с данными из полевых журналов.
2. Обработка одиночной станции для получения максимально точных координат начального пункта в системе координат WGS-84.
3. Обработка отдельных векторов с получением фиксированных решений для каждого вектора.
4. Свободное уравнивание спутниковой сети с одним фиксированным референчным пунктом и оценка её внутренней сходимости.
5. Трансформирование результатов уравнивания из системы координат WGS-84 в систему координат СК-42 и Балтийскую систему высот 1977 г. Трансформирование выполняется методом интерполирования модуля Datum/Map по пунктам ГГС, принятым в качестве исходных.

Спутниковые измерения во всех циклах должны соответствовать с требованиям [16], [17]. При выполнении спутниковых измерений рекомендуются использовать следующие параметры, устанавливаемые в сенсоре:

Таблица 7

Наименование параметров	Значение
Метод измерений	статика
Продолжительность измерений	15-20 мин
Интервал записи	10 с

Угол отсечки спутников	10°
Количество используемых спутников	не менее 5
Численное значение GDOP	не более 5
Тип принимаемого сигнала	одионый (simple)

Перед началом работ выполняются планирование времени измерений и определение "окон" измерений с достаточным количеством спутников и хорошей геометрией их взаимного расположения.

Математическая обработка результатов спутниковых измерений должны соответствовать требованиям [24].

При обработке спутниковых измерений, выполненных во всех циклах, устанавливаются следующие параметры:

Таблица 8

Наименование параметров	Значение параметров
Угол отсечки спутников	15°
Модель тропосферы	Hopfield
Модель ионосферы	стандартная
Тип решения	стандартная
Используемые эфемериды	широковещательные
Используемые данные спутниковых измерений	код и фаза
Априорная среднеквадратическая погрешность (RMS) фазовых измерений	10 мм

Обработка векторов во всех циклах выполняются с получением фиксированного решения неоднозначности. Векторы, для которых не будут получены фиксированные решения, отбраковываются и не включаются в уравнивание.

Координаты рабочих реперов в системе WGS-84 получаются из свободного уравнивания (Free Adjustment) с фиксацией пункта с одинаковыми координатами во всех циклах.

Координаты рабочих реперов в местной системе получают методом пересчёта из системы WGS-84 с использованием следующих трансформационных параметров:

$$dX = 25 \text{ м}, dY = -141 \text{ м}, dZ = -80 \text{ м},$$

$$X \text{ Rotation} = 0, Y \text{ Rotation} = -0,35'', Z \text{ Rotation} = -0,66''$$

$$\text{Scale Difference (ppm)} = 0$$

Для обеспечения однородности получаемых результатов, при обработке измерений во всех циклах используются одинаковые параметры и исходные данные (координаты начального и исходных пунктов, параметры трансформации и др.).

## 5.1 Выводы

На основе теоретического анализа и результатов эксперимента приходим к выводу, что использование геодезических спутниковых приемников для определения смещений оползней имеет:

- оперативность выполнения полевых работ и получения их результатов;
- одновременное определение трехмерного (планового и высотного) положения рабочих реперов слежения;
- определение координат рабочих реперов слежения на оползнях, расположенных на значительных расстояниях друг от друга, в единой системе координат и высот, связанных между собой однородной геодезической сетью.

При проведении повторных циклов измерений спутниковыми приемниками необходимо обратить особое внимание на следующие моменты:

1. Выбор схемы спутниковых измерений. Схема измерений (полигональная или радиальная) выбирается в зависимости от условий объекта, количества приемников, имеющегося транспорта, степени доступности исходных и определяемых пунктов. Для надежного определения координат реперов предпочтение отдается полигональной схеме, обеспечивающей взаимную согласованность всех реперов и пунктов, на которых выполняются спутниковые измерения. Для получения однородных измерений во всех циклах натурных измерений необходимо использовать одинаковые схемы спутниковых измерений.
2. Обеспечение однородности выполняемых измерений для исключения влияния инструментальных и программных факторов. Под инструментальными и программными факторами здесь понимаются так называемые рабочие параметры работы спутниковых приемников и параметры программного обеспечения для обработки спутниковых измерений. Однородность достигается применением одних и тех же параметров во всех циклах. При использовании других типов приемников и другого программного обеспечения устанавливаются параметры,

наиболее близкие к первоначальным. Заметим, что различные типы приемников и программ обработки геодезического назначения функционально одинаковы.

3. Использование единой технологии обработки спутниковых измерений. Это подразумевает не только применение одинаковых параметров работы всех модулей программного обеспечения, но и единую последовательность процедуры обработки с использованием одних и тех же начальных (референчных) пунктов с фиксированными координатами WGS-84 на этапах обработки векторов и уравнивания, одних и тех же трансформационных параметров.

Перспективным представляется определение деформационных смещений оползней без привязки к государственным или местным системам координат. Это позволит исключить влияние погрешностей исходных пунктов, вызывающих деформацию (искажение) более точной спутниковой сети и тем самым повысить точность определения векторов смещения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение возможности использования геодезических спутниковых приемников для определения смещений оползней показало их высокую эффективность, в числе которых: оперативность выполнения полевых работ и получения их результатов; одновременное определение трехмерного (планового и высотного) положения рабочих реперов слежения и определения их координат на оползнях, расположенных на значительных расстояниях друг от друга, в единой системе координат и высот, связанных между собой единой геодезической сетью.

Перспективным представляется определение деформационных смещений оползней без привязки к государственным или местным системам координат. Это позволяет исключить влияние погрешностей исходных пунктов, вызывающих деформацию (искажение) более точной спутниковой сети и тем самым повысить точность определения векторов смещения.

Выбор правильной методики и технологии выполнения полевых работ, математической обработки спутниковых измерений является актуальной задачей на этапах разработки технических проектов и написания технических отчетов, так как от этого зависит в конечном итоге правильная интерпретация получаемых результатов. Кроме того, этого позволит избежать неоправданных затрат материальных и людских ресурсов при производстве работ.

Создание геодезических сетей с использованием геодезических спутниковых приемников становится сегодня обычным производственным процессом во многих организациях Узбекистана. Спутниковые приемники стали уже традиционным геодезическим инструментом, применяющимся практически для всех видов геодезических работ. И теперь главной задачей любого производства является оптимизация, на основе технико-экономического анализа, технологических процессов производства измерений с целью эффективного использования дорогостоящей аппаратуры.

Если спутниковые технологии определения координат уже достаточно хорошо изучены, описано много примеров их прикладного применения в различных сферах, то использование таких новейших технологий как лазерное сканирование в целях мониторинга за оползневыми процессами в доступных нам источниках информации не имеется. Тем не менее из изучения технических возможностей и описания самой технологии лазерное

сканирование представляет собой эффективный инструмент для оперативного получения наиболее полной информации о поверхностных изменениях, происходящих с оползневым телом, через построение и сопоставление цифровых моделей поверхности. Насколько нам известно, в Республике Узбекистан такое оборудование пока отсутствует, что вызвано, безусловно, его достаточно высокой стоимостью.

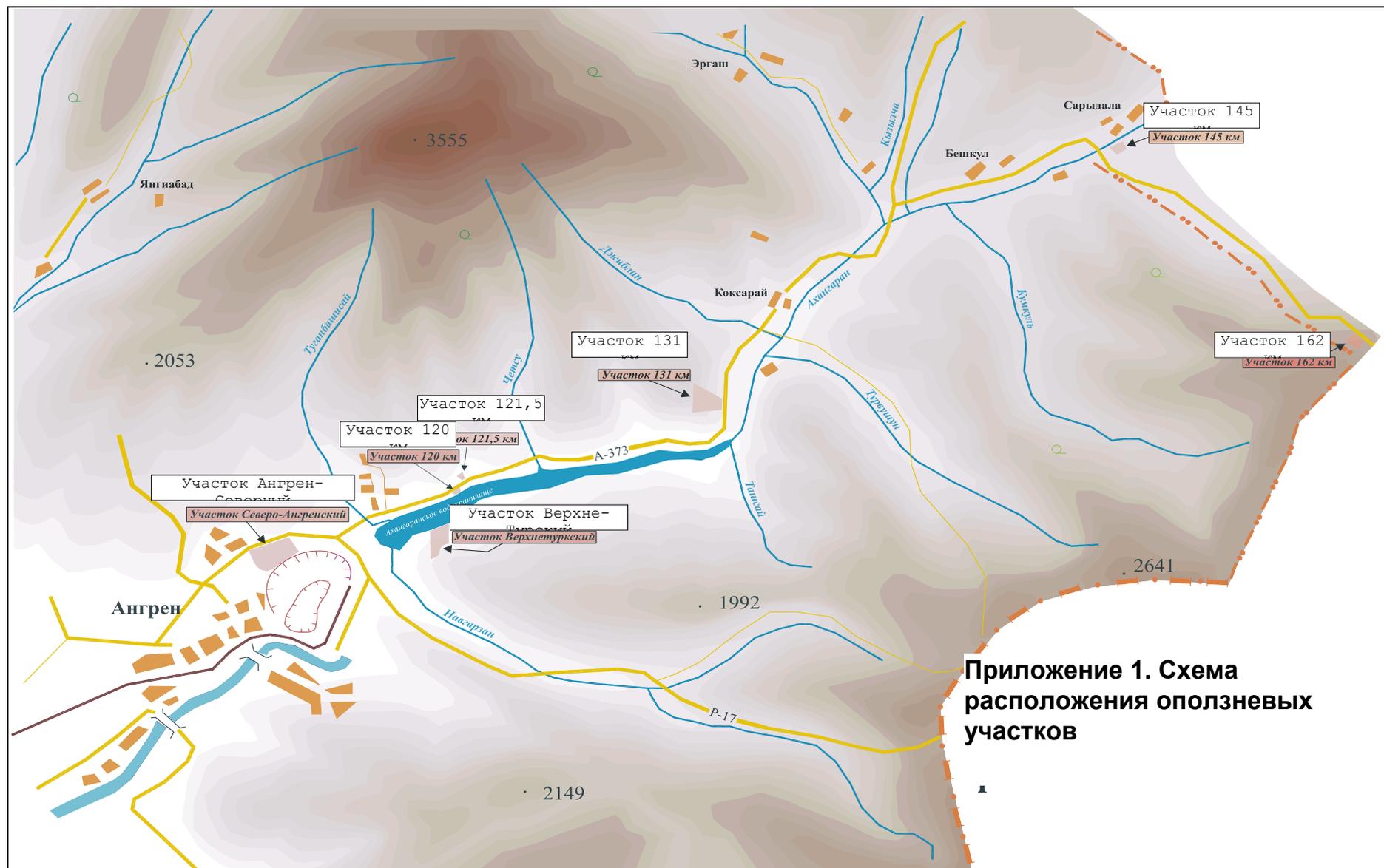
В заключение еще раз хотелось бы отметить особую значимость работ по наблюдению за оползневыми участками в зонах функционирования горнодобывающих предприятий, так как своевременное обнаружение опасной фазы развития оползневых процессов и принятие своевременных и эффективных противооползневых мероприятий позволит избежать огромных финансовых затрат по ликвидации последствий схода оползня, потерь от вынужденного простоя предприятия и нарушения технологического цикла, а также, что немаловажно, позволит избежать возможные человеческие жертвы и экологические катастрофы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Генике А. А., Побединский Г. Г. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии. – М.: Геодезиздат, 1999.
- 2) Григоренко А. Г. Измерение смещений оползней. – М.: Недра, 1988.
- 3) Дружинин М. Ю. Применение трехмерного сканера CYRAX2500 в архитектуре. / Информационный бюллетень ГИС-ассоциации, 2002, № 4.
- 4) Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов, уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. – Л.: ВНИМИ, 1971.
- 5) Комплексные решения в геодезии. Приборы, системы и программное обеспечение. – Heerbrugg: Leica Geosystems AG, 1999.
- 6) Мамлиев Ф. Ф. О влиянии схемы построения спутниковой сети на точность определения координат. / Геодезия, картография и кадастр, 2001, № 3.
- 7) Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. – Л.: ВНИМИ, 1987.
- 8) Петухов И. М. Геодинамическое районирование. – М.: МГГУ, 2000.
- 9) Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан № 124 от 7 марта 2003 г. "О мерах по улучшению защиты населенных пунктов, предприятий и других объектов и земель от селевых потоков, снежных лавин, оползней и обвалов".
- 10) Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – Л.: ВНИМИ, 1974.
- 11) Рахимов В.Р., Белевич С.В., Абдуллаева М.Т., «Опыт применения современных спутниковых приборов для наблюдения за развитием оползней на территории Ангрэнского угольного месторождения», Горный вестник Узбекистана за 2007 год.
- 12) Абдуллаева М.Т., Белевич С.В., «Специфические особенности наблюдения процессов оползнеобразования на территории Ангрэнского угольного месторождения современными спутниковыми приборами», материалы международного симпозиума, май 2008 год.
- 13) Руководящий технический материал по применению геодезических спутниковых приемников при создании и реконструкции сетей сгущения (ГККИНП-01-014-98). – Ташкент: Узгеодезкадастр, 1998.

- 14) Техническая инструкция по эксплуатации геодезического спутникового приемника Leica System-300.
- 15) Техническая инструкция по производству геодезических работ.–Л.: Недра, 1971.
- 16) Технический отчет "Анализ тектонического строения мезозойского, кайнозойского покрова Ангреновского месторождения". Ответственный исполнитель В. Г. Лобузов. – 1988.
- 17) Технический отчет по результатам работ по проекту "Прогноз отрицательного влияния горных работ на геологическую среду на Ангреновском буро-угольном месторождении и разработка мероприятий по их предупреждению". Ответственный исполнитель В. Г. Лобузов. – 1999.
- 18) Технический отчет о топографо-геодезических работах на объекте «Оползень Центральный» Ангреновского угольного бассейна. Циклы 1–3 (период с 10.04.2000 г. по 11.04.2001 г.) – 2001 г.
- 19) Технический отчет о топографо-геодезических работах на объекте «Оползень Центральный» Ангреновского угольного бассейна. Циклы 1–3 (период с 16.08.04 г. по 11.12.04 г.) – 2004 г.
- 20) CYRAX2500 With SmartScan Technology. / <http://www.cyra.com>, 2007.
- 21) SKI Documentation (G2-545-Oen-II.98). – Leica Geosystems Inc., GPS, CH9435, Heerbrugg, Switzerland, 2008
- 22) <http://www.leica-geosystems.com>. – 2008.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**



**Приложение 1. Схема расположения оползневых участков**

Приложение 2.

Результаты вертикальных и горизонтальных смещений рабочих реперов в циклах I и II (2000 год)

№№ точек	Дата: I цикл II цикл	$\Delta Y$ , мм	$\Delta X$ , мм	$\Delta H$ , мм	Горизонтальное смещение между циклами II-I, мм	Вертикальное смещение между циклами II-I, мм	Азимут смещения, °	Горизонтальное смещение между циклами II-I, мм	Вертикальное смещение между циклами II-I, мм
<b>Участок Ангрэн Северный</b>									
7184	27.04.00 16- 19.11.00	-43	+12	-56	45	-56	285,6	45	-56
5634	27.04.00 16- 19.11.00	-69	-18	- 166	71	-166	255,4	71	-166
4700	27.04.00 16.11.00	-27	0	-43	27	-43	270,0	27	-43
4951	27.04.00 19.11.00	+12	-4	- 156	13	-156	108,4	13	-156

Приложение 3.

Результаты вертикальных и горизонтальных смещений рабочих реперов в циклах II и III (2000-2001 гг)

№№ точек	Дата: II цикл III цикл	$\Delta Y$ , мм	$\Delta X$ , мм	$\Delta H$ , мм	Горизонтальное смещение между циклами III-II, мм	Вертикальное смещение между циклами III-II, мм	Азимут смещения, °	Горизонтальное смещение между циклами III-I, мм	Вертикальное смещение между циклами III-I, мм
<b>Участок Ангрэн Северный</b>									
7184	16-19.11 18.04.03	+27	0	+3	27	+3	270,0 306,9	20	-53
5634	16- 19.11.00 18.04.01	+74	-50	-62	89	-62	124,0 175,8	68	-228
4700	16.11.00 18.04.01	+22	-3	-7	22	-7	97,8 121,0	6	-50
4951	19.11.00 18.04.01	+73	-13	-64	74	-64	100,1 101,3	87	-220

Смещения рабочих реперов между циклами 2 и 1  
за период 27 суток (с 16.08.04 г. по 11.09.04 г.)

№№ реперов	Горизонтальное смещение за период, мм	Азимут смещения, грд	Вертикальное смещение за период, мм	Горизонтальное смещение за сутки, мм	Вертикальное смещение за сутки, мм
0101	18,0	243,2928	-0,8	0,7	0,0
0102	34,6	355,3601	32,5	1,3	1,2
0201 (4349)	5,7	345,7189	15,0	0,2	0,6
0202	18,2	12,6651	49,7	0,7	1,8
0203 (7181)	17,9	129,5597	51,3	0,7	1,9
0204	6,8	100,9807	-37,7	0,3	-1,4
0301 (7184)	42,7	331,1539	-17,2	1,6	-0,6
0302	измерения во 2-м цикле выполнены на другом репере (0302-а)				
0302-а	измерения в 1-м цикле выполнены на другом репере (0302)				
0303	не найден				
0304 (4951)	28,3	290,2950	-56,8	1,0	-2,1
0305	не найден				
0306 (5634)	10,8	197,7649	-66,2	0,4	-2,5
0307	Уничтожен				
0308	3,9	30,4655	32,4	0,1	1,2
0309	15,8	291,1941	25,5	0,6	0,9
0310	не найден				
0402	15,6	347,0329	69,0	0,6	2,6
0403 (667)	10,7	357,3246	-15,9	0,4	-0,6
0404 (5563)	4,2	247,6938	-39,6	0,2	-1,5
0601	24,6	125,8902	-69,1	0,9	-2,6
0602	31,8	176,2099	-41,5	1,2	-1,5
0603	8,0	264,2894	-47,9	0,3	-1,8
0604	35,1	113,4986	-7,2	1,3	-0,3
0605	15,0	222,8389	-27,1	0,6	-1,0
0606	15,9	35,7890	-45,7	0,6	-1,7
0607	5,3	82,4762	-5,8	0,2	-0,2
0802	45,0	176,3045	-43,1	1,7	-1,6
0803	55,2	154,9204	-26,7	2,0	-1,0
0804	требуется измерения 3-го цикла				
0805	6,7	112,7510	-7,3	0,2	-0,3
0806	требуется измерения 3-го цикла				
0901	Уничтожен				
0902	173,1	99,9792	-74,5	6,4	-2,8
0903	5,3	225,7639	10,1	0,2	0,4

Смещения рабочих реперов между циклами 3 и 2  
за период 91 сутки (с 11.09.04 г. по 11.12.04 г.)

№№ реперов	Горизонтальное смещение за период, мм	Азимут смещения, град	Вертикальное смещение за период, мм	Горизонтальное смещение за сутки, мм	Вертикальное смещение за сутки, мм
0101	4,5	83,6598	-50,4	0,0	-0,6
0102	14,6	139,4412	-3,9	0,2	0,0
0201 (4349)	3,2	146,3099	-25,8	0,0	-0,3
0202	31,3	206,7285	-18,3	0,3	-0,2
0203 (7181)	24,0	183,8300	-38,6	0,3	-0,4
0204	10,6	265,6840	2,4	0,1	0,0
0301 (7184)	38,0	178,1913	27,1	0,4	0,3
0302	отсутствует во 2-м цикле				
0302-а	27,2	131,4237	-34,7	0,3	-0,4
0303	отсутствует во 2-м цикле				
0304 (4951)	35,4	120,5476	-1,0	0,4	0,0
0305	отсутствует во 2-м цикле				
0306 (5634)	24,9	136,9525	-4,3	0,3	0,0
0307	Уничтожен				
0308	34,0	173,9204	-68,5	0,4	-0,8
0309	25,5	159,3652	-38,5	0,3	-0,4
0310	отсутствует во 2-м цикле				
0402	41,0	146,5425	-60,7	0,5	-0,7
0403 (667)	54,8	154,2761	-17,3	0,6	-0,2
0404 (5563)	34,2	154,1839	-0,6	0,4	0,0
0601	26,9	160,2172	47,8	0,3	0,5
0602	23,8	161,4131	47,4	0,3	0,5
0603	47,4	146,2764	22,9	0,5	0,3
0604	17,4	204,7981	-11,5	0,2	-0,1
0605	Уничтожен				
0606	38,1	156,1900	47,8	0,4	0,5
0607	18,7	165,1474	-44,6	0,2	-0,5
0802	166,9	162,8569	-97,0	1,8	-1,1
0803	231,9	177,0340	-183,3	2,5	-2,0
0804	Уничтожен				
0805	Уничтожен				
0806	24,7	145,2169	-15,1	0,3	-0,2
0901	Уничтожен				
0902	299,0	111,0293	85,8	3,3	0,9
0903	62,6	151,8790	-8,4	0,7	-0,1

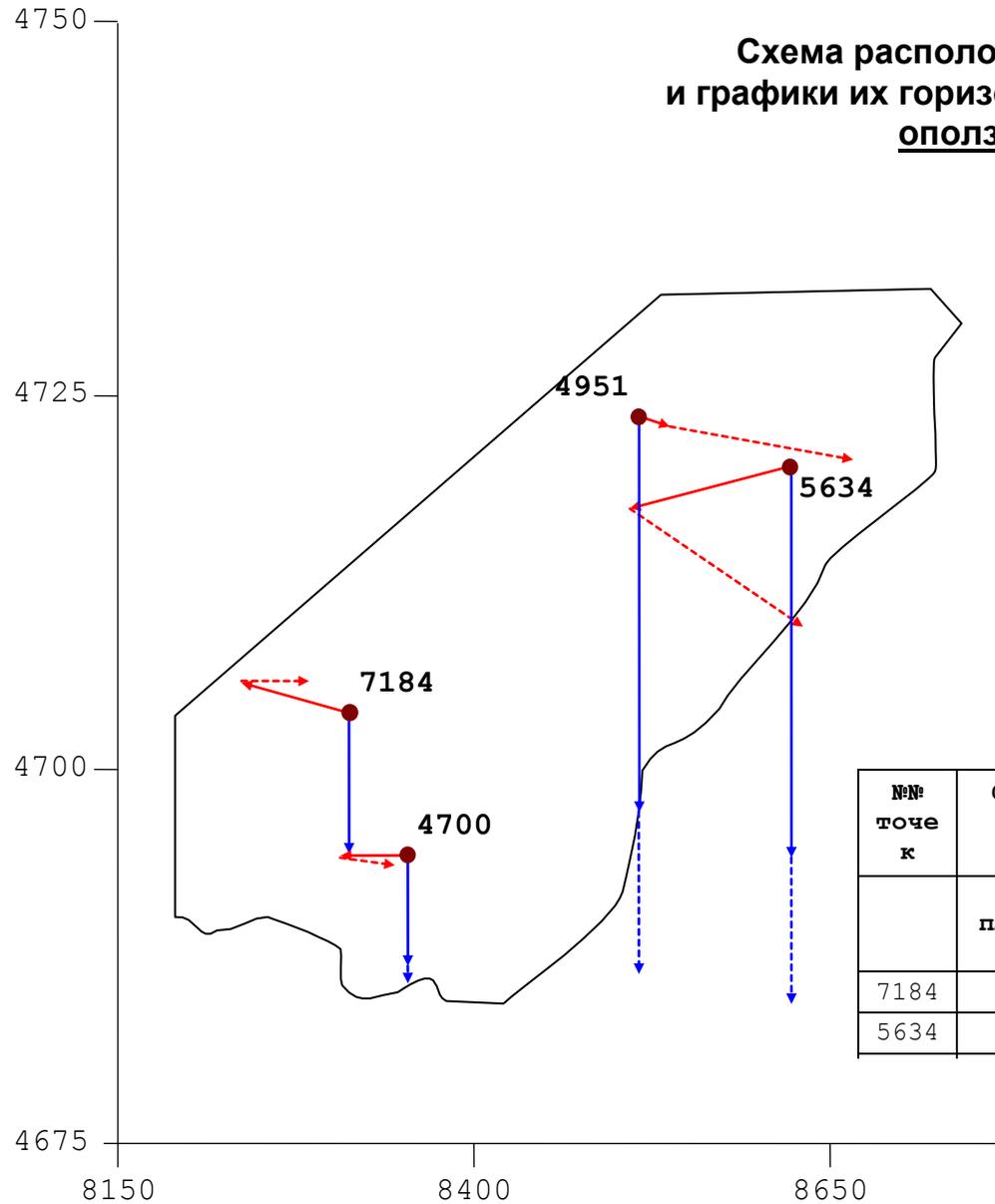
Смещения рабочих реперов между циклами 3 и 1  
за период 118 суток (с 16.08.04 г. по 11.12.04 г.)

№№ реперов	Горизонтальное смещение за период, мм	Азимут смещения, град	Вертикальное смещение за период, мм	Горизонтальное смещение за сутки, мм	Вертикальное смещение за сутки, мм
0101	13,9	236,7683	-51,2	0,1	-0,4
0102	24,3	15,9777	28,6	0,2	0,2
0201 (4349)	2,8	8,1301	-10,8	0,0	-0,1
0202	14,4	224,7178	31,4	0,1	0,3
0203 (7181)	37,3	160,9344	12,7	0,3	0,1
0204	4,4	241,6992	-35,3	0,0	-0,3
0301 (7184)	19,4	268,2285	9,9	0,2	0,1
0302	15,9	213,1901	-7,1	0,1	-0,1
0302-а	отсутствует в 1-м цикле				
0303	15,8	195,0013	-74,5	0,1	-0,6
0304 (4951)	9,1	153,9967	-57,8	0,1	-0,5
0305	15,7	259,6952	-58,3	0,1	-0,5
0306 (5634)	31,6	154,3263	-70,5	0,3	-0,6
0307	Уничтожен				
0308	30,9	169,5625	-36,1	0,3	-0,3
0309	19,1	197,3899	-13,0	0,2	-0,1
0310	16,1	224,2428	-5,6	0,1	0,0
0402	26,9	134,8496	8,3	0,2	0,1
0403 (667)	45,2	148,9492	-33,2	0,4	-0,3
0404 (5563)	34,2	161,2473	-40,2	0,3	-0,3
0601	49,2	143,8527	-21,3	0,4	-0,2
0602	55,2	169,8717	5,9	0,5	0,0
0603	44,2	155,5238	-25,0	0,4	-0,2
0604	38,8	140,1189	-18,7	0,3	-0,2
0605	Уничтожен				
0606	33,1	131,6911	2,1	0,3	0,0
0607	20,1	149,8666	-50,4	0,2	-0,4
0802	210,9	165,7002	-140,1	1,8	-1,2
0803	283,8	172,8349	-210,0	2,4	-1,8
0804	Уничтожен				
0805	Уничтожен				
0806	отсутствует в 1-м цикле				
0901	Уничтожен				
0902	470,1	106,9818	11,3	4,0	0,1
0903	64,3	156,4268	1,7	0,5	0,0

Смещения рабочих реперов между циклами 3 и IV/2001  
реперов за период 44 месяца (с 01.05.01 г. по 11.12.04 г.)

№№ реперов	Горизонтальное смещение за период, мм	Азимут смещения, град	Вертикальное смещение за период, мм	Горизонтальное смещение за месяц, мм	Вертикальное смещение за месяц, мм
0201 (4349)	40,0	144,6790	-15,8	0,9	-0,4
0203 (7181)	119,4	158,3768	-71,8	2,7	-1,6
0404 (5563)	371,7	142,5752	-232,4	8,4	-5,3

**Схема расположения рабочих реперов слежения  
и графики их горизонтальных и вертикальных смещений  
оползень АНГРЕН СЕВЕРНЫЙ**



**Условные обозначения:**

- Вектор горизонтального движения (цикл II-I)
- Вектор вертикального движения (цикл II-I)
- Вектор горизонтального движения (цикл III-II)
- Вектор вертикального движения (цикл III-II)

№№ точек	Смещения между циклами II-I			Смещения между циклами III-II		
	в плане, мм	по высоте, мм	азимут, °	в плане, мм	по высоте, мм	азимут, °
7184	45	-56	285,6	27	+3	270,0
5634	71	-166	255,4	89	-62	124,0