ПРЕДИСЛОВИЕ

В монографии описаны исследования автора в области определения оползневых смещений на основе результатов геодезических наблюдений. Результаты геодезических наблюдений являются единственно точной и незаменимой интегральной количественной основой, позволяющей строить прогнозные модели наблюдаемых оползневых процессов.

Монография состоит из введения, четырех разделов, заключения и приложения. Во введении дается анализ катастрофических ситуаций, связанных с оползнями и делается вывод, что изучение оползневых процессов является актуальнейшей задачей практики. В первом разделе рассматриваются вопросы, связанные с оползневыми процессами и их классификацией, способы геодезических измерений за горизонтальными и вертикальными смещениями оползней и с существующим анализом результатов геодезических измерений смещений оползней. Во втором разделе описана разработанная автором методика расчета точности геодезических измерений в зависимости от скорости движения оползня и дано обоснование периодичности наблюдения за смещениями оползней. В третьем разделе представлены используемые автором формы математического описания наблюдаемых оползневых процессов и необходимые теоретические решения. В четвертом разделе показан опыт реализации разработанных математических моделей для анализа и прогнозирования развития оползневых процессов.

Работа выполнена на основе диссертационной работы "Обоснование точности и разработка методов математико-статистического анализа геодезии еских наблюдений за смещениями оползней", выполненной на кафедре геодезии и геоинформатики Государственного университета по землеустройству.

Автор выражает глубокую признательность профессору, кандидату технических наук А.Б. Беликову за всемерную поддержку работы над монографией, профессору, кандидату технических наук А.К. Зайцеву за ценные замечания при подготовке рукописи к изданию и инженеру А.И.Кузнецову за проведенные экспериментальные натурные наблюдения.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение оползневых процессов, как в пространственном, так и временном измерениях в конкретных региональных условиях является важнейшей комплексной задачей геодезической, геологической, геодинамической, гидрологической практики.

Об актуальности этой проблемы свидетельствует тот факт, что в период с 1993 по 2002 годы в мире каждый год от оползней погибало 940 человек (данные из базы Catholic University of Louvain, Бельгия) [66]. Между тем, многие исследователи (А.Г. Григоренко, Ю.П. Гуляев, К. Заруба, Г.П. Постоев, Г.И. Тер-Степанян и др.) отмечают недостаточную изученность закономерностей оползневых процессов и количественную оценку их динамики и анализ, прежде всего, оползневых деформаций и характер движения земляных масс [22], [26], [37], [67], [72], [92], [123].

Оползневые явления широко распространены как в отдельных районах России, стран СНГ, так и в других регионах мира. Негативное влияние оползневых явлений, происходящих на естественных склонах и искусственных откосах, по величине социально-экономического ущерба, наносимого природе и обществу, сравнимо с действием землетрясений, вулканических извержений и наводнений.

Оползни приводят к значительному материальному ущербу. Они наносят многомиллиардный экономический ущерб по всему миру. Например, в Японии он колеблется от 4 млрд. до 6 млрд. долларов в год. Чаще всего оползни случаются в Азии, но европейские – самые дорогостоящие. В Европе устранение последствий одного единственного оползня в среднем обходится в 23 млн. долларов [60]. Между тем, за последние 50 лет число их выросло почти в шесть раз.

В Российской Федерации ежегодно случается от 6 до 15 чрезвычайных событий, связанных с развитием оползней. В 1990-1999 гг. в России зарегистрирован 121 случай крупных оползней, селей и обвалов. Особенно сильно страдают урбанизированные территории: развитие оползневых процессов наблюдается в 725 городах Российской Федерации [60].

По числу людей, погибших от различных опасных геологических и других природных процессов в России с 1963 по 1999 гг., оползни и обвалы занимают второе место после наводнений (21% от общего числа жертв), а по сумме экономических потерь - оползни и обвалы находятся на четвертом месте после процессов эрозии, подтопления территорий и наводнений (около 11%) [60].

По данным МЧС России за 2006 год по причине активизации экзогенных процессов (лавин, селей, оползней, обвалов) за 9 месяцев произошло 8 чрезвычайных ситуаций. Оползни, сели и обвалы вызвали 3 чрезвычайные ситуации, в результате которых пострадало 243 человека, что существенно ниже по отношению к предыдущему году, когда произошло 10 чрезвычайных природных ситуаций (на территории Южного ФО – 9; Уральского ФО – 1), в результате которых погибли 21 человек. Количество пострадавших тогда возросло более чем в 3 раза по отношению к предыдущему году (в 2005 году 648 человек, в 2004 году 199 человек) [68].

Судя по количеству катастрофических ситуаций, связанных с нарушением устойчивости массивов горных пород и их тяжелым последствиям, можно утверждать, что изучение оползневых процессов является актуальнейшей задачей практики.

Сегодня трудно найти область хозяйственной, экономической, изыскательской деятельности человека, в которой не возникали бы практические задачи изучения динамики движения верхних слоев земной поверхности и влияния этих движений на возводимые инженерные сооружения разного профиля, на их жизнедеятельность в период эксплуатации, на комплекс восстановительных мероприятий, если таковые необходимы в период аварийных ситуаций и катастроф.

Проведение наблюдений на оползневых склонах обеспечивает решение следующих двух основных задач: изучение механизма и динамики оползневого процесса и обеспечение безопасности эксплуатации народнохозяйственных объектов. Исходя из характера поставленных задач, наблюдения на склоне рассматривают 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, которые с течением времени обновляются и корректируются с учетом происшедших изменений на склоне.

Геодезические наблюдения позволяют получить геометрические параметры смещений на оползневом склоне. Основное требование, предъявляемое к ним, - обоснованная точность, а это требует в каждом конкретном случае индивидуального подхода, как к выбору методики геодезических наблюдений, которые являются основными источниками информации о ходе оползневого процесса, так и к технологии их выполнения. Значительное место в повышении мобильности и точности геодезических наблюдений занимает создание специальной аппаратуры, вспомогательных устройств и приспособлений.

Вместе с тем, остается актуальным совершенствование теоретических положений и методов, методик, алгоритмов и технологий изучения оползневых процессов на основе моделирования меняющихся во времени геодезических (смещения, закономерности движения, поля деформаций) параметров. При этом возникает необходимость в строгом подходе математической обработки геодезических измерений за смещениями оползней.

Важной является разработка новых технологических решений по информативной и наглядной визуализации результатов математической обработки, что и является основным содержанием разработок, представленных в данной монографии.

На современном уровне теоретического оползневедения любой реальный оползень можно считать познанным, понятым, изученным лишь в том случае, если он представлен в виде объемной кинематической модели определенного строения. Любые рекомендации по противооползневым мероприятиям, разработанные без создания и анализа подобных кинематических моделей на фоне моделей геологической среды, будут умозрительными, не вполне надежными и рациональными. Именно этими болезнями бывают чаще поражены многие проекты противооползневых мероприятий [63]. От полноты и надежности информации, полученной в результате геодезических наблюдений, во многом зависят точность и детальность выводов о механизме и динамике оползневых процессов.

Пространственно-временные характеристики оползневых процессов особенно полно должны учитываться при проектировании, строительстве и эксплуатации сложных инженерных сооружений:

1) крупных железнодорожных магистралей и автомобильных дорог.

2) тепловых и атомных станций;
3) крупных нефте- и газопроводов;
4) сооружения башенного типа, предназначенные для обеспечения устойчивой теле- и радиосвязи;
5) современных силосов и элеваторов агропромышленного комплекса;
6) сельскохозяйственных земель на оползневых склонах горных районов;
7) зданий и сооружений повышенной этажности.

Особенно острой проблемой в настоящее время является прогноз оползневых процессов. Она не может быть решена без детального и длительного мониторинга оползней.

Таким образом, совершенствование существующих и разработка новых приемов, методов и устройств для систематических геодезических наблюдений на оползневых склонах, разработка методов их анализа и наглядного представления является одной из основных задач оползневедения и, следовательно, геодезических наблюдений за этими процессами.

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

1.1. ОПОЛЗНЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Видное место в исследовании оползневого процесса принадлежит геодезическим наблюдениям за динамикой склонов. Картина смещения земляных масс в пространстве и во времени может оказать неоценимую услугу при анализе механизма оползней. Прежде чем описывать различные методы наблюдений за смещением оползней, необходимо познакомиться с объектом исследований.

Оползни представляют собой связное движение земляных или скальных масс, совершающееся по некоторой поверхности скольжения (она является ложем оползня). Оползни отличаются от обвалов тем, что в течение всего процесса смещающиеся массы не теряют контакта с ложем, тогда как при обвалах эти массы часть своего пути проходят в воздухе.

В большинстве случаев оползание склонов представляют собой длительный процесс, в котором можно различить два этапа:

1) подготовительная фаза, когда в некоторой глубинной зоне происходят очень медленные движения типа ползучести и формируется потенциальная поверхность скольжения; этот этап называется фазой глубинной ползучести;

2) катастрофическая фаза, когда происходят значительно более быстрые, иногда даже заметные на глаз движения по сформировавшейся поверхности скольжения [100].

Условия возникновения и развития оползней весьма разнообразны, хотя в каждом отдельном случае среди многих факторов можно выделить только один, главнейший [65], который и принимается за основу характеристики данного оползня. Однако по поводу количества факторов, влияющих на устойчивость пород на склонах, имеется много разных мнений. Это привело к тому, что в настоящее время нет единой общепризнанной классификации оползней. Большинство классификаций основывается на генетическом принципе выделения процессов по признаку главных действующих сил (агентов). В инженерной геологии наиболее широко используется генетическая классификация процессов, разработанная А.И.Шеко [106].

Поэтому из большого количества классификаций оползней приведем лишь те, которыми в настоящее время пользуются специалисты, занимающиеся измерениями смещений на оползнях.

Классификация оползней:

а) по характеру:

- развития смещения;
- захвата склона;
- захвата горных пород (К.И.Богдановича [9]);

б) по структуре:

- оползневого склона и положению поверхности смещения: секвентные, консеквентные и инсеквентные (Ф.П.Саваренского [19]);
- тела оползня и масштабу явления (Г.С.Золотарева [34]);

в) - по видам деформации пород – по механизму смещения;

г) - по их возрасту и фазам развития (И.В.Попова [65]);

д) - по их морфологии для целей инженерно-геологического картирования (Е.П.Емельяновой [29]).

Из классификации оползней видно, что существует множество типов оползней, различающихся размерами и формой, глубиной

захвата и формой поверхности скольжения, характером смещения земляных масс, их скоростью, периодичностью, состоянием поверхности, условием видимости и т.д. Наиболее типичными, но морфологически различными видами оползней, являются земляные потоки (поступательные оползни) и вращательные оползни.

Земляные потоки (поступательные оползни) представляют собой длинные и узкие полосы движущегося грунта, вытягивающиеся вниз по склону вдоль понижений рельефа (рис. 1.1, *а*). Заполняя ложбины, они извиваются подобно рекам в своих берегах, принимают притоки, огибают выступы берегов и образуют острова. Скорость движения материала в земляных потоках подвержена колебаниям в зависимости от увлажнения, носящего сезонный характер. Длина земляных потоков измеряется сотнями метров, ширина – десятками метров, а глубина имеет величину порядка $2 \div 6 м$. Оползневое тело четко отделяется от неподвижного грунта рассекаемая множеством трещин.

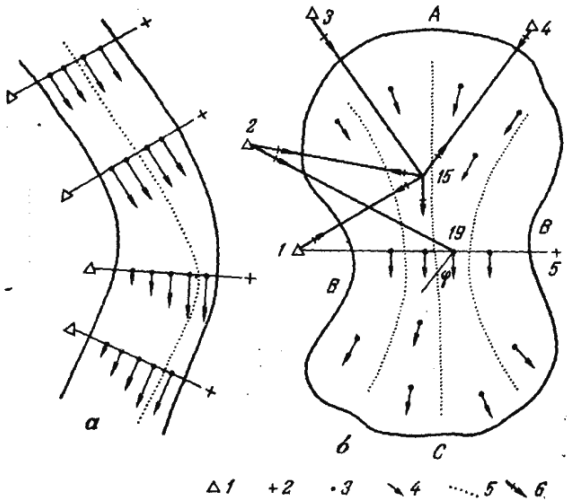

Рис. 1.1. Типы смещений:
а) - земляной поток; *б*) - вращательный оползень; *1*- опорный репер; *2* – ориентирный знак; *3* – оползневая точка; *4* – вектор смещения; *5* – траектории движения; *6* – направление визирного луча

Векторы смещения точек на поверхности оползня приблизительно параллельны бортам оползня и оползневому ложу. На прямолинейных участках смещение происходит с равномерной

скоростью, на криволинейных участках «струя» отодвигается к вогнутому берегу. В фазе глубинной ползучести наблюдаются резкие сезонные колебания скорости смещения; в фазе катастрофического оползания происходят быстрые смещения.

Вращательные оползни представляют собой грунтовые массивы округлой формы в плане (рис. 1.1, *б*).

В процессе оползания они совершают вращательные движения вокруг некоторой оси. Оползневое тело оконтуривается трещинами, свидетельствующими о различных смещениях: в верхней части склона *A* – с отрывом и смещением вниз; в средней части склона *B* – со сдвигом и смещением по горизонтали; в нижней части *C* – со сжатием и смещением вверх. В большинстве случаев смещение земляных масс в оползнях этого типа происходят путем поворота вокруг некоторой оси вращения. В фазе глубинной ползучести такие вращательные движения совершают точки, образующие зону ползучести, а в катастрофической фазе вращение происходит по круглоцилиндрической поверхности скольжения. В более редких случаях скольжение совершается по криволинейным поверхностям, кривизна которых по мере приближения к нижней части склона либо увеличивается, либо уменьшается [94].

Описанные два типичных оползня являются сравнительно простыми; к ним относятся многие небольшие оползни. Значительно сложнее круглые оползни. Вследствие особенностей геологического строения, смещающиеся земляные массы обычно имеют неправильную форму. Оползневое ложе многих крупных оползней обладает сложным подземным рельефом. В таких случаях земляные тела распадаются на отдельные блоки, совершающие сложные движения; на выступах возникают землепады. Некоторые крупные оползни являются многоярусными; оползающие массы образуют несколько ярусов, расположенных друг над другом и смещающихся с различной скоростью и по различным траекториям [96].

1.2. ВИДЫ СМЕЩЕНИЙ НА ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНАХ

Одной из задач инженерной геодезии является определение абсолютных значений элементов движения оползневых точек, закрепленных на оползневом склоне. Геодезические наблюдения стремятся организовать так, чтобы относительные смещения наилучшим образом отражали абсолютные величины смещений.

Рассмотрим вопрос о видах движений, которые возникают при нарушении устойчивости склона. Для этого выделим на его поверхности элементарную площадку ΔP и поместим на ней начало системы неподвижных прямоугольных пространственных координат *XYZ* (рис. 1.2).

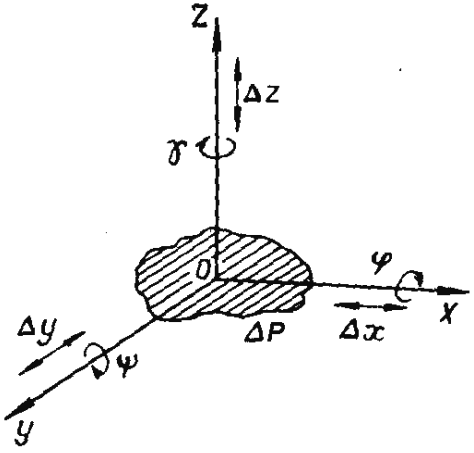

Рис. 1.2. Элементы движения на склоне

При смещении поверхности склона площадка ΔP может совершать шесть различных движений: три смещения, параллельных осям координат $\Delta x, \Delta y, \Delta z$, и три поворота около тех же осей OX, OY и OZ под углами φ, ψ и γ. Следовательно, перемещение площадки ΔP во времени полностью характеризуется двумя видами движений – поступательным и вращательным. Но так как вращательное движение площадки ΔP может быть выражено через пространственные координаты отдельных ее точек, то перемещения грунтовых масс на склоне можно описать в трехмерном пространстве.

Из инженерной геодинамики известно [38], что путь, пройденный какой-либо точкой склона за промежуток времени $\Delta t = t_2 - t_1$, можно получить по формуле

$$S(t_1, t_2) = \sqrt{[x(t_2) - x(t_1)]^2 + [y(t_2) - y(t_1)]^2 + [z(t_2) - z(t_1)]^2}, \quad (1.1)$$

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 $S(t_1)$, а через некоторый промежуток Δt в момент времени t_2 оказалось равным $S(t_2)$, причем $S(t_2) \neq S(t_1)$, то их взаимное перемещение за этот же промежуток времени Δt будет

$$\Delta S(t_1, t_2) = S(t_2) - S(t_1). \qquad (1.2)$$

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

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

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

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

1.3. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА

Актуальность проблемы обуславливает количество научных публикаций. Анализ этих публикаций показывает, что в достаточно широком спектре рассматриваются вопросы проектирования и производства геодезических измерений при наблюдении горизонтальных и вертикальных смещений земной поверхности [115], при наблюдении осадок и перемещений инженерных сооружений [13], [62], при наблюдении критических напряжений при эксплуатации трубопроводов [50].

Вопросам разработки оптимальной программы геодезических наблюдений нефтепроводов и динамикой оползневых процессов посвящена работа [49], в которой предлагаются специальные графики, позволяющие с надлежащей надежностью определить требуемую точность геодезических измерений в зависимости от величины расчетной, фактической или прогнозной скорости смещения оползня и периода времени между наблюдениями, а также ошибку определения планового положения оползневой марки в зависимости от формы треугольника прямой засечкой.

Определенный интерес в отношении построения специальных геодезических сетей при наблюдении за оползнями представляет [12], в которой на основе математической модели разработаны рекомендации по выбору оползневых участков, описана типовая схема размещения оползневых знаков, позволяющая использовать единую методику наблюдений на различных участках оползня.

Вопросы применения створных наблюдений на оползневых склонах рассмотрены в [21], где сделан вывод об оптимальной длине створа в 200*м*, т.к. при этом ошибка определения смещений оползневых точек не превышает 4*мм*.

В [61] точность измерений связали со скоростью смещения. Для этого предлагается ввести граничную скорость для отделения участков оползня с активными процессами от участков со стабильным состоянием оползня. Степень активности оползневого процесса выражается через показатель активности

$$K_{ак.} = \left(\frac{p_{ак.}}{P} \right) 100\%, \qquad (1.3)$$

где P - площадь всего оползня;

$p_{ак.}$ - площадь его активной части.

К активной части оползня относятся участки, в которых скорость движения земляных масс превышает нижний предел шкалы Варнеса [29], равный 0,06*м/год*. Эта величина скорости и принята за граничную скорость $V_{г.} = 0{,}06 м/год$, т.е. подвижки со скоростью больше граничной называются активными, а равной граничной или меньше – неактивными. Скорость смещения оползневого знака определяют по формуле

$$V = \frac{r}{t}, \qquad (1.4)$$

где r - длина вектора смещения, *м*;

t - продолжительность движения знака, год.

Вопросы математической обработки геодезических измерений, как известно, являются составной частью любого технологического процесса. В этой связи заслуживает внимания [122], в которой на численном примере показано применение сплайн – функций для моделирования активности оползня. Из нескольких сплайн-функций выбирается оптимальная, обладающая наименьшей среднеквадратической погрешностью аппроксимации.

Интерес к сплайн-функциям [2], [32], [90], [108] в последнее время возрастает, ибо этот вид функций можно использовать для прогнозирования динамических процессов, для восстановления пропущенных циклов измерений, для ретроспективного увеличения данных исследуемого временного ряда, для других инженерных задач [14].

В [75], [76] освещены вопросы теории и практики изучения кинематики медленно движущихся оползней. Даны рекомендации, направленные на сокращение затрат времени и средств при выполнении наблюдений и на повышение качества конечной геодезической информации. В [74] автором разработан и защищен авторским свидетельством на изобретение автоматический регистратор смещений. На его основе создана автоматизированная система для изучения и контроля деформаций одного из крупных

инженерных сооружений на оползневом участке Ленинских гор (Воробьевы горы).

В [53] рассматриваются факторы формирования и развития оползневых процессов в специфических условиях территории Кабардино-Балкарской республики, их прогноз и мониторинг. Научная новизна исследований этих факторов заключается в составлении трехслойных прогнозных карт на базе математической модели конкретного вида оползней с помощью уже имеющегося обзорного картографического материала. Составление таких карт дает возможность оконтуривать участки максимального проявления оползневых процессов, а также рационально планировать хозяйственное освоение территории, эффективно проводить противооползневые мероприятия и мониторинговые наблюдения.

Возможности GPS делают более доступными измерения сдвигов поверхности почвы, как в статичных, так и в динамических условиях, при этом обеспечивая большую точность измерений и меньшую себестоимость проектов. Геодезическая практика требует все большего количества измерений деформаций почвенных масс (например, оползней, движений почвы вызванного землетрясениями), так что превосходство GPS над традиционными технологиями выглядит многообещающе, особенно в приложениях удаленного мониторинга [121]. Работа [101] посвящена рассмотрению и анализу результатов исследований геодинамических процессов с использованием спутниковых систем, как в России, так и за рубежом. Обзор решаемых с использованием современных спутниковых систем задач представлен в [116]. Основной вывод: недостаточно уделяется внимания анализу деформации Земли в целом и анализу распределения глобальных деформаций в связи с режимом сейсмичности.

В [18] основное внимание уделено исследованиям в области создания современного высокоточного геодезического мониторинга, позволяющего на миллиметровом уровне точности с любой заданной частотой отслеживать как плановые, так и высотные смещения пунктов, закрепленных на местности и непосредственно на инженерных сооружениях. В [64] создана геодезическая сеть для изучения оползневых склонов ГАЭС, координаты пунктов которой были определены как традиционными геодезическими методами, так и входящими в то время в повседневную практику высокоточными спутниковыми методами.

В [4] излагается алгоритм анализа высотных и плановых деформаций и их обработки с использованием современного рекуррентного алгоритма уравнивания и контроля грубых ошибок методом последовательного объединения циклов, предложенного в [54]. Его вычислительная процедура состоит из следующих двух основных блоков [55]:

– уравнивание геодезической сети как свободной с временной фиксацией минимального числа координат исходных пунктов. Рекуррентный алгоритм позволяет при таком подходе выполнить контроль грубых ошибок результатов измерений при наличии избыточных измерений. В результате уравнивания получим вектор координат всех пунктов и их ковариационную матрицу, в том числе и псевдоподобную. Точно такая же процедура выполняется и при уравнивании GPS измерений;

– вставка результатов уравнивания в блоке 1 в систему координат исходных пунктов с контролем возможных их грубых ошибок и с определением 4-х или 7-и параметров преобразования из одной системы координат в другую.

Для анализа деформаций геодезических пунктов, основанного на применении рекуррентного алгоритма контроля грубых ошибок и последовательного объединения циклов с целью повышения точности определения деформаций известен алгоритм, предложенный в [56]. Его идея заключается в следующем. С целью повышения точности определения деформаций целесообразно выполнить объединение текущего цикла наблюдений s со всеми предыдущими циклами. С этой целью составляем обратную матрицу

$$Q = \begin{pmatrix} \overline{Q}_{s-1} & 0 \\ 0 & Q_s \end{pmatrix}, \tag{1.5}$$

в которой блок $\overline{Q}_{s-1}$ относится к неизвестным $\overline{x}_{s-1}$ уже объединенных циклов 1, ..., s-1, а блок Q_s к циклу s. Учитывая по рекуррентной формуле все условные уравнения вида

$$\delta\overline{x}_{s-1} - \delta x_s + \omega = 0, \tag{1.6}$$

составляемые по каждой из осей координат для одноименных стабильных пунктов (как избыточные уравнения поправок с $1/p = 0$ и $\omega = \overline{x}_{s-1} - x_s$) в результате получим искомую мат-

рицу $\overline{Q}_s$, вектор $\overline{x}_s$ и квадратичную форму $\overline{\Phi}_s$. Если обнаруживается, что невязка ω недопустима, то она признается деформацией и соответствующее условное уравнение не учитывается. Ясно, что для общих пунктов цикла s и всех предыдущих объединенных пунктов после такого уравнивания элементы векторов $\overline{x}_s$ и соответствующие им элементы матрицы $\overline{Q}$ совпадают. При объединении циклов повышается точность координат даже тех пунктов, которые признаются подвижными благодаря учету в этой процедуре их корреляции с координатами неподвижных пунктов.

В [51] разработаны методики и технологические решения по изучению геодинамических объектов и процессов на основе оценки геодезических и гравитационных параметров моделей, которые открывают новые возможности для решения задач прогноза, снижения риска и уменьшения последствий геодинамических катастроф природного и техногенного характера.

В [1] излагаются теоретические исследования автора в области проектирования и предвычисления точности специальной инженерно-геодезической сети, предназначенной для наблюдения за динамическими процессами.

В монографии [77] подробно рассмотрены проблемы математического моделирования и идентификации геодинамических систем, теоретические и математические основы расчета напряженно-деформированного состояния геодинамических систем, а также математический аппарат для решения задачи идентификации напряженно-деформированного состояния геодинамических систем по пространственно-временным рядам разнородных комплексных геодезических и геофизических наблюдений. Математическая модель – это модель, созданная с помощью математических понятий [8]. Математическое моделирование – процесс построения и изучения математических моделей. Все естественные и общественные науки, использующие математический аппарат, по сути, занимаются математическим моделированием: заменяют реальный объект его моделью и затем изучают последнюю. Определение модели по А.А. Ляпунову: моделирование – это опосредованное практическое или теоретическое исследование объекта, при котором непосредственно изучается не сам интересующий нас объект, а некоторая вспомогательная искусственная или естественная система (модель):

1. Находящаяся в некотором объективном соответствии с познаваемым объектом;

2. Способная замещать его в определенных отношениях;

3. Дающая при ее исследовании, в конечном счете, информацию о самом моделируемом объекте.

Методика определения двумерных деформаций по геодезическим данным на основе теории упругости была разработана в конце 20-х годов XX столетия японскими геодезистами и в дальнейшем развита в работах Франка [110], Н.П.Есикова [30], [31], В.А.Шульмана [35], и др. Эта методика в основном используется для анализа результатов повторных геодезических измерений на геодинамических полигонах. Методика основана на предположении о существовании непрерывно меняющегося во времени поля деформаций земной коры и ее поверхностной части, согласно которому каждой точке земной поверхности ставится в соответствие относящийся к определенному моменту времени тензор деформаций, получаемый по геодезическим данным.

Метод определения инвариантных характеристик современных движений земной поверхности по данным повторных геодезических измерений наиболее подробно разработан Н.П.Есиковым [30]. Теоретической базой для его разработки послужил принцип Коши–Гельмгольца [31], согласно которому тектонические движения рассматриваются как суперпозиция (результирующий эффект) трех основных видов движения: параллельного переноса участков земной коры, вращения этих участков как абсолютно твердых тел и чистой деформации.

Техническим аппаратом служит метод конечных элементов [35], в качестве которых применяются треугольники геодезической сети. При решении предполагается, что деформация в пределах каждого конечного элемента является однородной, т.е. смещения точек земной поверхности являются линейными функциями координат. При выполнении этого условия степень деформированности участка земной поверхности, охваченного треугольником геодезической сети (или конечным элементом), полностью характеризуется следующими величинами, называемыми компонентами деформации:

1. Дилатацией Q;

2. Направлением максимального и минимального растяжений;

3. Максимальным и минимальным растяжением;

4. Максимальным сдвигом.

Подробно об этих компонентах и методах их вычислений приведено в работе Г.А.Шароглазовой [102].

В западных странах также активно ведутся исследования по проблемам измерений смещений оползней и их дальнейшей обработке. Достаточно сослаться на следующие публикации [108], [109], [111], [112], [113], [114], [118].

Из публикаций более раннего периода целесообразно отметить работы [20], [103] и [104], в которых рассмотрены вопросы применения специального наклономера для определения неявных периодов сдвижения земной поверхности, а также вопросы применения геодезических засечек для определения смещения точек земной поверхности.

Теория дифференциального метода определения смещения на оползнях впервые была предложена профессором Н.Г.Келлем [41], [42], [43] основанная на графическом уравнивании засечек [40]; позднее им был разработан теоретический аппарат [44], основанный на теории линии положения [39]. Этот метод стал известным [45], но не получил достаточного распространения вследствие его трудоемкости. Для изучения динамики оползней применялись главным образом негеодезические методы [3], [28].

В [95] рассматривается многолучевой дифференциальный графический метод, позволяющий в зависимости от местных условий применять прямые, обратные, линейные и перпендикулярные засечки и получать достаточно точные результаты при сравнительно небольших трудозатратах.

В [93], [94], [99], рассматриваются вопросы об измерениях вертикальных смещений оползневых точек дифференциальным методом и о сгущении наблюдательной сети в застроенных или лесистых оползневых районах.

Анализ деформаций играет выдающуюся роль при оценке эффективности противооползневых сооружений. Если после возведения сооружения кривые скоростей смещения дают резкое снижение, то можно с уверенностью считать правильным осуществление меры; если же изменения не наблюдаются, то следует пересмотреть содержание проекта. В развитие этой идей в [97] был предложен метод стадийной борьбы с оползнями, заключающийся в последовательном применении противооползневых мер с одновременным ведением наблюдений за их эффективностью. Этот метод представляет собой применение к оползням обсерва-

Конец ознакомительного фрагмента.
Для приобретения книги перейдите на сайт
магазина «Электронный универс»:
e-Univers.ru.