

БИБЛИОТЕКА НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК И ПРОЕКТОВ НИУ МГУ

В.В. Симонян

ИЗУЧЕНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный строительный университет»

Библиотека научных проектов и разработок НИУ МГСУ

В.В. Симонян

**ИЗУЧЕНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ
ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

2-е издание

Москва 2015

УДК 528.481:528.482.3

ББК 26.1

С37

СЕРИЯ ОСНОВАНА В 2008 ГОДУ

Рецензенты:

кандидат технических наук *А.Б. Зайцев*,

профессор кафедры геодезии и геоинформатики ГУЗ;

кандидат технических наук *И.И. Ранов*,

профессор кафедры инженерной геодезии ФГБОУ ВПО «МГСУ»;

Монография рекомендована к публикации научно-техническим советом МГСУ

Симонян, В.В.

С37

Изучение оползневых процессов геодезическими методами : монография / В.В. Симонян ; 2-е изд. М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. Москва : МГСУ, 2015. 176 с. (Библиотека научных проектов и разработок НИУ МГСУ).

ISBN 978-5-7264-1003-6

Содержится теоретический материал по существующим методам наблюдений за горизонтальными и вертикальными смещениями оползней. Разработана методика математического моделирования оползневых смещений на основе построения среднеквадратических эллипсов смещений. Проведен анализ результатов геодезических наблюдений смещений оползней с применением аппарата математической статистики.

Для научных работников, инженеров-геодезистов, геологов, строителей и проектировщиков, аспирантов и студентов строительных вузов.

УДК 528.481:528.482.3

ББК 26.1

ISBN 978-5-7264-1003-6

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2011

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 геодезических 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 в 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 (лавины, сели, 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 возникли 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 оползневоведения любой реальный оползень можно считать познанным, понятным, изученным лишь в том случае, если он представлен в виде объемной кинематической модели определенного строения. Любые рекомендации по противооползневому 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." ОВРЕМЕННОЕ 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 связанное 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, *a*). 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 ÷ 6 м. Оползневое тело четко отделяется от неподвижно-го грунта рассекаемая множеством трещин.

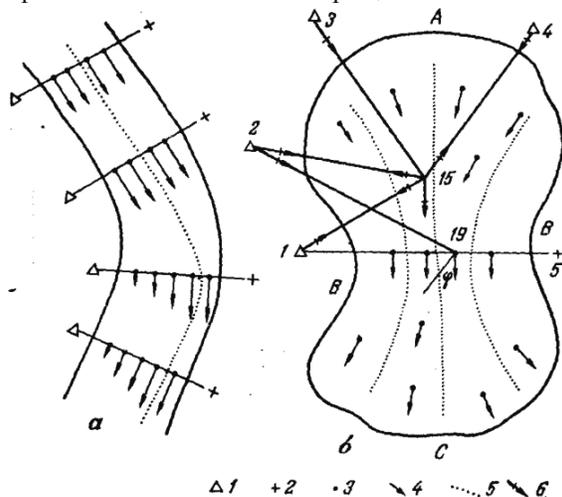


Рис. 1.1. Типы смещений:

- a*) - 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 землелепиды. 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).

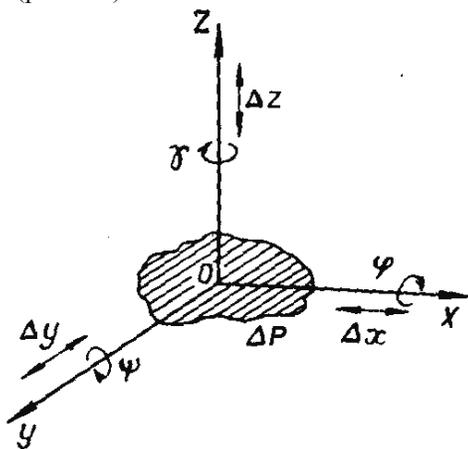


Рис. 1.2. Элементы движения на склоне

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

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

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	3
Введение	4
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	7
1.1. Оползневые процессы и их классификация	7
1.2. Виды смещений на оползневых склонах	10
1.3. Состояние изученности вопроса	13
1.4. Геодезические сети для наблюдений за оползневыми смещениями и закрепление пунктов на местности	21
1.5. Способы геодезических наблюдений за горизонтальными и вертикальными смещениями оползней	29
1.5.1. Дистанционно-угловой метод геодезических наблюдений	30
1.5.2. Створный метод геодезических наблюдений	33
1.5.3. Способ измерений малых углов	36
1.5.4. Методы геометрического и тригонометрического нивелирования	39
1.6. Общие подходы к расчету точности геодезических наблюдений	41
1.7. Анализ результатов геодезических наблюдений за смещениями оползней	43
1.7.1. Корреляционный анализ смещений оползней	43
1.7.2. Дисперсионный анализ смещений оползней	45
1.7.3. Регрессионный анализ смещений оползней	48
2. МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ И ПЕРИОДИЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ ЗА СМЕЩЕНИЯМИ НА ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНАХ	52
2.1. Методики расчета точности геодезических измерений.....	52
2.2. Обоснование периодичности наблюдения смещений оползней	63

3. ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДЛЯ АНАЛИЗА ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ С УЧЕТОМ ИХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	66
3.1. Особенности векторного поля скоростей на оползневом склоне и определение характеристик реального векторного поля для оползневых процессов	66
3.2. Теоретическое обоснование построения среднеквадратических эллипсов смещений оползней	71
3.3. Применение теории случайных функций для анализа оползневых процессов	82
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ ПО ИЗУЧЕНИЮ СМЕЩЕНИЙ ОПОЛЗНЕЙ	89
4.1. Описание экспериментальных участков.....	89
4.2. Методы и циклы геодезических измерений за смещениями оползней и их точность	91
4.3. Построение среднеквадратических эллипсов смещений оползня	97
4.4. Построение автокорреляционных функций и их анализ...	109
Список литературы	130
Приложения	139

Научное издание

Симомян Владимир Викторович

**ИЗУЧЕНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ
ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

Редактор, корректор *О.А. Гладкова*
Компьютерная правка и верстка *О.В. Сухова*
Дизайн обложки *Д.Л. Разумного*

Подписано в печать 13.03.2015 г. И-24. Формат 60×84/16.
Усл.-печ. л. 10,0. Уч.-изд. л. 9,63. Тираж 100 экз. Заказ 67

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный строительный университет».

129337, Москва, Ярославское ш., 26

Издательство МИСИ – МГСУ.

Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.

E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru.

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ – МГСУ.

Тел. (499) 183-91-90, (499) 183-67-92, (499) 183-91-44