

На правах рукописи

**Тихонов Андрей Владимирович**

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ  
ГЛУБОКИХ ОПОЛЗНЕЙ Г. МОСКВЫ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОТОЧНЫХ МЕТОДОВ**

Специальность 25.00.08 –Инженерная геология,  
мерзлотоведение и  
грунтоведение

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Москва - 2011

Работа выполнена на кафедре инженерной геологии Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических наук,  
доцент Вязкова Ольга Евгеньевна

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,  
Шешеня Николай Логвинович

кандидат технических наук,  
Дудлер Игорь Владиславович

Ведущая организация:  
ОАО «Фундаментпроект»

Защита состоится 17 марта 2011 г. в 15 час. на заседании диссертационного совета ДМ 212.121.01 в Российском государственном геологоразведочном университете по адресу: г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, ауд. 5-49.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГРУ.

Автореферат разослан «\_\_\_» февраля 2011 г.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просьба направлять по адресу: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, ученому секретарю Диссертационного совета ДМ 212.121.01.

Телефон: (495) 433-65-44 (добавочный 11-60: 12-05)

Председатель  
диссертационного совета, д.г.-м.н.

В.М. Швец

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** В последние десятилетия города на территории России стали активно развиваться, особенно это относится к крупным городам, прежде всего – к Москве.

С ростом населения города растет спрос на недвижимость, что обуславливает потребность в строительстве дополнительного жилья, торговых и офисных площадей, и, как следствие, в новых коммуникациях. Свободного пространства становится все меньше, в связи с чем начинается освоение участков, на которых развиты экзогенные геологические процессы, в частности – глубокие оползни выдавливания. Прежде всего, речь идет о прокладке водонесущих коммуникаций в теле оползня. Необходимость в закреплении оползневых склонов продиктована наличием вблизи них важных инженерных сооружений и перспективой строительства новых. Для этого требуется детальная информация о динамике оползневого процесса, его глубинности, структуре оползня и механизме его развития.

Диссертация посвящена изучению механизма и кинематики глубоких оползней выдавливания с помощью высокоточных методов наблюдений. В качестве объектов исследований выбраны оползни на Воробьевых горах (фрагмент склона от канатно-кресельной дороги до метромоста), в Коломенском (фрагмент склона от завода полиметаллов до МИФИ) и на Карамышевской набережной возле церкви Троицы Живоначальной в Хорошеве (Хорошево-1).

**Цель работы** заключается в усовершенствовании методики изучения оползневых процессов с привлечением современных инструментальных методов мониторинга применительно к оптимизации хозяйственной деятельности на склонах, пораженных глубокими оползнями, и обеспечению безопасной эксплуатации расположенных на них промышленных и гражданских объектов.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить ряд **задач**:

1. Изучить динамику оползневого процесса на стадии основного смещения;
2. Уточнить динамику оползневого процесса на стадии подготовки;
3. Уточнить структуру оползней на Воробьевых горах, в Коломенском и на Карамышевской набережной;
4. Оценить влияние тектонических условий и истории геологического развития на формирование глубоких оползней;
5. Провести сравнительный анализ эффективности и информативности глубинных методов наблюдений;
6. Разработать оптимальную методику мониторинга и анализа его данных.

**Научная новизна** представляемой работы заключается в следующем:

1. Впервые в г. Москве инструментально зафиксированы скорости смещения глубокого оползня с основным деформирующимся горизонтом в юрских глинах на стадии основного смещения и определена продолжительность первых двух фаз;
2. Уточнен механизм смещения глубоких оползней выдавливания на стадии основного смещения;
3. Определен возраст и продолжительность оползневого цикла оползней в Коломенском и на Карамышевской набережной на основе анализа истории геологического развития региона и геологического строения;
4. Предложен новый подход к изучению оползневых процессов, базирующийся на построении карты кровли основного деформирующегося горизонта (или комплекта карт кровли слоев, слагающих тело оползня), геологических разрезов и данных инструментальных наблюдений;
5. Разработана новая методика обработки данных геодезических и глубинных наблюдений за оползневым процессом;
6. Предложен новый подход к расчету дефицита устойчивости склона на основе данных геодезических и инклинометрических наблюдений.

### **Защищаемые положения:**

1. Объемная модель глубоких оползней выдавливания должна создаваться на основе построения карты кровли ОДГ, геологических разрезов и данных мониторинга.
2. Для наблюдений за динамикой оползневого процесса необходимо и достаточно использовать высокоточную инклинометрию и наземные геодезические методы.
3. В теле оползня выдавливания смещение грунтов происходит послойно, с разными скоростями, в направлении уменьшения напряжений и может не совпадать с азимутом падения склона.

**Практическая значимость работы.** В результате исследований были получены количественные характеристики развития оползневого процесса в условиях г. Москвы, разработан новый подход к изучению упомянутого процесса, разработана методика обработки данных инструментальных наблюдений. Полученные результаты были использованы при проектировании мер инженерной защиты оползневого склона на Карамышевской набережной (Хорошево-1). Предложенный автором подход к изучению оползневых процессов может быть использован при разработке защитных мероприятий от оползней, имеющих блоковое строение.

**Фактический материал** собирался автором в ходе проведения инженерно-геологических изысканий и ведения мониторинга оползневых процессов на Воробьевых горах, в Коломенском и на Карамышевской набережной (Хорошево-1). В процессе работы над темой диссертации использованы фондовые материалы ОАО «Геоцентр-Москва», ОАО «ГСПИ», НИИОСП им. Герсеванова и др., многочисленные литературные источники.

**Апробация работы.** Отдельные вопросы, рассмотренные в работе, докладывались и обсуждались на научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава РГГУ (2007–2008 гг.) и на 15 Международном научно-техническом симпозиуме «Геоинформационный

мониторинг окружающей среды: GPS и GIS-технологии» (Алушта, 2010 г.). Результаты исследований неоднократно обсуждались на совещаниях в Департаменте градостроительной политики г. Москвы, в Департаменте природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы, с сотрудниками различных производственных организаций и научно-исследовательских институтов. Автор привлекался НИИОСП им. Герсеванова для разработки проекта мониторинга оползневых процессов на Карамышевской набережной и последующего анализа полученных результатов; принимал непосредственное участие в организации мониторинга и обработке его результатов на Воробьевых горах и в Коломенском в рамках среднесрочной экологической программы г. Москвы на 2006-2008 гг. (Постановление Правительства Москвы от 28 марта 2006 г. № 219-ПП).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 5 работ, в том числе 1 в журнале из перечня ВАК.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, изложенных на 177 страницах, сопровождается 35 рисунками и 15 таблицами. Список литературы включает в себя 89 наименований.

Работа выполнялась автором в течение 2006-2010 гг. в процессе работы в ОАО «Геоцентр-Москва» и обучения в очной аспирантуре на кафедре инженерной геологии гидрогеологического факультета РГГРУ под научно-методическим руководством кандидата геолого-минералогических наук, доцента О.Е. Вязковой, которой автор выражает самую искреннюю признательность за постоянное внимание и всестороннюю помощь.

Автор благодарит доктора геолого-минералогических наук, профессора В.В. Пендина, профессоров Л.А. Ярг, Н.Н. Ленченко, В.В. Дмитриева и Е.М. Пашкина за ценные советы и замечания во время подготовки диссертации, а также весь коллектив кафедры инженерной геологии за оказанную помощь и поддержку при выполнении работы. Автор приносит

также благодарность сотрудникам ОАО «Геоцентр-Москва» С.Д. Пигариной, Н.Н. Лебкову, В.П. Васильевой, И.Г. Казаковой, И.Н. Федонкиной, ОАО «ГСПИ» В.С. Соколову, НИИОСП им. Герсеванова И.В. Колыбину, И.К. Попсуенко, ГУП «Мосгоргеотрест» С.Г. Гаврилову, ИФЗ РАН В.А. Волкову, С.А. Моисеенко, ИГЭ РАН академику РАН В.И. Осипову, Г.П. Постоеву, Р.Г. Кальбергенову, оказавшим помощь в процессе работы над темой диссертации.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** обобщается информация о московских оползнях выдавливания, накопленная за все время их изучения. Рассматриваются условия и причины развития глубоких оползней, их распространение в черте г. Москвы, история их изучения, а также приводятся основные инструментальные методы наблюдения, получившие наибольшее распространение.

По мере развития города сначала застраивались наиболее благоприятные с инженерно-геологической точки зрения участки, потом менее благоприятные, а на сегодняшний день – те площади, которые либо пустовали (чаще всего – участки со сложными инженерно-геологическими условиями, в том числе, вблизи оползневых склонов), либо высвобождаются за счет сноса ветхого жилья, вывода предприятий за черту города и т.п. Присоединение земель к городу до начала XX века происходило преимущественно на север, т.е. в ту сторону, где нет условий для развития глубоких оползней. Именно по этой причине проблемы оползней в г. Москве до этого периода не существовало.

Оползни по положению поверхности скольжения подразделяются на глубокие и поверхностные. Под глубокими понимаются оползни, захватывающие весь склон от бровки до уреза, поверхностными называют оползни, захватывающие только часть склона. При этом высота склона не имеет значения.

На сегодняшний день в г. Москве глубокие оползни выявлены в долине р. Москвы на 12 участках (Щукино, Серебряный бор, Хорошево-1, Фили-Кунцево, Нижние Мневники, Хорошево-2, Поклонная гора, Воробьевы горы, Коломенское, Москворечье, Чагино, Капотня) и в долине реки Сходни на 3-х участках (Сходня, Тушино, Куркино). Склоны, пораженные глубокими оползнями, имеют специфический рельеф: в верхней части – это высокий крутой откос (надоползневый уступ), в средней и нижней частях – терраса с бугристо-грядовым рельефом. Протяженность оползневых участков различна от 0,5 до 3,0–3,5 км, ширина (длина по оси движения оползня) достигает 100–380 м, форма в плане – фронтальная, реже – циркообразная. По механизму деформаций склона они относятся к оползням выдавливания (К.А. Гулакян, В.В. Кюнтцель, 1970).

Условиями их развития являются:

- наличие склона высотой от 15 м;
- общая крутизна склона от 5° (М.Н. Парецкая, 1972);
- наличие в геологическом разрезе глин, склонных к ползучести (оксфордских);
- вертикальная нарушенность структуры пород разломами или линеаментами;
- положение кровли оксфордских глин на урзе реки ( $\pm 2-5$  м).

Основной природной причиной образования и активизации глубоких оползней традиционно считается эрозионная деятельность рек в основании склонов.

По мере роста хозяйственного освоения территории г. Москвы появились новые причины, вызывающие активизацию глубоких оползней:

- подрезка склонов в нижней и (или) пригрузка в верхней части;
- капитальное строительство в непосредственной близости от бровок склонов;
- прокладка вдоль и поперек склонов инженерных коммуникаций, в том числе водонесущих;



- динамические нагрузки от транспорта и строительных работ;
- сосредоточенный сброс на склон вод поверхностного стока.

Ранее было установлено, что развитие глубокого оползня на постоянно подмываемых склонах происходит циклично. Оползневый цикл включает в себя две стадии: основного смещения и подготовки основного смещения, которые, в свою очередь, подразделяются на фазы. В рамках настоящей работы исследования проводились на двух участках, находящихся в стадии подготовки, и на одном – в стадии основного смещения.

В г. Москве укреплено 6 оползневых участков, из которых стабильными остались только 2.

На наш взгляд, может быть несколько причин снижения эффективности мер инженерной защиты на оползневых склонах:

1. Выполнение неполного комплекса защитных мероприятий.
2. Укрепление склонов в период активности оползней.
3. Недоучет деталей механизма оползневого процесса.
4. Ошибки при определении физико-механических свойств грунтов.
5. Недоучет интенсивности и роста негативных техногенных нагрузок.

Понятие оползня раздавливания (выдавливания) введено Н.Я. Денисовым (1951), позднее встречается в различных классификациях оползней по механизму (М.К. Рзаева, 1969, Г.С. Золотарев, 1970, В.В. Кюнтцель, 1970, 1980). Е.П. Емельянова вывела основные закономерности процесса, механизм раздавливания, который был уточнен исследованиями К.А. Гулакяна на основе физического моделирования московских оползней из эквивалентных материалов. В естественных условиях исследования проводились на оползнях на стадии подготовки и ни разу на стадии основного смещения. Только в 2006-2007 гг. впервые в г. Москве были инструментально зафиксированы скорости смещений пород на этой стадии развития оползневого цикла (участок Хорошево-1).

Существует множество инструментальных методов, предназначенных для определения кинематических характеристик оползневого процесса. Их

можно разделить на 2 группы: поверхностные и глубинные. К первым относятся геодезические методы, наблюдения с помощью наклономеров, трещиномеров и др. Ко второй группе относятся инклинометрия, тензометрия, наблюдения с помощью тросовых реперов, обратных отвесов и др.

Глубинные методы предназначены для определения глубины зоны скольжения, скорости и направления смещения грунта. Все они дорогостоящи, имеют свои достоинства и недостатки, но нигде (ни в нормативных документах, ни в справочной литературе) нет четкого указания, какой метод выбрать для изучения оползневых процессов.

**В последующих трех главах** приводятся результаты исследований, выполненных соответственно на участках Воробьевы горы, Коломенское и Хорошево-1.

Оползень на Воробьевых горах изучался различными исследователями на протяжении более 150 лет, но только с середины XX века на нем были организованы инструментальные наблюдения. С 1994 г. они были прекращены из-за отсутствия финансирования, в последствии вся наблюдательная сеть пришла в негодность. В 2007 г. на участке Воробьевых гор от церкви Троицы Живоначальной до метромоста была организована новая сеть. Пункты наблюдений расположены по створам, которые заложены по линии падения склона, от его бровки до уреза р. Москвы, и включают в себя грунтовые реперы (104), инклинометрические (13) и тензометрические (6) скважины. Для глубинных измерений применялись инклинометры с пластиковыми обсадными трубами и тензометры с трубчатой формой зонда.

Проведенные исследования позволили уточнить его геологическое строение (были построены разрезы и карта основного деформирующегося горизонта), выделить 5 блоков (ранее выделялось 4) средней шириной 74 м.

Лабораторные исследования, проведенные в ИГЭ РАН, позволили получить показатели физико-механических свойств грунтов в коренном, в смещенном залегании и в зоне смещения оползня. Зона смещения проходит

по средней части верхнеюрских глин оксфордского яруса на глубинах 65-40 м.

Изучаемый фрагмент Воробьевых гор расположен под углом  $135^\circ$  к северу, что совпадает с направлением планетарной трещиноватости. Река Москва, как и другие постоянные водотоки, протекает по ослабленным зонам горных пород – по линиям разломов и линеаментов. Оползневые блоки откалывались именно по этому направлению.

Возраст оползня составляет около 2000 лет, с учетом того, что начало процесса выдавливания началось на 1,2 км севернее в начале голоцена. Средняя продолжительность оползневого цикла равна 400 годам.

Склон Воробьевых гор разделен на участки, в пределах которых оползневые подвижки происходили асинхронно, с разной периодичностью, что подтверждается уменьшением количества блоков по мере продвижения вниз по течению реки.

Инструментально зафиксировано смещение песчаных отложений по кровле глинистых разностей позднеюрского возраста внутри оползневого блока, отличное по направлению, глубине и скорости от массива в целом.

На участке Коломенское, как и на Воробьевых горах, существовала поверхностная наблюдательная сеть, пришедшая в негодность. Новая сеть, позволяющая вести мониторинг оползневых процессов, как на поверхности, так и в глубине массива, появилась в 2007 г. Для этих целей было пробурено 13 наблюдательных скважин глубиной до 50 м, 9 из которых оборудованы под инклинометрические наблюдения (стальные трубы), а 4 – под тензометрические комплексы.

Было уточнено геологическое строение участка, построен разрез и карта основного деформирующегося горизонта. Тело оползня состоит из 5 блоков длиной по оси смещения от 20 м (самый верхний) до 76 м. Средняя длина блока по оси смещения составляет 48 м. Те блоки, которые сохранились до наших дней, моложе, чем предполагали предыдущие исследователи, поскольку процесс оползания начался примерно 10 тыс. лет

назад, и за это время река подмыла полосу берега шириной 1,2 км. За это время было полностью уничтожено примерно 25 оползневых блоков, в среднем 333 года на 1 блок, т.е. возраст существующего оползня составляет примерно 1700 лет.

Анализ карты кровли основного деформирующегося горизонта позволил выделить в пределах оползневого склона четыре участка различающиеся степенью раздробленности геологического строения. Было установлено, что тело оползня разбито на оползневые блоки, в которых сохраняется последовательность стратиграфического напластования, но слои запрокидываются в сторону плато. Смещениями были захвачены четвертичные, меловые и юрские отложения и, в том числе, на отдельных отрезках склона породы келловейского яруса.

Оползневые блоки откалывались по линиям, параллельным направлению планетарной трещиноватости с азимутом 135°.

Выполненные ранее два комплекса противооползневых мероприятий, а также реконструкция стенки набережной не стабилизировали оползневые процессы и оказались неэффективными. Основной причиной являются техногенные нагрузки: на участке было построено и разрушено оползнем два Чертановских канализационных коллектора, неоднократно подрезалась нижняя часть склона. В дополнение к этому в теле оползня были захоронены радиоактивные отходы.

Особое внимание заслуживают результаты исследований, выполненных на участке Хорошево-1. В начале августа 2006 г. в краевой части участка от церкви Троицы Живоначальной до коттеджного поселка «Годуново» произошла резкая активизация оползневых процессов (основное смещение) – откололся блок от плато, и образовалась трещина растяжения в тыловой части оползневой террасы. Образовался цирк протяженностью вдоль реки около 300 м и длиной по оси смещения около 70 м. Оползнем была разрушена хозяйственная постройка, находившаяся на территории церкви, забор, а также вероятно скорое разрушение церковного туалета.

Причиной активизации оползня, вероятно, стала забивка свай в Хорошевское спрямление р. Москвы, производившаяся при строительстве временной опоры Живописного моста, поскольку оба события точно совпали по времени.

В октябре 2006 г. на плато и отколовшемся блоке была организована наблюдательная сеть, состоящая из грунтовых реперов и деформационных марок. В декабре 2006 г. – январе 2007 г. сеть была дополнена грунтовыми реперами, инклинометрами, тросовыми реперами, тензометрами и обратными отвесами.

По данным инженерно-геологических изысканий был построен геологический разрез, на котором выделяются 6 оползневых блоков шириной от 6 м до 30 м, средняя ширина составляет 15 м.

На основе разреза, данных мониторинга, материалов инженерно-геологических изысканий и геофизических исследований были построены карты кровли оксфордских и волжских отложений, которые отражают структуру оползневого массива.

Развитие оползня выдавливания могло начаться только тогда, когда эрозионный врез р. Москвы достиг отметок, близких к современным, т.е. на границе позднего плейстоцена и голоцена. За этот период было размывто 1,4 км берега (величина размыва равна ширине поймы) или 93 блока. Таким образом, оползневый цикл составляет в среднем 101 год и возраст существующего оползня – примерно 600 лет.

Все оползневые блоки на данном участке откалывались по линии с азимутом  $135^\circ$ , что совпадает с направлением планетарной трещиноватости.

Скорости осадки блока составляли в первые дни 3,5 см/сут, к сентябрю 2007 г. снизились до 2 см/сут. Суммарная продолжительность первых двух фаз стадии основного смещения (разрушения коренных пород и нарастания скорости смещений) составила 8 месяцев. Скорости смещения в плане возрастают по мере приближения к урезу реки, из чего следует, что отползание оползневой террасы предшествовало отколу нового блока.

Оползневые блоки сползают рывками, причем первично отползание первого от реки блока, которое приводит к цепной реакции и последующему его продвижению смещающейся вышерасположенной массой грунта.

При анализе материалов глубинных наблюдений были построены пространственные модели изгибающихся скважин. Впервые инструментально определено, что оползневые блоки смещаются по криволинейной траектории, причем различные по литологическому составу слои грунтов двигаются в направлениях, различающихся между собой на 10-15°.

**В пятой главе** рассмотрены основные направления исследования глубоких оползней.

Основной природной причиной образования глубоких оползней традиционно считается эрозионная деятельность рек. Однако известно, что реки текут по ослабленным зонам горных пород, образованным разломами, линеаментами и др., и г. Москва не является исключением.

Если обратиться к карте дочетвертичных отложений, то первое, что бросается в глаза – долина размыва мезозойских отложений, вдоль которой протекает р. Москва. Наиболее молодые дочетвертичные отложения, встречающиеся в черте города, относятся к позднему мелу и присутствуют только на Теплостанской возвышенности, при этом абсолютные отметки их кровли достигают 160 м и более, тогда как кровля каменноугольных отложений в долине размыва находится на отметках около 120 м. За неогеновый и палеогеновый периоды (70 млн. лет) в этой зоне были размывы меловые, юрские и даже позднекаменноугольные отложения, в сумме не менее 40 м. Уже тогда образовались склоны и в долине размыва могли развиваться оползни различных типов. Именно эта зона является ослабленной, т.е. структура пород нарушена, что облегчает их размыв поверхностными водотоками.

При наступании ледников палеорельеф был «законсервирован». Логично предположить, что в первую очередь ледниковые отложения

заполняли более низкие участки, т.е. долину. В межледниковье происходил размыв морены, а при наступании очередного ледника эти участки снова заполнялись мореной.

После отступления московского ледника начала формироваться третья надпойменная терраса р. Москвы, при этом размывались ледниковые отложения, причем снова в ослабленной зоне. Позднее образовались вторая и первая террасы, но их высота и распространение существенно меньше. В общей сложности за средний и поздний плейстоцен было размывто до 50-60 м ледниковых отложений, что говорит не только о больших объемах воды, но и о возросшей тектонической активности региона (не обязательно подъемов и опусканий отдельных блоков, а скорее их колебаний).

Из всего вышесказанного следует, что на протяжении миллионов лет тектоническая активность полосы северо-западного простирания шириной несколько километров, в которой находятся долина дочетвертичного размыва и современное русло р. Москвы, была выше по сравнению с окружающей территорией. Этим объясняется не только протекание реки именно здесь, но и развитие именно в этой зоне глубоких оползней. Данная ослабленная зона, как и линии отколов оползневых блоков на Воробьевых гор, в Коломенском и в Хорошево-1, расположена вдоль направления планетарной трещиноватости с азимутом  $135^\circ$ .

Планетарная трещиноватость, выделенная Зондером, помимо  $135^\circ$  имеет азимуты  $20^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $110^\circ$  и  $160^\circ$ . В Москве к направлению  $135^\circ$  приурочено в общей сложности 7 оползней: часть Воробьевых гор, часть Коломенского, Хорошево-1, Москворечье, часть Фили-Кунцево, Чагино и Куркино, т.е. почти половина. К азимуту  $110^\circ$  относятся оползни Хорошево-2, Сходня, Поклонная гора, Серебряный бор и часть Воробьевых гор. Капотня и Нижние Мневники приурочены к линиям с азимутом  $160^\circ$ , части участков Фили-Кунцево и Воробьевы горы относятся к азимуту  $45^\circ$ , часть Коломенского и Тушино к  $20^\circ$ . Только участок Щукино выбивается из этого правила, но за последние 55 лет признаков активности на нем не

отмечалось. Поскольку изыскания там не проводились, не исключено, что данный участок, обладая условиями для развития оползней выдавливания, оползневой не является.

Поскольку данная зона была активна длительное время, о чем свидетельствует интенсивный размыв горных пород в течение геологического времени, нарушение целостности пород должно быть не только в карбонатных породах, но и в вышележащих глинистых. Из этого следует, что на склонах еще до образования оползней возникли ослабленные области, по которым потом откалывались блоки.

На границе позднего плейстоцена и голоцена р. Москва врезалась достаточно глубоко, чтобы смогли выдавливаться юрские глины. Именно в это время началось развитие глубоких оползней выдавливания.

Возраст тех оползней, которые развиты сейчас в г. Москве, существенно моложе и его можно вычислить, зная количество и ширину оползневых блоков.

Напротив каждого исследованного оползневого склона на противоположном берегу находится пойма шириной более 1 км. В каждом случае пойма была намывта при формировании излучины, в которой развивается оползень, следовательно, нынешние оползневые блоки возникли тогда, когда река дошла до современного положения. За голоцен в оползневой процесс был вовлечен массив грунтов, ширина которого равна сумме ширины современной поймы и тела оползня. Начало голоцена оценивается по-разному. В СССР его продолжительность считалась равной 10000 годам, в Европе -  $11700 \pm 99$  лет. Очевидно, что наступление голоцена не произошло моментально, а значит, граница не может быть очень четкой. Вероятнее всего, в разных регионах его продолжительность может варьировать. Если допустить, что за этот период скорость размыва берега рекой Москвой не менялась, то представляется более правильным для расчетов использовать тот период времени, за который был размыв участок склона, равный по ширине пойме, с интенсивностью, равной современной.



Зная количество блоков и их ширину (длину по оси смещения), определяем среднюю ширину блока. Разделив ширину поймы на среднюю ширину блока, получим количество блоков, которые были смыты. Разделим 10 тыс. лет на сумму всех блоков (уничтоженных и существующих) и получим среднюю продолжительность оползневого цикла. Умножив получившуюся величину на количество блоков в оползне, получим его возраст.

Как было отмечено выше, существует много инструментальных методов наблюдения за оползневыми процессами, но нигде нет информации о том, какие из них наиболее информативны и эффективны.

Исследования, выполненные на трех участках развития оползней выдавливания, позволяют обозначить минимально необходимый набор методов наблюдения для определения различных параметров процесса в зависимости от поставленной цели.

На трех оползневых участках были апробированы различные глубинные методы инструментальных наблюдений, которые получили наибольшее распространение. Скважины располагались кустами, что дало возможность сравнить эффективность и информативность различных технологий (таблица 1).

Опытным путем выяснилось, что наиболее оптимальным глубинным методом наблюдений является высокоточная инклинометрия в пластиковых трубах с базой измерительного прибора, равной 0,5 м.

В качестве наземных методов наблюдений незаменимыми остаются геодезические.

На сегодняшний день все большее значение уделяется трехмерному компьютерному моделированию при изучении тех или иных процессов. Однако до недавнего времени при обработке данных геодезических наблюдений использовались лишь плоские графики, иногда сложные для восприятия.

Таблица 1

## Сравнение скважинных методов наблюдения за оползневыми процессами

№ п/п	Название метода	Достоинства	Недостатки
1	Высокоточная инклинометрия (стальные трубы)	1. возможность определения направления и конкретных величин смещений; 2. долговечность.	1. большая трудоемкость производства полевых работ (требуется 4 чел.); 2. большой интервал снятия отсчетов (2,0 м); 3. высокая сопротивляемость труб изгибу
2	Высокоточная инклинометрия (пластиковые трубы)	1. высокая чувствительность обсадных труб; 2. возможность определения направления и конкретных величин смещений; 3. четкая ориентировка прибора в скважине; 4. долговечность; 5. короткая база прибора (0,5 м) 6. исключение человеческого фактора при обсчете результатов	1. более высокая стоимость обсадных труб по сравнению со стальными
3	Тензометрия (лента)	1. низкая стоимость.	1. необходимо заранее знать направление смещения оползня; 2. качественное определение смещения; 3. недолговечность
4	Тензометрия (трубка)	1. низкая стоимость; 2. возможность определить направление смещения	1. качественное определение смещения; 2. недолговечность
5	Тросовый репер	_____	Положительных результатов не дал
6	Обратный отвес	_____	Положительных результатов не дал

Предлагаемая методика позволяет определять все необходимые параметры процесса в трехмерном изображении: направление и величина смещений, как в плане, так и по высоте, азимут, наличие вращения, распределение этих величин в пространстве в зависимости от времени.

Для построения трехмерных графиков использовалась программа Mathcad. Построение осуществляется по координатам (X, Y, H) без искажения масштаба за разные циклы наблюдений, график ориентируется на

север. При размещении линий движения нескольких точек наблюдения, расположенных в разных частях оползня, в единой системе координат (не только реперов, но и наблюдательных скважин), появляется возможность «увидеть» оползень в объеме, выделить особенности развития процесса в конкретно взятом случае. При значительных смещениях можно смоделировать изменение рельефа.

Построение трехмерных графиков смещения реперов, расположенных на опускающемся блоке, позволяет определить конфигурацию поверхности отрыва, которая идентична самому графику.

Анализ данных геодезических наблюдений производится в следующей последовательности:

1. отбраковка пунктов наблюдений, величины смещений по которым не превышают двух среднеквадратических погрешностей вычисления координат и не имеют определенного направления;
2. ввод координат в ПК в единой системе координат;
3. распределение координат реперов по створам вдоль предполагаемой оси скольжения;
4. вычисление величин осадок, плановых и полных смещений;
5. вычисление азимутов смещений;
6. построение векторной карты;
7. объединение реперов с одинаковыми величинами смещений и направлениями в группы;
8. выделение границ оползневых блоков по характеру смещений;
9. вычисление скоростей и ускорений для выделенных реперов;
10. построение трехмерных моделей смещения характерных пунктов наблюдения на одном графике.

Зная глубину захвата массива, определенную с помощью инклинометрических наблюдений, можно четко оконтурить тело оползня, определить его объем, что является весьма важной информацией при проектировании мер инженерной защиты.

Трёхмерное изображение изгибов обсадных колонн скважин позволяет выделить не только зону скольжения, но и смещения грунтов и их направления внутри тела оползня. Плоские графики не дают такой возможности.

После построения профилей скважин производится вычисление приращений по каждой координатной оси и строится трёхмерный график приращения изгибов обсадной колонны (рис. 1). Именно по этому графику можно четко выделить зоны, величины, направления смещений, чего не позволяет ни одна программа обработки инклинометрических наблюдений. В такой форме предоставления материала легко сопоставить изгибы скважины с геологическим разрезом, вынести данные на карту или в таблицу и получить детальную картину развития оползневых деформаций. При необходимости на одном графике можно отобразить несколько скважин, получив, таким образом, объемную модель оползня.

Для облегчения восприятия положения скважины в пространстве ось ординат окрашивается в красный цвет и совпадает с северным направлением.

Важным видом в комплексе исследований оползневых склонов является изучение их внутренней структуры и составление карты кровли основного деформирующегося горизонта, а при необходимости и вышерасположенных слоев грунтов. Они составляются на основе методики, в основе которой лежит принцип совместного применения геоморфологического и геологического методов. Этот принцип базируется на апробированном представлении о неотектонических особенностях территории, выражающихся в определённом сходстве особенностей элементов современного рельефа земной поверхности с основными структурами, сформированными в массивах погребённых отложений.

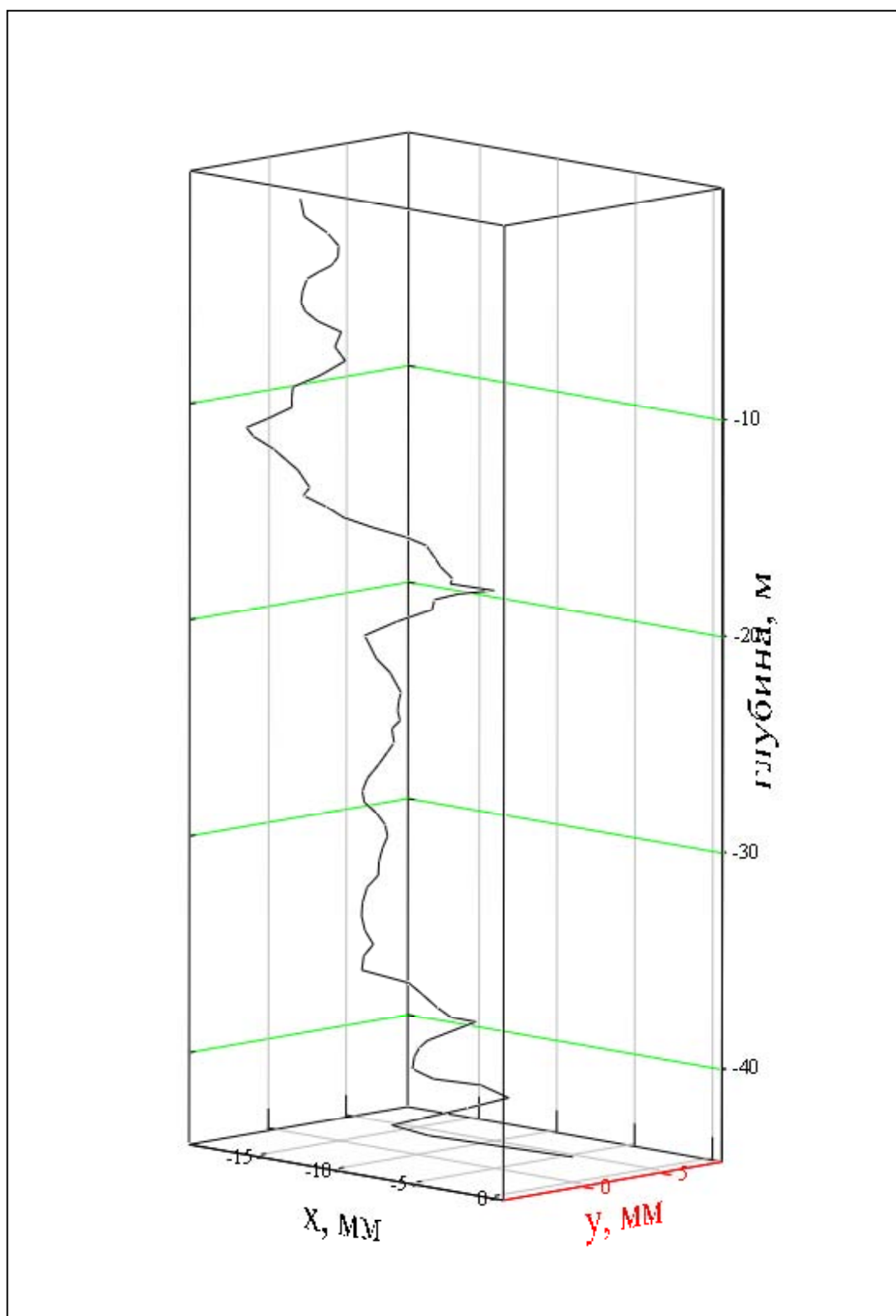


Рис. 1. Трехмерный график приращения изгибов обсадной колонны

В дополнение принимаются во внимание данные геофизических исследований, получаемые различными методами, а также результаты инструментальных наблюдений.

Большинство методов расчета устойчивости склонов базируются на применении теории предельного равновесия и предположения о том, что формирование на склоне оползня происходит в результате сдвига по поверхности скольжения в соответствии с теорией прочности Кулона-Мора. Это справедливо в случае, когда оползень находится в состоянии покоя или еще не образовался, но если массив пришел в движение, то о предельном равновесии не может быть речи, поскольку оно наступит только тогда, когда оползень остановится. В этом случае можно говорить только о дефиците устойчивости.

С позиции теории систем оползневый процесс характеризуется вектором координат литосистемы «оползневый склон», который включает в себя ряд переменных: плотность, мощность тела оползня, угол наклона поверхности скольжения, сцепление, угол внутреннего трения, длина поверхности скольжения. С другой стороны этот вектор отражает результирующую силу, которая приводит систему в движение.

В настоящее время ни один метод расчетов устойчивости не позволяет учитывать динамику развития оползневого процесса, и в этом, возможно, кроется причина неэффективности противооползневых мероприятий, выполненных на склонах, осложненных глубокими блоковыми оползнями.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проблема глубоких оползней в г. Москве возникла лишь в середине XX столетия, что связано с ростом населения и территории города, освоением склонов и присклоновых участков. При этом иногда только спустя несколько лет после освоения, выяснялось, что участок является оползневым.
2. Все глубокие оползни, развитые в черте г. Москвы по механизму относятся к оползням выдавливания, основным деформирующимся горизонтом являются юрские глинистые отложения.

3. Из 10 глубоких оползней укреплено 6, причем на 4 из них противооползневые мероприятия оказались неэффективными.
4. Основной природной причиной образования и активизации глубоких оползней, согласно традиционным взглядам, является эрозионная деятельность рек в основании склонов. В городских условиях причиной активизации глубоких оползней является разнообразная техногенная нагрузка: подрезка склонов в нижней и (или) пригрузка в верхней части; капитальное строительство в непосредственной близости от бровок склонов; прокладка вдоль и поперек склонов инженерных коммуникаций, в том числе водонесущих; динамические нагрузки от транспорта и строительных работ; сосредоточенный сброс на склон вод поверхностного стока.
5. В результате проведенных исследований было уточнено геологическое строение оползневых участков Воробьевы горы, Коломенское и Хорошево-1. Для всех участков вычислен возраст, который колеблется от 2000 лет для Воробьевых гор до 600 лет для Хорошево-1. Все три оползня относятся по механизму к оползням выдавливания, имеют блоковое строение (количество блоков составляет  $5 \pm 1$ ). Исходя из возраста и строения склонов была определена средняя продолжительность оползневого цикла, которая составила 400 лет для Воробьевых гор, 333 года для Коломенского и 101 год для Хорошево-1. По фактическим данным правильность расчетов подтверждается, поскольку на участке Хорошево-1 последний цикл длился 94 года.
6. Все исследованные оползни и блоки, из которых они состоят, расположены вдоль линии планетарной трещиноватости (азимут  $135^\circ$ ), из чего следует, что их развитие предопределено наличием ослабленных зон, т.е. линии заколов могут формироваться до начала оползания.
7. Все оползни в той или иной степени испытывают техногенные нагрузки, которые носят, как правило, негативный характер. Выделить какое из внешних воздействий на оползень привело к его активизации крайне

сложно, но можно определить совокупность всех причин (и природных, и техногенных), что выражается в виде конкретных величин смещения массива грунтов.

8. На всех трех участках на протяжении нескольких лет проводились наблюдения за развитием оползневых деформаций в глубине массива шестью различными методами. Проведенные исследования позволили сравнить качество получаемой информации, ее полноту, удобство эксплуатации приборов. Наиболее оптимальным и точным глубинным методом является инклинометрия в пластиковых обсадных трубах с базой измерительного прибора 0,5 м.
9. Впервые в г. Москве были выполнены инструментальные наблюдения за ходом развития глубокого оползня выдавливания на стадии основного смещения (участок Хорошево-1). Установлено, что продолжительность первых двух фаз (разрушения коренных пород и нарастания скорости смещений) составила 8 месяцев. Максимальные скорости осадок – 35 мм/сут.
10. В теле оползня выдавливания смещение грунтов происходит послойно, с разными скоростями, в сторону глубоких выемок грунта, линеаментов, падения кровли нижележащих отложений, т.е. в направлении уменьшения напряжений и поэтому не всегда совпадает с азимутом падения склона, что было установлено в ходе ведения режимных инклинометрических наблюдений на участках Хорошево-1 и Воробьевы горы.
11. Предложен новый подход к расчету дефицита устойчивости оползневых склонов, который должен быть проверен, при необходимости доработан, и может быть применен при проектировании мер инженерной защиты от оползней, имеющих блоковое строение.
12. Разработана методика анализа данных геодезических и инклинометрических наблюдений, основанная на построении трехмерных графиков движения пунктов наблюдения.



## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Тихонов А.В. Мониторинг ЭГП Московской области на примере Озерского района. – В кн. Научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о земле». Тезисы докладов. – М.: РГГРУ, 2006. с. 139.
2. Тихонов А.В. Анализ причин активизации оползневой процесса на участке Хорошево-1. – В кн. VIII Международная конференция «Новые идеи в науках о земле». Доклады. Т. 8. – М.: РГГРУ, 2007. с. 118-120.
3. Тихонов А.В. Эффективность стационарных методов наблюдения за оползневой процессом на примере участка Хорошево-1 – В кн. Межвузовская научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о земле». Материалы конференции. – М.: Изд-во ЗАО «ИД Экономическая литература», 2008. с. 137.
4. Тихонов А.В. Особенности механизма оползневой процесса в условиях г. Москвы на примере участка Хорошево-1 //Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2009, №4. – с 74-75.
5. В.А. Волков, О.Н. Галаганов, В.Б. Дубовской, В.И. Леонтьев, С.А. Моисеенко, А.В. Тихонов «Высокоточный мониторинг оползневых процессов на примере г. Москвы» /XV Міжнародний науково-технічний симпозіум «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS - технології», 13-18 вересня 2010 р., Алушта: Збірник матеріалів/ Відповід. ред. К.Р. Третяк. – Львів: Львівське астрономо-геодезичне товариство, 2010. – с. 54-55.