

*На правах рукописи*

**Федоренко Евгений Владимирович**

**ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ  
И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТРАНСПОРТНОЕ ОСВОЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ  
(НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИМОРЬЯ)**

**25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

**Иркутск  
2007**

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» (г. Хабаровск)

**Научный руководитель:** доктор геолого-минералогических наук,  
профессор  
**КВАШУК СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**Официальные оппоненты:** доктор геолого-минералогических наук,  
профессор  
**КОНДРАТЬЕВ ВАЛЕНТИН ГЕОРГИЕВИЧ**

кандидат геолого-минералогических наук,  
профессор  
**ВЕРХОЗИН ИВАН ИВАНОВИЧ**

**Ведущая организация:** **Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС).**

Защита состоится «29» июня 2007 г. в 14:00 часов  
на заседании диссертационного совета Д 003.022.01 при Институте земной коры  
СО РАН по адресу: 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Иркутского научного центра СО РАН в здании Института земной коры СО РАН

Отзывы об автореферате в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просьба направлять по вышеуказанному адресу ученому секретарю к.г.-м.н. Л.П. Алексеевой, тел: (3952) 42-27-77, fax: (3952) 42-69-00, e-mail: [lalex@crust.irk.ru](mailto:lalex@crust.irk.ru)

Автореферат разослан «26» мая 2007 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат геолого-минералогических наук

Л.П. Алексеева

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность работы**

Изучаемый район охватывает территорию юго-запада Приморского края. Географическое положение Приморья, мягкий климат, теплое море и наличие экзотических объектов делают этот район привлекательным для российских и зарубежных туристов. В связи с этим необходимо транспортное освоение района с выходом на побережье Японского моря. Актуальный элемент развития транспортной стратегии - формирование международных транспортных коридоров, проходящих через Россию. Железнодорожная линия Барановский – Хасан является связующим звеном между Транссибирской магистралью и железными дорогами Кореи.

Юго-Западное Приморье характеризуется сложными природно-климатическими, геологическими, сейсмическими и тектоническими условиями, которые необходимо учитывать при изысканиях, проектировании, строительстве новых и эксплуатации существующих транспортных сооружений. Малая инженерно-геологическая изученность территории предопределяет неэффективность инженерной защиты транспортных объектов.

Борьба с экзогенными геологическими процессами (ЭГП) на таких сложных объектах, как железные и автомобильные дороги, ведётся на протяжении уже более 100 лет, но традиционные способы мало эффективны. При строительстве и эксплуатации линейных сооружений неполный учёт особенностей, связанных со сложными инженерно-геологическими условиями, приводит к высоким эксплуатационным затратам и частому ремонту объектов транспортной сети.

### **Цель исследований**

Выявить закономерности распространения экзогенных геологических процессов в районе, определить их влияние на эксплуатацию существующих и строительство новых транспортных сооружений.

### **Задачи исследований**

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Оценить состояние геологической среды Юго-Западного Приморья.
2. Разработать критерии оценки степени пригодности территории для транспортного освоения.
3. Дать комплексную оценку инженерно-геологических условий района в целях определения степени пригодности к строительству транспортных сооружений.
4. Выявить закономерности развития геологических процессов.
5. Изучить природные факторы активизации и развития оползней:
  - а) выявить зависимости между основными прочностными показателями глинистого грунта и влажностью для периферии Борисовского плато;
  - б) определить вероятностную надёжность оползневого склона, с учётом атмосферных осадков.
6. Изучить природные факторы активизации развития эрозионных процессов:
  - а) усовершенствовать дендрохронологический метод измерения процессов плоскостной эрозии;

- б) определить среднегодовую скорость плоскостного смыва.
7. Обосновать выбор степени защиты транспортных сооружений от геологических процессов.
  8. Разработать рекомендации для совершенствования способов инженерной защиты объектов транспортной сети.

### **Методы исследований**

Для решения поставленных задач применялись следующие методы: общенаучные: наблюдение, эксперимент, измерение, анализ, синтез, метод естественно-исторического анализа; методы математической статистики и моделирования; специальные: инженерно-геологические исследования, стационарные наблюдения, опытные инженерно-геологические работы, дендрохронологические методы.

### **Научная новизна**

Для изучаемого района автором получены следующие научные результаты исследований, а именно:

1. Разработана методика определения категории сложности инженерно-геологических условий для транспортного строительства, основанная на комплексной оценке по шкале критериев.
2. Выявлены закономерности развития ЭГП в Юго-Западном Приморье.
3. Предложен метод определения вероятностной надёжности оползневых склонов, с учётом атмосферных осадков.
4. Усовершенствован дендрохронологический метод измерения скорости плоскостной эрозии – «**по обнаженным корням**» путем объединения его результатов с результатами, полученными методом «**по наклону**».
5. Дана оценка динамики процессов плоскостного смыва, имеющих широкое распространение на юге территории.
6. Предложен способ определения степени защиты сооружений в зависимости от назначенной категории опасности геологических процессов.

### **Исходные материалы и личный вклад в решение поставленной проблемы**

В основу диссертационной работы положены результаты полевых, лабораторных, теоретических исследований, проводимых при участии автора в течение пяти лет.

1. Комплексные инженерные изыскания на 43–44 км линии Барановский–Хасан (2002–2003 гг.). Инженерно-геологические исследования на 52-м км линии Барановский–Хасан, совместно с Центром диагностики искусственных сооружений «Мерзлотная станция» (2002–2005 гг.).
2. Наблюдения за характером развития ЭГП в районе с. Рязановка (2003–2006 гг.).
3. Лабораторные исследования грунтов Борисовского плато (2002–2006 гг.). Лабораторные исследования спилов древесины (2003–2006 гг.).
4. Математическое моделирование с применением программных средств (2005 г.).
5. Выполнение расчетов устойчивости и непосредственное участие в проектировании противооползневой конструкции на 52-м км линии Барановский–Хасан, с применением

геосинтетических материалов, совместно с Центром диагностики искусственных сооружений «Мерзлотная станция» (2003 г.).

В работе использованы сведения из опубликованных и фондовых материалов отечественных авторов в области инженерной геологии.

#### **Защищаемые положения:**

1. Из восемнадцати инженерно-геологических комплексов, выделенных в Юго-Западном Приморье, территория четырех является пригодной для строительства транспортных сооружений, одиннадцати – мало пригодной и трех - условно пригодной.

2. На территории Юго-Западного Приморья распространенными ЭГП являются оползни, для которых получена зависимость устойчивости как функция от интенсивности ( $a$ ) и продолжительности ( $H$ ) осадков и начальной влажности грунтового массива ( $W_0$ ):  $K_{уст} = 8 \cdot 10^{12} \cdot (0.1684 \cdot a \cdot H - 0.0007 \cdot H + W_0)^{-8.4935}$ , и процессы плоскостной эрозии, скорость которых определена усовершенствованными дендрохронологическими методами и составляет 0,9 см/год.

3. Для существующей транспортной магистрали выделены четыре участка с первой категорией опасности и два участка со второй категорией опасности ЭГП. Защиту объектов транспортной сети на таких участках рекомендуется осуществлять по индивидуальным проектам с применением прогрессивных конструкций инженерной защиты.

#### **Апробация**

Основные результаты диссертации докладывались на международных и региональных конференциях: «Косыгинские чтения» (Хабаровск, 2003 г.), «Пятый международный форум молодых ученых стран АТР» (Владивосток, 2003 г.), XXI всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2005 г.), «44-я Всероссийская научно-практическая конференция ученых транспортных вузов, инженерных работников и представителей академической науки» (Хабаровск, 2006 г.), «Голстихинские чтения» (Санкт-Петербург, 2006 г.) и внутривузовских конференциях ДВГУПС. Автор участвовал в VII краевом конкурсе-конференции молодых ученых и аспирантов (Хабаровск, 2006 г.), отмечен дипломом за активное участие.

#### **Публикации**

По результатам исследований автором лично и в соавторстве опубликовано 11 работ, в том числе 1 статья в ведущем научном журнале из перечня ВАК.

#### **Практическая ценность и реализация работы**

1. Выполненные исследования являются научной основой для проектирования и строительства транспортных сооружений (железные, автомобильные дороги, трубопроводы) в Юго-Западном Приморье. Результаты представляют практический интерес и для других видов строительного освоения территории.

2. Районирование территории Юго-Западного Приморья по степени пригодности к строительству транспортных сооружений позволяет давать предварительную оценку вариантам трасс новых направлений.

3. Полученные региональные зависимости основных прочностных показателей глинистого грунта от влажности позволят экономически эффективно назначать противооползневые мероприятия и определять необходимость их реализации.

4. Предложенная методика оценки устойчивости оползневых склонов Борисовского плато поможет предупреждать, в зависимости от количества атмосферных осадков, разрушения и деформации существующих транспортных магистралей.

5. Рекомендации по защите железнодорожной линии от ЭГП – на основе районирования – упрощают сложный процесс принятия решения выбора мероприятий.

6. Результаты исследований нашли практическое применение при проектировании противооползневой конструкции на 52-м км линии Барановский–Хасан, выполненном Центром диагностики искусственных сооружений «Мерзлотная станция».

### **Структура и объём работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 110 наименований и двух приложений. Объём диссертации составляет 141 страницу печатного текста, который включает 10 таблиц, 44 рисунка и приложений на 9 страницах.

Автор искренне благодарен за помощь и поддержку на раннем этапе научного становления профессорско-преподавательскому составу ДВГУПС: Л.Л. Севостьяновой, М.С. Клыкову, Л.В. Утиной. За формирование научных взглядов, организацию и помощь в проведении полевых работ старшему научному сотруднику ИТиГ ДВО РАН А.А. Пересторонину. Автор признателен за ценные замечания и отзывы, полученные при подготовке работы доктору г.-м. наук, главному научному сотруднику ИВЭП ДВО РАН В.В. Кулакову, доктору г.-м. наук, профессору ИЗК СО РАН Ю.Б. Тржцинскому, кандидату г.-м. наук, доценту Д.Ю. Малееву. Автор благодарит за положительное влияние при совместной научной деятельности и становление как научного сотрудника доктора техн. наук, профессора А.А. Пиотровича. За помощь в проведении лабораторных исследований – В.И. Бахарева. Автор весьма признателен за консультации в период обсуждения, подготовки и завершения работы доктору г.-м. наук, профессору ТОГУ Т.И. Подгорной.

Особая благодарность за постоянный контроль и направление в творческом поиске научному руководителю, доктору г.-м. наук, профессору ДВГУПС С.В. Квашуку.

## ГЛАВА 1. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Юго-Западное Приморье характеризуется специфическими особенностями, оказывающими влияние на формирование и развитие транспортной сети в регионе. К ним относятся сложные инженерно-геологические условия, определяемые геологическим строением, тектоникой, гидрогеологическими условиями, повышенной сейсмичностью и специфическими природно-климатическими условиями.

*Климатические условия* – основной фактор, способствующий развитию геологических процессов. Особенности климата района, связанные с прохождением тайфунов во второй половине лета, создают предпосылки для интенсивного развития эрозионных процессов. Продолжительные морозящие дожди и туманы приводят к активизации оползневых процессов и заболачиванию.

*Рельеф* территории определяет закономерности развития различных типов процессов в зависимости от высотных зон. В северной части района более распространены гравитационные процессы: оползни, обвалы, осыпи; на побережье развиты абразионно-гравитационные процессы, а в пониженных частях – заболачивание. На территории района развиты формы рельефа, образованные как в результате вулканической деятельности – базальтовые плато, так и в результате эрозии – денудационные поверхности, отличающиеся по времени формирования, а также речные террасы.

*Геологическое строение* территории представлено двумя группами формаций. В северной части района распространены терригенная, угленосная, флишевая, карбонатная, кремнистая и вулканогенно-осадочная формации осадочной группы, а также эффузивная формация магматической группы. Породы осадочной группы включают: глины, суглинки, супеси, пески, песчаники, алевролиты, аргиллиты и известняки. В южной части преобладает интрузивная формация магматической группы, представленная гранитами и диоритами. Незначительное распространение имеют терригенная и кремнистая формации осадочной группы, включающие илы, глины, суглинки и известняки.

Накопление рыхлого обломочного материала в миоцене – образование усть-суйфунской свиты – и последующее излияние плиоценовых базальтов на нелитифицированные отложения предопределило развитие обвально-оползневых процессов на периферии Борисовского плато базальтов.

*Гидрогеологические условия.* Согласно схеме гидрогеологического районирования, предложенной К.П. Каравановым, исследуемый район относится к Лаоэлин-Гродековской гидрогеологической складчатой области, в состав которой входят: гидрогеологические массивы (Западный Пограничный, Южный пограничный); гидрогеологические вулканогенные бассейны (Борисовский, или Шуфанский); межгорные артезианские бассейны (Тавричанский, Усть-Барабашевский, Верхне-Барабашевский, Сидиминский, Славянский, Посьетский, Хасанский).

Гидрогеологические условия характеризуются широким распространением грунтовых поровых вод четвертичных отложений и трещинных вод докайнозойских пород. Грунтовые воды приурочены к аллювиальным и аллювиально-морским отложениям речных долин. Глубина до уровня воды в пределах пойм и первых надпойменных террас не превышает трёх, чаще одного–двух метров, на более высоких – увеличивается до четырех–пяти

метров. Максимальная высота поднятия уровня приходится на период интенсивного выпадения осадков. К делювиальным и оползневым отложениям приурочена верховодка, вода в выработках часто появляется не сразу. Верховодка носит сезонный характер и отличается резко переменным режимом.

Трещинные воды докайнозойских пород развиты почти повсеместно. Они приурочены к верхней зоне региональной трещиноватости пород, зонам интрузивных контактов и тектонических нарушений. Глубина залегания обычно превышает 10 м.

*Неотектонические* движения в настоящее время проявляются замедленно и разнозначно. Одним из индикаторов вертикальных поднятий берегов является неодинаковая высота разновозрастных береговых валов на современных аккумулятивных морских террасах. В региональном неотектоническом отношении район включает восточную часть границы Восточно-Манчжурского поднятия с обрамляющими его впадинами: на севере – грабеном–долины р. Раздольной, в центре – грабеном Амурского залива, на юге – западной частью впадины Японского моря (залив Петра Великого).

*Сейсмические условия* района, согласно карте ОСР-97, определяются сейсмической интенсивностью до 7 баллов. Исследуемая территория характеризуется контрастностью тектонических процессов, опасность для транспортных сооружений представляют разломы. В частности, большая часть протяженности направления автодороги Раздольное–Хасан и железнодорожной линии Барановский–Хасан совпадает с Прибрежно-Раздольненским региональным разломом. О сейсмической активности этого разлома свидетельствует семибалльное землетрясение 1955 года с эпицентром в районе ст. Приморская. Особую опасность представляют места примыкания крупных оперяющих разломов к региональным. Землетрясения, в сочетании с климатическими явлениями (затяжные или ливневые дожди, тайфуны и др.), могут служить толчком к активизации ЭГП.

*Геологические процессы* на исследуемой территории развиты широко, известны многие типы их проявления. К наиболее распространенным относятся: оползание, обвалы, эрозия, абразия, заболачивание, выветривание и карст. В работе приведен выполненный анализ закономерностей их распространения, представлена таблица закономерностей развития экзогенных процессов Юго-Западного Приморья. По результатам анализа выявлено, что на территории района наиболее широко развитыми и опасными геологическими процессами являются оползни, в этой связи они рассматривались более подробно.

В настоящее время выбор варианта трассы линейных сооружений производится в соответствии с оценкой сложности инженерно-геологических условий. Существующая классификация не содержит четких и однозначных критериев, позволяющих объективно и единообразно отнести территорию к определенной категории сложности. На основе синтеза существующей классификации инженерно-геологических условий районирования трассы дороги (по В.Д. Ломтадзе) и методики, разработанной С.А. Макаровым, Т.Г. Рященко и В.В. Акуловой, а также экспертных оценок специалистов в области транспортного строительства и инженерной геологии была разработана шкала критериев. С помощью этой шкалы, в зависимости от интегрального показателя инженерно-геологических условий, определяется степень пригодности территории для транспортного освоения. Критерии, лежащие в основе шкалы, позволяют при проектировании дорог производить разделение

территории на участки, отличающиеся сложностью геологических условий строительства и обеспечения устойчивости земляного полотна.

Для типизации территории по степени пригодности к строительству объектов транспортной сети был выполнен комплексный анализ инженерно-геологических условий. Каждый критерий оценивался условными индексами **R** от 0 до 3, где большее значение соответствует худшим условиям.

Выделено 9 критериев сложности инженерно-геологических условий:

1. *Рельеф*. С точки зрения проектирования железных дорог, неблагоприятными для трассирования формами рельефа являются склоны и косогоры. Благоприятные – повышенные участки: горные массивы, мелкосопочник и водораздельные пространства. Относительно благоприятные – пониженные участки рельефа, то есть приозерные равнины, речные долины и прибрежные низменности.

2. *Геологическое строение* оценивалось по распространению горных пород, их однородности и выдержанности по простиранию. Благоприятные территории имеют однородное геологическое строение. Относительно благоприятные – до четырех слоев, когда породы находятся в простом соотношении. Неблагоприятными являются территории, сложенные разнообразными комплексами горных пород, имеющих сложные взаимоотношения.

3. *Показатели прочности*. Оценка прочностных показателей, обуславливающих устойчивость сооружений. Скальные и полускальные породы оцениваются по временному сопротивлению сжатию горных пород (по С.В. Николаеву и по В.Д. Ломтадзе); дисперсные несвязные – по углу естественного откоса на воздухе, косвенно характеризующему показатели прочности; дисперсные глинистые – по сдвиговым характеристикам.

4. *Несущая способность*. Оценка характеристик, отвечающих за возможные деформации слоев грунта. У скальных пород – пористость (по В.Д. Ломтадзе); у дисперсных несвязных деформационные характеристики определяются их наименованием и коэффициентом пористости; у дисперсных связных – по степени сжимаемости и модулю общей деформации.

5. *Объемные изменения* грунтов связаны с процессами морозного пучения и набухания. Скальные и полускальные горные породы оцениваются по водоустойчивости, которая связана с изменением объема в результате увлажнения или усадки. Характеристикой водоустойчивости для скальных пород является коэффициент размягчаемости, назначение условных индексов выполнено по В.Д. Ломтадзе. Оценка дисперсных несвязных пород производилась по наличию в составе глинистого заполнителя. Присутствие в песках и крупнообломочных грунтах глинистого заполнителя более 15 % свидетельствует о том, что он относится к пучинистым. Объемные изменения дисперсных глинистых грунтов оценивались по величине набухания.

6. *Грунтовые воды*. Благоприятны территории со сравнительно большой (>5 м) глубиной залегания, относительно благоприятны – с малой глубиной (>1 м). Неблагоприятны территории, где обводненность пород значительна.

7. *Условия сейсмичности* оценивались по таблице повышения балльности основных групп горных пород С.В. Медведева в зависимости от состава и физического состояния.

Благоприятные условия соответствуют прочным скальным породам, неблагоприятные – рыхлым породам.

Два следующих критерия являются специальными и основаны на нормативных источниках, регламентирующих проектирование и строительство транспортных сооружений.

8. *Влажность естественных оснований* – характеристики влажности косвенно свидетельствуют о прочности грунтового основания. Благоприятные – сухие (прочные) основания, относительно благоприятные – сырые (недостаточно прочные), а неблагоприятными являются мокрые (слабые) основания.

9. *Устойчивость грунтов в выработке* ориентировочно оценивалась для скальных и полускальных пород в зависимости от коэффициента крепости Протоджяконова, для дисперсных связных – по консистенции. Благоприятными являются горные породы – устойчивые и средней степени устойчивости, относительно благоприятными – породы слабой устойчивости и неблагоприятными – совершенно неустойчивые.

Присвоение степени пригодности территории к строительству транспортных объектов, в зависимости от интегрального показателя **J**, осуществлялось на основании теории нечетких множеств. Для количественного описания степени пригодности использовалась лингвистическая переменная **пригодность**, совокупность значений которой описывается следующим терм-множеством:

$$T(\text{пригодность}) = \text{непригодная} + \text{малопригодная} + \text{пригодная}.$$

Лингвистическая переменная **пригодность** соответствует числовой переменной **пригодность**, принимающей значения 0,1,2...27 (9 критериев по 3 балла оценки) и является базовой переменной. Лингвистическое значение **пригодная** интерпретируется как название некоторого нечеткого ограничения на значения базовой переменной и характеризуется функцией совместимости, которая каждому значению базовой переменной ставит в соответствие число из интервала [0..1], символизирующее совместимость этого значения с нечетким ограничением. Графически функция совместимости для всего терм-множества **пригодность** представлена на рисунке 1.

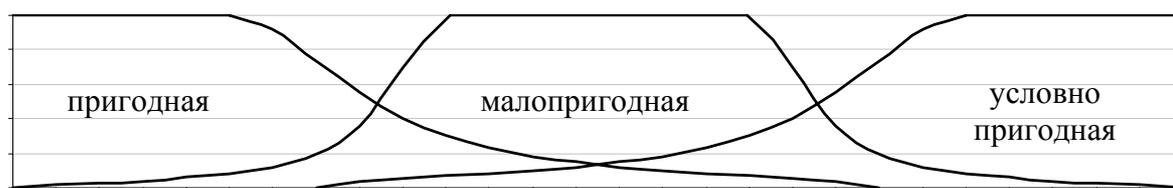


Рис. 1. Функции совместимости значений **пригодная**, **малопригодная** и **условно пригодная** для формализации результатов инженерно-геологического оценивания

На основании полученного графика функции терм-множества **пригодность** была определена степень пригодности территории к строительству объектов транспортной сети. Пригодная территория предполагает благоприятные условия, при которых возможно строительство по типовым проектам. Малопригодная территория имеет ограничено благоприятные условия, что потребует при строительстве, наряду с типовыми проектами, дополнительной разработки комплексных мероприятий. Территория, отнесенная к условно пригодной, имеет неблагоприятные условия либо по трассе в целом, либо на отдельных ее

участках, а это потребует сложных инженерных решений при проектировании и строительстве.

По результатам инженерно-геологической оценки была построена карта специального районирования. Такое районирование позволяет обобщать характеристику и давать не только оценку инженерно-геологическим условиям каждого варианта предполагаемого строительства, но и сравнительную оценку, обосновывающую оптимальный выбор.

## ГЛАВА 2. ХАРАКТЕР РАЗВИТИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Анализ данных о распространении геологических процессов, информации о поражённости земляного полотна железной дороги деформациями, а также личные полевые исследования позволили на основании развития опасных геологических процессов выделить два участка: северный и южный. *Северный* район в орографическом отношении принадлежит Борисовскому плато базальтов, где преобладающими геологическими процессами являются оползневые. В этом районе был организован стационар №1, дальнейшие наши исследования были посвящены изучению оползней как наиболее опасных геологических процессов. *Южная* часть исследуемого района относится в орографическом отношении к Хасанско-Барабашскому району, на территории которого широко развиты процессы эрозии и заболачивания. На стационаре №2 в целях изучения процессов плоскостного смыва были использованы дендрохронологические методы.

**СТАЦИОНАР № 1.** На стационаре проводились следующие виды работ: топографическая съёмка, геофизические исследования и инженерно-геологическая съёмка с описанием и опробованием горных пород. В лаборатории ДВГУПС было проведено определение физико-механических свойств пород.

В геологическом строении района задействованы в основном три комплекса пород: вулканогенные образования, молассовые отложения и оползневые накопления. В местах, где плиоценовые базальты залегают на верхнемиоценовых глинах, а именно вдоль кромки базальтовых покровов Борисовского плато, на его склонах ниже кромки в бортах долин рек, врезаемых в залегающие под базальтами нелитифицированные отложения, широко развиты оползневые накопления.

Условия оползневых процессов следующие: климатические особенности района; специфический рельеф, наличие многочисленных западин и других мест скопления дождевых вод; флексуорообразный перегиб, обусловленный воздыманием западного борта грабена долины р. Раздольной относительно ее днища; неудовлетворительное содержание водопропускных и водоотводных устройств. Причинами возникновения – как было установлено при проведении детальных исследований на стационаре – является следующее: ослабление прочности глинистых пород вследствие изменения их физического состояния при увлажнении; динамическое воздействие железнодорожного и автомобильного транспорта.

Суглинки, представляющие оползневые накопления, наклонно залегают на серых литифицированных глинах. Положение поверхности скольжения оползневой толщи было получено геофизическим методом и подтверждено бурением. Исследуемые оползни являются современными, вязкопластическими оползнями течения (по Г.С. Золотареву).

Наиболее активно оползневые деформации проявляются на участке, где они угрожают безопасной эксплуатации одновременно двух транспортных федеральных магистралей.

лей. На местности наблюдается множество оползневых признаков: наклон старых телеграфных столбов; деформации автодорожного полотна; смещение оси железнодорожного пути на мостах; нарушение типового поперечного очертания выемок и повышенная бугристость склона (рис. 2).

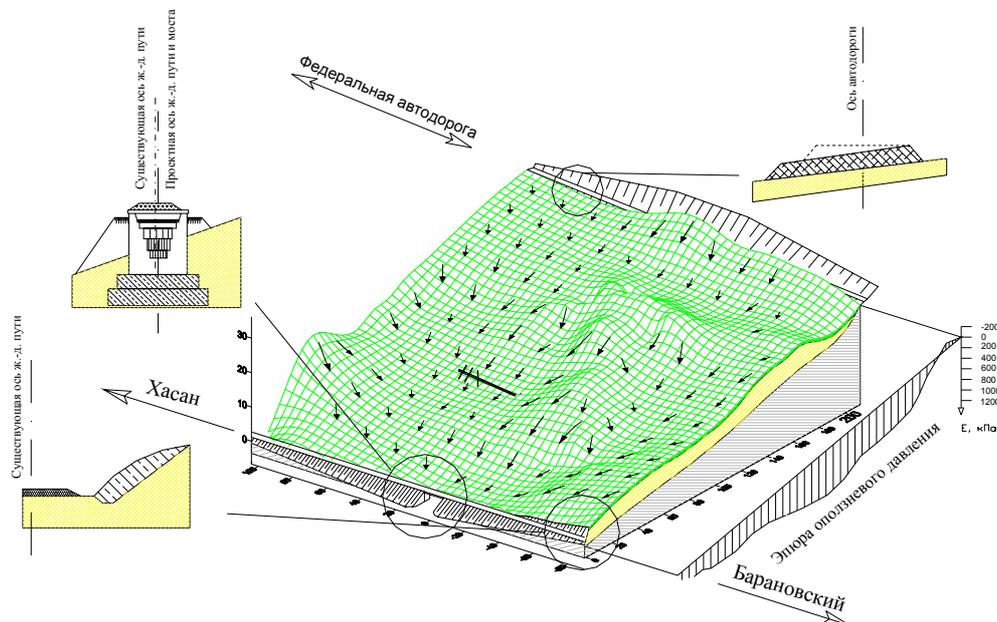


Рис. 2. Опасность проявления вязкопластичных оползней-потоков на стационаре № 1:

■ – суглинки; ■ – глины

При вероятностной оценке надёжности оползневого склона ( $N_{он}$ ), учитывающей действие атмосферных осадков, в качестве критерия устойчивости склонов был принят коэффициент устойчивости  $K_{уст}$ . Рассматривалось влияние на устойчивость двух факторов: начальной влажности грунтового массива и количества выпавших осадков. Под надёжностью понимается способность оползневого склона воспринимать всю совокупность внешних и внутренних воздействий и процессов и сохранять при этом безопасные условия эксплуатации расположенных в его пределах сооружений. Решение задачи по определению зависимости  $K_{уст}$  от каждого фактора в отдельности выполнялось в три этапа: 1)  $K_{уст}=f(W_0)$ ; 2)  $K_{уст}=f(H)$ ; 3)  $K_{уст}=f(W_0, H)$ .

Приняты следующие допущения: горные породы оползневого массива – однородный материал с однородной начальной влажностью. Влияние воды на склоны проявляется только после большой продолжительности или очень большой интенсивности дождя, следовательно, для практических целей дождь рассматривается как явление с некоторой расчетной постоянной продолжительностью и расчетной интенсивностью, так как время изменения интенсивности от минимума до какой-то постоянной величины относительно невелико. Рассматривается случай, характерный для климата Юго-Западного Приморья: длительные дожди небольшой интенсивности, при которых практически вся масса воды инфильтруется в грунт. Интенсивность инфильтрации в этом случае будет меньше или равной интенсивности дождя. Поверхностное течение воды, как правило, не наблюдается.

На первом этапе была определена зависимость коэффициента устойчивости от содержания влаги. Для этого были проведены лабораторные исследования суглинков, отобранных в оползневых накоплениях Борисовского плато, с целью определения зависимости ос-

новых прочностных показателей от влажности:  $C=f(W)$  и  $\varphi=f(W)$ . За теоретическую основу была принята теория «плотности-влажности» Н.Н. Маслова. Испытания выполнялись на автоматизированной информационно-измерительной системе АСИС, установленной в геолоборатории ДВГУПС, последовательно в нескольких сериях по нагрузке. По результатам испытаний получена зависимость прочностных характеристик от влажности (рис. 3).

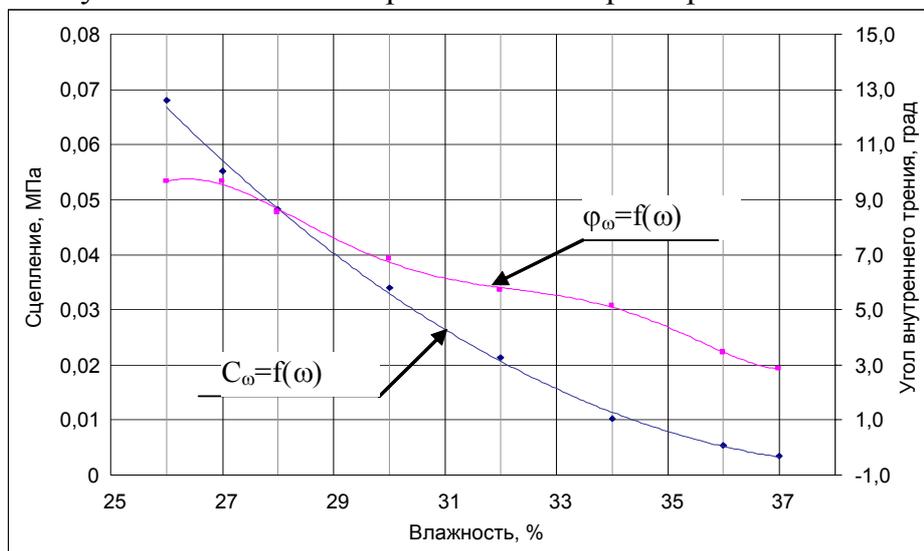


Рис. 3. График зависимости угла внутреннего трения и сцепления делювиальных суглинков Борисовского плато от влажности

Полученные графики являются промежуточным результатом, однако они имеют самостоятельное значение. С их помощью может осуществляться проектирование противооползневых мероприятий и решение такого экономически важного вопроса, как необходимость возведения защитных конструкций.

Для ряда показателей влажности были использованы данные графика (рис. 3) и определена устойчивость оползневой массы. На периферии Борисовского плато был выбран наиболее опасный оползневой участок. По результатам вычислений коэффициента устойчивости получена зависимость

$$K_y = 0.0189W_0^2 - 1.5075W_0 + 30.159. \quad (1)$$

На втором этапе определялась зависимость коэффициента устойчивости от количества атмосферных осадков при расчетной интенсивности. Расчетная интенсивность дождя принята постоянной и равной 1 мм/мин. Рассматривалась серия осадков различной дискретной продолжительности, количество выпавших за серию осадков равно произведению суммарной продолжительности дождей ( $T$ ) за серию на расчетную интенсивность дождя ( $a$ ). Интенсивность инфильтрации определялась по эмпирической формуле Н.Н. Биндемана, так как она учитывает характеристики грунта. На основе расчетов получена зависимость коэффициента устойчивости и количества атмосферных осадков:

$$K_y = 0.0003H^2 - 0.0564H + 1.9282. \quad (2)$$

Далее, в соответствии с математическими законами, определено совместное влияние на устойчивость начальной влажности ( $W_0$ ) и количества атмосферных осадков ( $H$ ):

$$K_y(H, W_0) = \frac{H}{2}(0.0003H - 0.564) + \frac{W_0}{2}(0.0189W_0 - 1.5075) + 16.0436. \quad (3)$$

По результатам расчетов построена область благоприятных значений  $s$  (рис. 4). Таким образом, вероятность того, что устойчивость оползневого склона не достигла критического значения ( $K_{уст}=1$ ), равна вероятности попадания случайной точки с координатами  $(W_0, H)$  в серую треугольную область, ограниченную линией  $(W_0, H)=1$ , при этом возможные значения принадлежат прямоугольнику площадью  $S$  (рис. 4).

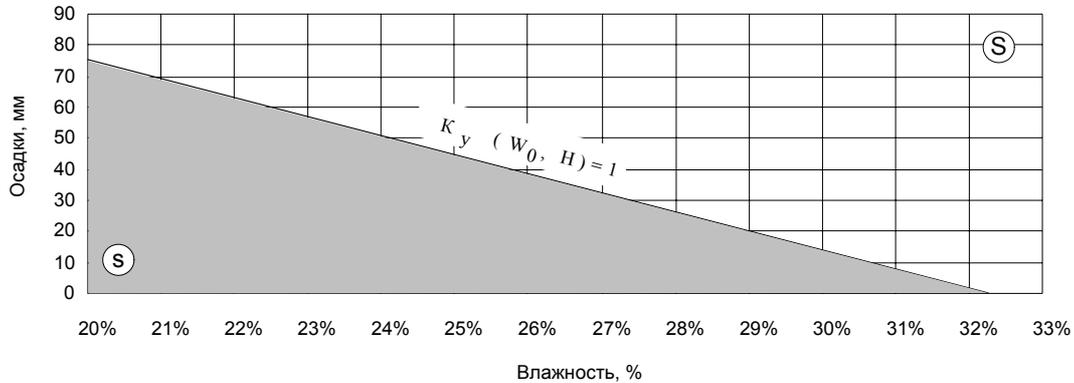


Рис. 4. График условной вероятности активизации оползневых процессов при двухфакторном анализе:  $S$  – область возможных значений;  $s$  – область благоприятных значений

Величина благоприятствующей площади  $s$  равна площади фигуры, ограниченной линией:  $H = -648.88W_0 + 212.98$ . Следовательно, вероятностная надёжность оползневого склона определится как

$$H_{on} = \frac{s}{S} = 0.43. \quad (4)$$

В целях совершенствования предложенной модели надёжность оползневого склона рассматривалась в объёмной (пространственной) постановке. Для этого учитывались три фактора: 1) начальная влажность грунтового массива; 2) количество выпавших осадков; 3) интенсивность осадков, соответствующая затяжным дождям, без образования стока. В этом случае область благоприятных значений ( $K_{уст} > 1$ ) ограничивается поверхностью, отнесенной к прямоугольной системе координат (рис. 5).

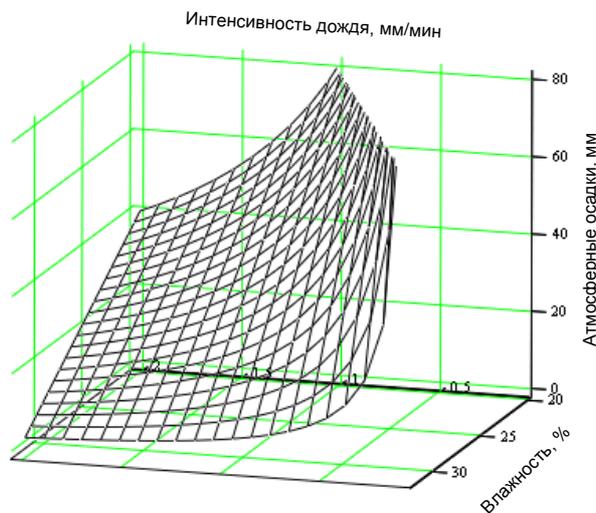


Рис. 5. График условной вероятности активизации оползневых процессов при трехфакторном анализе

По результатам вычислений была получена надёжность оползневого склона при воздействии трёх факторов, которая составила 0,64. При учёте трёх факторов надёжность

оползневого массива оказалась выше, однако, несмотря на это, она недостаточно высока, что свидетельствует о наличии оползневой опасности.

Для ряда показателей влажности грунтового массива на основе анализа была определена устойчивость оползневого склона в зависимости от таких показателей, как начальная влажность, количество осадков и их интенсивность:

$$K_{уст} = 8 \cdot 10^{12} (0,1684 \cdot a \cdot H - 0,0007H + W_0)^{-8,4935}. \quad (5)$$

**СТАЦИОНАР № 2.** На территории Приморского края изучением эрозионных процессов занимались В.С. Рынков и С.М. Сумароков, однако они рассматривали только овражно-балочные явления, на этом основании автором изучались процессы плоскостного смыва. Методика измерения величины плоскостного смыва дендрохронологическими методами, теоретически и практически обоснованная Е.А. Толстых и А.А. Клюкиным, была усовершенствована автором.

Особенность отложения годовых колец, заключающаяся в их асимметрии, позволяет датировать ЭГП. Для того чтобы выявить те годы, когда климатические условия были наиболее неблагоприятными и способствующими активизации денудационных процессов, был использован метод «по наклону». Совмещение результатов этого метода, с результатами, полученными с помощью метода «по обнаженным корням», позволяют более точно определять величину среднегодовой денудации.

После расчета коэффициента крена строился соответствующий график, на котором была показана величина изменения коэффициента крена последовательно: от даты начала жизни дерева к дате спила (рис. 6).

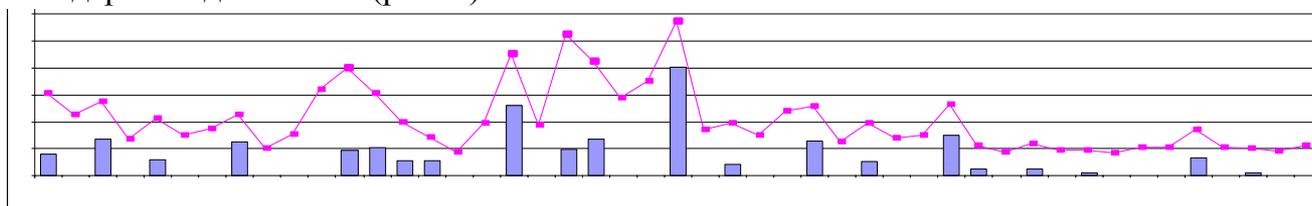


Рис. 6. График коэффициент крена:

■ - приращение коэффициента крена; —■— - коэффициент крена

Отображению подлежат только те годы, в которых значения коэффициента крена были больше единицы и увеличивались по сравнению с предыдущим значением. Именно таким образом выявлялись годы с неблагоприятными климатическими условиями. Следовательно, имея такую информацию, можно более достоверно определять среднегодовую скорость денудационных процессов, распределяя величину денудации пропорционально изменениям значений коэффициента крена. Кроме того, усовершенствованная методика позволяет установить максимальную величину денудации.

По результатам распределения полной величины денудации – пропорционально изменению величины коэффициента крена – получены среднегодовые скорости денудации для каждого модельного дерева. В таблице 1 приведены численные результаты измерения скорости денудации вышеописанным методом.

Величины денудации

Скорость	Год, соответствующий максимальной денудации					
	1975	1982	1982	1982	1985	1991
Среднегодовая, см	0,82	0,74	0,73	1,06	1,05	0,96
Максимальная, см	8,11	4,41	5,52	9,42	6,56	4,82

Небольшое количество образцов объясняется тем, что в Юго-Западном Приморье хвойные деревья встречаются очень редко, а широко распространенный дуб (вследствие климатических особенностей) мало пригоден для проведения лабораторных исследований.

Среднегодовая скорость денудации для Юго-Западного Приморья составляет 0,9 см/год. Процессы эрозии активно развиваются в зонах техногенного освоения, в естественных условиях особенности климата способствуют образованию густой растительности, препятствующей эрозии.

### ГЛАВА 3. РАЙОНИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ ПО КАТЕГОРИЯМ ОПАСНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Для каждой территории, имеющей определенные, закономерные инженерно-геологические условия, характерны определенные типы геологических процессов, для защиты от которых существуют соответствующие мероприятия. Степень защиты сооружений определяется характером развития ЭГП: интенсивностью проявления, площадной пораженностью, объёмом и скоростью процесса и др. По этим параметрам выявляются опасные и потенциально опасные процессы путем установления категории опасности. Исходя из этого, по известной категории опасности, возможно предварительное назначение степени необходимой инженерной защиты. Умеренно опасные процессы требуют профилактических мероприятий, опасные – типовых решений, а весьма и чрезвычайно опасные – индивидуальных решений инженерной защиты.

В ближайшем будущем на линии Барановский–Хасан планируется реконструкция, но, учитывая большое количество участков, подверженных воздействию ЭГП и деформациям, предполагается и множество проектов по инженерной защите сооружений. В этой связи, в целях упрощения процесса выбора и назначения защитных мероприятий, необходимо районирование линии по степени опасности геологических процессов, с указанием требуемого типа мероприятия. В соответствии со СНиП 22-01-95 «Геофизика опасных природных процессов» автор произвел разделение экзогенных геологических процессов на четыре категории опасности (рис. 7).

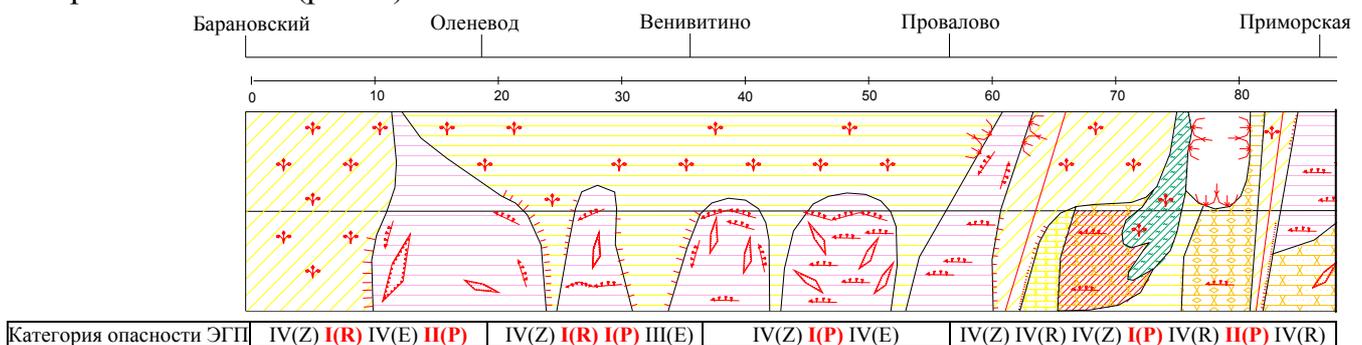


Рис. 7. Фрагмент схемы районирования территории линии Барановский–Хасан

Назначение категории опасности осуществлялось на основе фондовых материалов о состоянии геологической среды. В качестве показателя, используемого при оценке степени опасности ЭПП, принята площадная поражённость территории. По результатам районирования территории линии выявлены перегоны (участки), получившие первую и вторую категорию опасности, следовательно, для защиты от ЭПП на этих участках требуются индивидуальные решения (рис. 7).

#### ГЛАВА 4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЕ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В результате анализа установлено, что актуальными для исследуемого района являются следующие традиционные мероприятия инженерной защиты: термическое закрепление грунтов, свайные подпорные стены и применение укрепляющих композиций на основе минеральных вяжущих веществ. Имеющиеся прогрессивные технологии, где используются новые геоматериалы, лишены многих недостатков, присущих традиционным способам защиты. Накопленный опыт работы прогрессивных геоконструкций в условиях Дальневосточного региона свидетельствует об эффективности их применения в проектных решениях.

Результаты исследований были апробированы на примере 52-го километра линии Барановский–Хасан. Установлено, что участок Венивитино–Провалово, согласно районированию линии, имеет первую категорию опасности оползневых процессов (чрезвычайно опасная). Следовательно, для защиты транспортного сооружения типового проекта противооползневых мероприятий недостаточно. Это было подтверждено деформациями как железнодорожного пути, так и контрбанкета, отсыпанного для останковки оползня.

Для стабилизации оползневого участка был разработан индивидуальный проект. В нем предусматривалась организация поверхностного стока с верховой стороны насыпи, а также устройство комплексной гравитационной конструкции в виде армированного контрбанкета на свайном основании (рис. 8).

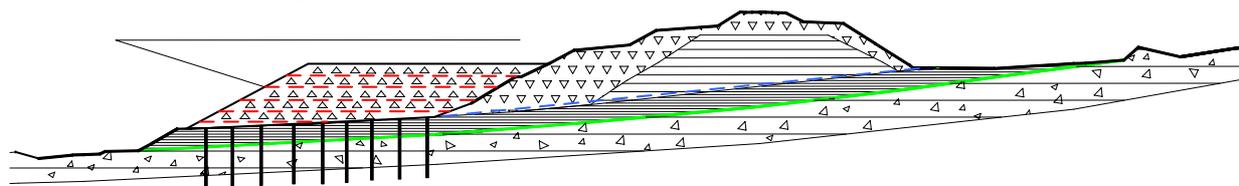


Рис. 8. Инженерная противооползневая защита железнодорожного пути:

- насыпной грунт; 
 - ядро насыпи (глина полутвердая); 
 - глина текучепластичная; 
 - глина тугопластичная с обломками базальтов; 
 - поверхность скольжения; 
 - уровень грунтовых вод

Причем только индивидуальное, а не типовое решение позволило стабилизировать оползень. Эффективность инженерной защиты, с применением индивидуального проектного решения, была подтверждена уже после нескольких месяцев эксплуатации, когда в нескольких метрах от армогрунтовой конструкции в неармированном контрбанкете начали образовываться трещины.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Территория Юго-Западного Приморья характеризуется инженерно-геологическими условиями, представляющими сложность для транспортного освоения территории. В основу разработанной методики комплексной оценки инженерно-геологических условий положе-

на шкала критериев, согласно которой производится определение пригодных, малопригодных и условно пригодных территорий. Это позволяет не только выделить районы, отличающиеся сложностью инженерно-геологических условий, но и определять устойчивость грунтовых оснований транспортных и промышленно-гражданских сооружений

В Юго-Западном Приморье оползни являются наиболее опасным геологическим процессом, представляющим угрозу как для существующих, так и перспективных транспортных магистралей. Разработанная методика определения устойчивости оползневых склонов, с учетом атмосферных осадков, позволяет установить их надежность. В данных климатических условиях этого района предложенная методика является наиболее актуальной.

К другим, потенциально опасным процессам на этой территории, следует отнести эрозионные. Были усовершенствованы дендрохронологические методы получения количественных показателей ЭГП, с помощью которых определена скорость развития процессов плоскостной эрозии. Установлено, что скорость развития эрозионных процессов в исследуемом районе значительна, в связи с этим необходимы профилактические мероприятия.

Для существующей транспортной магистрали выполнено районирование по интенсивности развития геологических процессов путем выделения категории их опасности, позволяющее определить степень необходимой инженерной защиты. На основе этого возможно принятие предварительных решений о назначении типовых или индивидуальных мероприятий.

По результатам анализа рекомендованы конструкции инженерной защиты транспортных сооружений, эффективно работающие в сложных инженерно-геологических условиях Юго-Западного Приморья. Кроме традиционных, предложены прогрессивные конструкции, основанные на новых геоматериалах, имеющих широкий спектр применения.

#### **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

1. Квашук С. В., Малеев Д. Ю., Пересторонин А.Н., **Федоренко Е.В.** Оползневая опасность на Шуфанском плато//Тектоника, глубинное строение и геодинамика Востока Азии (IV Косыгинские чтения)/Хабаровск, изд-во: ИТиГ, 2003. - С. 190-195.
2. **Федоренко Е.В.** Выявление зависимости между сдвиговыми характеристиками и влажностью оползневых грунтов Борисовского плато//62-я межвуз. науч.-техн. конф. творческой молодежи/Хабаровск, изд-во: ДВГУПС, 2004. - Т. 1. - С. 80-83.
3. **Федоренко Е.В.** Закономерности развития оползневых процессов на Борисовском плато (Приморский край)//Международный форум по проблемам науки, техники и образования/Москва, изд-во: Академия наук о Земле, 2004. – Т. 3. – С. 101-103.
4. **Федоренко Е.В.** Анализ инженерно-геологических условий Борисовского плато и методы эффективной противооползневой защиты // XXI Всероссийская молодежная конференция / Иркутск, изд-во: Институт Земной Коры СО РАН, 2005. – С. 27-39.
5. Квашук С.В., Полоз В.Н., **Федоренко Е.В.** Особенности проектирования и строительства скальных выемок и полувыемок на обвалоопасных участках ДВЖД // 44-я Всерос. науч.-практ. конф. ученых трансп. Вузов / Хабаровск, изд-во: ДВГУПС, 2006. - Т.2. - С. 64-67.

6. Козырева Е.А., Тржцинский Ю.Б., Труфанов А.В., **Федоренко Е.В.** Катастрофическая активизация оползней – результат техногенных воздействий на геологическую среду // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии/ Иркутск, изд-во: Институт Земной Коры СО РАН, 2006. – Вып. 5. – С. 138-149.

7. Пиотрович А.А., **Федоренко Е.В.** Берегозащитные мероприятия с применением современных геотехнологий // Наука, инновации и образование: актуальные проблемы развития транспортного комплекса России / Екатеринбург, изд-во: УрГУПС, 2006. – С. 224-226.

8. Квашук С.В., **Федоренко Е.В.**, Шестернина В.В. Геодинамические факторы сложных условий работы железных дорог в Дальневосточном регионе // **Вестник ИрГТУ**, 2006. - №4(28). – С. 71-74.

9. Квашук С.В., **Федоренко Е.В.** К вопросу об определении сложности инженерно-геологических условий (на опыте Дальневосточного региона) // Тенденции и перспективы развития гидрогеологии и инженерной геологии в современных экономических условиях России (XII Толстихинские чтения) / Санкт-Петербург, изд-во: СПГГИ, 2007. – Т. 155.

10. **Федоренко Е.В.** Применение современных геоматериалов для защиты объектов транспортной сети от экзогенных геологических процессов на Дальнем Востоке // Опасные природные и техноприродные экзогенные процессы: закономерности развития, мониторинг и инженерная защита территорий (Сергеевские чтения – IX) / М.: Геос, 2007. – Вып. 9.

11. Perestoronin A.N. **Fedorenko E.V.** Influence of engineering-geological conditions on development of transport network Hasanskogo and Nadegdenskogo district // Fifth International Young Scholars Forum of the Asia-Pacific Region Countries / Владивосток, изд-во: ДВГТУ, 2003. – Ч. 1. / - С. 312-314.

Сдано в набор 21.05.2007 г. Подписано в печать 23.05.2007 г.  
Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага тип. № 2. Гарнитура Times. Печать Riso.  
Усл. печ. л. 1,0. Зак. 210. Тираж 100 экз.