

Форма 503(итог). РАЗВЕРНУТЫЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ

(объем Отчета – не более 10 страниц)

Отчет предоставляется за весь период работы по Проекту, кроме пунктов, в которых указано иное)

3.1. **Номер Проекта** 15-05-00577

3.2. **Название Проекта** Методология оценки и прогноза оползневой опасности

3.3. **Коды классификатора** 05-333 Инженерная геология

3.4. **Цель и задачи фундаментального исследования**

Целью исследования является разработка комплексного подхода к оценке и прогнозу оползневой опасности на основе методов математического моделирования. Основные задачи исследования, определяющие научную и методическую новизну:

1. Современное определение понятийной базы теоретического оползневедения.

2. Сбор, анализ зарубежного и отечественного опыта прогноза региональной и локальной оползневой опасности на современном этапе развития науки.

3. Разработка методики комплексного регионального прогноза оползневой опасности, основанной на сочетании стохастического и детерминистского подходов.

4. Разработка актуальной, соответствующей современным требованиям, классификации методов расчета локальной устойчивости склонов.

5. Обзор существующих трехмерных методов расчета устойчивости склонов. Выполнение трехмерных и двумерных расчетов устойчивости методами предельного равновесия, сравнение полученных результатов, выявление преимуществ и недостатков решения при пространственной постановке задачи.

6. Анализ современных перспективных направлений в расчетах устойчивости склонов, с целью увеличения достоверности прогнозов локальной оползневой опасности:

- оптимизация поверхности скольжения;
- вероятностный анализ и анализ чувствительности;
- возможные способы учета влияния гидрогеологических условий и сейсмического воздействия;
- использование современных моделей поведения грунтов и критериев прочности;
- анализ моделей распределения свойств грунтов в инженерно-геологическом массиве и их влияние на достоверность оценки и прогноза локальной оползневой

опасности;

7. Апробация методики комплексной оценки и прогноза при математическом моделировании устойчивости склонов.

3.5. Важнейшие результаты, полученные в ходе реализации Проекта

Важнейшими результатами, полученные в ходе реализации Проекта являются следующие:

1. Разработан оригинальный алгоритм, позволяющий при региональной оценке оползневой опасности методом анализа иерархий, избавиться от субъективизма экспертных оценок.

2. Результаты выполненных исследования вошли в программу учебного курса "Компьютерные технологии в геологии".

3. На основе выполненных исследований были даны рекомендации по совершенствованию нормативно-технических документов (участие в НИР по теме «Выполнение работ по анализу существующих нормативных технических и методических документов, содержащих требования к составу, объемам и методам изучения оползневых процессов и разработка правил проведения инженерных изысканий на территориях, подверженных проявлению или активизации оползневых процессов»)

4. Отдельные методики, апробированные в процессе выполнения работы, вошли в СП "Инженерные изыскания для строительства в районах развития оползневых процессов. Общие требования".

5. По тематике исследований выпущена монография "Методология оценки и прогноза оползневой опасности" (авторы В.В. Пендин, И.К. Фоменко).

6. По тематике исследований, Буфеевым Ф.К. защищена кандидатская диссертация

"Моделирование оползней скольжения, приуроченных к склонам исторических природно-технических систем, сложенных техногенными грунтами" (научный консультант Фоменко И.К.).

7. По тематике исследований опубликовано 25 работы, сделано 12 докладов на конференциях.

8. В процессе выполнения исследований кафедра «Инженерной геологии» МГРИ-РГГРУ вступила в Rosscience Education Program.

9. Кафедра «Инженерной геологии» МГРИ-РГГРУ вступила в International Consortium on Landslides - ICL.

3.6. Сопоставление результатов, полученных в ходе реализации с мировым уровнем

1. Алгоритм, позволяющий при региональной оценке оползневой опасности методом анализа иерархий,

избавиться от субъективизма экспертных оценок, является оригинальным и ранее, в мировой практике региональной оценки оползневой опасности не использовался.

2. Несмотря на активное использование в мировой практике оценки устойчивости склонов вероятностного анализа (Duncan, J.M. (2000), (Law, A.M. and Kelton, D.W. (1991), Saucier, Richard (2000), Krahn J. (2004), R.E. Hammah, T.E. Yacoub, J.H. Curran (2009) и др.) комплексный анализ влияния таких факторов как метод расчета, качество инженерно-геологической информации и количество учитываемых параметров на результаты вероятностного анализа не проводился и, в рамках данного проекта выполнен впервые.

3. Применение различных моделей интерполяции прочностных свойств грунтов при расчетах устойчивости склонов было выполнено в работе F.C. Allan, T.E. Yacoub, J. H. Curran (2012). Однако использование данного подхода для моделирования устойчивости склонов, сложенных техногенными грунтами сделано впервые.

4. Понимание важности изучения «скальных оползней» за рубежом, привело в последние десятилетия к качественному прорыву в методике их исследований и оценке оползневой опасности и рисков. В этой связи необходимо отметить следующие работы: по классификации скальных оползней – D.J. Varnes (1978) и D.M. Cruden & D.J. Varnes (1996), Hungr O., Leroueil S., Picarelli L., 2014); по методике исследования – Hoek E., Bray J.W. (1981), Turner A.K., Schuster R.L. (1996), Wyllie D.C., Mah C.W. (2010), Stead D., Wolter A. (2015); по критериям прочности – Barton N.R., Bandis S. (1990), Hoek E., Caranza-Torres C.T., Corcum B. (2002), Li A.J., Merifield R.S., Lyamin A.V. (2008), Barton N.R. (2011); по моделированию устойчивости – Crowdhury R., Flentje P., Bhattacharya G. (2010), Shi G. (1993), Sitar N., MacLaughlin M.M. (1993), Stead D., Coggan J.S. (2006), Krahn. J. (2004), Greco V.R. (1996), Giani G.P. (1996), Duncan J. M. (1996), Brinkgreve, R.B.J., Broere, W., Waterman D., (2008), Abramson L.W., T.S. Lee, S. Sharma, and G. M. Boose (2002). В этой связи, дополнительная задача по анализу особенностей моделирования устойчивости скальных склонов, решенная в рамках проекта, является безусловно актуальной. Внедрение апробированных, в процессе реализации проекта, нелинейных и анизотропных критериев прочности при оценке устойчивости скальных склонов в отечественную практику повысит достоверность расчетов,

что, в конечном итоге увеличит надежность и безопасность создаваемых на них инженерных сооружений. Так же, следует отметить, что полученный по результатам исследований вывод о необоснованности использования при расчетах устойчивости средних значений параметров пространственной ориентировки трещин (угла падения и азимута падения) так же является нетривиальным.

3.7. Методы и подходы, использованные в ходе реализации Проекта (описать, уделив особое внимание степени оригинальности и новизны)

В процессе реализации проекта были использованы следующие методы и подходы:

1. Использование геоинформационных систем при региональном прогнозе оползневой опасности. Разработан оригинальный алгоритм, позволяющий при региональной оценке оползневой опасности методом анализа иерархий, избавиться от субъективизма экспертных оценок.

2. Для оценки и прогноза локальной оползневой опасности использована комплексная методика, базирующаяся на классах методов предельного равновесия и численного анализа устойчивости склонов. Решение задач по оценке устойчивости склонов осуществлялось как в двумерной, так и в трехмерной постановке. При использовании двумерной постановки задачи активно использовались перспективные подходы - оптимизация поверхности скольжения, вероятностный анализ, анализ надежности, выполнялась оценка влияния изменения факторов оползнеобразования на коэффициент устойчивости склонов (анализ чувствительности).

3. Выполнена оценка влияния моделей распределения свойств грунтов и методов интерполяции свойств на результаты оценки устойчивости склонов. Впервые данный подход был применен при исследовании устойчивости склонов, сложенных техногенными грунтами.

4. Апробированы современные методики и критерии прочности при оценке устойчивости скальных склонов.

3.8.1. Количество научных работ по Проекту, опубликованных за весь период реализации Проекта (цифрами) (пункт

заполняется автоматически, выводится количество заполненных 509 форм) 24

3.8.1.1. Из них в изданиях, включенных в перечень ВАК

3.8.1.2. Из них в изданиях, включенных в библиографическую базу данных РИНЦ 24

- 3.8.1.3. Из них в изданиях, включенных в международные системы цитирования (библиографические и реферативные базы научных публикаций, кроме Web of Science)
- 3.8.1.4. Из них в изданиях, включенных Web of Science
- 3.8.2. Количество научных работ, подготовленных в ходе реализации Проекта и принятых к печати за период, на который предоставлен грант (цифрами) (пункт заполняется автоматически, выводится количество заполненных 509 форм)
- 3.9. Участие в научных мероприятиях по тематике Проекта за период, на который предоставлен грант (каждое мероприятие с новой строки, указать названия мероприятий и тип доклада)
1. Оценка ущерба, опасности и риска от оползневых процессов (на примере северо-западного Вьетнама) (Устный)
Авторы: Фоменко И.К., Пендин В.В., Нгуен Ч.К.
XIII Общероссийская научно-практическая конференция и выставка «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации», Москва, Россия, 29 ноября – 1 декабря 2017
 2. Influence of tectonics on the activity of landslides of the Western Caucasus (Russia) (Устный)
Авторы: Zerkal O.V., Fomenko I.K., Samarin E.N., Nikulina M.E.
4th Slope Tectonics Conference, Kyoto, Япония, 14-18 октября 2017
 3. The Specificities of Landslides Danger Assessment Accepted in Eurocode (Устный)
Авторы: Shubina D.D., Fomenko I.K., Gorobtsov D.N.
Transportation Geotechnics and Geoecology (TGG-2017), Санкт-Петербург, Россия, 17-19 мая 2017
 4. The application of anisotropy of soil properties in the probabilistic analysis of landslides activity (Устный)
Авторы: Fomenko I.K., Zerkal O.V.
Transportation Geotechnics and Geoecology (TGG-2017), Санкт-Петербург, Россия, 17-19 мая 2017
 5. Обратный расчет устойчивости склона на основе анализа чувствительности (Устный)
Авторы: Фоменко И.К., Зеркаль О.В., Сироткина О.Н.
Научно-практическая конференция "Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения", Москва,

Россия, 13-14 апреля 2017

6. Современные средства в количественной оценке устойчивости склонов (Устный)

Авторы: Фоменко И.К., Зеркаль О.В., Горобцов Д.Н.

Научно-практическая конференция "Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения", Москва, Россия, 13-14 апреля 2017

7. Численное моделирование процессов оттаивания ММП под искусственным водоемом (Устный)

Авторы: Никулина М.Е., Горобцов Д.Н., Фоменко И.К.

Научно-практическая конференция "Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения", Москва, Россия, 13-14 апреля 2017

8. Расчет просадки ложа водоема в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов (Устный)

Авторы: Фоменко И.К., Горобцов Д.Н., Чеботкова А.М.

XIII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле», Москва, Российский государственный геологоразведочный университет, Россия, 5-7 апреля 2017

9. Вероятностный анализ устойчивости скальных оползней (Устный)

Авторы: Фоменко И.К., Зеркаль О.В., Самарин Е.Н., Сироткина О.Н.

III региональная научно-практическая конференция "Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи", Краснодар, Россия, 24-25 ноября 2016

10. Оценка устойчивости склонов сложного геологического строения (Устный)

Авторы: Зеркаль О.В., Фоменко И.К., Самарин Е.Н.

III региональная научно-практическая конференция "Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи", Краснодар, Россия, 24-25 ноября 2016

11. Особенности мониторинга оползневых процессов в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов (Устный)

Авторы: Фоменко И.К., Горобцов Д.Н., Пендин В.В.

4-я Научно-практическая конференция "Геотехнический мониторинг и мониторинг развития опасных геологических процессов - 2016", г. Москва, бизнес-отель "Бородино", Россия, 29-30 сентября 2016

12. Оценка устойчивости склона в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов (Устный)

Авторы: Фоменко И.К., Горобцов Д.Н., Пендин В.В., Никулина М.Е.

Первая научно-практическая конференция «Изучение опасных природных процессов и явлений при инженерных изысканиях», Россия, 21-22 апреля 2016

3.10. Участие в экспедициях по тематике Проекта, за период, на который предоставлен грант

Экспедиции не проводились.

3.11. Финансовые средства, полученные в 2017 году от Фонда
460 0000 рублей

3.12. Адреса (полностью) ресурсов в Интернете, подготовленных авторами по данному проекту, например,
<https://www.researchgate.net/project/Metodologia-ocenki-i-prognoza-opolznevoj-opasnosti>

3.13. Библиографический список всех публикаций по Проекту, опубликованных за период, на который предоставлен грант, в порядке значимости: монографии, статьи в научных изданиях, тезисы докладов и материалы съездов, конференций и т.д.

Монографии

1. Пендин В. В., Фоменко И. К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. – ЛЕНАНД Москва, 2015. – С. 320.

Статьи в журналах

2. Shubina D. D., Fomenko I. K., Gorobtsov D. N. The specificities of landslides danger assessment accepted in eurocode // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 189, no. C. – P. 51-58.

3. Fomenko I. K., Zerkal O. V. The application of anisotropy of soil properties in the probabilistic analysis of landslides activity // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 189, no. C. – P. 885-891.

4. Опыт оценки устойчивости склона при неопределенности факторов оползнеобразования / А. С. Гусельцев, И. К. Фоменко, В. В. Пендин и др. // Инженерные изыскания. – 2017. – № 6-7. – С. 38-49.

5. Оползни Северного Вьетнама и борьба с ними (на примере северо-западной части провинции Лаокай) / Ч. К. Нгуен, И. К. Фоменко, О. В. Зеркаль, В. В. Пендин // Геориск. – 2017. – № 3. – С. 62-69.

6. Применение метода анализа иерархий при региональной

оценке оползневой опасности (на примере района северо-западный Лаокай, Вьетнам) / Ч. К. Нгуен, И. К. Фоменко, В. В. Пендин, К. Т. Нгуен // Геоинформатика/Geoinformatika. – 2017. – № 3. – С. 53-66.

7. Буфеев Ф. К., Фоменко И. К., Сироткина О. Н. Влияние методов интерполяции прочностных свойств грунтов на результаты расчета устойчивости склонов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – С. 127-133.

8. Буфеев Ф. К., Фоменко И. К. Влияние методов расчёта моделей распределения свойств грунтов на результаты количественной оценки устойчивости склонов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2016. – С. 33-38.

9. Зеркаль О. В., Фоменко И. К. Влияние различных факторов на результаты вероятностного анализа активизации оползневых процессов // Инженерная геология. – 2016. – № 1. – С. 16-21.

10. Зеркаль О. В., Фоменко И. К. Оползни в скальных грунтах и оценка их устойчивости // Инженерная геология. – 2016. – № 4. – С. 4-21.

11. Фоменко И. К., Пендин В. В., Горобцов Д. Н. Оценка устойчивости бортов карьеров в скальных грунтах // Горные науки и технологии. – 2016. – № 3. – С. 10-21.

12. Фоменко И. К., Зеркаль О. В. Оценка устойчивости склонов при инженерных изысканиях: нормативные требования и проблемы их выполнения // Инженерные изыскания. – 2016. – № 10-11. – С. 64-70.

13. Буфеев Ф. К., Кувшинников В. М., Фоменко И. К. Зависимость результатов количественной оценки устойчивости склонов от выбора модели распределения свойств грунтов // Геориск. – 2015. – С. 37-40.

Статьи в сборниках

14. Инженерно-геологическое районирование территории по опасности возникновения склоновых процессов при инженерно-геологических изысканиях / М. Е. Никулина, В. В. Пендин, И. К. Фоменко, Д. Н. Горобцов // Материалы докладов XIII Общероссийской научно-практической конференции и выставки Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. – ООО Геомаркетинг Москва, 2017. – С. 20-26.

15. Сироткина О. Н., Фоменко И. К., Горобцов Д. Н. О классификации математических методов оценки локальной оползневой опасности // Сборник научных трудов по материалам II международной научной конференции "Наука в

- России - цели и задачи". – Т. 2. – НИЦ Л-Журнал Екатеринбург, 2017. – С. 50–55.
16. Фоменко И. К., Пендин В. В., Нгуен Ч. К. Оценка ущерба, опасности и риска от оползневых процессов (на примере северо-западного Вьетнама) // Инженерные изыскания в строительстве. Материалы Тринадцатой Общероссийской конференции изыскательских организаций. – Геомаркетинг М, 2017. – С. 27–34.
17. Фоменко И. К., Зеркаль О. В., Сироткина О. Н. Обратный расчёт устойчивости склона на основе анализа чувствительности // Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения: Материалы научно-практической конференции. – Геомаркетинг М, 2017. – С. 127–132.
18. Фоменко И. К., Зеркаль О. В., Горобцов Д. Н. Современные средства в количественной оценке устойчивости склонов // Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения: Материалы научно-практической конференции. – Геомаркетинг М, 2017. – С. 94–101.
19. Evaluation of slope stability historical nature-technical systems on the basis of the spatial variability of the strength properties of soils / V. V. Pendin, I. K. Fomenko, F. K. Bufejev, O. N. Sirotkina // Proceedings of the XV International Academic Congress "Fundamental and Applied Studies in the Modern World". – Vol. 15. – United Kingdom: United Kingdom, 2016. – P. 335–342.
20. Вероятностный анализ устойчивости скальных оползней / И. К. Фоменко, О. В. Зеркаль, Е. Н. Самарин, О. Н. Сироткина // Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи/Материалы III региональной научно-практической конференции. – Краснодар: Краснодар, 2016. – С. 268–272.
21. Дмитриев В. В., Фоменко И. К., Шмелева С. С. Исследование причин деформаций исторических сооружений Амвросиев николаевского Дудина монастыря в Богородском районе Нижегородской области // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. – 18. – РУДН Москва г. Москва, 2016. – С. 274–278.
22. Буфеев Ф. К., Фоменко И. К. Оценка зависимости результатов расчётов устойчивости склонов от применяемой модели распределения свойств грунтов и метода расчёта // Сергеевские чтения. Инженерная геология и

геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. – 18. – РУДН Москва г. Москва, 2016. – С. 584–588.

23. Зеркаль О. В., Фоменко И. К., Самарин Е. Н. Оценка устойчивости склонов сложного геологического строения // Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи/Материалы III региональной научно-практической конференции. – Краснодар: Краснодар, 2016. – С. 117–121.
Тезисы докладов

24. Оценка устойчивости склона методом конечных элементов в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов / И. К. Фоменко, Д. Н. Горобцов, В. В. Пендин и др. // Материалы пятой конференции геокриологов России. МГУ имени М.В.Ломоносова, 14–17 июня 2016 г. – Т. 2 из Часть 5. Региональная и историческая геокриология. – Университетская книга Москва, 2016. – С. 213–218.

25. Пашкин Е. М., Фоменко И. К., Буфеев Ф. К. Предзаданность как инженерно-геологический фактор развития оползней в пределах исторических территорий // Инженерные изыскания в строительстве. Материалы Двенадцатой Общероссийской конференции изыскательских организаций. – ООО Геомаркетинг Москва, 2016. – С. 513–515.

3.14. Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта

Рациональное природопользование

3.15. Критическая технология РФ, которой, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта

Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера

3.16. Основное направление технологической модернизации экономики России, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта

не очевидно

3.17. Направление из Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации

Фундаментальные исследования, обусловленные внутренней логикой развития науки, обеспечивающие готовность страны к большим вызовам, еще не проявившимся и не получившим широкого общественного признания, возможность своевременной оценки рисков, обусловленных научно-технологическим развитием