

ОТЗЫВ

официального оппонента, д.т.н., профессора Бахасовой Светланы Петровны на диссертацию **Савон Васиано Юсмира** по теме «Применение региональной оценки оползневой опасности для прогноза устойчивости откосов при вскрытии месторождений на территории горного массива Сагуа – Баракоа, Куба», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.3. Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр

1. Актуальность темы исследования

Разработка месторождений полезных ископаемых в условиях сложного горного рельефа сопряжена с высокой оползневой опасностью, которая представляет серьезную угрозу для безопасности ведения горных работ и для устойчивости инженерных сооружений. Особенно остро эта проблема стоит при открытом способе добычи полезных ископаемых в регионах с высокой природной предрасположенностью к оползневым процессам. Одним из таких регионов является северо-восточная часть Кубы — горный массив Сагуа–Баракоа, характеризующийся тектонически осложнённым строением, интенсивной сейсмичностью, крутыми склонами и максимальным уровнем годовых осадков на территории страны.

Прогнозируемое усиление экстремальных метеорологических явлений, в частности увеличение интенсивности осадков в связи с глобальными климатическими изменениями (IPCC, 2023), существенно повышает риски активизации оползней. Учитывая возрастающую интенсивность освоения минерально-сырьевых ресурсов Кубы, возникает необходимость в разработке научно обоснованных подходов для региональной оценки оползневой опасности с целью надежности прогноза устойчивости откосов при вскрытии месторождений.

Современные тенденции в инженерной геологии и механике горных пород требуют применения интегративных методов анализа, включая вероятностные модели и алгоритмы машинного обучения, способные обрабатывать большие массивы различных инженерно-геологических данных, выявлять скрытые закономерности и формировать пространственно-обоснованные сценарии развития оползневых процессов. В этой связи научная задача по обоснованию методики региональной оценки оползневой опасности для прогноза устойчивости откосов в условиях конкретного геодинамически активного региона — массива Сагуа–Баракоа — приобретает высокую актуальность. Её решение направлено на снижение геотехнических рисков, повышение эффективности и безопасности разработки месторождений, а также на адаптацию инженерной практики к меняющимся природно-климатическим условиям.

2. Научная новизна работы и результаты работы

Научная новизна диссертационного исследования заключается в решении актуальной научной задачи — совершенствование методов оценки и управления рисками оползневых процессов на основе количественного анализа для повышения безопасности открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Впервые для массива Сагуа–Баракоа (Куба) выполнено комплексное инженерно-геологическое районирование с использованием интегрированного подхода, сочетающего методы машинного обучения, включая искусственные нейронные сети, и пространственный анализ факторов, влияющих на возникновение оползней. Установлены критические пороговые значения осадков, активизирующих оползневые процессы, и обоснована высокая чувствительность склонов к инфильтрации атмосферных осадков. Разработана и верифицирована прогностическая модель классификации оползневой опасности, позволяющая с высокой точностью идентифицировать участки повышенного риска, что существенно увеличивает достоверность оценки устойчивости склонов и откосов при горных работах в условиях ограниченного мониторинга.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-112 от 09.09.21 1
АУ УС

Савон

Основная научная ценность работы заключается в развитии и практическом обосновании современного методологического подхода к региональной оценке оползневой опасности на основе интеграции инженерно-геологических данных и методов машинного обучения, что позволило существенно повысить точность прогноза устойчивости откосов при открытой разработке месторождений в условиях сложного природно-климатического и геодинамического режима. Впервые для массива Сагуа–Баракоа на Кубе получены количественно обоснованные результаты, позволяющие идентифицировать зоны высокого риска, что создаёт научную и прикладную основу для повышения геотехнической безопасности в аналогичных горных регионах.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Основные результаты работы отражены в трех научных положениях, выносимых на защиту.

Первое научное положение: При обосновании технологии вскрытия месторождения открытыми горными работами на территории горного массива Сагуа–Баракоа (Куба) необходимо использовать инженерно-геологическое районирование территории по степени оползневой опасности.

Первое защищаемое положение подтверждено результатами пространственного анализа и количественного моделирования, основанного на кадастре 883 оползней и использовании метода мультиномиальной логистической регрессии, который позволил установить значимые закономерности между факторами окружающей среды и категориями оползневой опасности.

Доказано, что такие факторы, как тип горной породы, тип почвы, высота и расстояние до разломов, оказывают статистически значимое влияние на вероятность возникновения оползней ($p < 0,05$), что позволило построить достоверную прогностическую модель районирования территории. Результаты верификации модели с помощью данных фактической инвентаризации оползней показали, что 63% известных оползней приходятся на зоны, отнесённые к высокой и средней степени опасности, что подтверждает практическую применимость районирования. Таким образом, районирование с учётом ключевых выбранных факторов является обоснованной и необходимой основой для принятия проектных решений при вскрытии месторождений в условиях высокой оползневой активности.

Второе научное положение: При вскрытии месторождений открытыми горными работами на территории горного массива Сагуа–Баракоа (Куба) необходимо учитывать, что основным фактором, определяющим возникновение и развитие оползневых процессов, является количество атмосферных осадков и характер дождей.

Для подтверждения данного положения в работе применён метод расчета критических значений осадков по Стедингеру (1993), учитывающий статистические параметры многолетних наблюдений и привязанный к периодам повторяемости метеозкстремумов.

Результаты анализа метеорологических данных за 1992–2020 гг. показали высокую межгодовую изменчивость осадков и учащение экстремальных осадков в последние годы, особенно в районе станций Джамаль и Пунта-де-Маиси. При сравнении критических значений осадков с моментами возникновения оползней установлено, что 89,1 % оползней произошли при превышении критического значения для 2-летнего периода возврата, и 73 % — для 5-летнего периода. Это подтверждает, что кратковременные, но интенсивные дожди с высокой повторяемостью являются ключевым фактором потери устойчивости склонов.

Дополнительно достоверность расчётов была проверена на примере урагана «Мэтью» (2016 г.), в период действия которого наблюдалась массовая активизация оползней. Таким образом, второе научное положение обосновано статистически, подтверждено фактическими данными и имеет важное практическое значение для прогнозирования оползневой опасности и проектирования устойчивых горнотехнических сооружений в условиях изменяющегося климата.

Третье научное положение: Региональный прогноз оползневой опасности для обеспечения устойчивости территорий при вскрытии месторождений открытыми горными выработками должен основываться на моделировании с использованием искусственных нейронных сетей, базирующемся на алгоритме, устанавливающем закономерности зависимости между факторами, связанными с климатическими, рельефными, геологическими, гидрологическими и гидрогеологическими условиями.

Третье научное положение раскрывается через разработку и применение прогностической модели региональной оползневой опасности на основе искусственной нейронной сети, позволяющей выявлять устойчивые зависимости между геофакторами и возникновением оползней при открытой разработке месторождений. В модели использовались данные по климатическим, рельефным, геологическим, гидрологическим и гидрогеологическим условиям, а также информация об уже произошедших оползнях. Обучение нейросети позволило достичь высокой точности классификации: 74,8 % оползней корректно отнесены к категории «высокой опасности», что подтверждено показателями матрицы ошибок и коэффициентами истинно положительных результатов. Анализ показал, что наибольшее влияние на возникновение оползней оказывают такие факторы, как крутизна склонов, расстояние до разломов, тип пород и почв, а также интенсивные осадки. Пространственное распределение категорий опасности, полученное в результате моделирования, охватывает 12 месторождений никеля и кобальта, большинство из которых попали в зоны «высокой» и «средней» опасности. Обоснованность модели подтверждена сопоставлением её результатов с расчётами коэффициента устойчивости склонов по методу Моргенштерна–Прайса. При влажных условиях зоны, классифицированные как «высокой опасности», действительно показали значения $K_3 < 1$, что свидетельствует об их потенциальной неустойчивости и подтверждает адекватность модели нейронной сети для прогноза оползневой опасности при решении инженерно-геологических задач.

4. Научные результаты, их ценность

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 7 печатных работах, в том числе 1 статье – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), 3 статьях – в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных проявлений оползневых процессов в Гуантанамо, Куба.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в обосновании и количественной характеристике закономерностей возникновения и развития оползней на территории массива Сагуа–Баракоа, а также в определении критических значений атмосферных осадков, вызывающих оползневые процессы, что позволяет использовать полученные результаты не только для конкретной территории, но и для аналогичных условий Карибского бассейна и других регионов.

Разработанные методы и модели прогнозирования оползневой опасности внедрены в практику горнодобывающей компании УЕВ «ЭКСПЛОМАТ» для оценки рисков на действующих и планируемых карьерах, что подтверждает их прикладную эффективность. Кроме того, материалы диссертации рекомендованы к использованию в образовательной и научно-исследовательской деятельности кубинских университетов, что подчеркивает их значение для подготовки специалистов в области геомеханических рисков и инженерной защиты территорий.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты инженерно-геологического районирования по степени оползневой опасности, выполненного с применением мультиномиальной логистической регрессии,

целесообразно использовать при планировании и проектировании открытых горных работ на территории массива Сагуа–Баракоа и аналогичных регионов. Методика расчёта критических значений атмосферных осадков по Стедингеру может быть интегрирована в системы мониторинга для заблаговременного предупреждения оползневых процессов. Разработанная модель прогнозирования оползневой опасности на основе искусственных нейронных сетей рекомендуется к применению для оперативной оценки устойчивости откосов в районах действующих и проектируемых карьеров, а также при разработке программ инженерной защиты территорий. Полученные результаты могут быть использованы органами геологоразведки, проектными организациями и в учебном процессе вузов при подготовке студентов по направлениям «Инженерная геология», «Геологические риски» и «Безопасность в горном производстве».

7. Замечания и вопросы по работе

7.1 В пункте 3.5 при выполнении мультиномиального логистического регрессионного анализа для моделирования связи между зависимой переменной «оползневая опасность» и независимыми переменными (табл. 3.5) выделено три категории опасности (в скобках указано число оползней): высокая (486), средняя (65), низкая (329). Однако при подведении результатов статистического анализа указано, что из 883 оползней на исследуемой территории 62 % оползней распределены по классам «высокой» и «очень высокой опасности».

Непонятно, какая информация верна – приведённая в таблице 3.5 или в анализе под таблицей?

Таблица 3.6, колонка «фактор» указан некорректный набор факторов, нельзя анализировать вместе разные по значимости факторы. Факторы, которые отрицательно влияют на массив горных пород и способствуют развитию оползня (крутизна, кривизна и высота откоса, тип горной породы) и факторы, которые оказывают влияние на уровень геомеханического риска (расстояние до рек, расстояние до дорог).

В шапке таблицы 3.6 приведены буквенные обозначения и сокращения, пояснения этих обозначений не даны.

7.2. При расчёте критических значений атмосферных осадков (формула 4.2) не для всех показателей, входящих в формулу, приведена расшифровка (что обозначено буквой n - ?)

7.3. Во втором научном положении утверждается, что наиболее значимым фактором является количество атмосферных осадков, и характер дождей. Непонятно почему при анализе влияния факторов на степень оползневой опасности (при обоснование первого научного положения) не был включен фактор количество атмосферных осадков, накопленные осадки. В этом случае распределение значимости факторов на опасность возникновения оползней изменится.

7.4. В главе 4 указано, что выполнен анализ чувствительности между коэффициентом запаса прочности и физико-механическими свойствами, при этом указано, что коэффициент запаса варьирует между 0,69 и 1,65. В данном случае некорректно использовать термин коэффициент запаса. Следует говорить расчётный коэффициент прочности, так как при значении 0,69 никакого запаса нет.

7.5. Не везде выдержаны требования ГОСТ к оформлению формул: *латинские буквы – курсивом*; русские и греческие буквы, цифры, химические символы, функции, логарифмы, константы, постоянные Нуссельта (Nu), Рейнольдса (Re), Прандтля (Pr) – не курсивом.

Приведенные замечания носят рекомендательный характер, направлены на совершенствование последующих исследований и не снижают научной значимости диссертационной работы.

8. Заключение по диссертационной работе

Диссертация «Применение региональной оценки оползневой опасности для прогноза устойчивости откосов при вскрытии месторождений на территории горного массива Сагуа – Баракоа, Куба», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 2.8.3 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм., а ее автор – Савон Васиано Юсмира – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.3 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры маркшейдерского дела и геологии горного института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», д.т.н., профессор.

Бахаева Светлана Петровна
ФИО

03.09.2025
дата

Бахаева
подпись

Подпись Бахатовой Светланы Петровны заверяю

Подпись Бахатовой С.П.
ЗАВЕРЯЮ
ученый секретарь совета
И.И. Костин
« 03 » 09 2025 г.

Сведения об официальном оппоненте:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Почтовый адрес: 650000, Кемеровская область – Кузбасс,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Официальный сайт в сети Интернет: <http://kuzstu.ru/>

Эл. почта: rector@kuzstu.ru ; kuzstu@kuzstu.ru. Телефон: +7(3842)396960.

Бахаева