

УДК 551.435.627  
DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-12-147-153

## РИСК ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОПОЛЗНЕЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ НАНОЧАСТИЦ

*Г.А. Абдурахмонов, А.Е. Воробьев, К.А. Воробьев*

*Аннотация.* Рассмотрены факторы, влияющие на геомассу, появление и развитие оползней, риск возникновения оползней под влиянием наночастиц. Разработан новый механизм перемещения геомассы оползня, в котором особо важную роль играют наночастицы, ускоряющие движение оползня по поверхности зеркала скольжения. При исследовании использован иерархический метод делением заданного множества последовательно на подчинённые подмножества, постепенно конкретизируя объект классификации. Установлено, что форма участка оползня усложняется в зависимости от значений проницаемости перемещаемой геомассы и рельефа местности, а также произрастающей на склоне растительности. Новый механизм перемещения оползней, основанный на учете в смещении геомассы наночастиц, позволяет уточнить риск опасности возникновения оползневых смещений и способствует прогнозированию условий и времени их возникновения.

*Ключевые слова:* риск; оползни; возникновение; наночастицы; геомасса; зеркала скольжения.

---

## НАНОБӨЛҮКЧӨЛӨРДҮН ТААСИРИ АСТЫНДА ЖЕР КӨЧКҮ КОРКУНУЧУ

*Г.А. Абдурахмонов, А.Е. Воробьев, К.А. Воробьев*

*Аннотация.* Макалада геомассага таасир этүүчү факторлор, жер көчкүлөрдүн пайда болушу жана өнүгүшү жана нанобөлүкчөлөрдүн таасири астында көчкү коркунучу талкууланат. Илимий жаңылык жер көчкүнүн геомассасын жылдыруунун жаңы механизмин иштеп чыгууда жатат, мында нанобөлүкчөлөр өзгөчө маанилүү ролду ойнойт, көчкүнүн жылма бети боюнча жылышын тездетет. Изилдөөдө иерархиялык ыкма колдонулган, берилген көптүктү ырааттуу түрдө багынуучу топчолорго бөлүү, классификациянын объектисин акырындык менен тактоо. Көчкү жүргөн жердин формасы ташылган геомассанын жана рельефтин өткөрүмдүүлүк баалуулуктарына, ошондой эле эңкейиште өскөн бийик өсүмдүктөргө жараша татаалдаша тургандыгы аныкталган. Жер көчкүлөрдүн кыймылынын жаңы механизми, алардын жылышындагы нанобөлүкчөлөрдүн геомассасын эсепке алууга негизделген, көчкүлөрдүн жылышынын коркунучун тактоого мүмкүндүк берет жана алардын пайда болуу шарттарын жана убактысын болжолдоого жардам берет.

*Түйүндүү сөздөр:* коркунуч; жер көчкү; пайда болуу; нанобөлүкчөлөр; геомасса; тайгалануучу беттер.

---

## RISK OF LANDSLIDES CAUSED BY NANOPARTICLES

*G.A. Abdurakhmonov, A.E. Vorobyov, K.A. Vorobyov*

*Abstract.* The article discusses factors influencing geomass, the occurrence and development of landslides and the risk of landslides under the influence of nanoparticles. The scientific novelty lies in the development of a new mechanism for moving landslide geomass, in which nanoparticles play a particularly important role, accelerating the movement of the landslide along the surface of the sliding surface. The study used a hierarchical method, dividing a given set sequentially into subordinate subsets, gradually specifying the object of classification. It has been established that the shape of the landslide site becomes more complex depending on the permeability values of the transported geomass and the terrain, as well as the higher vegetation growing on the slope. A new mechanism for the movement of landslides, based on taking into account the geomass of nanoparticles in their displacement, makes it possible to clarify the risk of landslide displacements and helps predict the conditions and time of their occurrence.

*Keywords:* risk; landslides; occurrence; nanoparticles; geomass; slip surfaces.

**Введение.** На геомассу оказывает влияние множество факторов, среди них: землетрясения, насыщение влагой и др., появление различных триггерных механизмов (подрезка горных склонов, уменьшение высшей растительности, строительство зданий и сооружений подпруживающих или перераспределяющих потоки подземных вод и т. д.) [1, 2], а также характеристики и показатели самой геомассы (в том числе наличие наночастиц цилиндрических и сферических форм [1, 3, 4]). Все они в совокупности приводят к появлению нескольких детерминированных и недетерминированных схем возникновения и развития оползней (характеризуемых различной скоростью и длительностью протекающего процесса, видом, конфигурацией, площадью и объемом оползня), выделяемых путем анализа функциональных взаимосвязей между влияющими факторами, механизмами и оползнями.

Результаты выполненных авторами исследований показали [2, 5], что возникновение и развитие оползней не имеет характера случайного распределения.

**Методы исследования.** В ходе исследования был использован иерархический метод, когда заданное множество последовательно делится на подчинённые подмножества, постепенно конкретизируя объект классификации. Основанием для такого деления служит выбранный существенный признак.

**Основная часть.** При разработке схем возникновения и развития наиболее типичных оползней использовались результаты их предварительной классификации [6–8].

Известно, что орфографические, геологические (литология) и геоморфологические характеристики оползневоопасных территорий определяют показатели прочности массива горных пород, обуславливая их подразделение на различные уровни в пространственных структурах. При этом, оползни могут быть вызваны совокупным воздействием крутого рельефа местности (горного склона), слабых (малосвязанных) геологических образований и угнетенного состояния произрастающей на склоне растительности.

Литологические и структурные различия территорий, подверженных оползневой опасности, довольно часто приводят к различию прочности и водопроницаемости подстилающих грунтов и пород.

Эти факторы (таблица 1), совместно с существующими показателями горного склона (прежде всего – углом его уклона и формой рельефа) и потоком подземных вод (мощностью, скоростью и формой протекания, обуславливающих индекс влажности геомассы), определяют пространственную конфигурацию оползней, их пространственные характеристики и участки расположения, положения или ориентации на местности.

Горные склоны обычно рассматриваются как потенциально слабые зоны, поверхность разрушения в них уже готова, а состояние грунтовых вод зачастую благоприятствует их разрушению. При этом, склоны, пересеченные разломами или линейными, являются потенциально неустойчивыми.

Крутизна горных склонов, как правило, связана с ростом частоты возникновения оползней (как с точки зрения их площади, так и объемов). Так, оползни падения наблюдаются на ортоклинальных склонах, что связано с наличием выраженных трещин в направлении, перпендикулярном или косом к напластованию, а также крутым рельефом. При этом неглубокие оползни в основном возникают при наклонах горных склонов от 20° до 38°, перекрытых четвертичными отложениями.

В условиях выветривания горных пород (например, аргиллитов и песчаников) и их последующее разрушение, осуществляемое через трещины, способны вызвать крупномасштабные оползни скальных пород в форме регрессивной или множественной активности, при углах откосов горных склонов даже несколько менее 40°. Имеющаяся сложная сеть трещин на таких скалах делает эту территорию очень восприимчивой к обрушению склонов горных пород во время сильных дождей или бурного таяния снега и льда, а также к сейсмическим явлениям или любому крупному внешнему напряжению и воздействию.

Практически все показатели, обуславливающие возникновение оползней, определяют их основные характеристики и параметры. Так, в частности, значимые и крупные факторы влияют на структуру, размер и сложность формы оползней на ландшафтном уровне (таблица 2).

Таблица 1 – Схема проявления факторов возникновения и развития оползней

№ п/п	Наименования определяющего фактора	Графическое представление
1	Литология	
2	Подземные воды	
3	Связность геомассы	
4	Наличие высшей растительности	

Lorem Ipsum

Таблица 2 – Типизация схем и форм оползней по виду специфических признаков

№ п/п	Специфические признаки оползня	Причины	Форма оползня
1	Отрыв и падение горных пород	Наличие выраженного зеркала скольжения	Циркообразная, с наличием бугров и валов выдавливания
2	Скольжение геомассы	Наличие трещиноватых скальных пород на крутом горном склоне	Конусообразная
3	Структурно-пластическое выдавливание геомассы	Наличие пригрузки обводненных глин с преобладающим воздействием гидростатического и гидродинамического давления	Фронтальная, с наличием бровки отрыва горного склона
4	Течение геомассы в виде селей	Наличие геомассы в жидком состоянии, связанной с повышенной обводненностью	Вытянутая форма
5	Суффозионное смещение геомассы	Наличие суффозионных процессов, связанных с просадочными явлениями	Постепенное перемещение «головы» геомассы
6	Передвижение геомассы на значительные расстояния [12–14]	Наличие цилиндрических и шарообразных наночастиц [9–11]	Узкая лента

Схемы движения геомассы оползней разделяют в соответствии с типом её движения, видом геоматериала и фазой движения или состоянием активности (например, величиной скорости развития в течение определенного периода времени).

В ходе исследований было установлено, что форма участка оползня усложняется в зависимости от значений проницаемости перемещаемой геомассы и рельефа местности, а также произрастающей на склоне высшей растительности. Примером может служить форма оползня в селе Груш-Корт (Чеченская Республика, РФ), приведенная на рисунке 1.

Однако результаты лабораторных исследований геомассы внесли существенные поправки в состояние оценки возникновения и развития оползней, полученной в результате полевых (натурных) исследований. Так, в частности, они исключили прочность горных пород как основной фактор контроля значения скорости оползней, т. к. она не является значимой объясняющей переменной этого аспекта.

Характеристики и параметры подземных гидродинамических потоков объединяют уклон горного склона и площадь оползня. Например, различные типы, размеры и интенсивность подземных гидродинамических потоков, проходящих по разным направлениям горного склона, оказывают различное влияние на характер возникновения и развития оползней. Так, при превышении скорости перемещения гидродинамического потока воды на 0,5 м/с, будет происходить смыв геомассы с горных склонов, что может привести к образованию не оползней, а промоин и оврагов.

Рассмотренные методические подходы позволили разработать схему обоснованной модели возникновения и развития оползня (рисунок 2), которая раскрывает существующие взаимосвязи между управляющими переменными и, следовательно, основными математическими уравнениями модели оползня, основанной на происходящих процессах.

Кроме того, в ходе исследований был выявлен новый механизм обеспечения довольно быстрого перемещения геомассы оползней, связанный с наночастицами глин [15, 16] и, прежде всего, галлуазита (рисунок 3), выполняющих роль эффективной смазки на поверхностях скольжения.

Таким образом, результаты исследований показывают, что регрессия, которая устанавливает стохастическую зависимость и соответствие между случайными переменными, возникновением

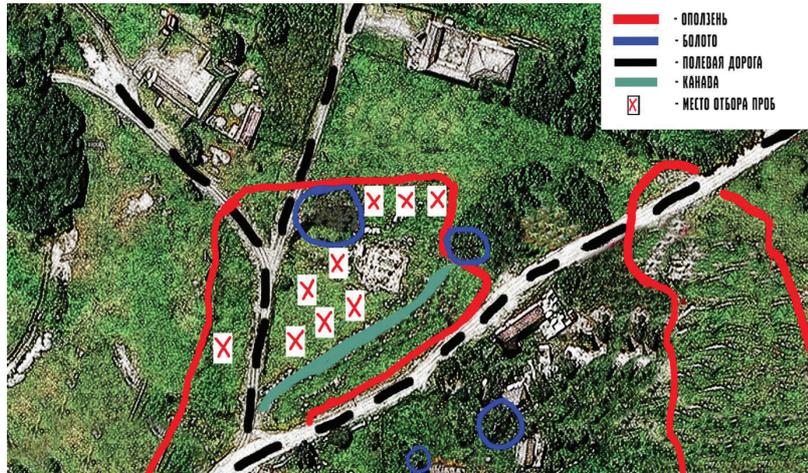


Рисунок 1 – Схема оползня в районе села Груш-Корт

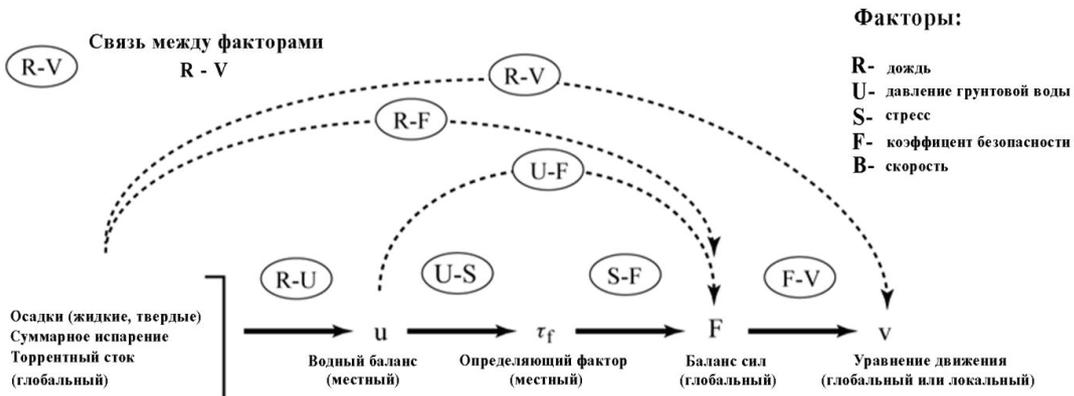


Рисунок 2 – Схема обоснованной модели возникновения и развития оползня

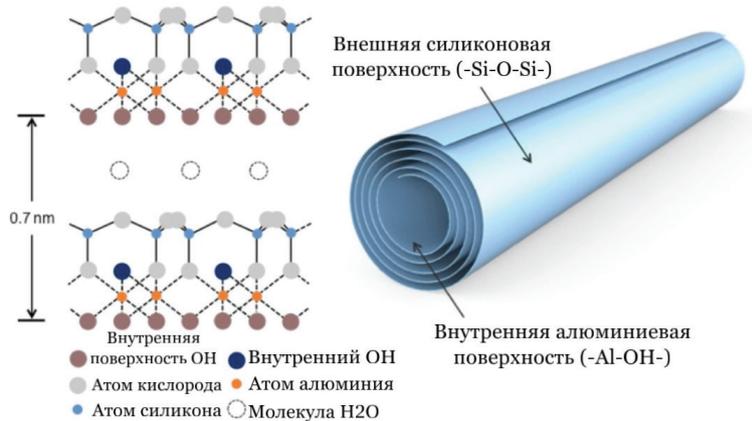


Рисунок 3 – Схема строения галлуазитовой нанотрубки [17]

и развитием оползней явно увеличивается по мере роста количества и мощности определяющих факторов.

**Выводы.** Предложенный новый механизм перемещения оползней, основанный на учете в смещении их геомассы наночастиц, позволяет уточнить риск опасности возникновения оползневых смещений и, более того, способствует прогнозированию условий и времени их возникновения.

*\*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00444, <https://rscf.ru/project/23-27-00444/>, 2023 г.*

Поступила: 30.09.24; рецензирована: 14.10.24; принята: 16.10.24.

### *Литература*

1. Воробьев А.Е. Триггерные механизмы воздействия на оползни. Лазерно-информационные технологии / А.Е. Воробьев, Г.К. Кожоголова // Тр. XXX межд. науч. конф., г. Новороссийск, 12–17 сентября 2022 г. / под ред. проф. В.Е. Привалова. Новороссийск: НФ ФГБОУ ВО «Белгородский гос. технологич. ун-т им. В.Г. Шухова», 2022. С. 164–172.
2. Воробьев А.Е. Триггерные механизмы воздействия на оползни / А.Е. Воробьев, Г.К. Кожоголова // Сб. тр. XIII Всеросс. школы-семинара молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников (Геленджик, 18–20 мая 2022 г.). «Исследования и творческие проекты для развития и освоения проблемных и прибрежно-шельфовых зон юга России». Таганрог: Изд. Южного федер. ун-та, 2022. С. 470–476.
3. Воробьев А.Е. Наноструктуры и наночастицы / А.Е. Воробьев, М.Х. Ибылдаев // Механика и технологии (Казахстан). 2015. № 2. С. 95–102.
4. Воробьев А.Е. Электронные и физико-химические свойства нанотрубок / А.Е. Воробьев, М.З. Мадаева, А.А. Хаджиев, Г.К. Кожоголова // Наука, общество, технологии: проблемы и перспективы взаимодействия в современном мире: сб. статей IX межд. науч.-практ. конф. (9 марта 2023 г.). Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2023. С. 47–46.
5. Воробьев А.Е. Жер көчкүлөрдүн талаа изилдөөлөрү (Полевые исследования оползней) / А.Е. Воробьев, К.Ч. Кожоголов, Э.М. Каримов // Известия Ошского технол. ун-та. 2023. № 2-1. С. 214–221.
6. Воробьев А.Е. Возможности и условия формирования наночастиц в горной массе / А.Е. Воробьев, Г.К. Кожоголова // Горный вестник Узбекистана. 2023. № 1 (92). С. 71–76.
7. Воробьев А.Е. Выявление базовых механизмов и основных особенностей передвижения геомассы оползней / А.Е. Воробьев, Г.К. Кожоголова // Горный вестник Узбекистана. 2022. № 3 (90). С. 20–26.
8. Воробьев А.Е. Группировка методов исследования оползней / А.Е. Воробьев, Г.К. Кожоголова // Инженер: научное и периодическое изд. Инженерной академии Кыргызской Республики. 2023. № 27. С. 5–13.
9. Воробьев А.Е. Исследование быстрых и протяженных глинистых оползней / А.Е. Воробьев, Г.К. Кожоголова // Известия НАН КР. 2022. № 2. С. 32–41.
10. Воробьев А.Е. Классификация оползней в районах добычи полезных ископаемых // Актуальные вопросы геологии, инновационные методы прогнозирования, добычи и технологии обогащения полезных ископаемых / А.Е. Воробьев, Г.К. Кожоголова // Матер. межд. науч.-практ. конф. 28 июня 2022 г. / под ред. Б.Ф. Исламова / Госкомгеологии Республики Узбекистан, Университет геологических наук, ГУ «Институт минеральных ресурсов». Ташкент: ГУ «ИМР», 2022. С. 177–180.
11. Воробьев А.Е. Типизация оползней / А.Е. Воробьев, Г.К. Кожоголова // В сб.: Инновационные перспективы Донбасса. Матер. 8-й межд. науч.-практ. конф. Донецк, 2022. С. 26–33.
12. Воробьев А.Е. Выявление механизмов и основных особенностей передвижения оползней / А.Е. Воробьев, А.Н. Корчевский, Г.К. Кожоголова // Проблемы горного давления. ДонНТУ. 2022. № 1-2 (42-43). С. 175–179.
13. Воробьев А.Е. Анализ механизмов формирования наночастиц в горной массе / А.Е. Воробьев, М.З. Мадаева, Г.К. Кожоголова, М.С.-А. Удаева // Устойчивое развитие горных территорий. 2023. Т. 15. № 3 (57). С. 581–589.
14. Воробьев А.Е. Электронные и физико-химические свойства нанотрубок / А.Е. Воробьев, М.З. Мадаева, А.А. Хаджиев, Г.К. Кожоголова // Наука, общество, технологии: проблемы и перспективы взаимодействия в современном мире: сб. статей IX межд. науч.-практ. конф. (г. Петрозаводск, 9 марта 2023 г.). Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2023. С. 47–46.

15. *Воробьев А.Е.* Выявление базовых особенностей передвижения оползней / А.Е. Воробьев, Б.Т. Торбеков, Г.К. Кожогулова // Известия Кыргыз. гос. тех. ун-та им. И. Раззакова. 2022. № 1 (61). С. 132–143.
16. *Методология и лабораторные методы исследования физико-химических свойств наночастиц: учебно-методический комплекс по дисциплине «Методы изучения минералов, руд и горных пород» / А.Е. Воробьев, К.А. Воробьев, Чжан Ляньцзы, Г.К. Кожогулова. – М.: Изд-во «Спутник +», 2023. 36 с.*
17. Properties & applications. URL: <http://halloysiteexpert.com/properties-applications> (дата обращения: 10.09.24).