

**ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ, АВТОМАТИКИ И ГЕОМЕХАНИКИ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ
РЕСПУБЛИКИ**

На правах рукописи

УДК 551.435627(5752)(04)

КОЖОГУЛОВА ГУЛЬМИРА КАМЧИБЕКОВНА

**Особенности возникновения и передвижения оползней на основе влияния
наночастиц**

Специальность: 25.00.20 – “Геомеханика, разрушение пород взрывом,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика”

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель доктор технических наук, профессор

Воробьев Александр Егорович

Бишкек – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	2
Глава 1 Анализ состояния изученности вопроса.	8
Цель и задачи исследований.	8
1.1. Анализ структурно-геологических условий территории Северного Тянь-Шаня.	8
1.2. Проявления опасных склоновых гравитационных процессов в Кыргызстане.	12
1.3. Анализ существующих механизмов возникновения и перемещения геомассы оползней.	31
1.4. Понятие о наночастицах и нанотрубках.	42
1.5. Цель и задачи исследований.	46
Глава 2. Методика исследований и физико-химические свойства нанотрубок.	48
2.1. Современные методики и технологии поиска научной литературы по оползням.	48
2.2. Методика исследований свойств и прочность грунтов, слагающих оползнеопасные склоны.	55
2.3. Лабораторные методы исследования физико-химических свойств наночастиц.	59
2.4. Топологические методы описания поверхности наночастиц.	61
2.5. Определение физико-химических свойств нанотрубок.	65
2.6. Выводы по главе.	68
Глава 3. Исследование быстрых и протяженных глинистых оползней.	70
3.1. Типизация оползней.	70
3.2. Обоснование триггерных механизмов, воздействующих на возникновение оползней.	78
3.3. Обоснование механизма возникновения и перемещения оползней на основе влияния наночастиц.	89
3.4. Выводы по главе.	104

Выводы.	106
Список использованной литературы.	108
Приложение: Акты о внедрении результатов исследований.	120

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. Кыргызстан – горная страна. Более 90% ее площади занимают горы. При этом на ее территории широко развиты природные и природно-техногенные катастрофы. Наиболее опасными природными процессами и явлениями из них являются землетрясения, оползни, лавины. Причем чрезвычайные ситуации, по данным МЧС КР, связанные с активизацией оползневых процессов, составляют 8.4% от общего числа зарегистрированных. Наибольшее количество чрезвычайных ситуаций от оползней отмечается в Ошской (46.6%) и Джалал-Абадской (32.2%) областях. В Чуйской (Северный Тянь-Шань), Иссык-Кульской, Нарынской областях они составляют от 3.8 % до 6.4%.

В настоящее время в Кыргызстане зарегистрировано свыше 5000 современных оползней. Изучением этих оползней в республике занимались крупные ученые академики И.Т. Айтматов, В.И. Нифадьев, К.Ч. Кожогулов, д.т.н., профессор А.Е. Воробьев, д.т.н., О.В. Никольская, член-корр. НАН КР С.Ф. Усманов, к.т.н., И.А. Торгоев, к.т.н., Ю.Г. Алешин, к.т.н., З.А. Асилова, Усенов К.Ж. и др.

Анализ литературы показал, что активизация оползней обычно связана с тектоникой и сейсмичностью, количеством осадков, сезонными колебаниями температуры. Однако несмотря на то, что большое количество литературы посвящено этой проблеме, до настоящего времени нет единого мнения о механизмах возникновения и передвижения быстропотекающих и длинных глинистых оползней и они остаются не полностью выясненными.

Связь темы диссертации с основными научно-исследовательскими работами.

Результаты диссертации вошли в НИР по гранту Российского научного фонда № 23-27-00444, <https://rscf.ru/project/>.

Целью работы является установление механизма особенностей возникновения и передвижения протяженных глинистых оползней на основе влияния наночастиц.

Задачи исследований:

Для достижения цели определены следующие основные задачи:

1. Выяснить основные инженерно-геологические условия формирования, развития и активизации оползневых процессов на склонах Северного Тянь-Шаня.
2. Изучить физико-химические свойства нанотрубок.
3. Провести новую интерпретацию роли глин в перемещении геомассы оползня.
4. Составить новую типизацию оползней.
5. Обосновать триггерные механизмы, воздействующие на возникновение и передвижение оползневых геомасс.
6. Обосновать механизм передвижения геомасс оползней на основе влияния наночастиц.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Определены электронные и физико-химические свойства наночастиц и нанотрубок.
2. Установлены основные особенности передвижения глинистых оползней.
3. Предложена новая типизация оползней, которая включает в себя, в отличие от известных, три типа: традиционные оползни, оползни с геохимическим преобразованием пород и оползни со смазкой.
4. Обоснованы триггерные механизмы воздействующих на возникновение оползней.
5. Представлена новая интерпретация роли глин в перемещении геомассы оползня.
6. Обоснован механизм быстрого перемещения глинистых оползней на основе влияния наночастиц.

Практическая значимость полученных результатов

Практическое значение результатов диссертационной работы заключается в том, что они внесут существенный вклад в решение важнейшей народно-хозяйственной задачи – прогноза оползней, с точки зрения изучения процессов подготовки, перемещения и познания механизмов развития этого процесса. Результаты работы внедрены в практику работы Инженерной Академии КР (Акт внедрения от 14.03.2025 г.)

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

1. Присутствующие в горной массе наночастицы образуют наносодержащий слой, который обеспечивает передающую и пропускную способность или проскальзывание горной массы оползня, так как определяет качественное и количественное значение трения, а также преобразование вектора сил между сильным и прерывистым трением и плавным скольжением. При этом, из-за своей относительно большой плотности и значительной площади поверхности, слой наноразмерных частиц вызывает физико-химическую

активацию, что оказывает существенное воздействие на перемещение горной массы оползня.

2. Глобальное изменение климата, вызывающее в некоторых районах Земли интенсивные осадки, являющееся одним из триггерных факторов, неизбежно приводит к усилению оползневой активности. Для получения качественно-количественной оценки воздействия климата на оползни необходимо осуществлять измерение изменения температуры, атмосферных осадков, ветра и погодных систем в целом, а также их прямое и косвенное влияние на устойчивость отдельных горных склонов.

3. Быстрое перемещение геомассы глинистых оползней обеспечивается наночастицами галлуазита, выполняющих роль эффективной смазки нижнего слоя перемещающего оползня на поверхностях скольжения в качестве природных наноподшипников.

Личный вклад соискателя

Личный вклад соискателя заключается:

- в проведении ретроспективного анализа, сборе, систематизации и обработке литературных и фондовых материалов о произошедших оползнях в Северном Тянь-Шане;
- в составлении типизации оползней, в новой интерпретации роли глин при перемещении геомассы быстрых оползней;
- в обосновании триггерных механизмов воздействия на возникновение оползней;
- в обосновании нового механизма передвижения геомасс оползней на основе влияния наночастиц.

Апробация результатов исследования

Основные результаты исследования докладывались, обсуждались и одобрены на:

- Научно-практической конференции “Наука, образование, инновации и технологии: оценки, проблемы, пути решения”, 28-29 апреля 2022 г., г. Бишкек;
- Международной научно-практической конференции: “Актуальные вопросы геологии, инновационные методы прогнозирования добычи и технологии обогащения полезных ископаемых”, 28 июня 2022 г., г. Ташкент;
- XII Всероссийской школе-семинаре “Исследования и творческие проекты для развития и освоения проблемных и прибрежно-шельфовых зон юга России”, 2022 г., г. Ростов на Дону;
- XXX Международной научной конференции “Лазерно-информационные технологии”, 12-17 сентября 2022 г., г. Новороссийск, Краснодарский край;
- IX Международной научно-практической конференции “Наука общество, технологии: проблемы и перспективы взаимодействия в современном мире”. 9 марта 2023 г., г. Петрозаводск.
- IV Международной научно-практической конференции “Новые вызовы – новые исследования”, 8 марта 2023 г., г. Петрозаводск, в котором автор получила диплом победителя I степени по секции “Технические науки”.

Полнота отражений результатов исследований в публикациях

Результаты исследований, отражающие основное содержание диссертационной работы, опубликованы в 14 научных трудах, в том числе 7 входят в базу данных РИНЦ.

Структура и объем диссертации: диссертация состоит из введения, 3 глав, выводов и списка использованной литературы. Она содержит 120 страниц машинописного текста, включая 46 рисунков и 4 таблицы. Список литературы содержит 97 библиографических наименований.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность и благодарность научному руководителю, доктору технических наук, профессору Воробьеву А.Е. за оказание помощи в исследованиях, организации НИР

обеспечивающих результативность представляемых исследований, за всестороннюю поддержку, внимание, советы и консультации.

Особую благодарность автор выражает научному сотруднику лаборатории комплексных исследований геодинамических процессов в геофизических полях ИС РАН — Мухамадеевой Винере Аскаровне — за бескорыстную помощь и поддержку на всех этапах выполнения диссертационной работы. Автор искренне признателен ведущему научному сотруднику, заведующему лабораторией глубинных магнитотеллурических исследований ИС РАН, — к.г.-м.н, Баталевой Елене Анатольевне за конструктивные советы и консультации.

Автор выражает глубочайшую признательность и благодарность сотрудникам Института машиноведения, автоматике и геомеханики НАК КР — за помощь, содействие и поддержку.

ГЛАВА 1

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Анализ структурно-геологических условий территории Северного Тянь-Шаня

Тянь-Шань – одна из величайших горных систем мира, значительную часть которой занимает Кыргызстан, принадлежит к обширной территории палеозойской складчатости, раскинувшейся от Урала до Восточного Саяна и от Таймыра до Северной окраины Тарима [76].

В рельефе территории Кыргызстана преобладают Тянь-Шаньская и Памирская горные системы, которые вместе занимают около 60% территории республики [76].

Если взглянуть на карту рельефа территории Кыргызстана, то можно увидеть, что она включает в основном горные пространства. Более 56% территории относится к высокогорью. В состав территории Кыргызстана входят

Центральный и почти весь Западный Тянь-Шань, а на крайнем юго-западе – часть Памиро-Алая [58].

Наибольшие абсолютные высоты отмечаются в массиве Хан-Тенгри (пик Победы – 7439 м), от которого в западном направлении веерообразно расходятся цепи горных хребтов, разделенных межгорными впадинами и обширными нагорьями [76].

Современный рельеф Тянь-Шаня сформировался в результате длительной истории развития земной коры. Здесь есть отложения самого разного возраста: докембрийские, кембро-силурийские, каменноугольные, мезозойские. Характерны сложнейшие почвенно-мелиоративные условия. Это эродированные почвы (ирригационная, ветровая, плоскостная, овражная, пастбищная и смешанные виды эрозии), засоленные, заболоченные, каменистые и скелетные.

Климат Кыргызстана континентальный, потому что Кыргызстан расположен вдали от океанов. Хотя лето в городах может быть довольно жарким, в горах сравнительно прохладно даже в самые жаркие месяцы. Зимы холодные и снежные, особенно высоко в горах [76].

В работе Сеницына Н.М. [76] представлен первый геологический синтез для всей Тянь-Шаньской горной системы. Схема геологического строения Тянь-Шаня основана на вычленении большого числа зон по возрасту основной фазы тектонических движений в их пределах, с формационно-стратиграфической и структурной характеристиками каждой зоны. Палеозойская история Тянь-Шаня представлялась тогда в духе последовательного роста инверсионных поднятий геосинклинальной области от осевой ее части, т.е. начиная с каледонских или докембрийских зон севера Тянь-Шаня, через три возрастные генерации герцинид, в направлении обрамляющих горную страну Джунгарского и Таримского массивов [58].

Коллеги Сеницына смогли представить уже существенно иную модель развития советской части Тянь-Шаня. Акцент был смещен на проявления покровно-надвиговой тектоники и других признаков горизонтальных смещений

между эв- и миогеосинклинальными (т.е. вулканическими и осадочными) зонами как в герцинидах, так и – менее отчетливо – в каледонидах [58].

Геологическое строение территории Кыргызстана очень сложное. Выступы фундамента сложены метаморфическими комплексами архея и протерозоя [80]. Складчатые сооружения сформированы палеозойскими осадочными и вулканогенными образованиями. Межгорные впадины выполнены рыхлыми толщами мезо-кайнозоя. Большую часть в геологическом строении территории республики играют магматические породы, среди которых наиболее широко развиты байкальские, каледонские и герцинские интрузии гранитов и в меньшей мере – основных и щелочных пород [80].

Для территории Кыргызстана характерно большое разнообразие генетических ассоциаций месторождений, охватывающих почти весь элементный состав периодической таблицы Д.И. Менделеева. В Кыргызстане выявлено и учтено несколько тысяч месторождений и проявлений различных полезных ископаемых [52,57].

Геология Кыргызского Тянь-Шаня характеризуется ярко выраженной тектонической зональностью, отражающей разновозрастность образующих его складчатых систем. По возрасту основных фаз тектогенеза в пределах Тянь-Шаня выделяются каледонская складчатая область Северного Тянь-Шаня, герцинская складчатая область Южного Тянь-Шаня и разделяющая их складчатая область Срединного Тянь-Шаня, где проявились как каледонские, так и герцинские тектонические движения [1,79].

Северный Тянь-Шань охватывает северные регионы Кыргызстана. Его Южная граница со Срединным Тянь-Шанем тектоническая. Она была выделена известным геологом В.А. Николаевым, который назвал ее важнейшей структурной линией Тянь-Шаня (линия Николаева) [58,61].

Первые представления о строении Северного Тянь-Шаня сформулированы в 1930 – 1940-х годах в работах Д.В. Наливкина, В.И. Попова, В.А. Николаева и их коллег. Характерными чертами Северного Тянь-Шаня являются деформированные офиолиты и вулканические толщи нижнего палеозоя с

фрагментами допалеозойской континентальной коры и залегающие на них с угловым несогласием терригенные, вулканогенные и карбонатные образования среднего и верхнего палеозоя, сохранившиеся локально и дислоцированные в конце палеозоя. Таким образом, в строении Северного Тянь-Шаня участвует каледонский фундамент Палеоказахстана и его верхнепалеозойский чехол, вовлеченный в герцинские коллизионные деформации. Южная граница Северного Тянь-Шаня обычно проводится по Таласо-Ферганскому сдвигу в западном секторе Тянь-Шаня и по линии Николаева, или Терскейскому разлому, в центральном секторе (рис. 1.1). К линии Николаева с севера примыкает Киргизско-Терскейская океаническая сутурная зона, которая характеризуется нижнепалеозойскими офиолитами в сопровождении андезито-базальтовых вулканитов островодужного типа и грауваккового флиша, а также метаморфическими комплексами ультравысокого давления [55]. Эта сутура прослеживается от западной части Киргизского хребта на юго-восток в район озера Сон-Куль и далее к востоку верховья р. Нарын.

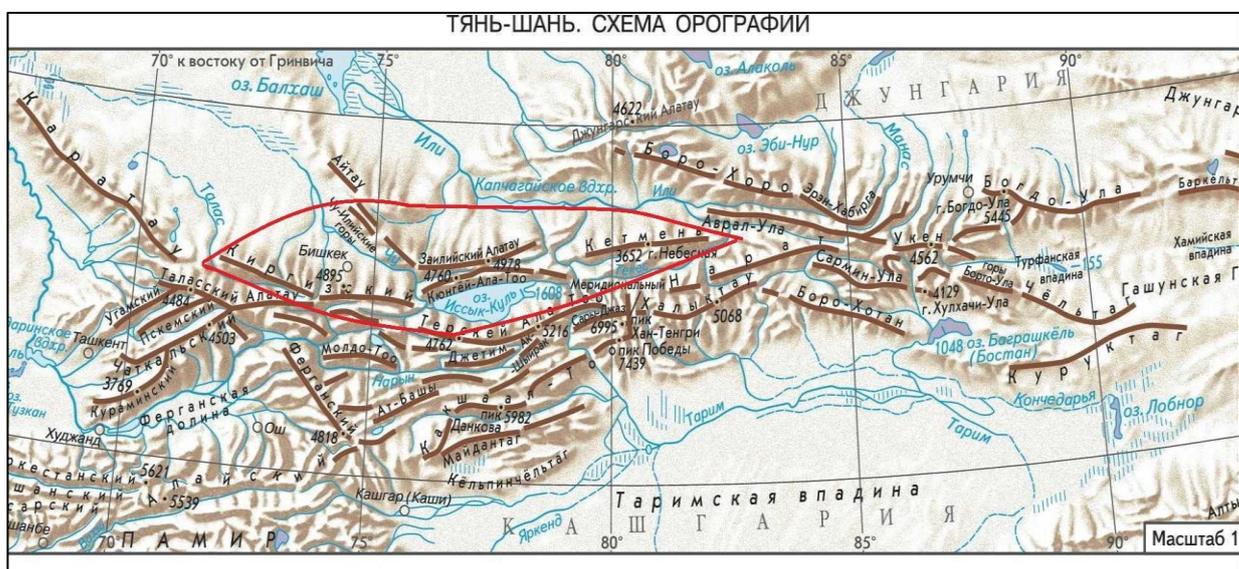


Рис.1.1. Хребты Северного Тянь-Шаня

К Северному Тянь-Шаню иногда относят также Каратау-Таласский блок, который выделяется между Киргизско-Терскейской офиолитовой полосой на северо-востоке и Таласо-Ферганским сдвиговым швом на юго-западе в хребтах

Малый Каратау и Таласский. В современных реконструкциях Каратау-Таласский блок изображают как отдельный микроконтинент в раннепалеозойском Терской океане. Докембрийское основание блока известно в Малом Каратау, где вскрываются верхнерифейские красные строматолитовые известняки, песчанно-глинистые турбидиты, косослоистые песчаники. Характерной чертой разреза Каратау-Таласского блока является развитие мощных терригенных толщ, которые считаются рифейскими, и присутствие на вендском уровне диамектитов, выше которых (верхний венд – нижний ордовик) сформирован непрерывный разрез известняков и доломитов шельфового комплекса мощностью более 2000 м. Нижний кембрий включает промышленный горизонт фосфоритов [55].

На территории Северного Тянь-Шаня преимущественно развиты допалеозойские метаморфические и нижнепалеозойские островодужные осадочно-вулканогенные образования. Подчиненная роль принадлежит средне-верхнепалеозойским вулканогенным и терригенным породам. Примерно половину региона на поверхности занимают гранитоиды ордовика-силура. Основная складчатость каледонская. В среднепозднепалеозойское время территория испытала тектономагматическую активизацию [58].

В генеральном плане каледониды Северного Тянь-Шаня образуют выпуклую к югу дугу. На западе преимущественные простирания пород и структур северо-западные, в центральной части – субширотные, на востоке – северо-восточные. В вертикальном разрезе пород можно выделить несколько структурных этажей: дорифейский (AR-PRI), исседонский (R1-2), байкальский (R3-V), каледонский (PZ1), эпикаледонский (D-P), альпийский (MZ-KZ) [58].

1.2. Проявления опасных склоновых гравитационных процессов в Кыргызстане

Современный рельеф Тянь-Шаня формируется при взаимодействии эндогенных и экзогенных процессов, что говорит о продолжающемся здесь процессе горообразования [76].

Резко расчлененный рельеф Тянь-Шаня и большие высотные отметки создают особые природные условия, которые проявляются в исключительном разнообразии климатических условий, плодородия почв, растительности, животного мира, обуславливают нестабильность склонов и труднодоступность горных территорий. Резко расчлененный рельеф и тектоническая активность Тянь-Шаня определяет также слабоустойчивое природное равновесие, повышенную чувствительность к изменениям климата, к атмосферным и антропогенным воздействиям, что способствует активному развитию опасных природных процессов, одними из которых являются гравитационные смещения горных склонов – оползни, обвалы, камнепады и их природные процессы [5].

Наиболее активные оползневые процессы в Кыргызстане (рис.1.2) наблюдаются в южных районах:



Рис. 1.2. Карта оползневой опасности Кыргызстана

- Джалал-Абадская область – бассейны рек Кокарт, Майлуу-Суу, Кара-Ункур, Кара-Суу, Сумсар и Чаткал;
- Ошская область – бассейны рек Яссы, Кара-Кульджа, Тар, Гульча, Ак-Бура и Кыргыз-Ата;
- Баткенская область – юго-западнее г. Кызыл-Кия, п. Кадамжай, и в г. Сулюкта [5, 53, 77].

В меньшей степени склоновые процессы проявляются в других областях Республики:

- Чуйская область – в городе Бишкек (Орто-Сай, Чон-Арык), южный склон предгорий Киргизского хребта, в Суусамырской, Чон-Кеминской долинах и Боомском ущелье [74], здесь оползни имеют единичные проявления;
- Нарынская область – современные оползни имеют единичные проявления и несут угрозу запруживания русел рек и погребения участков автомобильных дорог, в населенном пункте Мин-Куш существует опасность погребения жилых домов и хозяйственных построек, создается риск для населения;
- Иссык-Кульская область – оползни развиты в горной зоне хребтов Тескей-и Кунгей-Ала-Тоо, в долинах рек Тон и Жыргалан [68], их влияние на инфраструктуру населенных пунктов незначительно;
- Таласская область – оползни имеют место в верховье левобережного притока реки Чиимташ и не создают риска опасных воздействий для населения [74].

Категории склоновых процессов

Обвал – внезапное обрушение и падение части массива горных пород из-за потери устойчивости.

Оползень - склоновое скольжение горных масс под влиянием силы тяжести по поверхности скольжения.

Обвально-оползневые процессы – переходный процесс между оползнем и обвалом, при котором смещение пород происходит частично по поверхности скольжения и с отрывом от нее.

Образование и активность оползневых и обвальных процессов являются результатом воздействия большего числа факторов, среди которых – состав и характер залегания разрушающихся пород, морфологические и морфометрические характеристики рельефа, трещиноватость пород, современные тектонические движения, степень и характер увлажнения склонов, суточные и сезонные температурные градиенты, уровень грунтовых вод, мерзлотные характеристики и др.

Развитию обвально-оползневых процессов посвящено много публикаций и в этих работах приоритетная роль в их образовании отводится землетрясениям, а сами процессы рассматриваются как сейсмодислокации.

Оползни и обвалы не образуются повсеместно или случайно. Как во время землетрясений, так и в других случаях они формируются на определенных участках склона, где взаимодействие других факторов приводит к ослаблению склона и создает предпосылки для разгрузки.

Оползни не имеют единой классификации, поскольку имеют множество признаков, по которым их можно различать. Всего к настоящему времени разработано более 100 классификаций оползней [4].

Павлов А.П. (1903 г.) подразделял оползни на деляпсивные, или соскальзывающие, и детрузивные, или толкающие. К первому типу относятся такие, у которых движение масс горных пород начинается в нижней части склона, а затем и вышележащих, потерявших поддерживающую их опору. У детрузивных оползней движение масс горных пород начинается в верхней части склона, которые затем действуют на нижележащие, сдвигая (толкая) их. (рис. 1.3)

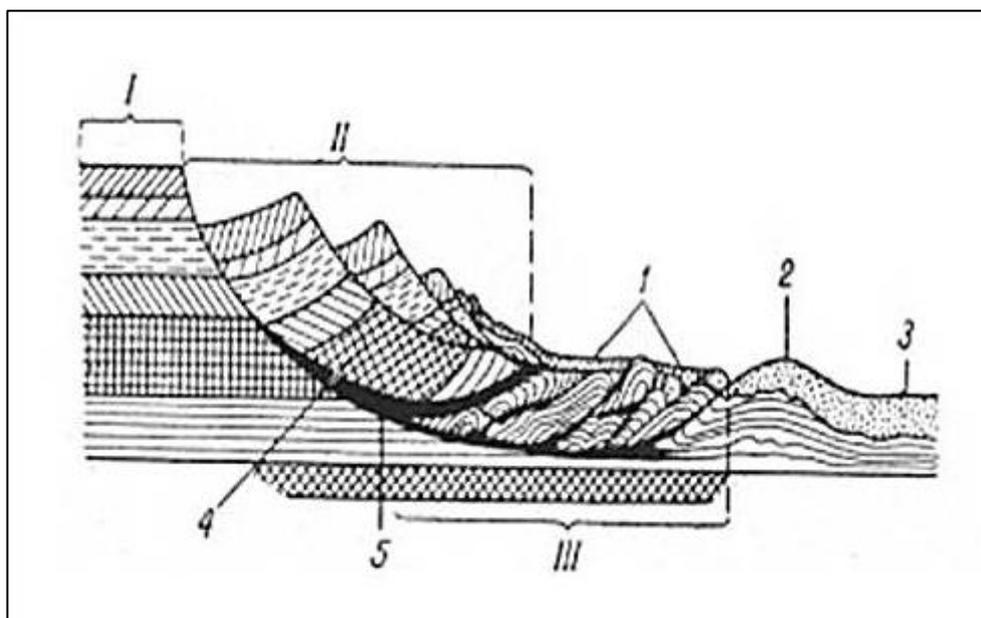


Рис. 1.3. Схема строения оползня (по А.П. Павлову)

I - коренной склон; II- деформированная часть оползня; III - детрузивная часть оползня; 1 - аккумулятивная оползневая брекчия оползня поточного типа; 2 - бугор выпирания; 3 - аллювий дна долины; 4 - оползни блокового типа; 5 - зоны брекчирования и оползневые брекчии трения.

Оползни можно классифицировать по крутизне. Различают очень пологие (до 5°), пологие (5° - 15°), крутые (15° - 45°).

По глубине залегания поверхности скольжения (по Ф.П. Саваренскому) [4] различают поверхностные (до 1 м), мелкие (1-5 м), глубокие (5-20 м), очень глубокие (свыше 20 м).

По объему грунта, вовлеченного в процесс сползания, различают оползни малые (до 10 м^3), небольшие (10 - 200 м^3), средние (200 - 1000 м^3), большие (от 1000 до 200 тыс. м^3) и грандиозные (свыше 200 тыс. м^3).

В настоящее время наиболее широкое распространение получили классификации оползневых процессов по морфологическому признаку и общая классификация оползней первого порядка Е.П. Емельяновой [73], Ф.П. Саваренского [4] – по форме нарушения устойчивости склона, К.А. Гулакяна и В.В. Кюнцеля [50] – по механизму смещения. Эти классификации наиболее полно охватывают признаки, позволяющие понять сущность явления.

Согласно классификации оползней Е.П. Емельяновой по морфологическому признаку, выделены следующие типы оползней:

I – циркообразные, полукруглые в плане, длина и ширина оползня приблизительно равны;

II – фронтальные – вытянутые вдоль подошвы склона, ширина значительно больше длины;

III – веерообразные – почти изометричные, ширина у подошвы уменьшается;

IV – оползни с суженной горловиной;

V – глетчерообразные – вытянутые по падению склона, длина значительно превышает ширину;

VI – оползни угловатых очертаний;

VII – не достигающих до подошвы склона [73] (рис. 1.4).

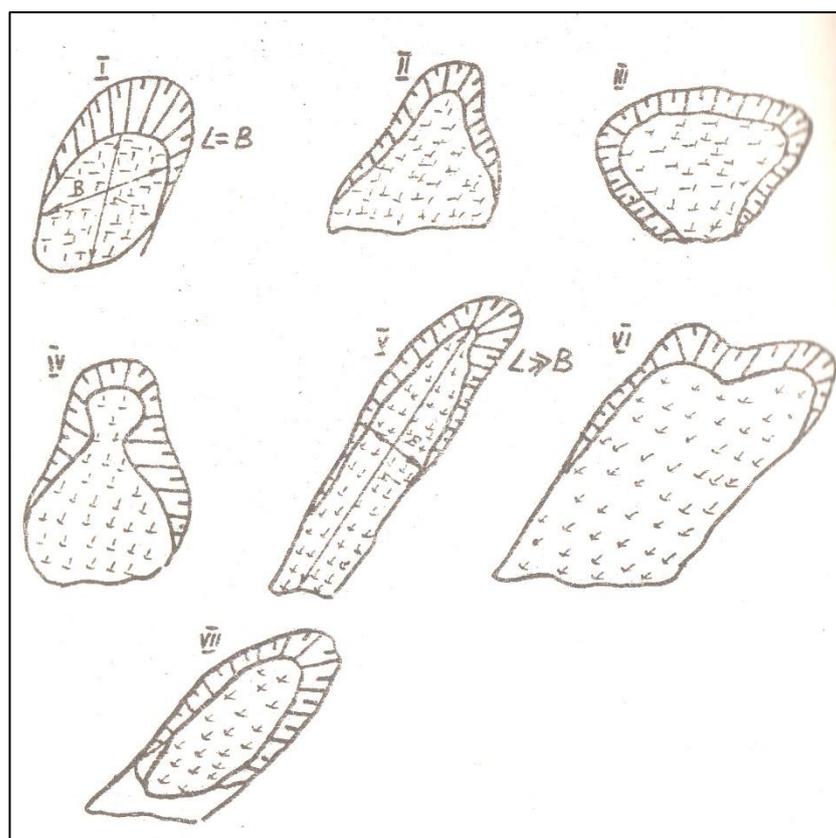


Рис. 1.4. Типы оползней по морфологическому признаку

I – циркообразные; II – фронтальные; III – веерообразные; IV – с суженной горловиной; V – глетчeroобразные; VI – оползни угловатых очертаний; VII- не доходящие до подошвы склоны.

Классификация оползней по Ф.П. Саваренскому [4] по форме нарушения устойчивости выделяет 3 типа оползней по их структуре:

1. *Асеквентные* – поверхность скольжения не совпадает с поверхностью раздела напластования грунтов, оползни развиваются в однородных глинистых грунтах.
2. *Консеквентные* – поверхность скольжения совпадает с поверхностью раздела грунтов и зон их ослабления.
3. *Инсеквентные* – поверхность скольжения пересекает различные грунты, залегающие горизонтально или наклонно по падению склона, форма поверхности скольжения неровная, вогнутая (рис. 1.5).

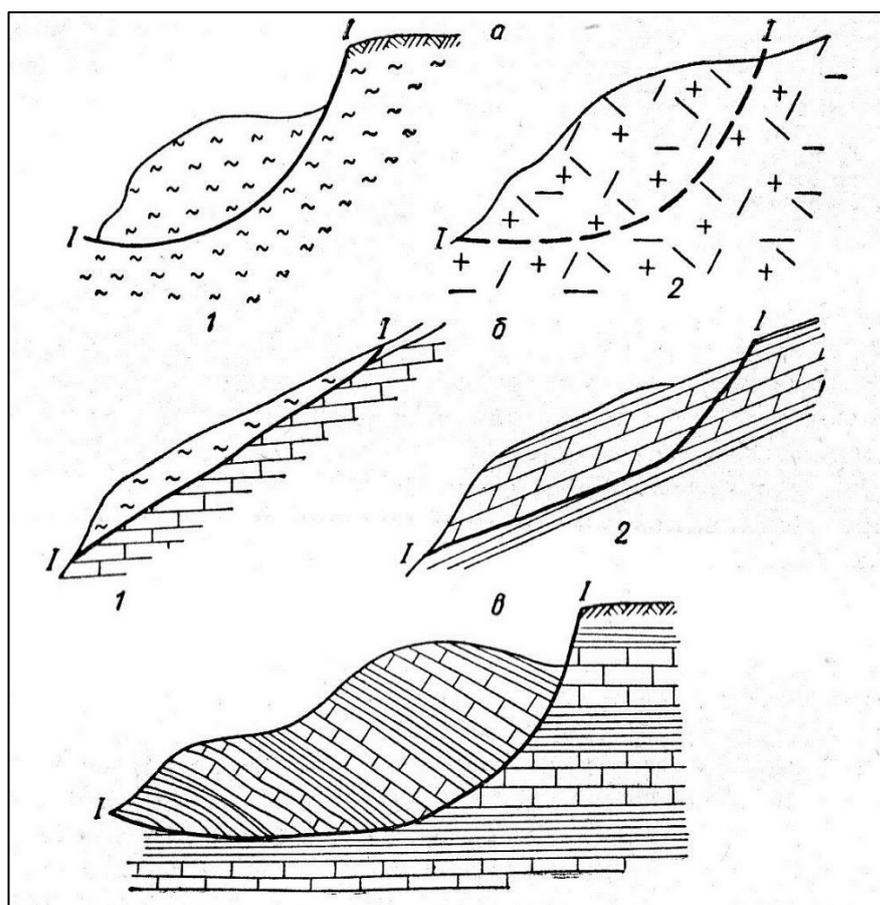


Рис.1.5. Типы оползней по форме нарушения устойчивости.

а - асеквентный тип: 1 - в однородных глинистых породах; 2 - в трещиноватых твердых породах; *б - консеквентный тип:* 1 - делювия по коренным породам; 2 - в моноклиналино наклонных слоистых породах; *в - инсеквентный тип*

Часто на практике используется классификация по механизму смещения, но и здесь нет единства мнений. Из наиболее “свежих” – это классификация В.В. Кюнцеля [50], которая подразделяет оползни на оползни скольжения, выдавливания, выплывания, течения, проседания, разжижения (рис. 1.6).

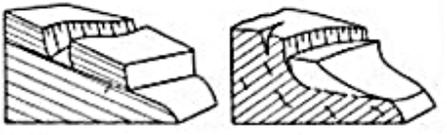
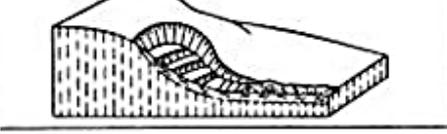
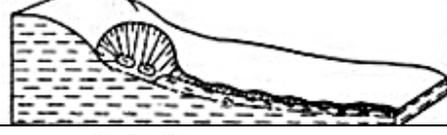
№ п/п	Название типа оползня по Кюнцелю В.В.	Типовые схемы
1	Скольжения	
2	Выдавливания	
3	Выплывания	
4	Течения	
5	Проседания	
6	Разжижения	

Рис. 1.6. Классификация В.В.Кюнцеля

В пределах Кыргызского Тянь-Шаня насчитывается более 5000 современных активных оползней. Но если учитывать древние и стабилизировавшиеся обвально-оползневые блоки, то их количество окажется на порядок больше. Это крупномасштабные скальные оползни и каменные обвалы,

которые происходят редко и могут приводить к весьма тяжелым последствиям. Картирование всех оползневых смещений на территории Кыргызского Тянь-Шаня не проводилось, только лишь на отдельных площадях и вблизи населенных пунктов проведены геологические съемки с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций для инфраструктуры населенных пунктов и горнопромышленных объектов. Из-за недоступности горного рельефа и ограниченных возможностей использования космоснимков высокого разрешения в настоящее время нет полной информации о распространении древних и современных оползней на труднодоступных участках.

Несмотря на то, что каждый оползень или обвал имеет свои индивидуальные особенности, их можно подразделить на две категории: 1) оползни в рыхлых и полускальных породах (мезо-кайнозойские отложения) и 2) обвально-оползневые процессы в скальных и полускальных породах (терригенные, метаморфические, реже интрузивные формации), в основном вызванные сейсмическим воздействием.

Оползни в рыхлых и полускальных породах

Основная часть, до 80% активных оползней, приурочена к краевым частям крупных депрессий в пределах распространения мезо-кайнозойских формаций.

В мезо-кайнозойских формациях развитие оползневых процессов обусловлено двумя основными причинами: (1) наличием большого содержания в них тонкодисперсных пород – глин, аргиллитов, суглинков и (2) степенью естественного увлажнения (грунтовые воды, атмосферные осадки). При этом годовое количество осадков должно превышать среднегодовые нормы. Такое сочетание условий встречается не везде и отмечается по периферии Ферганской и восточной части Иссык-Кульской впадины.

Оползни развиты на разных высотах, но наибольшая их часть сосредоточена в низко-среднегорной зоне, в пределах высотных отметок 1100-2200 метров над уровнем моря. Это та часть, где наиболее развиты мезо-кайнозойские отложения в краевых частях крупных депрессий. Данный тип

оползней в основном развит в южном регионе Кыргызстана в пределах краевой части Ферганской депрессии. Именно высокое естественное увлажнение региона и широкое распространение мезо-кайнозойских отложений создали благоприятные условия для формирования оползней, где насчитывается более 80% от общего количества активных оползней.

До 70% всех оползней развиты в палеогеновых и меловых отложениях, представленных переслаиваем глин, аргиллитов, алевролитов, песчаников, мергелей, известняков, гипсов и конгломератов, а также в лессовых покровных отложениях. Смещения, в основном, происходят на крыльях складок по пластам глин и аргиллитов. Основными факторами оползнеобразования являются обводненность массивов горных пород атмосферными осадками и грунтовыми водами. Они формируются на контактах водонепроницаемых пород с водоупорными глинами, аргиллитами [46].

В период выпадения атмосферных осадков выше средних многолетних значений на 20%, активизация подвижек существующих оползней не отмечается, либо незначительна. Активизация оползневых процессов выше среднего фона отмечается при выпадении атмосферных осадков более 40% от средней нормы [74].

Согласно результатам исследования оползневых процессов [50] в силу несинхронности образования и разной продолжительности оползневого цикла, каждый из них в любой момент времени находится на определенной стадии своего развития.

Стадия подготовки к основному смещению:

- водопроявление (родники, мочажины, наличие влаголюбивой растительности) в нижних частях оползнеобразующего склона;
- образование трещин в пределах контура формирующего оползня;
- просадки по оползневым трещинам отрыва;
- деформация склона в пределах формирующегося оползня в виде мелких оплывин и сплывов [46].

Стадия основного смещения:

- Оползень находится в движении;
- Оползень находится во временно-стабильном состоянии, сместившись от первоначального положения и не достигнув базиса разгрузки [46].

Стадия вторичных смещений:

Большинство оползней завершают эту стадию с прекращением воздействия факторов, вызывающих основное смещение до базиса разгрузки. При этом деформации сместившегося оползня могут проявляться в виде обрушений стенок срыва при выколаживании до устойчивых углов и в виде деформаций отдельных блоков разгрузившегося оползня при воздействии на него экзогенных процессов [46].

Стадия стабилизации:

Оползень достиг базиса разгрузки, воздействия экзогенных и эндогенных процессов не оказывают влияние на его состояние.

Продолжительность развития полного оползневого цикла, равно как и его составляющих стадий, находится в зависимости от интенсивности, периодичности воздействия природных факторов и реакции массивов горных пород с присущими им геологическими условиями и варьирует в широких временных рамках от нескольких секунд до нескольких десятилетий и более.

Обвалы и оползни в скальных породах:

В региональном плане на территории Тянь-Шаня они распространены квазиравномерно и тяготеют к тектоническим разломам и сейсмогенерирующим зонам.

Существующие оползни и обвалы этой категории в основном крупномасштабные и значительных объемов, как правило, находятся в стабильном состоянии либо временно устойчивы. При повторных сейсмических воздействиях, при экстремальных экзогенных и техногенных процессах возможны их вторичные деформации, как смещения всего оползневого тела, так

и отдельных его частей. Для большинства сейсмогенных оползней и обвалов образование и продолжительность основного смещения определяется временем сейсмического воздействия, и/или они разгружаются в течении двух-трех лет после воздействия дополнительных других экзогенных процессов и в ряде случаев повторные землетрясения играют роль “спускового механизма” для разгрузки подготовленных к смещению оползней.

Скорость процессов гравитационного смещения изменяется в весьма широких пределах, от 100 м/сек, при падении и обрушении пород при обвалах, до практически незаметных смещений, связанных с медленным оползанием (крипом), и измеряется лишь несколькими метрами в столетие [62].

В действительности все перемещения такого рода происходят эпизодически и циклически. В одни периоды склон остается относительно устойчивым, в другие – его устойчивость снижается, и начинается движение материала, которое приобретает катастрофический характер при потере устойчивости и возрастании кинетической энергии движущегося оползня.

Активизация смещения может быть вызвана какими-либо регулярно повторяющимися явлениями, такими как сезонные дожди, таяние снега, оттаивание грунта, землетрясения и солнечная активность, имеющие периодический характер [62].

В условиях резко расчлененного рельефа, оползни – явления довольно обычные. Однако их масштабы не столь значительны, а наиболее крупные из них происходят редко и относятся к разряду сейсмогравитационных. К подобным сейсмогравитационным смещениям крупных масс в зоне разломов Северного Тянь-Шаня относятся: оползни-обвалы объёмом до 10 млн. м³, к примеру, оползень выше села Белогорка (рис.1.7), вызванный Беловодским землетрясением 1885 г. (M=6.9); оползни-обвалы, возникшие при Кеминском землетрясении 1911 г. (M=8.3), один из которых Жарылган-Тоо объёмом свыше 7 млн. м³ в районе с. Ананьево.

В горных районах наблюдаются гигантские катастрофические оползни-обвалы более нескольких миллиардов кубических метров пород. Один из таких

обвалов произошел в 1911 г. на Памире, когда в результате обрушения 2.2 млрд. м³ пород образовалось огромное подпрудное Сарезское озеро с объемом свыше 16 км³ и площадью около 80 км². Примерно таким же образом в результате обвала при землетрясении в Кыргызстане возникли: озеро Сары-Челек; озера в верховьях реки Кара-Суу (восточная), озеро Кара-Суу и ряд других.



Рис. 1.7. Сейсмосрыв вблизи с. Белогорка во время Беловодского землетрясения 1885 г. (фото Мухамадеевой В.А.)

Обвалоопасные участки горных склонов встречаются на некоторых участках автомобильных дорог Бишкек-Ош, Бишкек-Балыкчи и др., железной дороги Бишкек-Балыкчи (рис.1.8), а также на ряде карьеров Макмал, Кумтор и др. Интенсивное развитие обвалов наблюдается на крутых горных склонах, бортах ущелий и каньонов рек Нарын, Кокомерен, Минкуш, Жыргалан, Аксуу, Жети-Огуз и многих др.



Рис. 1.8. Оползень над железнодорожной галереей по маршруту Бишкек-Балыкчи в Боомском ущелье в районе 115-го километра автомобильной дороги (фото С.А. Ерохина). Это активный оползень, угрожающий железной дороге разрушением галереи. Проводится регулярная расчистка оползневого завала, надвигающегося на галерею.

В отличие от южных районов на севере Кыргызстана (Таласский, Кыргызский хребты, Кунгей-Ала-Тоо, Суусамырская долина) оползни имеют не площадный характер, а единичные развития. Они проявляются отдельными участками в полосе предгорий хребтов, в местах распространения глинисто-мергелистых и пластичных пород плиоценового возраста, неоген-четвертичных отложений.

Из-за небольшой мощности покровных четвертичных отложений на горных склонах севера Кыргызстана преобладают относительно небольшие оползни, чаще в виде оплывин и поверхностных сплывов, а довольно значительное количество древнеоползневых дислокаций, дешифрируемых по космоснимкам, находятся в стабильном состоянии.

Однако наметившееся в последние годы изменение климатических условий – повышение среднегодовых температур воздуха, изменение

внутригодового режима осадков со значительным их увеличением в весенний и осенний периоды, летние засухи, а также повышение сейсмической активности уже повлияло на активизацию оползневых процессов. Анализ исследований, выполненных в работе [46] Министерством природных ресурсов, экологии и технического надзора Кыргызской Республики с 2002 г. показывает, что произошла значительная активизация древних оползней, а также образовались новые оползни в северном регионе республики.

Специфика горных территорий состоит в том, что процессы гравитационного перемещения масс не представляют собой какой-то экстраординарный феномен, а являются отражением закономерно развивающейся геологической жизни той или иной горно-складчатой области. Следовательно, и в дальнейшем следует ожидать возникновения подобных явлений, прогнозировать которые необходимо в целях предотвращения опасных последствий [46] и уменьшения экономического, экологического и социального ущерба [56].

Проблему защиты населения от опасных проявлений оползней и других процессов, и явлений решали в разные годы несколько ведомств: Управление геологии СССР, Министерство сельского и водного хозяйства, Министерство транспорта и коммуникаций, Министерство строительства, Министерство энергетики СССР. В последние годы защитой от опасных экзогенных геологических процессов, в том числе изучением опасных обвально-оползневых процессов, активно занимается Министерство чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны Кыргызской Республики.

Первая оползневая служба была организована в 1954 году при Управлении геологии Киргизской ССР, которая базировалась в г. Джалал-Абад, а с 1968 г. – в г. Ош.

По данным предыдущих исследований установлено, что большое количество оползней образовалось в многоводные годы с большим выпадением атмосферных осадков, какими были 1953-1954, 1969, 1978-79, 1988, 1994, 1998, 2002-2004, 2021 годы, и во время сильных землетрясений [5].

На территории Кыргызстана в зоне возможного поражения оползневыми процессами различной степени находится более 300 населенных пунктов, места захоронения токсических и радиоактивных отходов в хвостохранилищах, расположенных на территории Северного Тянь-Шаня (пгт. Ак-Тюз, Минкуш, Каджи-Сай и др.), 90 отвалов радиоактивных и токсических отходов производства.

Риск разрушения этих отвалов создает потенциальную опасность загрязнения окружающей среды. На рисунке видно, что в таком случае риску подвергается не только территория Кыргызстана, но также участки территорий Таджикистана, Узбекистана и Казахстана (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Возможные зоны загрязнений при прорывах захоронений [54]

Северный Тянь-Шань принадлежит к региону с развитой оползневой активностью [54]. Оползневые процессы здесь развиваются в основном на площади распространения мезо-кайнозойских отложений предгорной и среднегорной зоны.

Интенсивность проявления оползней обусловлена сложным геологическим строением, крутосклонным рельефом местности, составом и свойствами грунтов покровных образований и пород коренной основы горных склонов, новейшими и современными тектоническими движениями, количеством атмосферных осадков и изменением уровня грунтовых вод [54]. В результате многолетних наблюдений за проявлением оползневых процессов в Кыргызстане установлено, что массовое проявление оползней отмечено в многоводные годы и при максимальном положении уровня подземных вод.

Северный Тянь-Шань также является одним из наиболее высокосейсмичных регионов мира [54]. Здесь произошли такие разрушительные землетрясения (энергетического класса $K > 10$), как Меркенское 1865 г. ($K=15,5$), Беловодское 1885 г. ($K=16,5$), Верненское 1887 г. ($K=16,9$), Чиликское 1889 г. ($K=18,5$), Кеминское 1911 г. ($K=17,8$), Кемино-Чуйское 1938 г. ($K=16$), Сарыкамьшкое 1970 г. ($K=15,6$), Жаланаш-Тюпское 1978 г. ($K=15,6$) и Суусамырское 1992 г. ($K=17$) [5]. На территории Бишкекского геодинамического полигона самым сильным землетрясением 19-го века было Беловодское землетрясение 1885 г. [62,76].

Стабильным сейсмическим режимом на территории Бишкекского геодинамического полигона (БГП) характеризовался период с 2013 г. по декабрь 2015 г. По сравнению с 2012 г., в 2013-2014 гг. наблюдалось некоторое снижение общего количества землетрясений, однако наметился рост числа событий с энергетическим классом $K > 10$ (если в 2013 г. их было зарегистрировано 13, то в 2014 г. и 2015 г. их количество составило соответственно 15 и 24) [54,76].

В 2015 г. на территории, ограниченной координатами: $40-44^\circ$ с.ш. и $70-81^\circ$ в. д., произошло 24 события выше 10 класса, из них 16 событий с $K > 10$ имели место на значительном удалении от г.Бишкек (160-270 км.). Анализ полученных данных, характеризующих текущий сейсмический режим Бишкекского геодинамического полигона, позволил выявить устойчивый рост слабой сейсмичности на этой территории в 2015 г.

В непосредственной близости от Научной станции РАН в долине левого притока р. Аламедин – р. Чункурчак, на участке обильного проявления оползневых процессов сотрудниками станции проводились детальные структурно-геологические исследования, направленные на изучение тектонических и литологических факторов контроля оползней и неотектонической активности структур палеозойского фундамента (рис. 1.10).

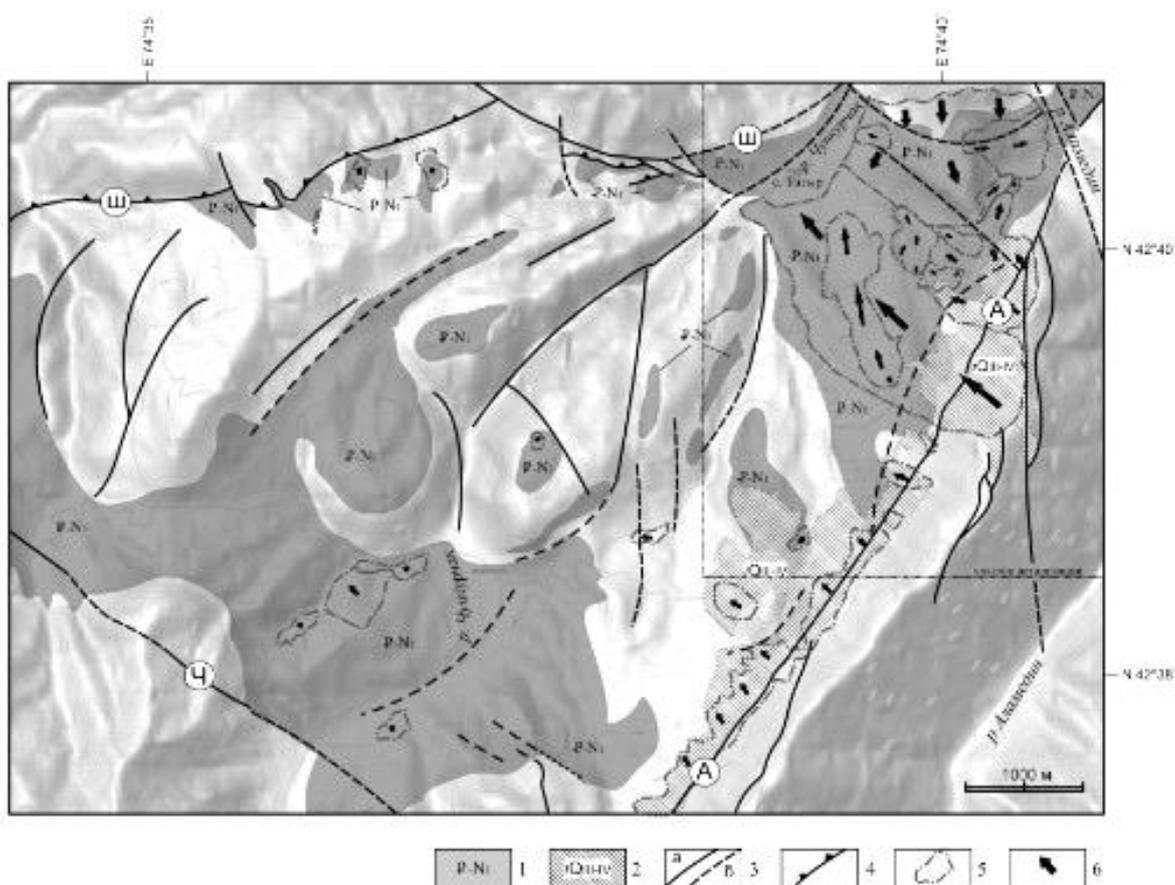


Рис. 1.10. Локализация и основные факторы геологического контроля оползневых процессов в долине Чункурчак (междуречье рек Аламедин и Ала-Арча)

1 – область распространения красноцветных песчано-глинистых отложений (четвертичный чехол снят); **2** – склоновые шлейфы тектонически дезинтегрированных ордовикских гранитов (тектоно-гравитационные микститы); **3** – крутопадающие разломы: достоверные (а) и предполагаемые (б); **4** – надвиги; **5** – направления и осредненные величины перемещения пород в оползнях. **6** – Главные разломы (буквы в кружках): А – Аламединский, Ч – Чункурчакский, Ш – Шекуленский [54].

В целом долина оконтуривает локальный прогиб поверхности преолигоценного пенеплена, на котором сохранились останцы олигоцен-

миоценовых отложений киргизской серии. В геоморфологическом плане этот участок отвечает изометричной котловине абразионного ледникового генезиса, осложненной врезами современных водотоков. Признаки масштабных разновременных оползневых процессов, которые приурочены к склонам котловины, отмечаются в окружении п. Татыр. Один из них – крупный оползень шириной до 500 м и длиной около 1,4 км. почти достигший западной окраины поселка, возник предположительно несколько десятков лет назад. Склон, на котором возник оползень, как и многие другие склоны в районе с. Татыр, обнаруживают геоморфологические признаки более ранних оползневых смещений со значительно большим объемом перемещенных масс.

Структурно-геологические исследования в долине р. Чункурчак позволили установить, что оползни в большинстве случаев проявлены на участках обнажения красноцветных отложений палеогенового возраста – киргизской и коктурпакской серий, сложенных глинисто-терригенными породами (рис. 1.5). Часто плоскость детачмента (разъединение, отщепление) оползневых тел совпадает с подошвой палеогеновых отложений – контактом с палеозойским фундаментом. Этому способствует наличие глинисто-карбонатных пород коры выветривания, развитой в основании чехла и маркирующей поверхность регионального предолигоценового пенеплена. Кроме того, базальные горизонты чехла часто являются водоносными слоями. Крупные оползни приурочены к участкам, где наклон контакта “фундамент-чехол” составляет $8-15^{\circ}$ и примерно совпадает с направлениями склонов рельефа. Необходимым условием крупных оползней является достаточная мощность осадочных пород, включая четвертичные рыхлые отложения (лессовидные суглинки, делювий), перекрывающие красноцветный палеогеновый комплекс. Более мелкие современные оползни (предположительно проявившиеся за последние 50 лет) с незначительным объемом и амплитудами перемещений отмечаются вдоль обрывистых врезом ручьев также преимущественно в области распространения палеогеновых красноцветов [54].

1.3. Анализ существующих механизмов возникновения и перемещения геомассы оползней

К настоящему времени многие исследователи приложили значительные усилия, чтобы определить взаимосвязь базовых характеристик оползней (таких, как схема их определения, тип, охват площади и объем). Исследовалось влияние на оползни таких характеристик, как уклон склона, его высота, диапазон уклона, экспозиция склона, а также конкретная площадь водосбора [5,73]. Также были осуществлены исследования особенностей поведения оползней на основе программного комплекса LANDSLIDEMODELLER [34,35,36,72]. Некоторые исследователи изучали взаимосвязь распространения оползней с такими факторами геосреды, как литология и морфология вмещающих горных пород: в Чеченской республике РФ подстилающими оползни породами являются покровные отложения четвертичного, неогенового и верхнепалеогенового комплексов, а также известняковые массивы нижнепалеогенового и мелового комплексов [43]. Также осуществлялись исследования по влиянию на возникновение оползней землетрясений, с их инициирующими факторами (такими, как магнитуда, интенсивность и пиковое ускорение грунта района землетрясения), а также наличие вторичных активных или неактивных разломов. Отдельным типом являются техногенные оползни, например, оползень на целиком техногенном объекте-терриконе угольной шахты (рис. 1.11) объемом 900 тыс. м³ геомассы, оползень в ДНР (рис.1.12).



Рис. 1.11. Техногенный оползень



Рис. 1.12. Террикон шахты 41 – бис и обрушение террикона шахты “Центральная” (ДНР, 2011)

Но существуют и оползни, возникшие на природном объекте, но уже под влиянием причин техногенного характера, как это было в Кыргызстане при отработке угольного месторождения Кара-Киче, на вершине Токсон-Теке (рис.1.13), где в 2019 г. из-за проведения довольно интенсивных взрывных работ, а также несоблюдения элементарных правил промышленной безопасности и других негативных факторов произошло появление многочисленных трещин, обусловивших разрушение скального массива и сход оползня, объемом 9000 тыс. м³ геомассы.



Рис. 1.13. Оползень на вершине Токсон-Теке

В результате статистического анализа были получены следующие результаты [51]:

1. Более 90% оползневых склонов имеют уклон более 20°. При этом оползни произошли в основном на горных и холмистых склонах, с уклоном от 20° до 35° (рис.1.14).

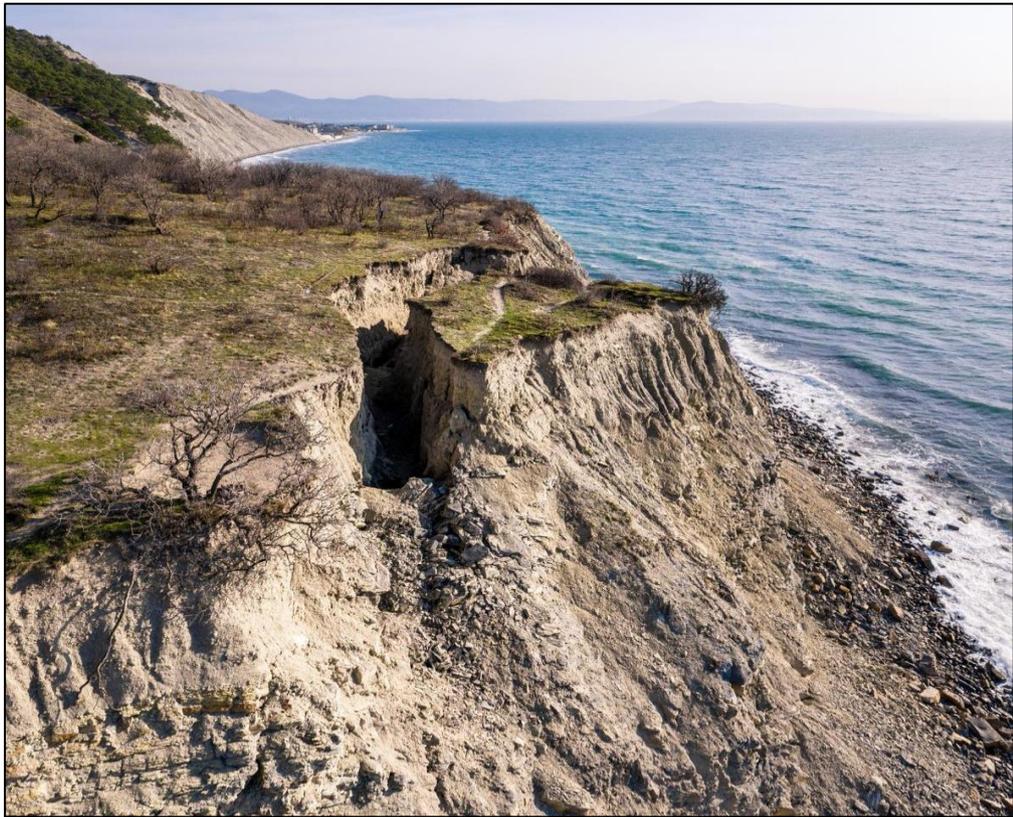


Рис. 1.14. Оползень на склоне горы Колдун (Новороссийск, 2019)

2. Оползни в основном происходили на горных участках с отметками менее 1200 м, относящихся к предгорьям с абсолютными высотами от 350 до 800 м (рис. 1.15) [34].



Рис. 1.15. Оползень длиной около 5 км и шириной до 1 км со склона горы Гузерибль (Адыгея, 2012 г.)

3. Оползни происходили преимущественно на горных склонах с протяженностью уклона от 200 до 400 м.

4. Количество оползней на горных склонах в северном направлении в 2 раза больше, чем на склонах в других направлениях. Так, в Чеченской республике было установлено, что более всего оползням подвергаются склоны с северо-восточной (16,08%), северной (15,44%) и северо-западной (14,59%) экспозициями [34]. Одним из возможных объяснений этого может служить меньшая солнечная освещенность и соответственно меньшее испарение влаги, приводящее к большему увлажнению северных склонов.

5. Количество оползней на горных склонах с расстоянием до разлома менее 0,5 км в 2 раза больше, чем на склонах других категорий.

6. Количество оползней на горных склонах с расстоянием до ручья менее 5 км в 3 раза выше, чем на склонах других категорий.

7. Не установлена четкая зависимость между оползнями и конкретной площадью водосбора.

8. Не выявлена четкая связь между оползнями и литологией.

Основным движущим фактором практически всех известных оползней является сила тяжести, действующая на участок оползнеопасного склона, находящегося вне равновесия. Поэтому первоначально за основу был принят механизм перемещения геомассы оползня на горном склоне только под влиянием сил гравитации. Но дальнейшие исследования показали, что силы гравитации не обеспечивают перемещения таких объемов геомассы и на такие расстояния.

В 2008 г. землетрясение силой 8.2 балла в Китае вызвало возникновение огромного оползня Дагуанбао (рис.1.16), в результате которого было перемещено более 1 км³ камней и разнообразных обломков. Этот геоматериал довольно быстро устремился вниз по склону горы, на расстояние более 4 км [88], а его площадь составила 7.2 км².



Рис. 1.16. Оползень Дагуанбао [88]

Многие исследователи приложили огромные усилия, чтобы понять, как и почему такие весьма большие геомассы оползней (как, например, Дагуанбао) могут перемещаться на довольно значительное расстояние.

В ходе осуществленных статико-теоретических исследований было установлено, что расстояние выбега оползня напрямую зависит от геометрических параметров склона возникновения и пропорционально его площади и объему (рис. 1.17).

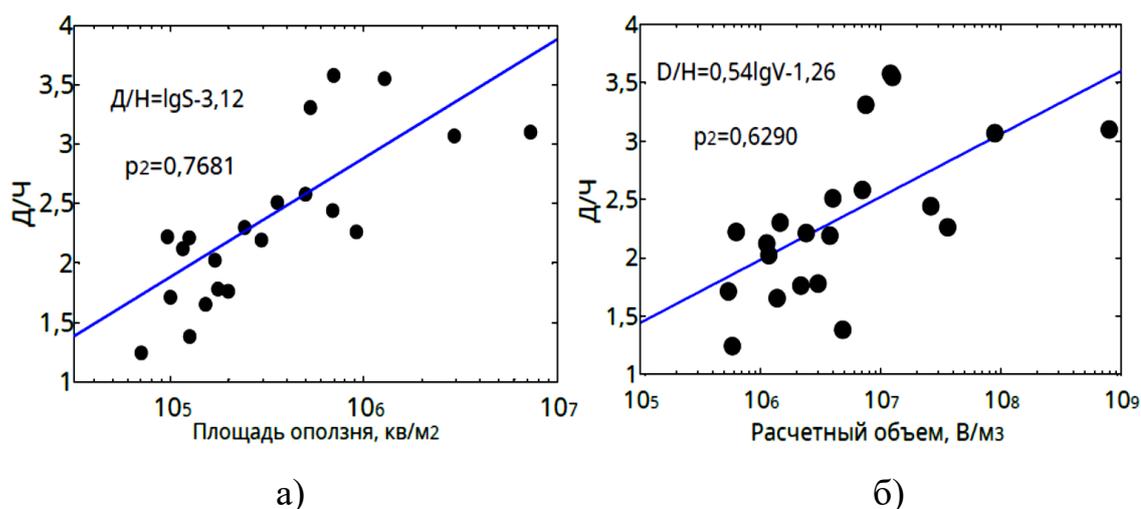


Рис. 1.17. Зависимость нормированного расстояния выбега от площади (а) оползня и объема (б) оползня [51].

Последующий обзор всех существующих моделей перемещения геомассы оползней позволяет выделить четыре их основные категории [51]:

- объемное псевдооживление и гидродинамический поток оползневых обломков (по типу селя);
- механизмы потери геомассы в сочетании с нормальным фрикционным скольжением;
- специальные формы смазки ложа оползня вдоль основания направляющих.

Так, исследователи установили, что возникающее трение между скользящим геоматериалом и устойчивой породой ложа оползня Дагуанбао нагрело динамически рекристаллизованный слой толщиной $\sim 0,1$ мм до более чем

850° С, что достаточно для того, чтобы началось разложение доломита [88]. А это обеспечило испарение углекислого газа из доломитовой породы, что помогло дополнительно снизить имеющуюся величину трения (коэффициент трения составлял $\mu \approx 0,05$). Одновременно высокие значения температуры и давления внутри оползня Дагуанбао вызвали перекристаллизацию перемещающихся пород: это создавало вязкий слой, который помогал смазывать ложе скольжения данного оползня. Эти два механизма, работающие совместно, позволили оползню Дагуанбао достичь скорости перемещения около 60 м/с.

Но кроме рассмотренных существуют и другие механизмы быстрого перемещения геомассы оползней. Примером мощных быстрых оползней, произошедших в результате возникновения землетрясений, служит Гиссарское землетрясение в Таджикистане, произошедшее 23 января 1989 г., нанесшее огромный ущерб этой республике и забравшее жизни 274 человек [26,97].

Предпосылки возникновения этого разрушительного, весьма быстрого оползня заключались в том, что к концу января 1989 г. в толще грунта высокого глинистого холма, у подножия которого располагался поселок Шарор, скопилось довольно много влаги [26,97]. И после первых колебаний земной коры, произошедших под действием землетрясения, верхушка этого холма сдвинулась и огромная (высотой в несколько метров и шириной в 2 километра) масса грязи и сырой глины, быстро набирая скорость, устремилась к его подножию, полностью разрушив поселок Шарор.

Селу Окули-Боло, располагавшемуся на некотором удалении от этого глинистого холма, повезло несколько больше [26,97]. Сорвавшийся вниз оползень из полужидкой глины при приближении к этому населенному пункту, уже существенно замедлил свою скорость, т.е. он не был столь катастрофичен. Тем не менее, здесь погибли 67 человек, а оползень разрушил большинство жилищ.

Итог стихийного бедствия, охватившего, территорию свыше 2100 км², был таков [26,97]: 274 человека погибли, десятки людей ранены и госпитализированы, разрушено почти 3000 домохозяйств, полностью

уничтожено около 2-х километров автомобильной дороги, убито тысячи голов скота, произошла деградация значительных площадей прилегающих сельхозугодий.

Такие быстрые оползни наблюдаются в разных частях мира. Так, один из самых больших рисков стихийных бедствий в мире являются быстрые глиняные оползни (рис. 1.18), механизм действия которых основан на проявлении физико-химических свойств так называемых “быстрых” глин. “Быстрая” глина встречается в основном в Норвегии и Швеции, но также встречается в некоторых частях Финляндии, России, Канады и Аляски.



а)



б)



в)

Рис. 1.18. Быстрые глиняные оползни: а) в Норвегии; б) в Крокнесе, недалеко от Альты; в) в Гердруме (2020 г.) [49]

Глина – это разновидность мелкозернистого природного почвенного материала, содержащего разнообразные глинистые материалы. Как правило, глины становятся пластичными во влажном состоянии из-за молекулярной пленки воды, окружающей частицы глины. “Быстрая” глина (также известная в Канаде, как глина Леда и глина Шамплейн-Си) представляет собой одну из нескольких, особо чувствительных к изменению условий окружающей среды, ледниково-морских глин. “Быстрая” глина (известная по-норвежски как kvikkleire) относится к особому типу глины, которая при перегрузке может в скоростном режиме разрушаться и разжижаться [97].

Так как быстрая глина изначально откладывается в морской среде, то частицы глинистых минералов (из-за наличия на их поверхности постоянных отрицательных зарядов и зарядов, зависящих от рН) оказываются всегда заряженными отрицательно. Из-за необходимости соблюдения электронейтральности и нулевого баланса электрических зарядов эти отрицательные электрические заряды всегда компенсируются положительными зарядами катионов (таких, как Na^+), адсорбированных на поверхности быстрой глины или присутствующих в ней [85]. При этом обменные катионы присутствуют в прослойках глинистых материалов и на внешних базисных плоскостях глинистых пластинок. Катионы также компенсируют отрицательные заряды на краях частиц такой глины, вызванные протолизом силанольных и алюминольных групп (зарядов, зависящих от рН окружающей среды). Кроме того, пластинки такой глины всегда окружены двойным электрическим слоем (ДЭС) или двойным диффузным слоем (ДДС), толщина которых, как правило, зависит от значения величины солености воды формирования данного геоматериала. В соленых условиях (при довольно высокой ионной силе) эти слои сжимаются и в дальнейшем разрушаются. Этот процесс существенно облегчает агрегацию пластинок глины, которые флокулируют и слипаются в более стабильную структуру агрегатов. После того, как морские отложения глины оказываются подняты на сушу и больше не подвергаются воздействию соленой воды, дождевая вода медленно проникает внутрь плохо уплотненного слоя

глины и избыток NaCl, присутствующий в такой глине начинает диффундировать. В результате электрические слои становятся менее сжатыми и начинают диффундировать. В результате электрические слои становятся менее сжатыми и начинают расширяться. Это приводит к более сильному электростатическому отталкиванию между отрицательно заряженными пластинками глины, которые гораздо легче диспергируются и образуют устойчивые суспензии в воде (явление пептизации). Этот эффект приводит к существенной дестабилизации структуры глинистых агрегатов. Такая глина становится настолько нестабильной, что, когда ее масса подвергается достаточному напряжению, то поведение этого геоматериала может резко измениться с поведения зернистого материала на поведение водянистой жидкости.

В результате, при недостаточном механическом уплотнении глинистого слоя и при сдвиговом напряжении более слабое сжатие ДЭС солями в подвижной глине приводит к отталкиванию глинистых частиц и их перестройке в более слабую и неустойчивую структуру. Необходимо отметить, что быстрая глина быстро восстанавливает исходную прочность при повторном добавлении соли (обеспечивающем сжатие ДЭС), что позволяет частицам такой глины восстанавливать высокую степень сцепления друг с другом.

С помощью рентгеновского дифрактометра были исследованы образцы быстрых глин крупных оползней Непала, для определения роли глинистых минералов в возникновении таких оползней [95]. Рентгеноструктурным анализом были выявлены иллит, хлорит и каолинит (как основные глинистые материалы в подстилающей геомассе оползней). Сравнение оползневой активности и типов глинистых материалов показывает, что оползни с подстилкой, содержащей иллит в качестве доминирующего компонента, оказываются более активными, чем оползни с небольшим содержанием иллита или без него в сочетании с хлоритом и каолинитом.

1.4. Понятие о наночастицах и нанотрубках

В настоящее время в мире происходит интенсивное развитие и переход к широкому использованию различных наночастиц во многих отраслях науки и промышленности.

Наночастицы это частицы с характерным размером приблизительно 1-100 нанометров, хотя бы по одному измерению (1 нанометр - это 1 миллиардная метра).

При этом в конце XX века окончательно стало очевидно существование определенной области размеров частиц вещества – область наноразмеров и что наноразмерный интервал строения материи все-таки имеет свои особенности, что на этом уровне вещество обладает иными свойствами, которые не проявляются в макромире [83]. И практически в ближайшие десятилетия благодаря интенсивному научно-техническому прогрессу нанотехнологии окажут огромное влияние большинству областей деятельности человеческого общества [83]. Самый простой вид современной нанопродукции – наночастицы. Измельчение до частиц размером в десятки или сотни нанометров придает материалам и процессам, связанным с ними, принципиально иные физико-механические свойства. Формальными признаками наночастиц является их преимущественно сферическая форма (рис. 1.19) и значения размеров (от 1 до 250-300 нм) [43].

К наночастицам можно отнести следующие наноразмерные объекты: крупные молекулы органических макроциклических соединений, нековалентные макроциклические структуры (катенаны, ротаксаны, узлы); молекулы полимеров и дендримеров; фуллерены, нанотрубки, наносферы, наноцилиндры, нановолокна, нанопроволоки, нанодиски, нанолуковицы и т.п. недавно открытый графен, лежащий в основе строения углеродных наночастиц, всевозможные комбинации из нанотрубок, фуллеренов и других наночастиц; ансамбли из наночастиц.

В 1991 году японский ученый Ииджима Сумио получил углеродные нанотрубки, отличающиеся от других по строению и свойствам. При этом,

принято считать, что они образуются путем сворачивания графеновых плоскостей в бесшовные трубки при высоких температурах.

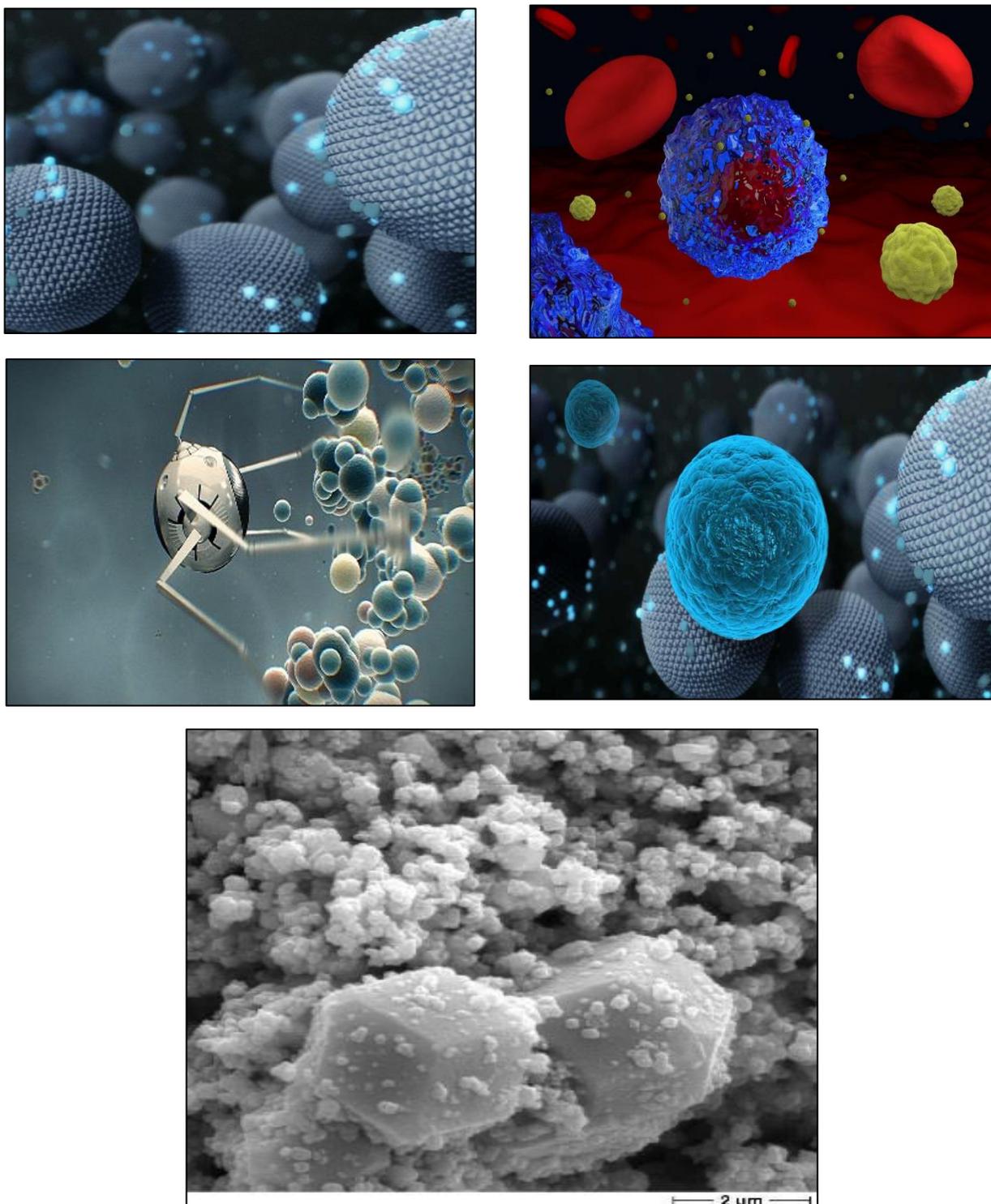


Рис. 1.19. Наночастица

Для нанотрубок характерен диаметр от одного до нескольких десятков нанометров (нм) и длина до нескольких сантиметров, свернутая из одного слоя

атомов углерода, как из листа бумаги. При этом углеродные трубки в 20 раз прочнее и в 10 раз легче стали [43].

Нанотрубка – это полая внутри молекула, состоящая из порядка 1 000 000 атомов углерода (или другого химического элемента, часто металла) и представляющая собой однослойную или многослойную трубку диаметром около нанометра и длиной несколько десятков микрон [18]. На ее поверхности атомы углерода расположены в вершинах правильных шестиугольников (рис.1.20) [43].

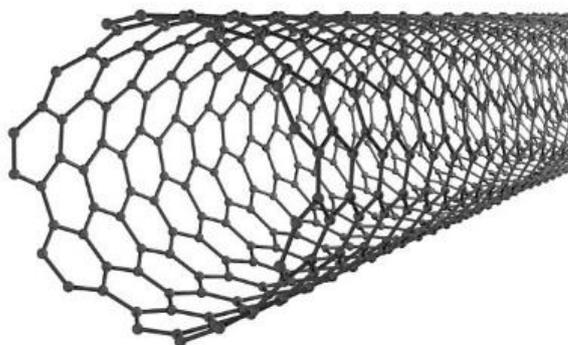
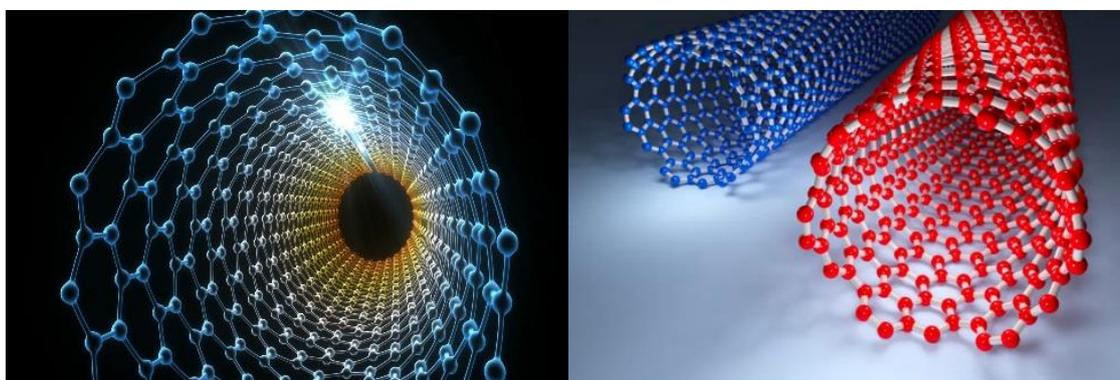


Рис. 1.20. Однослойная нанотрубка

Диаметр одностенных нанотрубок изменяется от 0,7 до 20 нм, а многостенных – от 1,4 до 100 нм, в то время как их длина обычно достигает нескольких микрометров [65].

Известный наименьший диаметр нанотрубки (0,714 нм) является диаметром молекулы фуллерена C_{60} [43].

Нанотрубки могут быть открытыми с двух или одной стороны, или заканчиваться полусферами, напоминающими половину молекулы фуллерена (колпачок). Причем наиболее реакционноспособные части нанотрубок – это их колпачки [44].

Многослойные нанотрубки резко отличаются от однослойных значительно более широким разнообразием форм и конфигураций. Причем разнообразие их структур проявляется как в продольном, так и в поперечном направлениях (рис. 1.21) [44].

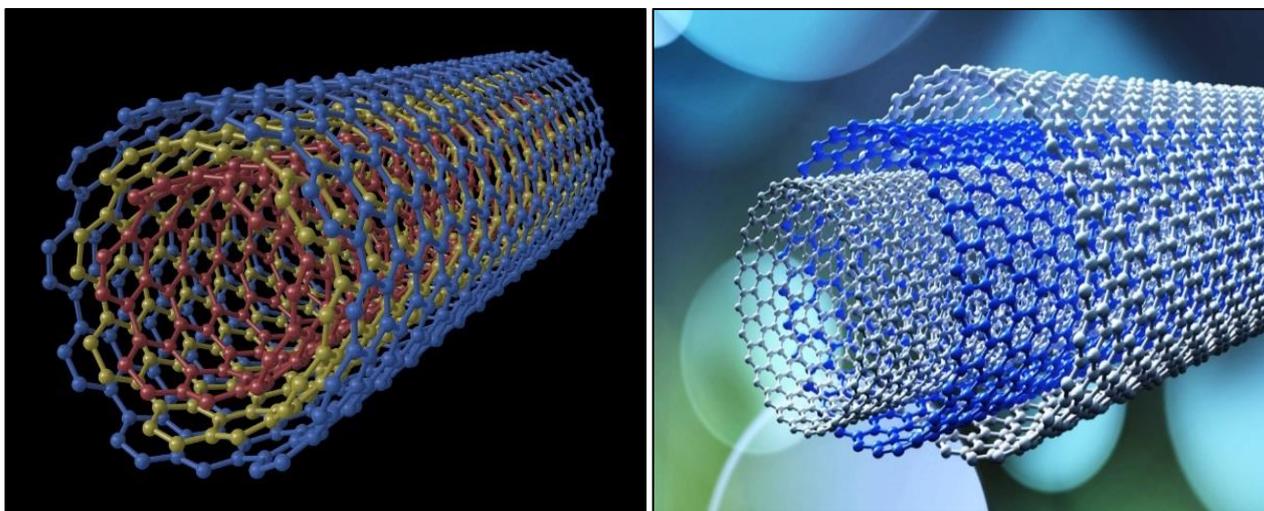


Рис. 1.21. Многослойная углеродная нанотрубка

Следует особо подчеркнуть, что к объектам исследований нанонауки относятся и ультрадисперсные системы: глины, аэрозоли, а также пленки жидкости на поверхности [43].

В настоящее время синтезируются и комбинируются различные типы наночастиц: как органические, так и неорганические, включая наночастицы углерода. В частности, установлена возможность заполнения внутренних полостей нанотрубок фуллеренами, бором, йодидом калия и т.д. Для таких сложных наночастиц разработана своя номенклатура.

Кроме углеродных, получены и разнообразные неуглеродные (неорганические) нанотрубки. Известные нанотрубчатые нитриды углерода и бора, а также оксиды, сульфиды, селениды и галогениды переходных металлов.

Среди полученных за последние 15-20 лет наночастиц известны структуры разной формы: наносферы, нанодиски, наностержни, нанолуковицы, нанопроволоки, нановолокна, наноленты, нанопленки и др. Все это многообразие еще более расширяется за счет многочисленных агрегатов из наночастиц.

1.5. Цель и задачи исследований

В настоящее время в различных геосферах Земли постоянно увеличивается количество и уровень природных и техногенных катастроф, зачастую приводящих к гибели значительного числа людей [46,68,74].

Так, одним из разрушительных по абсолютному количеству человеческих жертв являются опасные гравитационные явления [5,77] – оползни, лавины и др.

В результате опасных оползневых проявлений в мире в 1970-е годы погибло свыше 600, в 1990-е годы – почти 1000, а в последнее десятилетие – более 1000 в год [68].

Многочисленные и многолетние исследования оползневых процессов в мире показывают многофакторность и многогранность этого опасного процесса. При этом возникновение и активизация проявлений связана с такими природными фактами, как количество и продолжительность атмосферных осадков, современные движения земной коры и связанные с ними землетрясения.

Эти исследования показали, что основным движущим фактором практически всех известных оползней является сила тяжести, действующая на участок оползнеопасного склона, находящегося вне равновесия. Поэтому первоначально за основу был принят механизм перемещения геомассы оползня на горном склоне только под влиянием сил гравитации. Но дальнейшие детальные исследования показали, что силы гравитации не обеспечивают перемещение больших объемов геомассы на такие дальние расстояния, которые происходили на практике.

Поэтому целью работы является установление особенностей возникновения и перемещения протяженных глинистых оползней на основе влияния наночастиц.

Для достижения цели определены следующие основные задачи:

1. Выяснить основные инженерно-геологические условия формирования, развития и активизации оползневых процессов на склонах Северного Тянь-Шаня.
2. Изучить физико-химические свойства наночастиц и нанотрубок.
3. Провести новую интерпретацию роли глин в перемещении геомассы оползня.
4. Систематизировать оползни по типам.
5. Обосновать триггерные механизмы, воздействующие на оползни.
6. Обосновать механизм передвижения геомассы оползней на основе влияния наночастиц.

ГЛАВА 2

МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОТРУБОК

2.1. Современные методики и технологии поиска научной литературы по оползням

Слово “исследование” произошло от французского слова “recherché”, что означает путешествие или обследование. Исследование можно определить, как:

- Сбор, анализ и интерпретацию данных для поиска решения имеющейся проблемы.
- Тщательное, систематическое, терпеливое изучение в какой-либо области знаний, проводимое с целью обнаружения или установления фактов, или принципов.
- Процесс изучения предмета с разных точек зрения.
- Исчерпывающий поиск.

Методы научного исследования представляют научные способы познания и изучения явлений окружающей действительности. Однако в настоящее время в научной среде отсутствует четкое определение понятия “научный поиск информации” [64].

Научно-техническая информация, к которой относится и просто научная информация, представляет собой задокументированную информацию, возникающую в результате научного и технического развития [8,12,13].

Цель рассматриваемых методических рекомендаций заключается в том, чтобы обеспечить объективную идентификацию всего спектра информационных ресурсов, служащих для поиска научной литературы в области исследований оползней, проведении точного и достаточно полного информационного поиска по заданному направлению, а также в качественном отборе наиболее авторитетной и ценной профильной информации, для последующего ее использования при осуществлении диссертационного исследования автора.

Перед тем как начать искать необходимую научную информацию, необходимо определиться со стратегией поиска [14], которая напрямую зависит

от цели и предмета исследований, видов необходимых документов и специализированной информации, которую необходимо получить, хронологического, географического и языкового охвата, а также информационных ресурсов, в которых предполагается осуществлять этот поиск, и доступности необходимых материалов.

Работа над научной литературой начинается с составления ее библиографии – списка подлежащих обязательному изучению необходимых первоисточников, направление которых определяется тематикой исследования автора (проблемами оползней), их полного перечня, краткого научного описания, а также приведения по ним количественных показателей.

Защищаемые диссертации должны основываться на довольно значительном объеме профильной информации. Поэтому в списке литературы диссертации должны быть отражены не менее 120-140 источников (ориентир: 1 страница текста диссертации – 1 первоисточник литературы), с которых были заимствованы те или иные профильные сведения. При этом весьма важно, чтобы в тексте диссертации обязательно присутствовали ссылки и сноски на все эти фрагменты.

К числу подходящих источников информации обычно относят [47]:

- монографии;
- учебные пособия;
- научные статьи;
- тезисы и сборники научных трудов семинаров, круглых столов, конференций, симпозиумов, форумов, конгрессов и т.д.;
- депонированные и предпечатные рукописи;
- описания изобретений;
- методические рекомендации;
- ГОСТы и ТУ;
- Интернет – сообщения и пр.

В настоящее время Интернет является главным источником предоставления многочисленных электронных материалов и документов. При

этом численное количество электронных документов в Сети поддается лишь косвенным, при этом явно заниженным, оценкам. Так, по состоянию на 2005 г. число документов, проиндексированных только одной поисковой системой Yahoo, превысило 20 млрд. [70] из них 19,2 млрд. – были текстовые документы, 1,6 млрд. – различные изображения (фото и картинки) и около 50 млн. – аудио- и видеофайлы.

Понятие информационного поиска впервые было введено американским ученым К. Муэрсом, который заметил, что эта процедура обычно производится с целью удовлетворения информационной потребности пользователя, выраженной им в форме некоторого информационного запроса исполнителю. При этом информационный запрос является неким формализованным представлением, описанным в терминах естественного языка [78]. Объектами информационного поиска являются документы, сведения о них, факты, данные и определенные знания, наиболее полно отвечающие сделанному запросу (релевантность) и информационным потребностям (пертинентность) пользователя. Важное место в этом процессе занимают вопросы быстрого, непосредственного и полного удовлетворения информационных потребностей пользователя.

В процессе научной, а особенно образовательной деятельности весьма важной является работа с источниками необходимой информации (разного рода материалами и документами) [58]; поиск необходимых документов, их систематизация и классификация (в соответствии с поставленной с поставленной специализированной задачей), с последующим эффективным использованием.

Под регламентом (франц. Reglement, от regle – правило) поиска научной информации понимают совокупность четких правил [64], определяющих строго определенный порядок информационного поиска патентной информации.

Так, в частности, отбор источников информации для научного исследования должен опираться на использование 3 основных критериев [59]:

- репутация автора документа;
- репутация издательства / ресурса предоставляемой информации;

- степень интересности и полезности предоставляемой информации;

Методики поиска научной литературы включают в себя следующие основные методы.

Библиографический анализ первичных документов – это один из основных видов анализа, который подразумевает выделение наиболее существенных сведений о публикации [64] с целью получения ее характеристики и использования при поиске документов и информации.

Метод апперципирования предполагает поиск литературных источников, посвященных вопросам оползней, которые могли бы дополнить ход исследования автора принципиально новыми сведениями в этой сфере.

Дескриптивный метод базируется на поиске в литературных источниках ключевых (опорных) слов и словосочетаний (дескриптах), так или иначе использующих термин “оползень”, в их различном сочетании.

Метод конструкции основан на таких принципах поиска научной литературы, как научная оценка и толкование текста первоисточника, и заключается в целенаправленном отборе литературных источников, содержащих соответствующий материал, объясняющий базовые принципы для последующего включения его фрагментов в подходящие места осуществляемой работы (с обязательной номерной ссылкой на первоисточник).

Возможен поиск литературных источников по результатам их *аспектного анализа*, который предполагает исследование поставленной проблемы (для которой ищутся литературные источники) с помощью конкретной теории, трудов определенного автора (основоположника той или иной проблемы возникновения оползней), имеющую довольно высокую репутацию, определяемую индексом Хирша.

При этом необходимо отметить еще один важный критерий отбора наиболее значимых публикаций по теме исследования – это использование имеющейся в наукометрических базах данных количественной информации об импакт-факторах журналов (IF), представляющий формальный численный показатель той или иной важности научного журнала [59]. Суть импакт-фактора

состоит в том, что он показывает, сколько раз в среднем цитируется каждая опубликованная в журнале статья в течение 2-х последующих лет после выхода.

Поиск соответствующих связанных статей по определенной теме является сложным и трудоемким, особенно когда нет единого выбора ключевых слов для описания темы. Чтобы быстро найти, кто еще опубликовал точную тему статьи, у исследователей есть три варианта: выполнить новый поиск литературы, перейти по ссылке “связанные статьи” в таких базах данных, как PubMed, Web of Science (WOS) или Scopus, или проследить ссылки на статью и из нее.

Первоначально, причем весьма долгое время, одним из действенных инструментов поиска необходимой информации был непосредственный физический доступ к рукописям и книгам, находящимся в книжных хранилищах, когда исследователи, затрачивая значительное время, самостоятельно осуществляли “ручной” ее поиск [70].

В дальнейшем для решения этой проблемы были предприняты попытки определенной классификации и систематизации имеющейся в обществе информации [70] стали создаваться специализированные общедоступные библиотеки и читальные залы, в которые источники информации отбирались исходя из каких-то (не всегда и не во всем ясных) критериев.

В последующем для обеспечения поиска необходимой информации в читальных залах и библиотеках составляли особые картотеки: где сведения о документе (книге, журнале, статье и т.д.) записываются по определенной схеме на учетную карточку, туда же помещается информационный шифр – несколько букв и цифр, по которым при запросе определяют местоположение документа в библиотеке или читальном зале (хранилище, стеллаж и полка). Заполненные таким образом карточки расставляются в алфавитном порядке.

В настоящее время у исследователей имеется огромный арсенал, служащий для поиска необходимой научной информации [14] от привычных библиотечных каталогов до ультрасовременных поисковых платформ (с использованием искусственного интеллекта, таких как Semantie Scholar и Dimensions).

По мере дальнейшего накопления книг и журналов, а стало быть, и содержащейся в них информации, возможности традиционных методов “ручного” поиска, с использованием алфавитного (обеспечивающего поиск книги или статьи по известному имени автора) и систематического каталогов (поиск книги или журнала по определенному названию), перестали удовлетворять пользователей, прежде всего, научных работников [55], информационные потребности которых характеризуются не всегда четкостью осознания и выражения.

Существующую проблему дальнейшего повышения эффективности нахождения и отбора необходимой пользователю информации уже давно пытаются решить путем создания универсальных или специализированных информационно-поисковых систем [70]. Оказалось, что наиболее перспективным направлением развития информационного обеспечения научной деятельности являются электронные технологии, позволяющие оптимизировать и ускорить процесс поиска и отбора запрашиваемой информации [2]. В настоящее время научные сообщества наиболее развитых стран и регионов мира обладают достаточно мощными информационными системами, которые в той или иной степени соответствуют существующим потребностям исследователей в поиске, выборке и предоставления необходимой информации.

В частности, одним из наиболее распространенных и эффективных подходов к реализации информационных потребностей человечества является использование формулы “5W1H”, заключающейся в постановке 6-ти вопросов, на которые должен ответить пользователь, запросивший необходимую информацию [2]:

1. WHERE (Где?) – где работает потенциальный потребитель информации: в научно-исследовательском учреждении, на промышленном или сельскохозяйственном предприятии, в правительственном ведомстве и т.д.?
2. WHAT (Какая?) – какая информация представляет для него интерес: об окружающей среде, о конкурентах или внутренняя? Какого типа

- в исходном виде, ретроспективная, обобщенная, текущая или прогностическая?
3. WHO (Кто?) – кто выступает в качестве потенциального потребителя информации: исследователь, специалист (инженер, агроном и т.п.) или менеджер?
 4. WHY (Зачем?) – зачем требуется эта информация: для научного исследования, разработки, изучения, планирования или управления?
 5. WHEN (Когда?) – когда требуется запрашиваемая информация: немедленно, регулярно или по мере необходимости.
 6. HOW (Как?) – в каких видах и в какой форме требуется запрашиваемая информация в виде оригиналов, в машиночитаемом виде, подвергнутая предварительному научному анализу или другой обработке?

Дав ответы на эти вопросы, можно объективно описать основные принципы организации информационного обеспечения научной (включая научно-организационную, инновационную и т.п.) деятельности [2].

Необходимо отметить, что кроме традиционной функции научного поиска, заключающейся в предоставлении необходимой для обеспечения исследований профильной информации, современный инновационный поиск способен доставлять потребителю такие услуги, как генерирование принципиально новых идей, усовершенствование знаний по выбранной теме или оценка используемых методов и технологий.

2.2. Методика исследований свойств и прочность грунтов, слагающих оползнеопасные склоны

При изучении оползневых процессов в покровных отложениях, сложенных преимущественно лессовидными суглинками, необходимо значение прочностных, деформационных и реологических характеристик: модуль упругости ($E = \frac{\delta}{\varepsilon}$, где δ – это нормальное напряжение; ε – относительная

линейная деформация), модуль сдвига ($G = \frac{\tau}{\theta}$, где τ – касательное напряжение; θ – сдвига), коэффициент Пуассона ($\nu = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$; где ε_1 – поперечные деформации; ε_2 – продольные деформации), пористость n , число пластичности (β), влажность (μ) [5,86].

Обычно на грунты в горных склонах действуют как внешние силы, так и внутренние силы. При этом понятие напряжения используется для описания интенсивности внутренних сил, возникающих в горных породах под действием набора действующих внешних сил. [5]

Внешние силы, под действием которых протекают опасные геомеханические процессы в грунтах, подразделяют на поверхностные и объемные силы или массовые [5].

К поверхностным силам относят силы, действующие на оползневый склон в целом (тектонические, гидродинамические и т.д.). К объемным или массовым – силы, действующие на каждую материальную частицу и распределенные по всему изучаемому объему [5]. Наиболее надежным параметром объемных сил является собственный вес или гравитационная сила. Поэтому оползневые процессы часто называют гравитационными, так как основной силой, определяющей развитие оползня, является составляющая собственного веса оползневого тела, направленная параллельно склону. Под действием объемных сил в склонах развиваются упругие, нелинейно-упругие, пластичные и вязкие деформации [5].

Деформации в склонах развиваются под действием не только сил тяжести, но и сезонных колебаний температуры, набухания грунта растяжения при увеличении его влажности и сжатия при высыхании, при сейсмическом воздействии.

Грунты, как и все твердые тела, обладают прочностью, т.е. сопротивлением разрушению. Увязывая прочность с деформациями, можно отметить, что предел прочности – это такие напряжения τ , при которых грунты разрушаются при сдвиге, т.е. теряют сопротивление действующим сдвигающим

силам [5]. При этом разрушение грунтов происходит как при растяжении (обрушение), так и при сдвиге (оползня). Прочность грунтов определяется минералогическим и гранулометрическим составом, плотностью, влажностью, сейсмическими ускорениями и напряжениями, действующими в массиве. Сопротивление грунтов разрушению объясняется наличием сил притяжения между отдельными частицами, которые называют сцеплением [5,86] и углом внутреннего трения, являющимся коэффициентом пропорциональности между нормальными и касательными напряжениями.

Следовательно, сопротивление грунтов сдвигу или предельные касательные напряжения, при которых наступает разрушение грунта, определяются углом внутреннего трения, сцеплением и значениями нормальных напряжений, действующих на поверхность сдвига [5,86].

Прочность на всестороннее сжатие и угол внутреннего трения осадочных пород являются ключевыми параметрами, необходимыми для решения ряда актуальных геомеханических задач. При этом поля напряжений, действующие в горных породах, носят всесторонний сжимающий характер [45]. Но прочностные и деформационные свойства горного массива влияют как физико-механические свойства материала вмещающей породы, так и свойства различных структурных элементов, геологические особенности. Особое осложнение в горной породе, подверженной сжатию, связано с трением, возникающим между поверхностями микротрещин, которые являются местами зарождения разрушения.

Вода, находящаяся под давлением в швах, образующих блоки горных пород, снижает нормальное эффективное напряжение между поверхностями горных пород и, следовательно, снижает потенциальное сопротивление сдвигу, которое может быть мобилизовано трением.

Глинистые пласты могут размягчаться в присутствии грунтовых вод, снижая прочность и повышая деформируемость массива горных пород. Глинистые породы, такие как сланцы и аргиллитовые песчаники, также демонстрируют заметное снижение прочности материала после пропитки водой.

Механические свойства горных пород обычно измеряют статистическими и динамическими методами [5,86]. При этом многочисленные исследования различий между статистическими и динамическими методами показали, что статистические методы более прямые и реалистичные, тогда как динамические методы более просты и непрерывны [86].

Статические методы обычно проводятся в лаборатории со специальным испытательным оборудованием, которое содержит образцы горных пород в виде керна. Их лабораторные значения обычно определяются посредством трехосных испытаний на цилиндрических образцах, полученных с интересующего участка склона. При этом образцы пород непрерывно сжимаются до тех пор, пока не произойдет разрушение (рис.2.1).

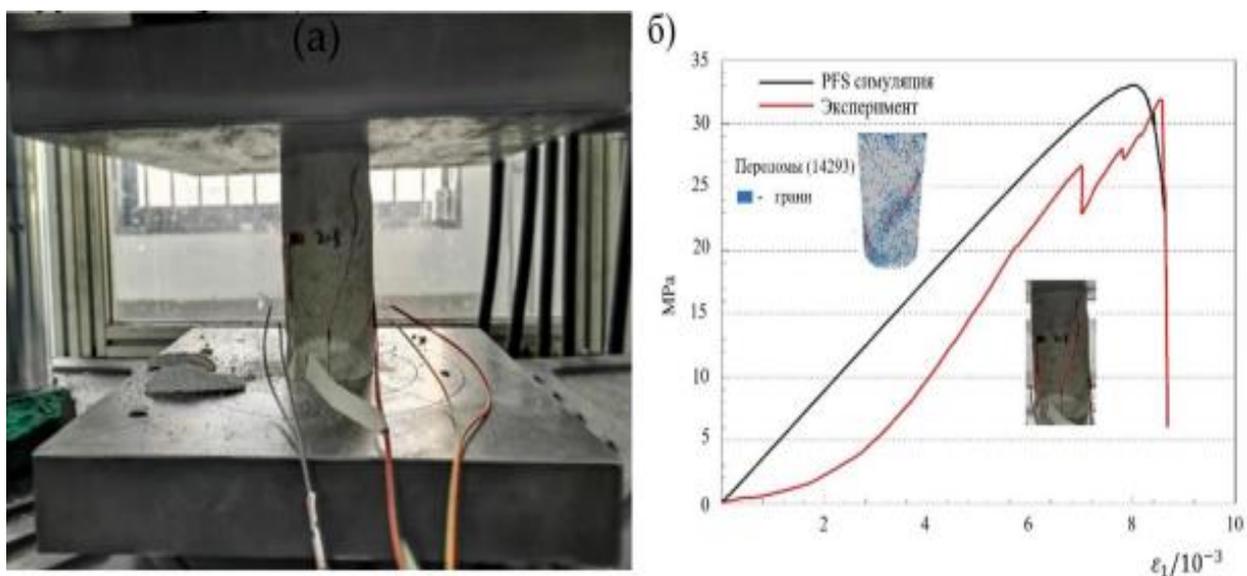


Рис.2.1. Реакции напряжения на деформацию песчаного аргиллита и модель разрушения [84]

а) стенд испытаний на одноосное сжатие; б) кривая напряжения – деформации

Кривые напряжения-деформации одновременно записываются с помощью компьютера, и из этих кривых могут быть получены механические параметры.

В качестве практического подхода к решению этих проблем был предложен ряд эмпирических соотношений, связывающих прочность горных пород с параметрами, измеряемыми с помощью геофизических каротажных

диаграмм. Использование таких соотношений зачастую является единственным способом оценки прочности во многих ситуациях из-за отсутствия образцов, необходимых для лабораторных испытаний.

В основе этих отношений лежит тот факт, что многие из тех же факторов [89], которые влияют на прочность горных пород, также влияют на другие физические свойства, такие как скорость, модули упругости и пористость.

Как правило, соотношение между прочностью и физическими свойствами для конкретной горной породы разрабатывается на основе калибровки посредством лабораторных испытаний на образцах горных пород с данного участка склона. Если нет доступных образцов керна для калибровки, следующим лучшим выходом будет использование эмпирических соотношений прочности, основанных на измеримых физических свойствах.

Почти все рекомендованные формулы для определения прочности горных пород по геофизическим каротажам используют один (или несколько) из следующих параметров [89]:

- Скорость Р-волны (V) или, что является тем же самым, что интервальный транзит время ($\Delta t = V \cdot \Delta l$), которая измеряется непосредственно;
- модуль (E), который получается из измерений скорости и плотности;
- пористость (ϕ), которая обычно получается из измерений плотности, предполагающих плотность скелета горной породы и флюидов.

2.3. Лабораторные методы исследования физико-химических свойств наночастиц

Для изучения наноэффектов (как в поверхностных слоях, так и в объемах наночастиц) используется весьма широкий спектр инструментально-аналитических методов [87,93]: оптическая эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (ICP - OES), инфракрасная спектроскопия с преобразованием, Фурье (FTIR), Рамановская спектроскопия, порошковая X – спектроскопия дифракции лучей (XRD), рентгеновская фотоэлектронная (XPS)

спектроскопия, рентгеновская абсорбционная спектроскопия (XAS), электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), сканирующая электронная микроскопия (SEM) (рис. 2.2) [93] просвечивающая электронная микроскопия (HR - TEM), сканирующая просвечивающая электронная микроскопия (STEM), атомно-силовая микроскопия (AFM), энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (EDX), высокоугольное кольцевое темное поле (НАЛДФ), спектроскопия потерь энергии электронов (FELS), расширенное рентгеновское излучение, абсорбционный анализ тонкой структуры (EXAFS), термогравиметрический анализ (TGA) и температурно-программируемая десорбция (ТРД), восстановление (TPR) и окисление (TPO) и др. [93].

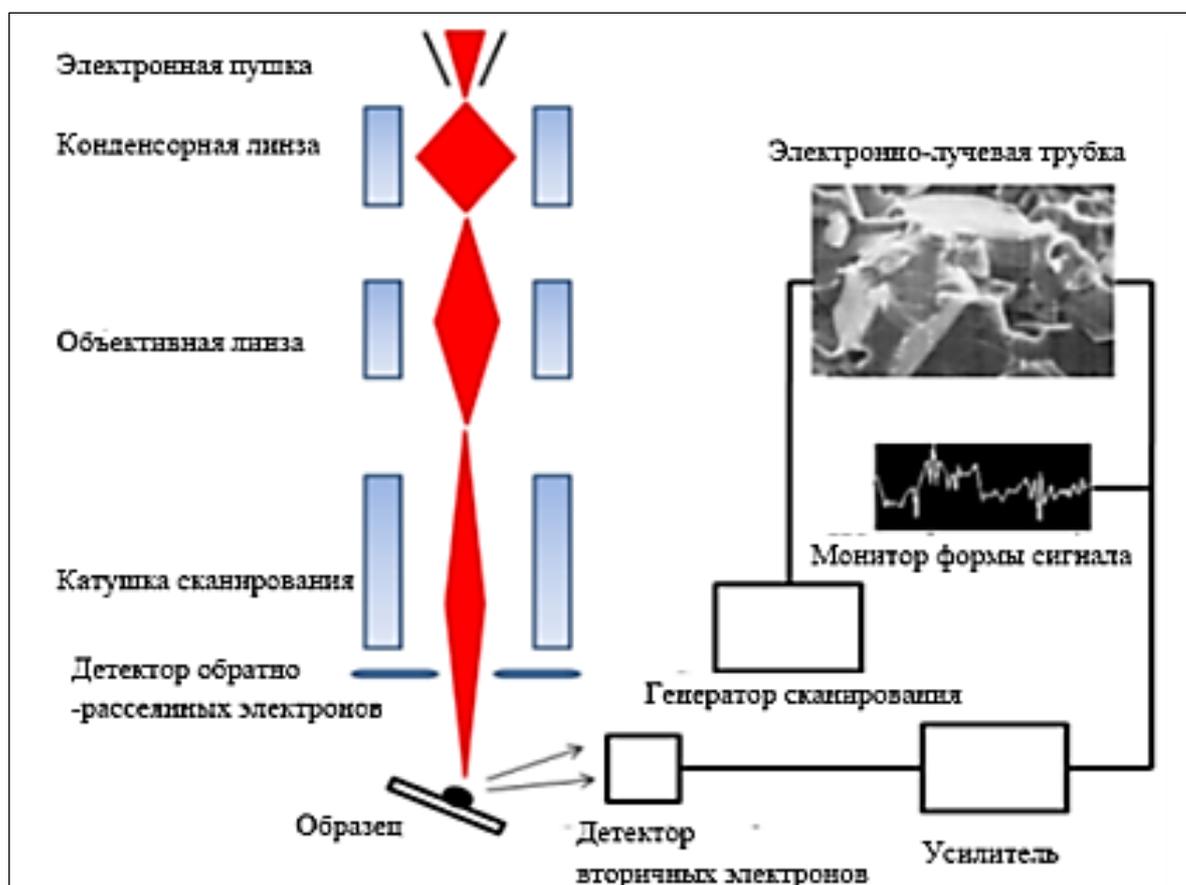


Рис. 2.2. Схематическая диаграмма сканирующей электронной микроскопии [93]

Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ) и атомно-силовая микроскопия (АСМ) являются основными методами, используемых для прямой

визуализации существующей морфологии и структуры поверхности нанокатализаторов.

Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS) – это поверхностно-чувствительный метод, который широко используется для характеристики химического состояния и состава элементов, присутствующих на поверхности нанокатализаторов [93].

В результате использования подобных инструментальных подходов был достигнут значительный прогресс в исследовании характеристик нанокатализаторов, причем находящихся в их рабочем состоянии, а не просто до или после протекания каталитической реакции (как это было раньше) с более широким пониманием того, что собой представляют нанокатализаторы, которые часто реструктурируются под влиянием химической реакции [16,93].

2.4. Топологические методы описания поверхностных наночастиц

С ростом доступности наночастиц в различных прикладных областях использования все более важным становится описание топологии их поверхности [15,22,31,33,40,63]. Для решения этой проблемы в настоящее время существуют 2 различных подхода. Во-первых, плотная обработка поверхности в трехмерном пространстве (рис. 2.3) и во-вторых, обработка геометрии поверхности в пространстве изображений на основе специального математического аппарата.

Необходимо отметить, что современные методы микроскопии позволяют создавать изображения отдельных наночастиц, чтобы охарактеризовать их форму, размер и местоположение. При этом в нанотехнологиях электронная микроскопия и сканирующая зондовая микроскопия являются доминирующими методами.

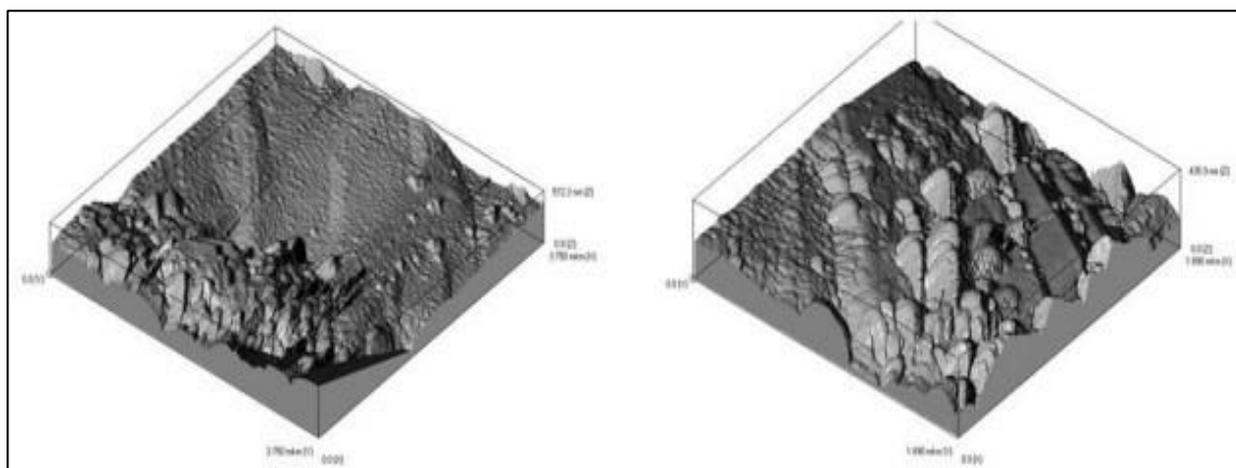


Рис. 2.3. Наноповерхность золотосодержащих препаратов

Однако точная топология поверхности наночастиц (особенно трехмерного анализа), на основе этих технологий и приборов, не всегда достижима. Поэтому для характеристики топологии поверхности наночастиц применяют другие инструментально-аналитические методы, в совокупности со специальным математическим аппаратом.

Так, метод малоуглового рассеяния в геометрии отражения позволяет топологически изучать шероховатые поверхности наночастиц. Это обусловлено тем, что длинноволновое мягкое рентгеновское излучение существенно ограничивает проникновение в тонкий поверхностный слой наночастицы, а обеспечивая перемещение рассеянного пучка электронов достигают предотвращения затенения различными выступающими элементами ее поверхности.

Метод математической топологии имеет 120-летнюю историю, начиная еще от фундаментальной работы А. Пуанкаре об устойчивости Солнечной системы, как качественного инструмента для изучения динамики дифференциальных уравнений, существующих без явных формул для ее решения. Однако в последние несколько лет наблюдается бурное развитие инструментов топологического анализа больших данных, которые открывают новые приложения для топологии, в частности – для объективного изучения наночастиц. При этом топологические свойства наночастиц заключают в себе

важные качественные признаки, например, род их поверхности, количество компонентов связности, что в результате дают основополагающие характеристики, важные для классификации.

Топологические поверхности обладают специфической информацией, такой как риманова метрика или наличие сложной структуры, которая связывает их с другими дисциплинами и разделами математики, такими как дифференциальная геометрия и комплексный анализ. Так, в приближении к наночастицам топология – это абстракция некоторых геометрических свойств, таких как непрерывность и близость.

При этом геометрия придает конкретный ландшафт топологическим наноструктурам, а математические алгоритмы предлагают реальные средства для их построения даже на уровне сложности, превышающем порог, необходимый для практических приложений. Помимо этих очевидных взаимосвязей, существует и симбиотическая близость между геометрией и высшей математикой, используемой для получения топологической информации. Показательно, что разработка этих весьма важных областей восходит к работам одного и того же выдающегося математика аль-Хорезми.

Математическая модель поверхности наночастицы базируется на постулате, что ее рельеф (шероховатость) является результатом врожденных топологических ограничений. При этом для представления геометрии поверхности в технологиях 3D требуются специальные дескрипторы, фиксирующие локальную геометрию вокруг заданной точки или вершины сетки, технология использования которых является вычислительно весьма сложной задачей, т.к. необходимо обработать несколько миллионов таких точек. Каждая такая точка представляет собой топологический элемент специфических данных. Более эффективным (с вычислительной точки зрения) математическим подходом является научный анализ трехмерных поверхностей в пространстве изображений. Таким образом, целесообразно обеспечить цифровое представление поверхности наночастиц. Основная идея при этом состоит в том,

чтобы для каждой точки поверхности в определенной последовательности создается запись топологической особенности в этом пространстве.

В таких математических подходах 3D-поверхность сначала сопоставляется с картой глубины, которая представляет собой поле высот поверхности. При этом основное внимание уделяется математическим подходам к определению релевантности топологических признаков по отношению к топографии поверхности наночастицы.

Описанную идеологию в первом приближении можно представить в виде следующего математического выражения, когда объемная волновая функция имеет топологически нетривиальную конфигурацию:

$$\mu(B(x, r)) \geq \min(ar^b, 1)$$

$$\text{при } x \in X_\mu \text{ и } r > 0$$

где: (a, x, r) представляют набор всех вероятностных мер, удовлетворяющих стандартное предположение о геометрическом пространстве (p).

Кроме того, имеется возможность соотношения полученных экспериментальных (на основе инструментально-аналитических приборов) и теоретических (на базе существующих топологических методов и алгоритмов) данных с существующими топологическими базами данных (коллекции TOPOS, TTD, ТТО, ТТR, и TTL, базы данных RCSR и EPINET), включающих в себя свыше 70000 топологических типов сетей, которые могут встречаться в расширенных нанокристаллических архитектурах, а также в молекулярных кристаллах.

Таким образом, рассмотренные топологические подходы имеют решающее значение для таксономии получаемой экспериментальной информации о свойствах и состоянии поверхности наночастиц.

И наконец, имеющаяся приборная база в совокупности с используемыми известными математическими методами, применяющие модели с

сосредоточенными параметрами, а также модели с распределенными параметрами, позволили установить предварительный вывод о том, что описание топологии поверхности наночастиц становится все более важным и необходимым этапом исследований.

Данный комплекс аналитическо-исследовательского оборудования входит в состав лабораторий Ляонинского нефтяного и химического технологического университета (КНР) и РУДН (РФ) [93].

2.5. Определение физико-химических свойств нанотрубок

Нанотрубка представляет собой полую внутри молекулу, состоящую из порядка 1.000.000 атомов углерода (или другого химического элемента, часто - металла) и представляющую однослойную трубку диаметром около нанометра и длиной в несколько десятков микрон [7,11,17,19,23,42,66,67]. Эти нанотрубки представляют собой цилиндрические структуры, образованные гексагонально собранными атомами углерода или других химических элементов. На их поверхности атомы углерода расположены в вершинах правильных шестиугольников.

Методологической основой данного исследования являлись работы российских и зарубежных исследователей в области изучения строения и физико-химических свойств нанотрубок. Кроме того, были использованы современные, весьма точные, приборно-аналитические методы исследования, а интерпретация полученных данных была осуществлена с использованием математических методов социально-статистической обработкой данных [20].

Углеродные нанотрубки (УНТ), представляющие длинные (их длина составляет от 0.2 до нескольких мкм, внешний диаметр колеблется от 2 до 100 нм, а внутренний – от 1 до 3 нм), цилиндрические углеродные образования, впервые, совершенно неожиданно (теоретики их существование не предсказывали), были обнаружены Сумио Иидзимой в 1991 г. Эти наноматериалы состоят из однослойных или многослойных листов графена, образующего небольшие цилиндрические или сферические структуры, и в зависимости от условий их синтеза могут иметь различные размеры и диаметры.

Для всех приведенных структур характерно значение расстояния между соседними графитовыми слоями, близкое к величине 0.34 нм, присущей расстоянию между соседними плоскостями кристаллического графита [7].

Существует 2 вида углеродных нанотрубок: одностенные нанотрубки (ОСНТ) и многостенные нанотрубки (МУНТ).

Нанотрубки могут быть открытыми с 3-х или одной стороны, или заканчиваться полусферами, напоминающими половину молекулы фуллерена (колпачок). Причем наиболее реакционноспособные части нанотрубок – это их колпачки [23].

Многослойные нанотрубки резко отличаются от однослойного значительно более широкого разнообразия форм и конфигураций. При чем разнообразие их структур проявляется как в продольном, так и в поперечном направлениях [23].

С точки зрения химической активности тело УНТ можно разделить на две главные зоны [7]: торцы и боковые стенки. Благодаря этим особенностям и довольно большой площади поверхности, значительной химической стабильности и богатой электронной полиароматической структуре УНТ способны адсорбироваться или конъюгировать с широким спектром молекул.

Процедуру функционализации УНТ, осуществляемой в зависимости от природы молекулы, связанной с углеродной нанотрубкой, необходимо разделять на 2 основных подхода [66,67], а именно ковалентное присоединение (образование химической связи) и нековалентное присоединение (физическая адсорбция).

Также необходимо отметить, что нанотрубки характеризуются значительным разнообразием форм [64]: большие и маленькие, однослойные и многослойные, прямые и спиральные; уникальной прочностью, демонстрируют целый спектр самых неожиданных электрических, магнитных, оптических свойств.

Проведенные исследования показали, что нанотрубки обладают довольно уникальными механическими свойствами (табл.2.1).

Таблица 2.1 – Физико-механические характеристики углеродных нанотрубок

Модуль упругости Юнга	1000 – 1400 ГПа
Предел прочности на разрыв	30 – 100 ГПа
Теплопроводность вдоль трубки	6000 – 7000 Вт/(м·К)
Электросопротивление при 300 К	$10^{-4} - 3 \cdot 10^{-5}$ Ом·см
Максимальная пропускаемая плотность тока	$10^7 - 10^9$ А/см ²
Удельная поверхность открытых однослойных нанотрубок	Более 1000 м ² /г

Так, модуль упругости, измеренный вдоль продольной оси трубки, достигает $70 \cdot 10^5$ МПа [41]. Для сравнения: у легированной стали он равняется $2,1 \cdot 10^5$ МПа, а у наиболее упругого металла иттрия – $5,2 \cdot 10^5$ МПа. Кроме того, однослойные нанотрубки имеют высокую (до 16%) эластичность, т.е. способность оказывать влияющей на них силе механическое сопротивление и принимать исходное состояние после ее снятия.

Так, например, нить из нанотрубок толщиной в 1 мм, может выдержать груз до 20 т. Если воздействовать на этот наноматериал механическим напряжением, превышающим критическое, то получается очень необычный результат: нанотрубки не ломаются и не рвутся, а неким образом перестраиваются.

При этом 2-слойную углеродную нанотрубку можно использовать в качестве цилиндрического подшипника на уровне нано-: если внешнюю часть такой нанотрубки заставить вращаться, а внутреннюю часть оставить неподвижной, то можно получить подшипник скольжения, в котором силы трения довольно слабые, т.к. поверхность скольжения является атомно-гладкой.

Кроме того, было обнаружено, что углеродные нанотрубки, как углеродный материал с чрезвычайно высокими механическими свойствами, также обладают свойствами электростатистического и электромеханического срабатывания при приложении потенциала в присутствии электролита. Это

обусловлено тем, что если хотя бы один слой их материала (например, графена) представляет собой полупроводник с нулевой запрещенной зоной, то однослойная нанотрубка может быть либо проводником, либо полупроводником [17].

2.6. Выводы по главе

1. Разработаны методические рекомендации по обеспечению объективной идентификации всего спектра информационных ресурсов, служащих для поиска научной литературы в области исследований оползней, проведением точного и достаточно полного информационного поиска по заданному направлению, а также в качественном отборе наиболее авторитетной и ценной профильной информации, для последующего его использования при осуществлении исследований.

2. Описаны основные механические свойства грунтов, слагающих оползневые склоны и методы их определения в лабораторных и натуральных условиях. Предложены формулы для определения прочности горных пород по геофизическому каротажу, при отсутствии образцов, необходимых для лабораторных испытаний.

3. Приведен широкий спектр инструментально-аналитических методов для изучения наноэффектов, который включает: оптическую эмиссионную спектроскопию с индуктивно-связанной плазмой (ICP - DES), инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье (FTIR), Рамановская спектроскопия, порошковая X-спектроскопия, дифракции лучей (XRD), рентгеновская фотоэлектронная (XPS) спектроскопия, рентгеновская абсорбционная спектроскопия (XAS), электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), сканирующая электронная микроскопия (SEM), просвечивающаяся электронная микроскопия (HR - TEM), сканирующая просвечивающаяся электронная микроскопия (STEM), атомно-силовая микроскопия (AFM), энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (ЕДХ), высокоугольное кольцевое темное поле (НАЛДФ), спектроскопия потерь энергии электронов

(EELS), расширенное рентгеновское излучение, абсорбционный анализ тонкой структуры (EXAFS), термогравиметрический анализ (TGA) и температурно-программируемая десорбция (ТРД), восстановление (TPR) и окисление (ТПО).

4. Обоснованы топологические методы описания поверхности наночастиц, которые основаны на 2-х различных подходах: во-первых, плотная обработка поверхности в трехмерном пространстве и во-вторых, обработка геометрии поверхности в пространстве изображений на основе специального аппарата. Эти подходы имеют решающее значение для таксономии получаемой экспериментальной информации о свойствах и состоянии поверхности наночастиц.

5. Определены физико-химические свойства нанотрубок. Проведенные исследования показали, что нанотрубки обладают довольно уникальными высокими механическими свойствами. При этом, 2-х слойную углеродную нанотрубку можно использовать в качестве цилиндрического подшипника на уровне нано: если внешнюю часть такой трубки заставить вращаться, а внутреннюю часть оставить неподвижной, то можно получить подшипник скольжения, в котором силы трения довольно слабые, т.к. поверхность скольжения является атомно-гладкой.

ГЛАВА 3

ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРЫХ И ПРОТЯЖЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ОПОЛЗНЕЙ

3.1. Типизация оползней

Оползни в Тянь-Шане являются одним из сложных компонентов геологической среды. Их возникновение и перемещение зависят от множества природных и техногенных факторов, и поэтому они классифицируются и систематизируются по большому количеству разнообразных признаков [26,34,36,37].

Оползень представляет собой весьма опасное природное и техногенное геоморфологическое явление, обычно проявляющееся на горной и холмистой местности, а также речных, озерных и морских (прибрежных) обрывах, и заключающееся в смещении довольно значительных масс (объемов) горных пород вниз по склону под воздействием собственного веса и дополнительной нагрузки, вследствие подмыва склона его расположения, а также сильного переувлажнения геомассы, сейсмических толчков и иных природных процессов.

Основной причиной образования оползней обычно является нарушение сложившегося равновесия между сдвигающей силой тяжести (обусловленной гравитацией) и удерживающими силами (трения). Как правило, оно вызывается [10]:

- увеличением крутизны оползнеопасного склона (в результате его подмыва водой);
- ослаблением прочности массива горных пород (геомассы), происходящее при выветривании или переувлажнении атмосферными осадками и подземными водами;
 - воздействием сейсмических толчков;
 - строительной или хозяйственной деятельностью человека.

Обычно оползни возникают на крутых склонах долин (рис. 3.1) или речных берегов, в горах и холмах, на обрывистых берегах морей и т.д., а самые грандиозные – на дне морей и больших озер (Байкал и др.).



Рис. 3.1. Тело крупного оползня глетчерного типа, заполнившего русло ручья во французских Альпах [39]

Смещение крупных масс земли, глины или другой горной породы по склону рельефа местности или клифу вызывается в большинстве случаев их смачиванием дождевой водой или подземными водами так, что геомасса становится более подвижной и тяжелой [39]. В результате величина силы трения, обеспечивающей сцепление грунтов или горных пород на склонах гор и холмов,

а также берегов рек, озер и морей, оказывается несколько меньше силы их тяжести, и из-за чего эта геомасса горной породы приходит в движение.

Оползни могут вызываться также разрушающей деятельностью моря (морских волн, прибоя).

По мощности оползневого процесса, т.е. вовлечению в движение масс горных пород, оползни делятся на (рис.3.2): малые – 10 тыс.м³, средние – 10 – 100 тыс.м³, а также очень крупные – свыше 1000 тыс.м³.

По происхождению пород, слагающих оползнеопасные склоны, оползни можно разделить на глинистые, каменные и смешанные (рис.3.2). При этом, практика показывает, что оползни в глинистых породах развиваются гораздо чаще, чем в каменных. Это связано с прочностными характеристиками пород, их деформационными и реологическими свойствами. Прочностные и деформационные показатели каменных пород значительно выше, чем у глинистых, как связанных, так и слабосвязанных. Однако в каменных породах возникают оползни при наличии плоскости ослабления различного происхождения.

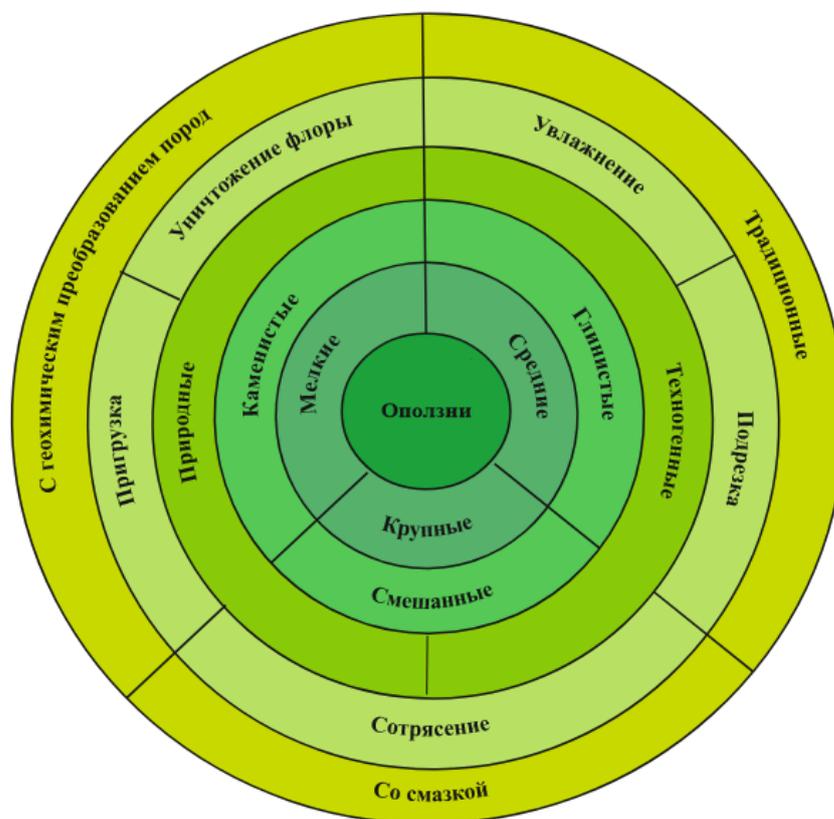


Рис. 3.2. Типизация оползней

Оползни возникают под действием различных факторов, которые можно подразделить на нерегулируемые и регулируемые, т.е. природные и техногенные (рис.3.2). Из них следует выделить постоянно действующие факторы, такие как геологическое строение, состав пород, геоморфология, и изменяющиеся, к которым относят климат, гидрогеологический режим, тектонические движения, сейсмичность, свойства пород, геомеханические особенности.

Значительную роль в возникновении оползней играет и хозяйственная деятельность человека. Глубокая подрезка склона при строительстве линейных сооружений, пригрузка оползнеопасных склонов размещенными на них промышленными отходами, увлажнение техническими водами шахт или при поливе сельскохозяйственных угодий – все это приводит к нарушению равновесия склонов и возникновению оползней (рис.3.2).

На устойчивость оползнеопасных склонов влияет растительность. Уничтожение флоры на склонах может служить причиной возникновения оползней.

Землетрясения – высокочастотные колебания и сотрясения земной поверхности, являются одним из определяющих факторов образования оползней в горно-складчатых областях, к которым относится и Кыргызстан [5].

Значительные по своему объему оползни (рис.3.3), возникающие в результате гравитационного перемещения грунтов и других геоматериалов вниз по рельефу местности, обуславливают существенные изменения и деградацию земной поверхности [91]. Они весьма негативно, а порой даже и катастрофически, воздействуют на многие элементы не только антропогенной, но и природной среды – на русла и берега рек, ручьев и других водоемов, на леса и луга, субэральные и подводные поверхности, среду обитания различных представителей флоры и фауны (как на суше, так и под водой) и т.д.

В результате, объем грунта и горных пород, мобилизуемых при оползне, может варьироваться от небольшого отдельного валуна до миллионов, а в редких случаях – даже и миллиарда кубических метров, являясь довольно

значительными. Как правило, потенциальная разрушительная сила оползня зависит от объема мобилизуемых масс и их скорости.



Рис. 3.3. Гигантский склоновый оползень

Поверхность, по которой оползень отрывается и перемещается вниз, называется поверхностью скольжения или смещения, по ее крутизне различают оползни [94]:

- очень пологие (не более 5°), например, подводные;
- пологие ($5^\circ - 15^\circ$);
- крутые ($15^\circ - 45^\circ$);

По глубине залегания поверхности скольжения различают оползни [39]:

- поверхностные (не глубже 1 м) – оплывины, сплавы;
- мелкие – до 5 м;

- глубокие – до 20 м;
- очень глубокие – глубже 20 м.

Оползни могут быть мелкими (это наиболее частое явление в геологической среде), от первых метров мощности сдвигающего геомассива, и глубокими (рис.3.4).



а)

б)

Рис. 3.4. Мелкий песчаный оползень на дюне (пустыня Намиб) (а); глубокий оползень на горе в Сехаре (Кихо, Япония), вызванный проливным дождем тропического шторма (б)

Оползни также могут происходить в условиях выпадения и оттаивания снега (рис.3.5) или оттайки многолетнемерзлых пород (рис.3.6). В таких условиях бентонитовые горизонты, из-за ледового сопротивления, деформации склонов и бортов долины или прогрессирующего разрушения, часто подвергаются предварительному сдвигу до достижения остаточного трения.



Рис. 3.5. Оползень в озерно-ледниковых отложениях, Чарн-Крик, Британская Колумбия (ширина 1 км.) [69]



Рис. 3.6. – Оползень на территории оттайки многолетней (“вечной”) мерзлоты (регион Маккензи, Северо-Западные территории, Канада) [58]

Кроме того, известен Батагайский кратер (рис. 3.7), образованный в 1960-х годах плоским термокарстовым оползнем (длиной более 1 км и глубиной до 800 м, увеличивающийся примерно на 30 м в глубину и 15 м в длину в год) в районе хребта Черского в Верхоянском (Якутия).



Рис. 3.7. Батагайский термокарстовый плоский оползень

Также были осуществлены исследования по влиянию климатических факторов на оползни (в частности, проявление сильных и продолжительных дождей (рис. 3.8).

Анализ условий образования многочисленных оползней и характера перемещения позволяет разделить их на три крупных вида: традиционные, со смазкой, с геохимическим преобразованием пород [94].



Рис. 3.8. Дождевой оползень массой 25 млн. м³ возле угольного разреза “Ангрен” (Узбекистан, 2019 г.)

Предложенная типизация позволила обосновать триггерные механизмы, воздействующие на возникновение оползней и новые механизмы перемещения оползней на основе влияния наночастиц.

3.2. Обоснование триггерных механизмов воздействующих на возникновение оползней

Опасные катастрофические склоновые гравитационные процессы, происходящие в различных геосистемах Земли, обычно происходят под

влиянием внешних факторов, обладающих определенными характеристиками и параметрами.

В результате многолетних теоретических и экспериментальных исследований было установлено, что существуют так называемые “триггерные” механизмы возбуждения и контролируемого развития случайных (природных) или заранее заданных (искусственных, техногенных) процессов в той или иной геосистеме и даже геосфере в целом [28].

В самом общем понимании триггерные эффекты сводятся к реакции объекта на слабое внешнее воздействие (триггерная стимуляция), существование триггерной зоны внутри объекта, имеющей самый низкий порог реакции. К этим определениям необходимо добавить классическое определение из радиотехники, где триггерная система может длительное время находиться в одном из устойчивых состояний и переводится в другое состояние при внешнем воздействии. Особенностью же большинства природных или живых объектов является отсутствие у них устойчивых состояний, большинство из них перманентно неустойчивы. К таким системам относится геологическая среда, в которой и происходят такие опасные процессы, как оползни.

Этот триггерный механизм (англ. trigger – спусковой крючок, курок) представляет собой проявление определенного рода пускового эффекта, обеспечивающего чрезвычайно быстрый и довольно облегченный переход какой-либо ранее организованной геосистемы из ее одного, ранее вполне стабильно функционального состояния, в принципиально другое, а уже далее, как правило, осуществляемое под воздействием внутренних лавинообразно развертывающихся процессов.

Такое преобразование обычно начинается под влиянием на изменяемую геосистему внешнего сигнала (воздействия), количественная величина которого несколько превышает некоторый минимальный уровень (порог срабатывания) [28], т.е. для достижения заданного эффекта необходимо наличие у внешних физических факторов оптимальных энергетических параметров заданного эффекта необходимо наличие у внешних физических факторов оптимальных

энергетических параметров, с соответствующей синхронизацией их воздействия на отдельную преобразуемую геосистему или геосферу в целом.

При этом для триггерного эффекта довольно типична следующая особенность: значение пускового сигнала напрямую не зависит от силы и размеров внутреннего кризиса геосистемы, а определяется прежде всего только превышением определенного значения величины “порога срабатывания”. А вот минимум достаточной величины вызывающего фактора прямо зависит от степени напряженности и отношений внутри самой геосистемы. Чем она будет ближе к возможному порогу срабатывания изменений, тем может быть ниже величина вызывающего фактора [28]. Поэтому, в тех случаях, когда имеющая степень напряженности геосистем невелика, существенное влияние на начало и дальнейший ход срабатывания могут оказать тип особенности и характер провоцирующего триггерного сигнала.

Данный, весьма тонкий триггерный механизм обусловлен тем, что целенаправленное внесение даже относительно небольшого значения энергии (независимо от ее типа), но в нужное время, в нужном месте, в нужной форме и с нужными характеристиками, может привести к весьма существенным изменениям сложившихся у геосистемы первоначальных свойств и параметров [48].

На фазовой плоскости такой триггерной геосистеме соответствует 2-е или более устойчивых ситуаций, разделенных между собой явно выраженными сепаратрисами (рис.3.9).

При этом все особые точки и области (например, устойчивые стационарные состояния и седло) находятся на пересечении главных изоклин – горизонтальных и вертикальных касательных [25]. Кроме того, общим свойством подобных триггерных механизмов является частое наличие в них положительной обратной связи, как правило, уводящей геосистему от ее первоначального состояния.

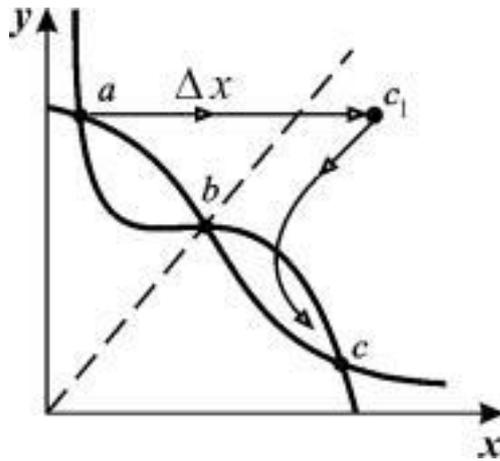


Рис. 3.9. Схема работы триггерной системы: [28]

a, c – устойчивые стационарные состояния; b – седло.

Жирными линиями представлены главные изоклины. Пунктирной линией обозначена сепаратриса, определяющая области влияния 2-х устойчивых состояний a и c . Стрелка показывает процесс силового переключения триггеров.

При этом в первом случае математические уравнения геосистемы, как правило, остаются полностью неизменными [25], а траектории сходятся к так называемой “устойчивой точке” (одной или другой, в зависимости от изначального положения относительно сепаратрисы). Во втором случае в уравнении присутствуют определенные пороговые значения количественных параметров, при которых в геосистеме происходят некие бифуркации, с переходом через ее особое состояние, когда неустойчивая область и одна из устойчивых точек сливаются между собой, чтобы затем полностью исчезнуть, а геосистема при этом переходит в область с более равновесным (устойчивым) состоянием.

К тому же, если начальное положение такой преобразуемой геосистемы приходится левее сепаратрисы, что является областью притяжения особой точки a , и потому со временем геосистема стремится к этому устойчивому стационарному состоянию [25]. А для всех точек, лежащих правее сепаратрисы, геосистема будет двигаться к особой устойчивой точке c .

В настоящее время существуют различные возможные искусственные способы переключения подобной геосистемы из режима a в режим c [25]:

1. Силовое переключение, в соответствии с которыми изначальную ситуацию в геосистеме можно целенаправленно изменить, например, добавив определенное количество энергии x_1 , так что она “перепрыгнет” через сепаратрису в некоторую устойчивую точку c_1 .

2. Параметрическое переключение, когда непосредственному воздействию подвергаются уже не переменные величины, а непосредственно параметры самой геосистемы. Это может быть достигнуто разными способами (например, изменением скорости поступления энергии, температуры, давления, рН и др.).

Сейчас существует несколько разновидностей триггеров, которые различаются между собой по виду входных и выходных сигналов, а также по способу управления состоянием преобразуемой геосистемы. При этом непосредственный тип триггера определяется выявленным алгоритмом его воздействия на геосистему и основными принципами работы.

Однако многие физические принципы осуществления таких искусственных и контролируемых воздействий для разных геосистем, до конца еще не выяснены (хотя более или менее они понятны для атмосферы, ионосферы, магнитосферы и околоземного космического пространства).

В соответствии со сложившимися физико-механическими процессами, в настоящее время выявлен механизм триггерного воздействия на возникновение оползней: обусловленное некоторой потерей устойчивости из-за механического разрушения геомассы на крутых склонах сотрясательным воздействием со стороны сильных землетрясений или техногенных источников вибрации (например, массовых взрывов, работы мощной техники и т.д.). Также известен и другой, дополнительный механизм проявления триггерного эффекта при образовании катастрофических оползней, в котором основной причиной возникновения этого процесса является разжижение (как геомассы будущего оползня, так и подстилающих грунтов, и пород) интенсивными дождевыми осадками [3].

Оползни, как особая геологическая система, представляют собой весьма распространенную опасность на многих территориях мира [21,24,26,27,29]. Как правило, оползни возникают из-за собственного веса материалов, образующих склон, превышают силу сопротивления к движущим силам, т.е. $F = \text{силы сопротивления} / \text{движущие силы}$. Если коэффициент безопасности меньше или равен 1 (т.е. $F \leq 1$), склон разрушится, потому что движущие силы будут равны или будут превышать силы сопротивления. Если F значительно больше 1, наклон будет достаточно устойчивым. Однако, если F немного больше 1, небольшие возмущения могут привести к нарушению склона.

Возникновение смещения и сползания почв и горных пород происходит при достижении критического ускорения, которое можно рассчитать с помощью следующего уравнения:

$$a_c = (FS-1)g \sin L ,$$

где a_c - критическое ускорение; g – ускорение свободного падения; L – локальный уклон.

При этом характер разрушения зависит от типа геоматериала, его структуры (слои, швы и ориентация этих плоскостей ослабления) и уклона. В частности, горные породы имеют тенденцию разрушаться по ранее существовавшим ослабленным плоскостям (таким, как стыки или плоскости напластования). Грунты более склонны разрушаться при вращательном скольжении по радиусу сферы с наименьшим запасом прочности. Они также могут разрушиться вдоль слабых поверхностей (например, на границе между скалой и почвой).

Оползни могут быть при этом инициированы различными типами инициирующих событий (триггерами). К тому же существуют разные типы оползней, имеющие различные механизмы перемещения и, как правило, разные триггеры. В частности, геомасса оползня переходит в кинетическое состояние под действием таких триггерных факторов, как землетрясения, вулканическая деятельность, подрезка основания или пригрузка тела оползня, изменения

температуры окружающей среды, сильные или продолжительные дожди и/или таяние снега и др. [21,24,26, 27,29].

Следовательно, наблюдаемое глобальное потепление [38,92] вызывающее в некоторых районах Земли более интенсивные осадки, неизбежно приводит к усилению оползневой активности. Так, всеобщее обследование оползней, проведенное в 2003 г., показало, что 90% произошедших в мире оползней были вызваны сильными дождями [92]. Хотя, в первую очередь, это связано с повышением парового давления воды в почве. Однако пока еще не совсем ясны тип, степень, величина и направление изменений условий устойчивости горных склонов, а также места, количества, активности и частоты оползней, возникающие в ответ на происходящее глобальное изменение климата. Это обусловлено тем, что климат воздействует на оползни лишь в частично перекрывающихся пространственных и временных масштабах, что значительно усложняет оценку его воздействия. Для получения качественно-количественной оценки воздействия климата на оползни необходимо осуществлять измерения изменения температуры, атмосферных осадков, ветра и погодных систем в целом, а также их прямое и косвенное влияние на устойчивость отдельных горных склонов.

При этом сильный и продолжительный дождь может очень эффективно способствовать возникновению многочисленных оползней (рис. 3.10) любой типологии.

Необходимо отметить, что пик числа дождевых оползней в северном полушарии приходится на лето, и существуют заметные межгодовые колебания, как в размере, так и в форме годового цикла. После определения критической величины атмосферных осадков предполагается, что период повторения оползней совпадает с периодом критического триггера. Таким образом была установлена корреляция между среднемесячным количеством атмосферных осадков и сериями оползней, отражающая триггерный эффект сезонных осадков. Для прогнозирования возникновения оползней обычно используются эмпирические пороговые значения количества атмосферных осадков.

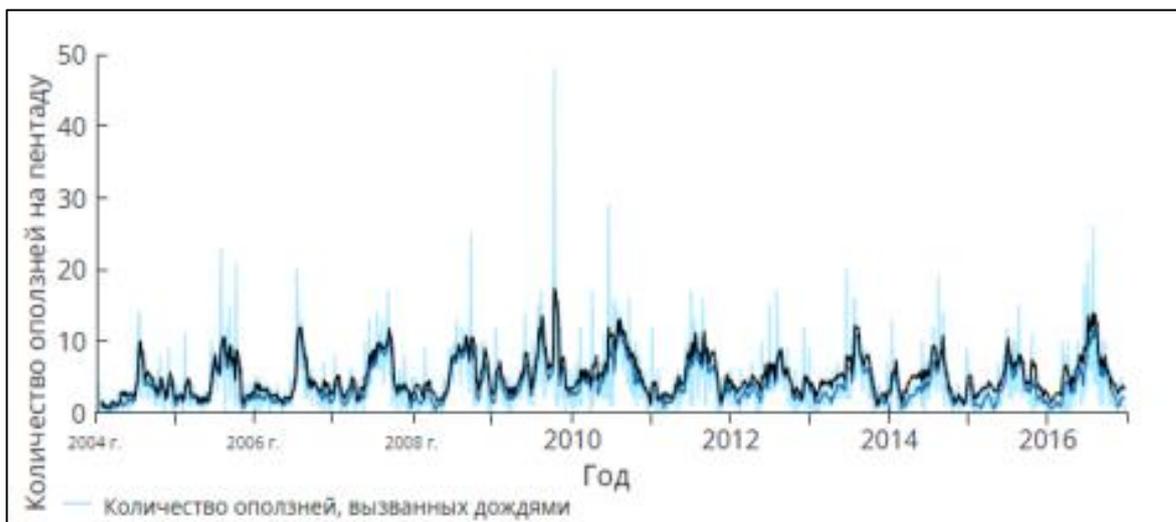


Рис. 3.10. Количество оползней, вызванных дождями

В исследованиях триггеров целесообразно учитывать, что оползни обычно активируются после обильных дождей, подводя воду к контактному слою, создавая поверхности скольжения в его днище. Это движение происходит по поверхности скольжения, которая обычно представляет собой пластичный потолок из слоя ила или глины.

Кроме того, оползни, спровоцированные дождями, в основном вызваны условиями, которые способствуют внезапному увеличению движения воды в порах и перекрытию почвы, т.к. увеличение содержания воды в почвах существенно снижает общую устойчивость склона. И когда влажность превышает существенные пределы пластичности, то горный склон начинает деформироваться.

К настоящему времени известен и еще один дополнительный механизм проявления триггерного эффекта при образовании катастрофических оползней, в котором основной причиной возникновения этого процесса является разжижение (как геомассы будущего оползня, так и подстилающих грунтов, и пород) дождевыми осадками.

Необходимо отметить, что триггеры, инициирующие возникновение оползней, включают в себя как природные, так и техногенные события. Кроме того, среди многочисленных факторов, провоцирующих оползневые явления,

возрастает техногенное воздействие, вызванное неадекватной планировкой (срезка откосов с целью получения геоматериалов или изменение геометрии откосов во время строительства может привести к их обрушению, если площадка не спроектирована должным образом) и неправильным землепользованием в городских районах, а также хищнической добычей полезных ископаемых и вырубкой растительности (обезлесение) на горных склонах.

Аналогичным триггером появления оползней может служить землетрясение с близко расположенным эпицентром. В соответствии со сложившимися физико-механическими представлениями был выявлен механизм триггерного воздействия землетрясений на возникновение оползней [71], обусловленных некоторой потерей устойчивости из-за механического разрушения геомассы на крутых склонах сотрясательным воздействием со стороны сильных землетрясений или техногенных источников вибрации (например, взрывов, работы мощной техники и т.д.).

Взаимодействие землетрясений на оползни исследуются во всем мире, и особое внимание уделяется землетрясениям большой магнитуды [90]. Так, сотрясение горных массивов из-за землетрясений дестабилизирует скалы и крутые склоны, вызывая оползни и обвалы камней в качестве значительного побочного эффекта.

При этом считается, что почти 60% всех оползней вызваны землетрясениями [90], хотя существуют и другие экспертные мнения, склоняющиеся к преобладающему влиянию атмосферных осадков. Оползни, вызванные разрушительным землетрясением 1949 г. в Эквадоре магнитудой $M_L = 6,8$, оказались самыми смертоносными. Землетрясение в Перу в 1970 г. магнитудой $M_w = 7,9$ вызвало огромную каменную лавину, унесшую жизни почти 54000 человек и похоронившую под собой два города. Вэньчуаньское землетрясение 12 мая 2008 г. с магнитудой $M_s = 8,0$ ($M_w = 7,9$) привело к гибели почти 20000 человек в результате оползней, вызванных толчками. Землетрясение Каикоура в Новой Зеландии, которое произошло в 2016 г. с магнитудой $M_w = 7,8$, вызвало на прилегающих территориях более 80000 оползней.

Считается, что вызванные землетрясением оползни обусловлены несколькими возможными явлениями [90]. Во-первых, вибрация от землетрясения, из-за потери эффективного напряжения, может вызвать разжижение мелкозернистых отложений с однородным гранулометрическим составом. Землетрясения также могут увеличивать напряжение сдвига на склоне, снижая коэффициент безопасности до уровня ниже единицы. В частности, волны от землетрясения, проходя через геомассив, создают ускорения, которые изменяют гравитационные силы на склоне. При этом вертикальные ускорения последовательно изменяют нагрузку на склон, а горизонтальные ускорения вызывают силу сдвига из-за инерции оползня.

В дальнейшем, минимальная магнитуда, вызывающая оползни, определялась в зависимости от их типа. Так, наименьшее локальное землетрясение, вызвавшее обвалы и оползни, имеет магнитуду следующих значений [55]:

- $M = 4,0 \sim 4,5$ – для почвенных оползней и глыбовых оползней.
- $M \approx 5,0$ – для бокового распространения почвы, быстрых потоков почвы, подводных оползней, обвалов горных пород, оползней каменных глыб и медленных потоков грунта.
- $M \approx 6,0$ – для каменных лавин и $M \approx 6,5$ – для грунтовых лавин.

Однако новые исследования и наблюдения показали, что при наличии осложняющих факторов (неглубокий очаг землетрясения, крутые склоны, значительная увлажненность геомассы и т.д.) опасные оползни могут быть вызваны даже и меньшими землетрясениями [90]. например, землетрясением магнитудой $M = 2,9$ в Китае (провинция Цинхай) в 1984 г., когда обрушился склон эоловых отложений с уклоном 50-60°.

Риск для возникновения оползня от землетрясения может быть аналитически выражен следующим образом:

$$R = P(M_i) P(X_j | M_i) P(T | X_j) V_{ij} C, \quad (2)$$

где R – риск возникновения оползня магнитудой M_i на элементе риска, расположенном на расстоянии X от очага оползня;

$P(M_i)$ вероятность возникновения оползня магнитудой M_i ;

$P(X_j | M_i)$ – вероятность достижения оползнем точки, расположенной на расстоянии X от источника оползня с интенсивностью j ;

$P(T | X_j)$ – вероятность нахождения элемента в точке X в момент возникновения оползня;

V_{ij} – уязвимость элемента к оползню магнитудой i и интенсивностью j ;

C – значение элемента, подверженного риску.

В дальнейшем была установлена взаимосвязь между общей площадью, затронутой оползнем в результате землетрясения, и магнитудой землетрясения.

В настоящее время наиболее важным вопросом является определение времени возникновения оползней. Соотношения триггер/оползень, которые помогают понять вероятность возникновения оползней, могут быть получены на основе собранных кадастров оползней. Однако нехватка необходимых данных во многих регионах препятствует проведению количественного определения вероятности обрушения откосов или реактивации оползней в течение определенного промежутка времени, и тогда на помощь приходят специальные программы [32], способные решить эту проблему.

3.3. Обоснование механизма перемещения оползней на основе влияния наночастиц

Глина - это широко распространенное в окружающей среде природное вещество. Благодаря своим особым свойствам наноглина обладая малым размером частиц, большой площадью поверхности и высокой пористостью может быть использована в самых разных областях промышленности. Так как наночастицы глины, пожалуй, являются одними из самых популярных в промышленности наноразмерных материалов, и широко используются в

различных областях, оценка токсичности наночастиц глины имеет решающее значение. Оценка токсичности наноглин и оксида графена (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Гидродинамические диаметры, значения дзета-потенциала и измеренные АСМ размеры частиц наноглины, наносфер кремнезема и наночастиц оксида графена

Частицы	Гидродинамический диаметр, нм	Дзета-потенциал, МВ	Измеренные размеры
Галлуазит	510±12	- 25±3	диаметр 50 нм, длина 400-1500 нм
Каолин	930±22	- 36±1	ширина 300-700 нм, толщина 30-100 нм
Монтмориллонит	1600±60	- 29±1	ширина 300-600 нм толщина 10-50 нм
Бентонит	3040±660	44±2	ширина 4 мкм, толщина 100нм
Кремнезем	122±3	- 39±6	диаметр 120 нм
Оксид графена	1940±90	- 47±2	ширина 2000 нм толщина 2-10 нм

Наночастицы глины практически не токсичны, в то время как оксид графена обладает высокой токсичностью.

Роль глин в передвижении горной массы оползня изучалась многими исследователями, но лишь с развитием электронной техники визуализации нанообъектов появилась возможность исследовать глины как объекты, состоящие из нанослоев и сложенные наночастицами [22,23,30,38]. Такой подход позволяет получить принципиально новые физико-химические характеристики и особенности глин, способствующие активному передвижению геомассы оползней.

Наноглины представляют собой мелкозернистые кристаллические материалы. Огромное разнообразие этих природных наноматериалов сделало

доступной для исследователей и практиков весьма обширную коллекцию глин (рис. 3.11), имеющих довольно различные физические и химические свойства.

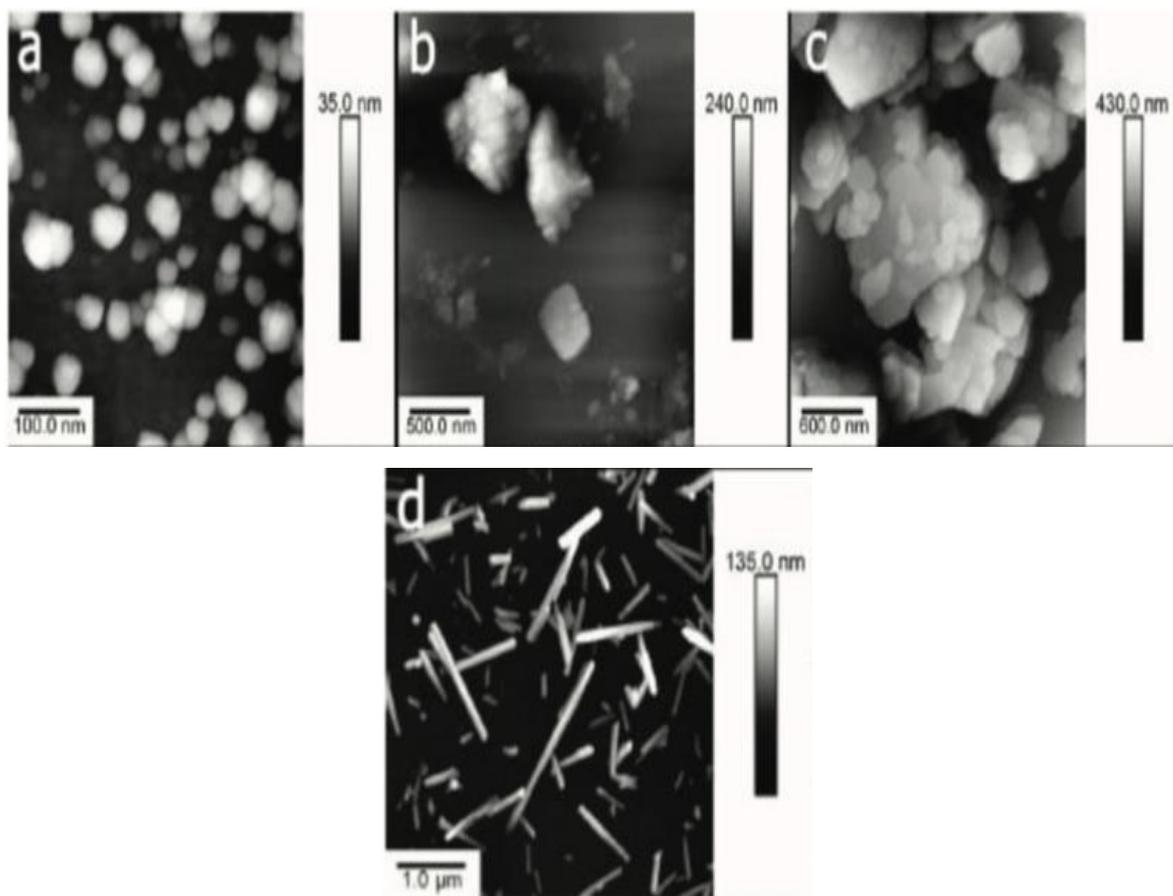


Рис. 3.11. Типичные АСМ – изображения, демонстрирующие геометрию и размеры наночастиц [96]

а) бентонита; б) монтмориллонита; в) каолина; г) галлуазита.

Na-монтмориллонит представляет собой слоистый смектит из филлосиликатной глины (рис. 3.12). При этом монтмориллонит (ММТ) представляет собой природную минеральную глину [75] со слоистой структурой и характерными особенностями, такими как большая площадь внутренней поверхности и емкость катионного обмена (СЕС), а также высокая абсорбционная способность.

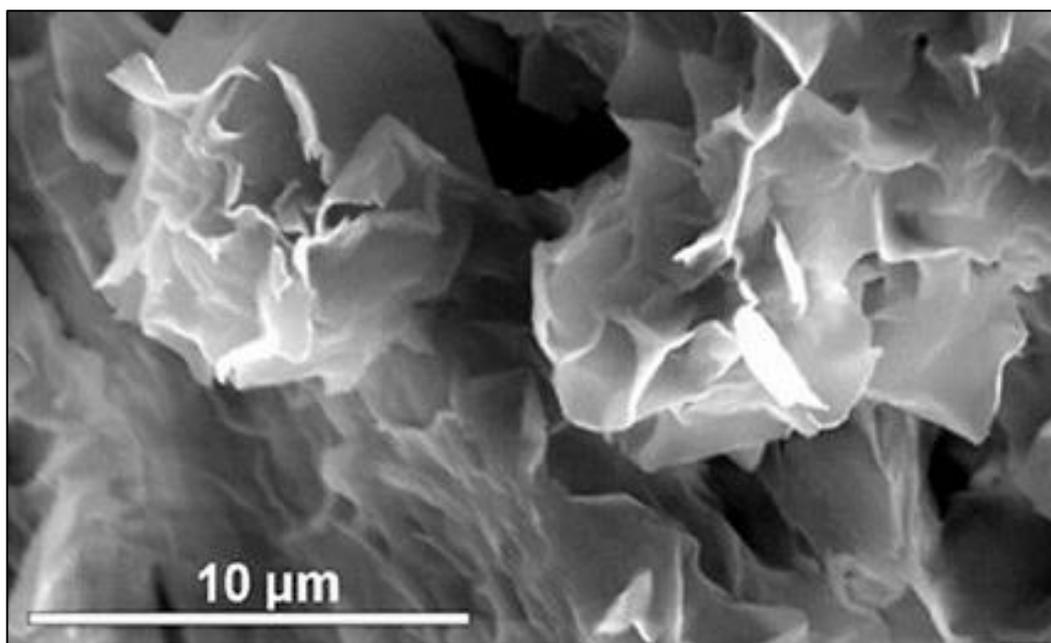


Рис. 3.12. СЭМ – изображение монтмориллонита [75]

В случае смектитов (рис. 3.13) октаэдрический лист оксидов металлов зажат между двумя тетраэдрическими листами кремнезема.

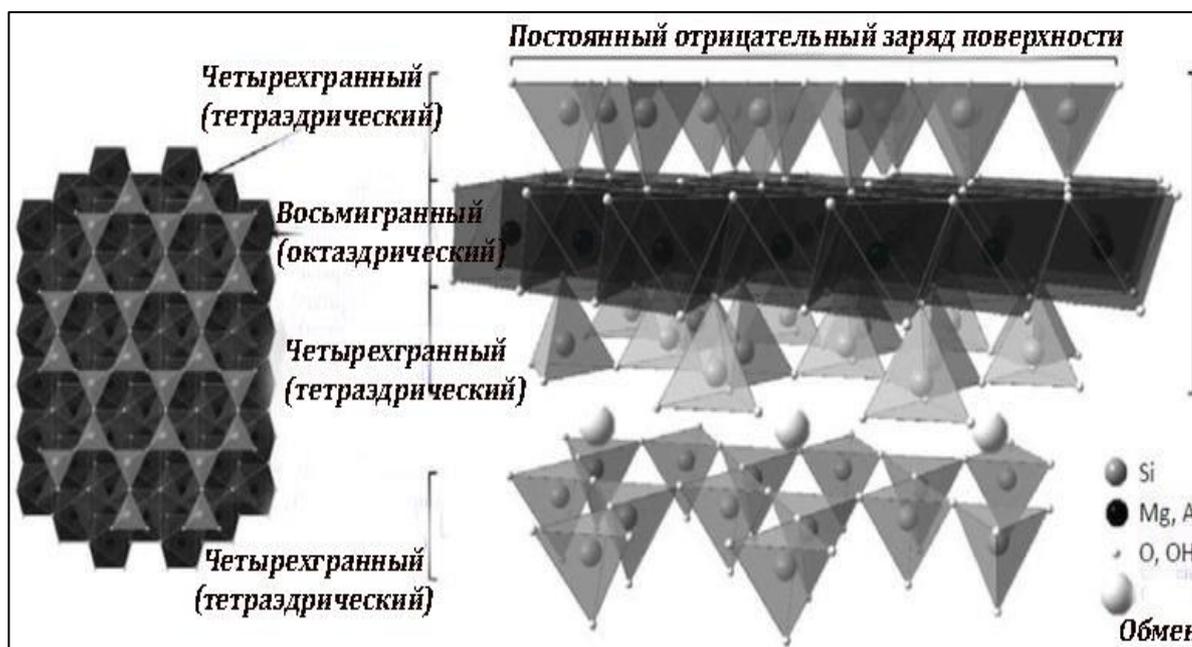


Рис. 3.13. Строение смектитов [82]

В тетраэдрическом листе кремнекислородные тетраэдры связаны с соседними тетраэдрами общими тремя углами, в то время как четвертый угол

каждого тетраэдра образует часть соседнего октаэдрического листа. Октаэдрический лист с кислородом из тетраэдрического листа и с гидроксилом.

Глины образованы слоистыми тетраэдрическими (Т) и октаэдрическими (О) пластинами.

Отдельный слой является основной структурной единицей наноглины, и эти слои склонны располагаться друг за другом, как страницы в книге. Отдельные слои состоят из тетраэдрических и/или октаэдрических пластин, и такое расположение пластин играет важную роль в определении и различии этих глинистых минералов.

Двухслойные гидроксиды (СДГ) включают широкий спектр химических соединений и их слоистую структуру, которая может быть очень разнообразной для образования политипов [82]. Например, алюмосиликатные катионные наночастицы, такие как монтмориллонит (ММТ), имеют восьмиугольные и четырёхугольные пластины, с высокими внутренними поверхностями.

Основная структура катионных глин основана на каркасе, где структурная единица состоит из восьмиугольно-скрученного листа между двумя четырёхугольными пластинами. На рис. 3.14 представлена структура такой двухслойной гидрооксидно-катионной глины.

Реакционная способность глин во многом зависит от их способности к набуханию [82]. Так, каолинит (из семейства глин 1:1), тальк и пирофиллит (из семейства глин 2:1) не имеют структурного заряда и, следовательно, не набухают и обладают низкой адсорбционной способностью.

Высокослойная нагрузка вермикулита и иллита ограничивает их склонность к набуханию и гелеобразованию, хотя их площадь поверхности относительно высока. Сметтиты характеризуются относительно низким зарядом слоя, что позволяет их частицам полностью диссоциировать в воде и придает им довольно интересные реологические/гелеобразующие свойства и поверхностную реакционную способность.

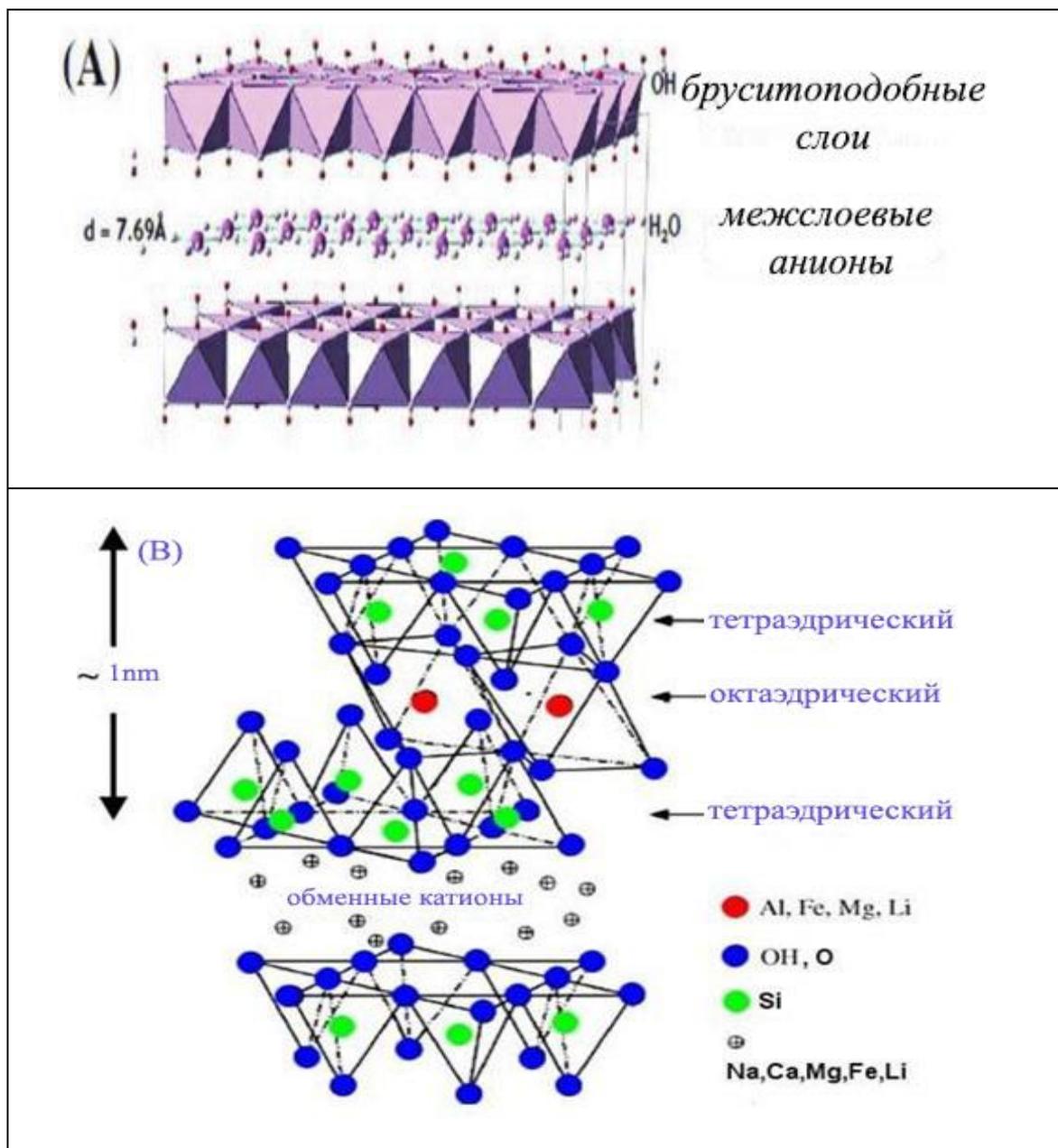


Рис. 3.14. Двухслойный гидроксид (А) и катионная глина (В) (ММТ) [82]

В результате ММТ с суммарным зарядом сетки вполне может набухать в присутствии воды и гидрофильных растворителей, т.к. положительно заряженные биологически активные соединения могут внедряться в межслоевые (внутрислойные) пространства за счет электростатического взаимодействия.

Электрические заряды глин. При этом пространство между соседними слоями может содержать свободные катионы натрия, кальция или магния (рис.3.15), которые электростатически притягиваются к внешним отрицательно заряженным поверхностям.

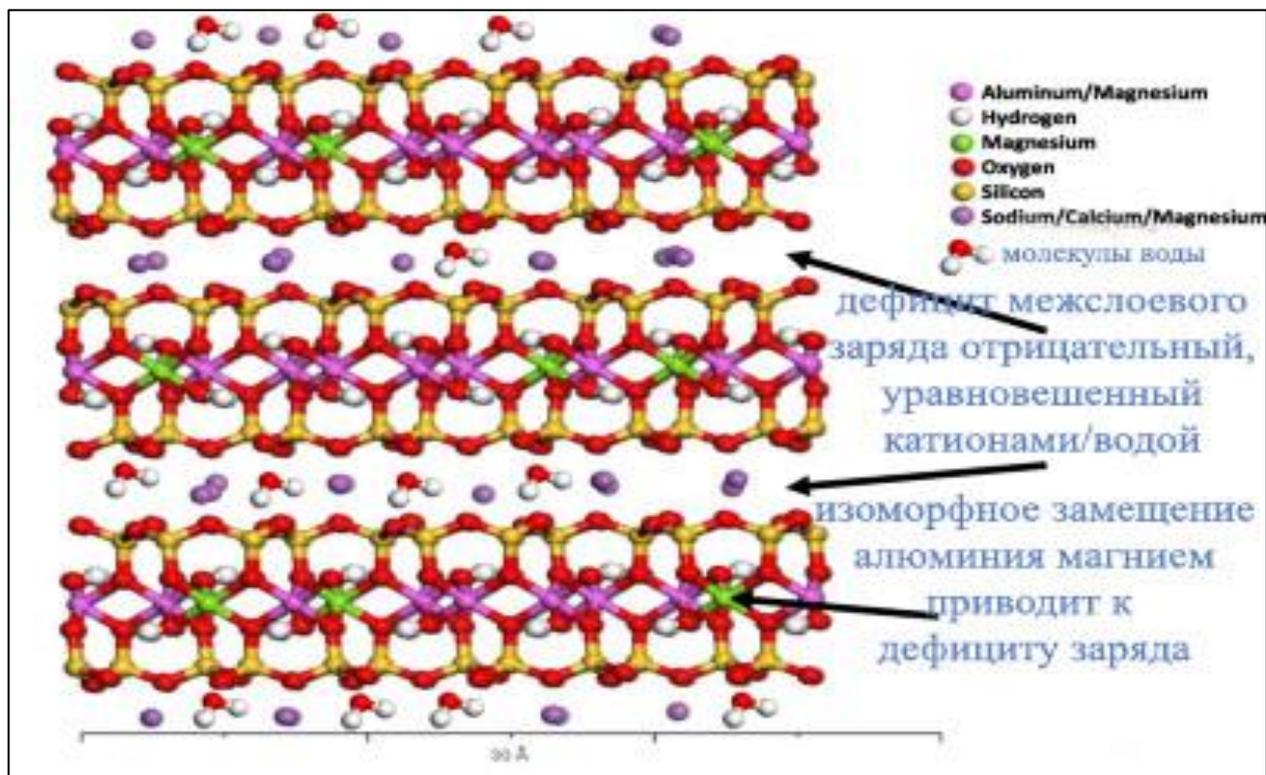


Рис. 3.15. Молекулярная структура Na- монтмориллонита, показывающая конфигурацию, изоморфное замещение, дефицит заряда и межслоевые катионы в коллоидной форме.

Расположение на их межслоевых поверхностях отрицательные заряды уравновешиваются катионами. В виде коллоидов межслоевые катионы отделяются от частиц глины и связываются с другими отрицательно заряженными поверхностями [75]. Эти частицы, из-за наличия разорванных связей на их концах, также имеют положительно заряженные края. При этом глины делятся на 2 разных типа: по преобладанию анионов и катионов, в зависимости от уровня заряда слоя и типов межслоевых ионов (рис. 3.16).

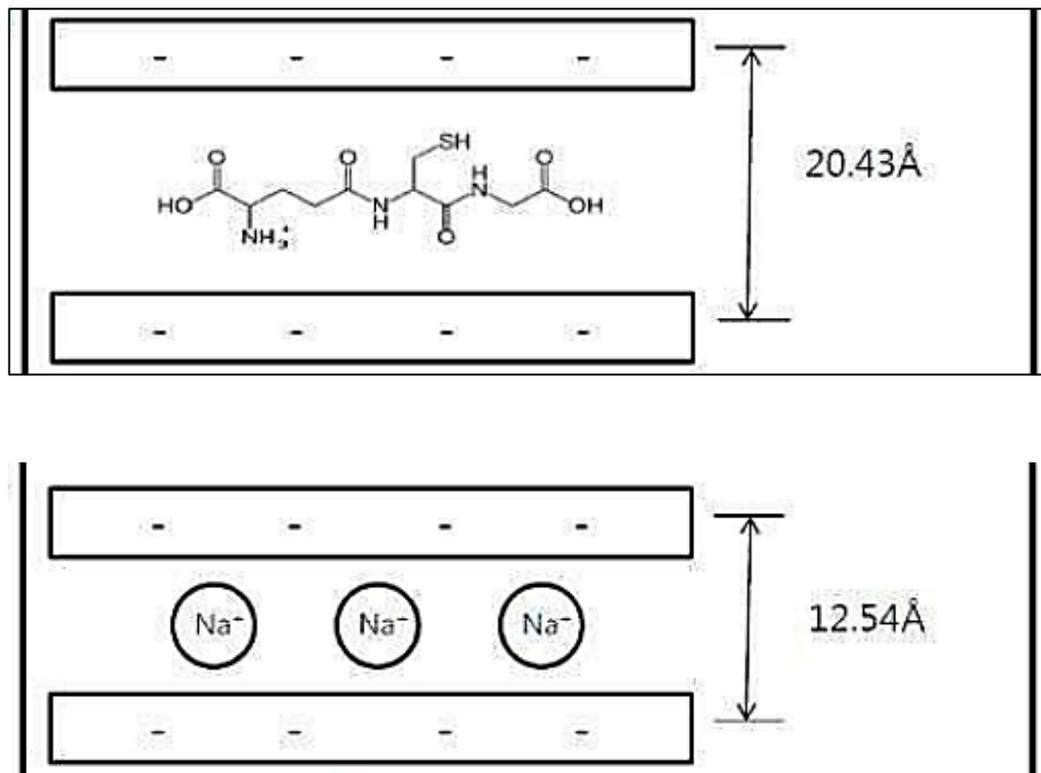


Рис. 3.16. Слои наноглины [96]

Глинистые геоматериалы с анионным слоем обычно создаются двухслойными гидроксидами (СДГ), с изменяемыми анионами в межслоевых пространствах (рис.3.17).

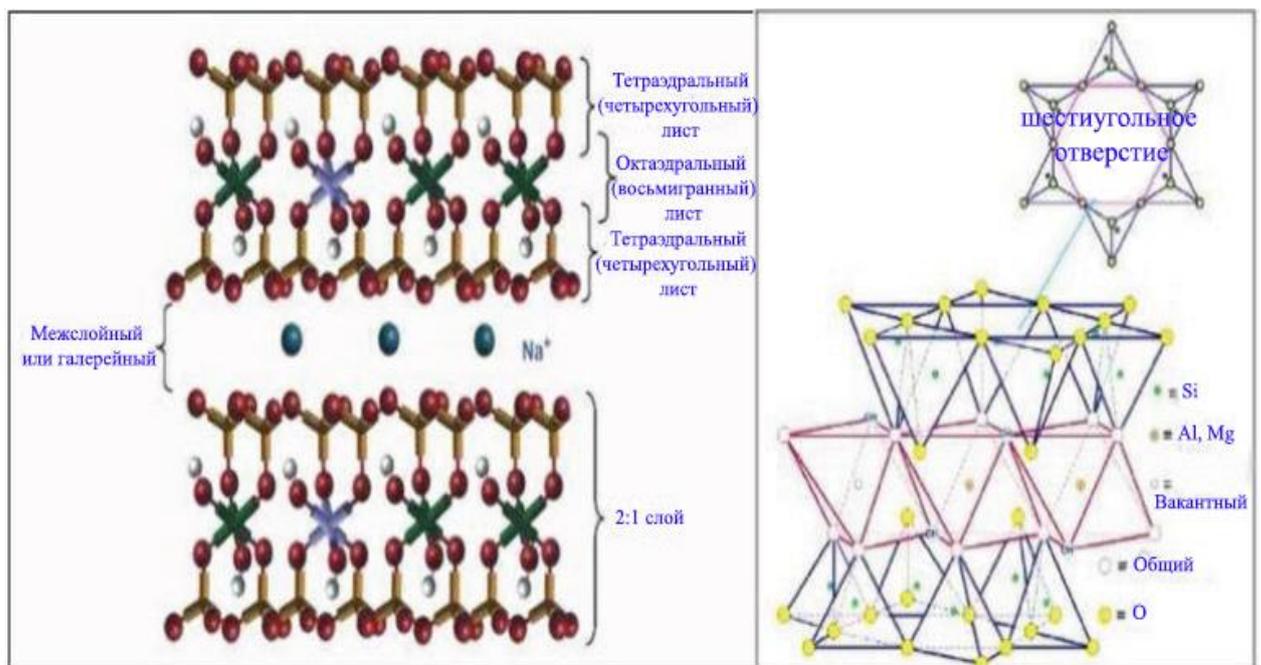


Рис. 3.17. Структура сети ММТ [75]

В результате на частице смектитовой глины возникают 2 типа электрических зарядов:

1. Постоянные отрицательные заряды на поверхности из-за изоморфного катионного замещения в тетраэдрических и/или октаэдрических слоях, уравновешенные обменными катионами (такими, как Na или Ca^{2+}) в межслойной галерее.

2. Положительные (амфотерные) заряды на краях из-за разорванных групп Si-O, Al-OH и Mg-OH. При pH < нулевой точки заряда (ZPC) эти краевые заряды становятся положительными с емкостью анионного обмена, а при pH > ZPC они становятся отрицательными с емкостью катионного обмена.

Механизм быстрого перемещения геомассы оползней, предлагаемый нами, связан с наночастицами глин и, прежде всего, галлуазита, выполняющих роль эффективной смазки на поверхностях скольжения.

Галлуазит является членом семейства каолиновых алюмосиликатов, но, в то время как наночастицы каолинита имеют пластинчатую форму, то наночастицы галлуазита представляют собой нанотрубки (имеющие длину 0,5-2 мкм и внешний диаметр около 200 нм, с диаметром просвета 10-15 нм), в которых листы алюмосиликата свернуты в спираль (рис. 3.18). Обычно оболочки галлуазитовых трубок включают 15-20 слоев.

Так они представляют собой натуральные трубчатые геоматериалы, обладающие рядом физико-химических особенностей (таких, как уникальная микропространственная структура, значительное соотношение длины и диаметра, большой объём просвета и широкое распространение).

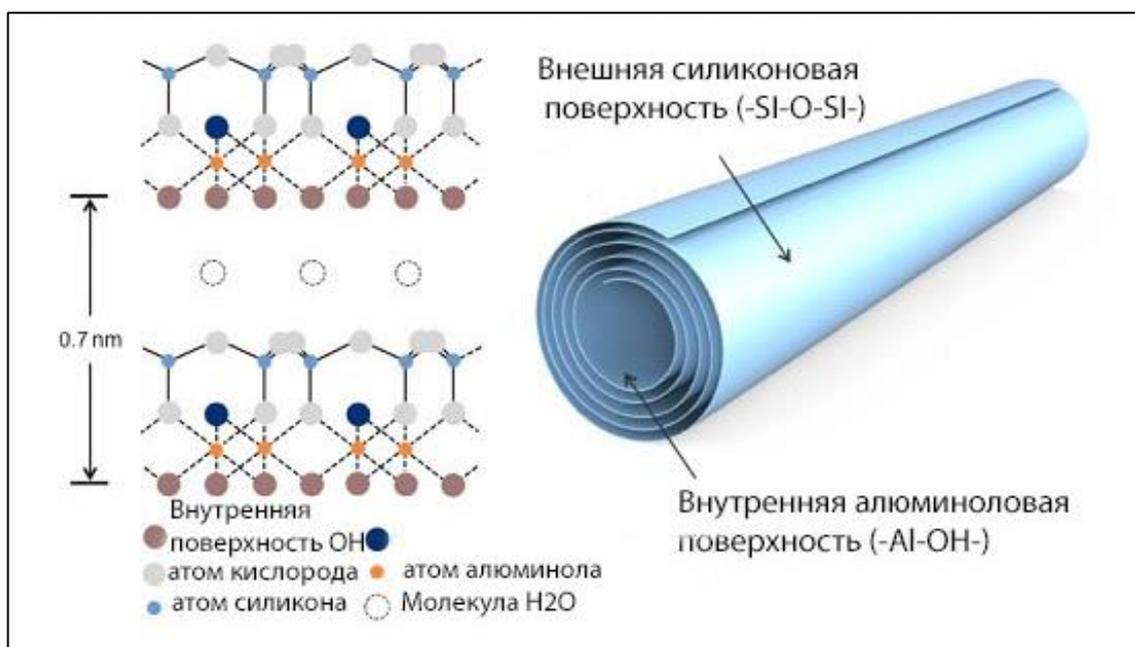


Рис. 3.18. Схема строения галлазитовой нанотрубки [53]

Необходимо заметить, что из-за скрученной структуры галлазитовые нанотрубки демонстрируют различные химические свойства между внутренней (Al-OH) и внешней поверхностью (Si-O-Si), т.е. химически внешняя поверхность этих трубок имеет свойства, подобные SiO_2 , тогда как внутреннее ядро нанотрубки связано с Al_2O_3 (рис.3.19).

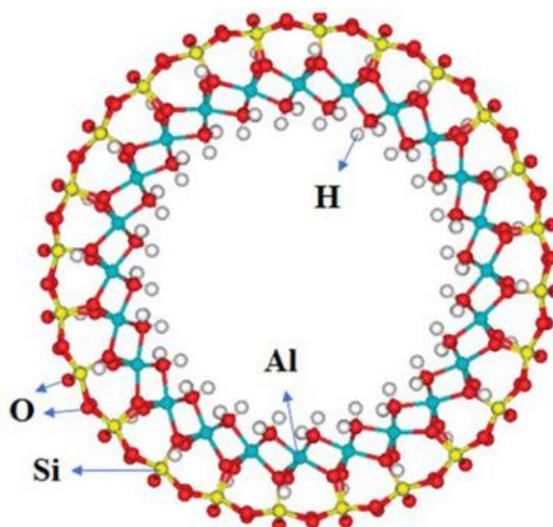


Рис. 3.19. Поперечное сечение галлазитовых нанотрубок [96]

В частности, эти две функциональные группы имеют разные поверхностные заряды и pH. Кроме того, просвет канала такой нанотрубки

заряжен положительно с рН – 8,5, а наружная оболочка – отрицательно с рН – 1,5.

Поведение заряда (дзета-потенциала) частиц галлуазита может быть описано суперпозицией преимущественно отрицательного (при рН 6-7) поверхностного потенциала SiO_2 (диоксида кремния, кремнезём) и небольшого вклада положительной внутренней поверхности Al_2O_3 (оксида алюминия, глинозём) (при рН 2-7). В дальнейшем их имеющийся электрический заряд обеспечивает структурирование расположения нанотрубок.

При этом необходимо отметить, что нанотрубки природного галлуазита, как правило, имеют высокое содержание воды из-за наличия единичных слоев, разделенных молекулами воды, а также металлических частиц (рис. 3.20).



Рис. 3.20. Галлуазитовые нанотрубки с различным магнитным наполнением

Кроме того, галлуазиты, в зависимости от условий кристаллизации, геологического строения, могут иметь и другую морфологию (такую как, например, сфероидальная или дисковая – рис. 3.21).

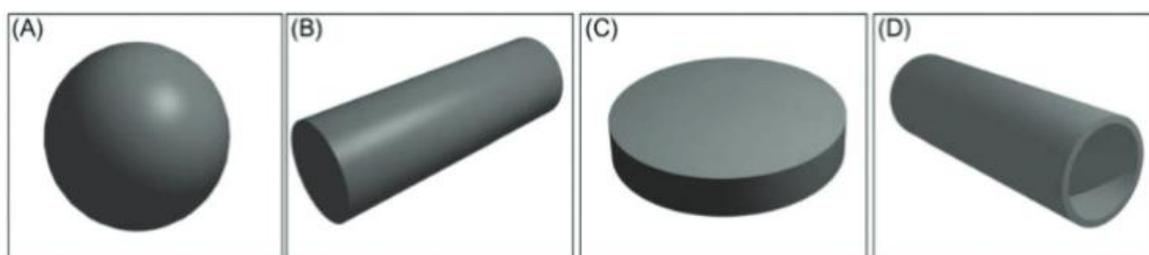


Рис. 3.21. Геоморфология глинистых наночастиц
а) однородная сфера; б) однородный цилиндр; в) однородный диск; г) полый цилиндр

В ходе исследований было установлено, что нанотрубки галлуазита обладают довольно уникальными физическими (табл. 3.2), химическими и электрохимическими свойствами.

Таблица 3.2 – Физические параметры галлуазитовых нанотрубок

Химическая формула	$Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot nH_2O$
Внутренний диаметр	10-40 нм
Внешний диаметр	40-70 нм
Длина	0,2-40 мкм
Плотность	2,14-2,59 г см ⁻³
Модуль упругости	До 600 ГПа
Прочность	Н/Д
Удельная поверхность	50-137 м ² ·г ⁻¹ (по сравнению с УНТ 100-1000 и графеном до 3630 м ² ·г ⁻¹)
Объём пор	1,25 mL·г ⁻¹
Поровое пространство	14-46,8%
Средний размер пор	7,97-10,02 нм
Кристаллическая система	Моноклиника
Параметры ячейки	a=5,14 Å, b=8,9 Å, c=14,7 Å, β=104°, a:b:c=0,578:1:1,65, Z=2 (моноклинная)

Также было установлено, что галлуазит образован гидратированными слоями 1:1, которые превращаются в нанотрубки (лист оксида алюминия внутри и слой кремнезема на внешней поверхности), а сепиолиты (и палыгорскит) характеризуются их перевернутыми 2:1 ленточными конструкциями. Такие компоновки обеспечивают большую пористость и сорбционную емкость. В таблице 3.3 представлена сводка физико-химических свойств наночастиц глины, таких как наноформы, удельная площадь поверхности, дзета-потенциал и т.д.

Таблица 3.3 – Физико-химические свойства наночастиц глины [82]

Наноглина	Химическая формула	Форма	Дзета потенциал (МВ)	Удельная поверхность площадь (м/грамм)
Галлуазит	$Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$	Трубчатая	-41	65
МРІ				
Галлуазит	$Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$		-32,1	64
Наномер ПВГ	$Mu(Al_2Mg)_3(Si)O_4(OH)_{10} \cdot n H_2O$	Тромбоцит	-51,9	Нет данных
	$Na_2Mg_{3.0-x-4-10}(FOH_{1-й-2})$	МЭ-100	-52,3	9
	$(Si,Al)(Al,Fe,Mg)O_4(OH)_2, Xn, m4(H_2O)_2$	Делелит	-45,1	600
	$Na_{0.4}MgLi_{2.7}Si_{10.3}O_4(OH)_{10}$	Бентонит	-36,6	600
	$(Na,Ca)_{0.33}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2$	Клуазит Na	-48,6	800

Кроме того, было выявлено, что каолины представляют собой пластинчатые частицы глины размером от нанометров до микрометров, тогда как галлуазит представляет собой полые палочковидные частицы (нанотрубки) с диаметром просвета ~20 нм и длиной от 300 нм до 2 мкм (рис. 3.22).

Присутствующие в горной массе наночастицы образуют наносодержащий слой, который обеспечивает передающую и пропускную способность или проскальзывание горной массы оползня, т.к. определяет качественно-количественное значение трения, а также преобразование вектора сил между сильным и прерывистым трением и плавным скольжением. Так, даже при малом (2%) содержании в породе глинистые минералы (иллит, каолинит, смектит и др.) способны образовать почти сплошные тонкие (1-4нм) пленки на поверхности трения [81].

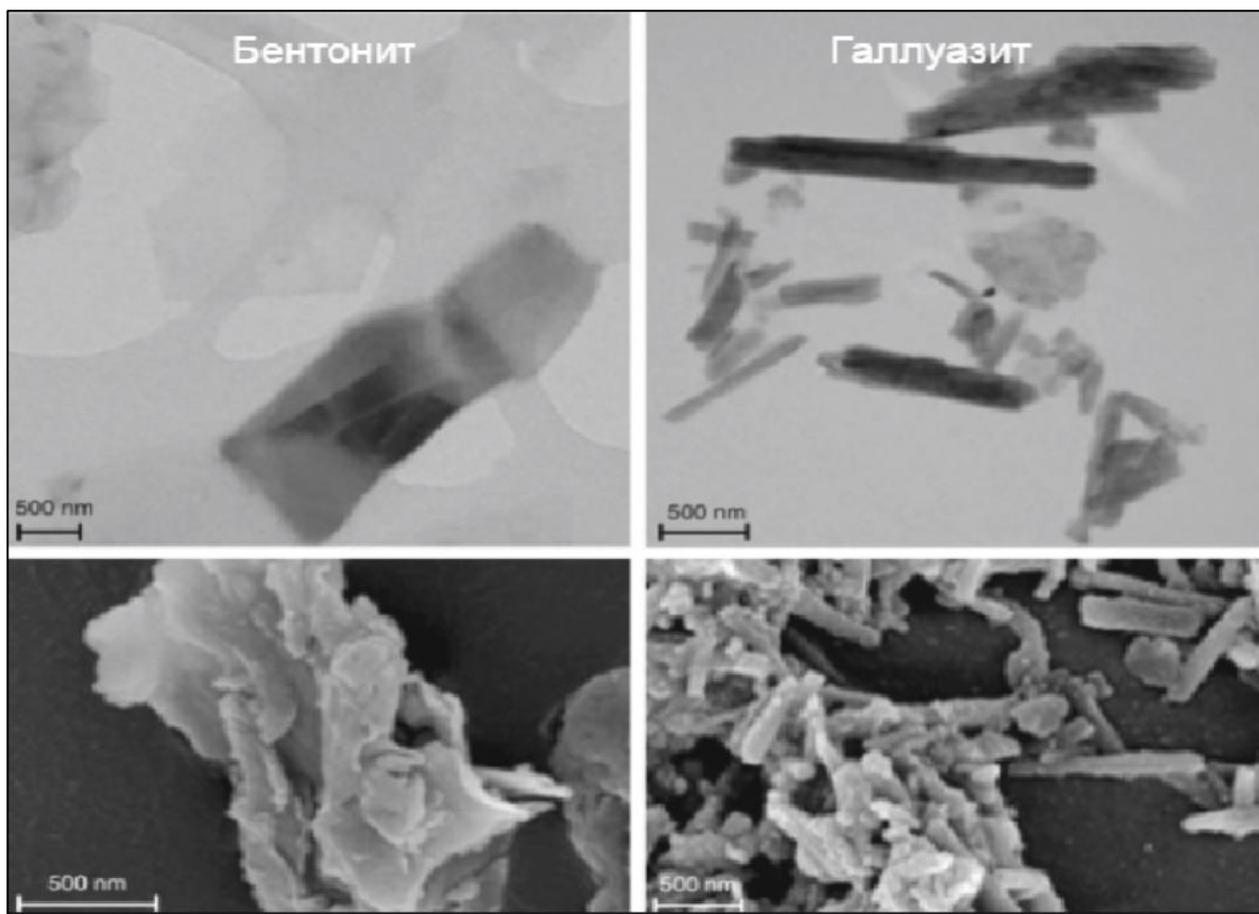


Рис. 3.22. SEM и TEM изображения наноглин [82]

В настоящее время трение горной массы оползня подразделяют на кинетическое и статическое трение.

При этом кинетическое трение определяется разной скоростью периодического встряхивания перемещаемой горной массы, которое характеризуется прерывистым смещением, внезапным исчезновением прочности и хрупкой деформацией. Кинетическое трение горной массы оползня к тому же может обладать двухподложечным скольжением, образуя бинарную нанослойную систему.

Так, например, с помощью электронного микроскопа была определена поверхность тонкой оболочки гранита в мезозойском разломе. В этом случае, как гладкая, так и шероховатая поверхности были обнаружены в верхней и нижней структурах двух слоев. Причем на гладкой плоскости наноразмерные зерна горной породы имеют неправильную форму и мозаичную текстуру. Напротив, на шероховатой плоскости отдельные наночастицы (диаметром 70-90 нм)

шлифовального зерна несколько мельче, чем на гладкой плоскости, здесь они образуют составные шлифовальные зерна (200 нм и 300 нм) и выходят в структуру подложки из двух слоев.

Статическое трение, которое имеет меньшую величину, контролируется стержневым действием плоскости скольжения и представляет собой квазистатистическое кумулятивное скольжение в парастатических условиях. Кроме того, статическое трение демонстрирует непрерывные конечные смещения, а размер распределения наночастиц является относительно однородным, с более сильным проникновением. Эта функция, из-за ее пластичных характеристик, называется унитарной нанослойной системой.

Согласно полученным в ходе аналитических исследований экспериментальным результатам, ширина бинарной наноразмерной слоистой системы хрупкой деформации относительно велика (от нескольких миллиметров до 10 см).

Наноразмерные частицы (наноразмерные шлифовальные зерна) в плоскостях сдвига горных пород возникают в результате определенного износа при перемещении горной массы оползня, в следствие ее трения. При чем, процесс трения горной массы оползня представляет собой довольно неустойчивую и весьма сложную систему, ограниченную действием многих элементов, проявлением нелинейной сильной связи.

В 1995 г. была предложена новая концепция многофазного нанокompозитного покрытия разных ионов. Из этой теории становится совершенно ясным, что образование наноразмерного слоя на поверхности сдвига в горных породах фактически представляет собой покрытие, которое “размазывается” под действием силы трения.

В обычных условиях ширина одиночного слоя наноразмерного покрытия в пластичной плоскости сдвига, соответствующая химическому осаждению геоматериала, в основном составляет первые микроны.

При этом плоскость (зона) сдвига горной породы представляет собой зону пластической деформации, в которой скольжение преобладает над пластической

реологией. Однако на самом деле эта фрикционно-вязкая переходная зона проходит через специфический процесс, включающий множественные вязко-вязкостные (пластичная деформация) и множественные хрупко-вязкие (хрупкая деформация) воздействия, что приводит к улучшению диффузионной ползучести и течения горной массы, следуя за вращением субзерен и рекристаллизацией границ зерен, при одновременном формировании в этой области наночастиц.

Это теоретическое объяснение резкого улучшения фрикционной вязкости (вязкость описывает внутреннее трение жидкости, а фрикционные свойства относятся к материалам, которые обеспечивают трение) реологии ползучести горной массы оползней было подтверждено на основе микроскопических наблюдений. Так, наблюдая с помощью электронного микроскопа процессы, происходящие на плоскостях сдвига горных пород, можно утверждать, что пластическое течение существенным образом определяется движением самоизмельчающихся зерен в нанометровых интервалах за счет того, что слой образуемых наноразмерных частиц обладает гораздо большей активностью и меньшим сопротивлением.

К тому же, из-за своей относительно большой плотности и значительной площади поверхности слой наноразмерных частиц вызывает физико-химическую активацию, что оказывает существенное воздействие на перемещение горной массы оползня, т.к. в слое наноразмерных частиц сила трения составляет лишь $1/20$ от предшествующей.

Для того, чтобы галлузитовые нанотрубки могли реализовать свой максимальный потенциал в качестве природных подшипников при перемещении геомассы оползней, должно быть перестроено случайное распределение ориентации нанотрубок, т.к. их несоосность будет создавать неэффективную передачу напряжения. И здесь возможно структурирование расположения нанотрубок под влиянием возникающего при перемещении геомассы оползня локального магнитного поля.

3.4. Выводы по главе

1. Предложена новая типизация оползней. Это позволило разделить их на три крупных вида: традиционные, со смазкой и с геохимическим преобразованием пород.

По мощности оползневого процесса, т.е. вовлечению в движение масс горных пород, оползни делятся на малые, средние, крупные и очень крупные. По происхождению пород, слагающих склоны, оползни можно разделить на глинистые, каменистые и смешанные. Оползни по причине возникновения можно подразделить на природные и техногенные. При этом значительную роль играет и хозяйственная деятельность человека: подрезка, пригрузка, увлажнение склона, уничтожение флоры и сотрясение склона, включая землетрясения.

2. Обоснован механизм триггерного воздействия на возникновение оползней, обусловленное некоторой потерей устойчивости из-за механического разрушения геомассы на крутых склонах сотрясательным воздействием со стороны сильных землетрясений или техногенных источников вибрации (например, массовых взрывов, работы мощной техники и т.д.). При этом вибрация от землетрясения, из-за потери эффективного напряжения может вызвать разжижение мелкозернистых отложений с однородным гранулометрическим составом. Землетрясения также могут увеличивать напряжения сдвига на склоне, снижая коэффициент безопасности до уровня ниже единицы. Причем волны от землетрясения, проходя через геомассив, создают ускорения, которые изменяют гравитационные силы на склоне. Вертикальные ускорения последовательно изменяют нагрузку на склон, а горизонтальные ускорения вызывают силу сдвига из-за инерции оползня.

3. Обосновано, что триггером возникновения оползней может также служить сильный и продолжительный дождь, подводя воду к контактному слою, создавая поверхности скольжения в его днище. Это движение происходит по поверхности скольжения, которая обычно представляет собой пластичный потолок из слоя ила или глины. При этом оползни, спровоцированные дождями, в основном вызваны условиями, которые способствуют внезапному увеличению

давления воды в порах и перекрытию почвы, т.к. увеличение содержания воды в почвах существенно снижает общую устойчивость склона. И когда влажность превышает существующие пределы пластичности, то горный склон начинает деформироваться.

4. Отмечен еще один дополнительный механизм проявления триггерного эффекта при возникновении катастрофических оползней, в котором основной причиной возникновения этого процесса является разжижение (как геомассы будущего оползня, так и подстилающих грунтов, и пород) дождевыми осадками.

5. Представлена новая интерпретация роли глины в перемещении геомассы оползня. Детализирована структура глин на наноуровне. Дана сводка физико-механических свойств наночастиц глины, таких как наноформы, удельная площадь поверхности, дзета-потенциал.

6. Установлено, что нанотрубки галлуазита обладают уникальными физическими, химическими свойствами, которые, присутствуя в горной массе образуют наносодержащий слой, обеспечивающий передающую и пропускную способность или проскальзывание горной массы оползня, т.к. определяет качественно-количественное значение трения, а также преобразование вектора сил между сильным и прерывистым трением и плавным скольжением.

7. Обоснован новый механизм быстрого перемещения геомассы оползней, связанный с наночастицами глин и, прежде всего, галлуазита, выполняющих роль эффективной смазки на поверхностях скольжения.

ВЫВОДЫ

В диссертации дано новое решение актуальной научно-технической задачи – установление особенностей возникновения и перемещения протяженных глинистых оползней на основе влияния наночастиц.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем.

1. На основе анализа произошедших в мире быстрых и протяженных оползней установлено, что до сих пор нет единого мнения об их возникновении и передвижении геомассы на дальние расстояния.

2. Определены физико-химические свойства наночастиц и нанотрубок. Исследования показали, что нанотрубки обладают уникальными высокими механическими свойствами, а 2-слойную углеродную нанотрубку можно использовать в качестве цилиндрического подшипника на уровне нано-: если внешнюю часть такой трубки заставить вращаться, а внутреннюю часть оставить неподвижной, то можно получить подшипник скольжения, в котором силы трения очень слабые, т.к. поверхность скольжения является атомно гладкой.

3. Представлена новая интерпретация роли глин в перемещении геомассы оползня. Детализирована структура глин на наноуровне. Дана сводка физико-химических свойств наночастиц глины, таких как наноформы, удельная площадь поверхности, дзета-потенциал.

4. Выявлено, что нанотрубки галлуазита обладают такими физическими, химическими свойствами, которые присутствуя в горной массе образуют наносодержащий слой, обеспечивающий передающую и пропускную способность или проскальзывание горной массы оползня, т.к. определяет качественное и количественное значение трения, а также преобразование вектора сил между сильным и прерывистым трением и плавным скольжением. При этом, из-за своей относительно большой плотности и значительной площади поверхности, слои наноразмерных частиц вызывают физико-химическую активацию, что оказывает существенное воздействие на перемещение горной массы оползня.

5. Установлен механизм триггерного воздействия на возникновение оползней, обусловленное некоторой потерей устойчивости из-за механического разрушения геомассы на крутых склонах сотрясательным воздействием со стороны сильных землетрясений или техногенных источников вибрации, которые из-за потери эффективного напряжения могут вызвать разжижение мелкозернистых отложений с однородным гранулометрическим составом.

6. Обоснован новый механизм быстрого перемещения геомассы оползней, связанный с наночастицами глинистых минералов, прежде всего, галлуазита, выполняющих роль эффективной смазки на поверхностях скольжения.

7. Результаты исследований используются в практике деятельности Инженерной академии наук Кыргызской Республики при исследовании и прогнозе быстрых и протяженных глинистых оползней на оползнеопасных регионах страны. (Акт внедрения от 14.03.2025 г.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахматов К.Е. Происхождение, направление и скорость современного сжатия Центрального Тянь-Шаня (Киргизия) / К.Е. Абдрахматов, Р. Вэлдон, С. Томпсон, Д. Бурбанк, Ч. Рубин, М. Миллер, П. Молнар // Геология и геофизика. 2001. т. 42. №10. с. 1585-1609.
2. Авдеева Н.В., Никулина О.В., Хританков А.С., Чехович Ю.В. Научный поиск: методы тематически – ориентированного поиска научной информации // Труды 16-й Всероссийской научной конференции “Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции” RCDI – 2014, Дубна. Россия. 13-16 октября 2014г. с. 237-241.
3. Адушкин В.В. Триггерные эффекты при образовании оползней // Триггерные эффекты в геосистемах: материалы Всероссийского семинара-совещания / Институт динамики геосфер РАН, под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. – М.: ГЕОС. 2010. с. 33-41.
4. Ажикеев Б.Э., Шамырканов У.М., Торгоев И.А. Классификация оползней и оползневых процессов в Кыргызстане // Вестник КРСУ, 2022, т.22. №12, с.142 -
5. Айтматов И.Т., Кожогулов К.Ч., Никольская О.В. Геомеханика оползневых склонов. Бишкек, Илим, 1999, - 209 с.
6. Атлас Землетрясений Кыргызстана. Кальметьева З.А., Миколайчук А.В., Молдобеков Б.Д., Мелешко А.В., Жантаев М.М. и Зубович А.В. Бишкек – ЦАИИЗ – 2009 г.
7. Балабанов В.И., Балабанов И.В. Нанотехнологии. Правда и вымысел. М.: Эксмо, 2010. 384 с.
8. Барахнин В.Б., Федотов А.М. Исследование информационных потребностей научного сообщества для построения информационной модели описания

- его деятельности Вестник НГУ: серия “Информационные технологии”. – 2008. – том 06, №3, – с.48-59
9. Бискэ Ю.С. Тянь-Шанская складчатая система I. Северные (каледонские) районы // Вестник Санкт-Петербургского университета, №4, сер. 7, Геология, СПбГУ, 2003. – с.3-20
 10. Виды и причины потерь от склоновых процессов // <https://www.geoinfo.ru/product/analiticheskaya-sluzhba-geoinfo/opasnye-sklonovye-processy-i-ih-socialno-ehkonomicheskie-posledstviya-chast-1-ssha-i-kanada-41681.shtml>.
 11. Воробьев А.Е. Наночастицы, наноактюаторы и молекулярные моторы: в освоении аквальных газогидратов. LAMBERT Academic Publishing. Mauritius. 2018. – 83 с.
 12. Воробьев А.Е., Батырханов А.Г., Воробьев К.А. Информационно-понятийная модель связи терминов нефтяного тезауруса // Труды XXVII Международной конференции “Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте. Краснодар: ФГБОУ ВО “КубГТУ”, 2019.с. 93-97
 13. Воробьев А.Е., Батырханов А.Г., Воробьев К.А. Основные подходы к поиску необходимой специализированной нефтяной информации // Казахстанская нефть, прошлое, настоящее и будущее”: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 120-летию казахстанской нефти. – Атырау: Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева. 2019. с. 321-326
 14. Воробьев А.Е., Батырханов А.Г., Воробьев К.А. Основы понятийной модели связи терминов нефтяного тезауруса // “Казахстанская нефть: прошлое, настоящее и будущее”: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 120-летию казахстанской нефти. – Атырау: Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева. 2019. с. 326-331

15. Воробьев А.Е., Верчеба А.А., Трабелсси С. Основные наноформы золота месторождений и техногенного минерального сырья // Разведка и охрана недр. 2015. №4. с.21-25
16. Воробьев А.Е., Воробьев К.А., Чжан Ляньцзы, Кожогулова Г.К. Методология и лабораторные методы исследования физико-химических свойств наночастиц: Учебно-методический комплекс по дисциплине “Методы изучения минералов, руд и горных пород” – М.: Издательство “Спутник+”, 2023 – 36с.
17. Воробьев А.Е., Гладуш А.Д. Импортозамещающие нанотехнологии в топливно-энергетическом комплексе России. М., РУДН. 2014. 158 с.
18. Воробьев А.Е., Гладуш А.Д. Наноинженерия топливно-энергетического комплекса. т.1. Москва, РУДН 2019. - 417с.
19. Воробьев А.Е., Гладуш А.Д. Наноинженерия топливно-энергетического комплекса. Т.3. Нанотехнологии настоящего и будущего. М., РУДН. 2019. 417 с.
20. Воробьев А.Е., Гладуш А.Д. Наноинженерия топливно-энергетического комплекса. Т 2. Наноассоциаты пород и наноминералы. М., РУДН. 2019. 411 с.
21. Воробьев А.Е., Дьяченко В.В., Воробьев К.А. Триггерные механизмы возникновения природных и техногенных катастроф в геосферах Земли // Безопасность в техносфере, №2 (март-апрель), 2020. с.20-30
22. Воробьев А.Е., Ибрагимов Р., Салим Трабелсси. Особенности современной наноминералогии // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: Материалы IV Международной научн.-практ. конф. Междуреченск, 8-10 апреля 2015 г. – Кемерово, 2015. с. 26-27
23. Воробьев А.Е., Ибылдаев М.Х. Наноструктуры и наночастицы // Механика и технологии (Казахстан) №2. 2015. с. 95-102
24. Воробьев А.Е., Кожогулов К.Ч, Шамшиев О.Ш., Воробьев К.А. Выявление и анализ триггерных механизмов возникновения катастроф в геосистемах

- Земли // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2020. № 2 (54). с.121-133
25. Воробьев А.Е., Кожогулов К.Ч. [и др.] Анализ триггерных механизмов возникновения катастрофических событий в геосистемах земли. //Современные проблемы механики, №41 (3) 2020 г., Бишкек, с.46-64
 26. Воробьев А.Е., Кожогулов К.Ч., Разаков Ж.П., Кожогулов Б.К., Тагаев Р.А., Воробьев К.А. и др. Геоинжиниринг: оружие поражения или технологии развития? / Под редакцией Ивашова Л.Г. Бишкек (Кыргызстан). 2020.406 с.
 27. Воробьев А.Е., Кожогулов К.Ч., Шамшиев О.Ш., Кожогулов Б.К., Воробьев К.А. Анализ триггерных механизмов возникновения катастрофических событий в геосистемах Земли // Научно-технический журнал № 41 (Кыргызстан). 2020. с. 46-63
 28. Воробьев А.Е., Кожогулова Г.К. Типизация оползней // в сб. “Инновационные перспективы Донбасса”. Материалы 8-ой Международной научно-практической конференции. Донецк, 2022, с.26-33
 29. Воробьев А.Е., Кожогулова Г.К. Триггерные механизмы воздействия на оползни // Исследования и творческие проекты для развития и освоения проблемных и прибрежно-шельфовых зон юга России. Сб. трудов XIII Всероссийской школы-семинара. Ростов-на Дону. 2022. с.470-476.
 30. Воробьев А.Е., Кочофа Г.А., Малюков В.П., Лысенкова З.В., Капитонова И.Л., Мартин Зарума Торрес, Чекушина Е.В., Ибрагимов Р., Каукенова А.С., Синченко А.В., Нарожный И.М., Трабелсси Салим. Нанотехнологии образования наночастиц // Вестник Российского университета дружбы народов. серия: Инженерные исследования. - №1. – 2015. – с. 123-128
 31. Воробьев А.Е., Маралбаев А.О. и др. Типизация наночастиц золота в геогенном и техногенном минеральном сырье // Научно-образовательный и производственный журнал “Инженер”. Бишкек. 2015. с. 69-83
 32. Воробьев А.Е., Метакса Г.П., Воробьев К.А. Геоинжиниринг: proetcontra // Вестник НАГН № 4 (Казахстан). 2019. с. 23-31

33. Воробьев А.Е., Насыров У.Ф., Ибрагимов Р.Р., Трабелсси С., Холикулов Д.Б. Выявленные наноформы золота в геогенном и техногенном минеральном сырье // Горный вестник Узбекистана, №2 (61). 2015. с.18-27
34. Воробьев А.Е., Нифадьев В.И., Усманов С.Ф. Исследование особенностей поведения оползней на основе программного комплекса LANDSLIDEMODELLER // в сборнике: Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы. V Международная научно-практическая конференция (посвящается году экологии в России; Третьей годовщине присоединения Крыма к России; Столетию Воронежского Государственного университета; 10 – летию кафедры экологической геологии геологического факультета Воронежского университета). 2017. с. 114-120
35. Воробьев А.Е., Нифадьев В.И., Усманов С.Ф. Исследование особенностей поведения оползней на основе программного комплекса «landslide modeller» // Горный Вестник Узбекистана №3 (Июль-Сентябрь). 2017
36. Воробьев А.Е., Нифадьев В.И., Усманов С.Ф. Исследование поведения оползней на основе программного комплекса LANDSLIDE MODELLER // Вестник Кузбасского государственного технического университета №5. 2017. с. 44-49
37. Воробьев А.Е., Нифадьев В.И., Усманов С.Ф. Основные особенности поведения оползней, полученные на основе программного комплекса LANDSLIDEMODELLER // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: Материалы шестнадцатой международной конференции. Москва – Донецк. 18-22 сентября 2017 г. – М.: Издательство Спутник +, 2017. с. 134-140
38. Воробьев А.Е., Пучков Л.А. Человек и биосфера: глобальное изменение климата: Учебник. Ч.I - М.: Изд-во РУДН, 2006. – 442 с.
39. Воробьев А.Е., Торобеков Б.Т., Кожогулова Г.К. Выявление базовых особенностей передвижения оползней // Известия Кыргызского

- государственного технического университета им. И.Раззакова №1 (61).
2022. с.132-143
40. Воробьев А.Е., Трабелсси С. Виды наночастиц золота, в геогенном и техногенном минеральном сырье // Горный журнал Казахстана, №2, 2015. с. 18-21
 41. Воробьев А.Е., Тчаро Х. Сравнительный анализ свойств нанорельефа различных золотосодержащих сульфидов // Вестник Российского университета дружбы народов. серия: Инженерные исследования №1. 2016. с. 78-84
 42. Воробьев А.Е., Чжан Л. Возможности топологических методов описания поверхности наночастиц // Сборник материалов конференции: Развитие физико-математического образования: теоретические исследования и практический опыт. Атырауский государственный университет им. Досмухамедова. Атырау (Казахстан). 2022. с. 12-14
 43. Гинзбург Б.М., Елецкий А.В., Пиотровский Л.Б. [и др.] Актуальность развития нанотехнологий и nanoиндустрии в России // Инноватика и экспертиза. – 2008. - №1(2) – с.42-47
 44. Годымчук А.Ю., Савельев Г.Г., Зыкова А.П. Экология наноматериалов: учебное пособие / под.ред. Л.Н. Патрикеева, А.А.Ревинной. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 272с.
 45. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. – М.: Стройиздат, 1973. – 375 с.
 46. Гулакян К.А., Кюнцель В.В. Классификация оползней по механизму их развития // труды ВСЕГИНГЕО. – М., 1970. Вып. 29. – с. 58-64
 47. Девять советов по эффективному поиску научной информации // Источник: <https://times.bntu.by/news/9545-devyat-sovetov-po-poisku-nauchnoj-informacii>.
 48. Драбенко В. Миф и реальность климатического оружия // Частный корреспондент. 12 октября 2010 г.
 49. Дрожь земли и кипящая грязь: история Гиссарской катастрофы // <http://yandex.ru/turbo?text=https%2Ftj.sputniknews.ru%2Fanalytics%2F202>

00122%2F1030587526%2Fgissar-zemletryasenie-1989-katastrofa-tajikistan.html&promo=navbar.

50. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. – М.: Недра. 1972. – 308 с.
51. Заурбеков Ш.Ш. Батукаев А.А. Некоторые закономерности распределения оползневых объектов на территории Чеченской республики // Известия ДГПУ №2. 2013
52. Зубцов Е.И., Поршняков Г.С., Яговкин А.В. Новая схема домезозойской тектоники Тянь-Шаня // Докл. АН СССР. 1974. т. 217, №5.
53. Кожогулов К.Ч., Никольская О.В. Геохимическая оценка оползневой опасности склонов в бассейнах крупных рек юга Кыргызстана. Бишкек, Илим, 2011. – 114с.
54. Кожогулов К.Ч., Никольская О.В. Прогноз активации оползней в Кыргызстане // Современные проблемы механики, №25(3), Бишкек, 2016. – с. 3-8
55. Конопелько Д.Л. Палеозойский гранитоидный магматизм западного Тянь-Шаня [Текст]: автореф. дис. докт. геолога - минералогических наук: 25.00.01 / Д.Л. Конопелько. – Москва, 2021. -40с.
56. Луис Андрес Буитрон Карпио. Мониторинг и прогнозирование оползневых процессов в провинции Арекипа (Перу) [Текст]: дис. ... канд.гео. – мин. наук: 25.00.36 / Луис Андрес Буитрон Карпио. – Москва, 2002. – 127 с.
57. Макаров В.И. Новейшая тектоническая структура Центрального Тянь-Шаня/ В.И. Макаров. М.: Наука, 1977, 172 с.
58. Мамбетов Ш.А., Абдиев А.Р., Мамбетов А.Ш. Зональная и поэтапная оценка напряженно-деформированного состояния породного массива Тянь-Шаня. – Б., КРСУ, 2003. – 359 с.
59. Методика поиска научной литературы для написания диссертации: <https://disshelp.ru/blog/metodika-poiska-nauchnoj-literatury-dlya-napisaniya-dissertatsii>.

60. Методические рекомендации, составлены на основании требований Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования к содержанию и уровню образования выпускников по направлениям подготовки, реализуемым на факультете социологии и управления Рязанского государственного университета им. С.А. Есенина. Рязань. 2019. 20с.
61. Миколайчук А.В. Структурная эволюция северной окраины Тяньшанского орогена / А.В. Миколайчук, Э. Собель, М.В. Губренко, А.Н. Лобаченко // Известия НАН Кыргызстана. 2003(б). №4.с. 50-58.
62. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (Изд. 18-е с изм. и доп.), Б.: МЧС КР, 2021 – 819 с.
63. Наноминералогия. – Санкт-Петербург: Наука, 2005. – 580с.
64. Наноструктуры – URL: http://www.nanometr.ru/2009/10/13/12554531761980/PROFILEfiles_7/...pdf.
65. Нанохимия и наноматериалы. – URL: <http://www.galaxy797.net/htech/nano/3/index.html>.
66. Наночастицы в медицине и фармацевтике // <https://vechnayamolodost.ru/articles/nanotekhnologii/navmif2a>. 2009
67. Наночастицы: разнообразие, особенности и возможности применения // [extension://oemmnndcbldboiebfnladdacbfmadadm/http://www.inbi.ras.ru/education/manuals/Nanoparticles.pdf](http://www.inbi.ras.ru/education/manuals/Nanoparticles.pdf).
68. Опасные природные процессы в Кыргызской Республике: учебник / Б.С. Ордобаев, К.А. Боронов, Д.Н.Мусуралиева, К.И. Кенжетаев, Б.К. Орозалиев: Бишкек: Издательство КРСУ, 2015. – 292 с.
69. Оползень // <http://wiki.org.ru/wiki/%D0%9E%D0%BF%D0%BB%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D1%8C>.
70. Прозоров О.В., Самбетбаева М.А. Анализ алгоритмов кластеризации данных // Материалы 54-й международной научной студенческой

- конференции (СОЮЗ НГУ, Новосибирск 2016). Новосибирск: НГУ. 2016.с.2-54
71. Ризниченко Г.Ю. Математические модели в биофизике и экологии. – Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003, 184 с.
 72. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Леонов М.Г. и др. Современная геодинамическая активность земной коры Северного Тянь-Шаня и опасные геологические процессы. Бишкек, Вестник КРСУ, Том 16. №5, 2016. – с. 157-163
 73. Саваренский Ф.П. Опыт построения классификаций оползней // Труды I – го Всесоюзного оползневого совещания. – Л.М.: Геологразведиздат. 1935. – с.29-37
 74. Садабаева Н.Ж., Азизбеков Э.А., Камчыбек у. Г. Опасные геологические процессы и явления // Энергосберегающая архитектура горного Кыргызстана: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию юбилею ФАДИС 24 апреля 2017 г. Бишкек: КРСУ, 2017. 190 с. – с.110-111
 75. Санакулов К.С., Воробьев А.Е., Норов Ю.Д. Начало промышленного применения нанотехнологий в недропользовании. Ташкент. Фан. 2017. 496 с.
 76. Сеницын Н.М., Сеницын В.М. Тянь-Шань. Главнейшие элементы тектоники // Изв. АН СССР. Сер.геол. 1958. №4
 77. Торгоев И.А. Прогноз массовой активизации оползней на юге Кыргызстана в 2017 г. // Современные проблемы механики, №23(1), Бишкек, 2016. – с.74-88
 78. Федотов А.М., Барахнин В.Б. Проблемы поиска информации: история и технологии Вестник НГУ. сер. Информационные технологии. - 2009. – т.7. - №2. – с. 3-17. ISSN1818-7900
 79. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня / О.К. Чедия, Фрунзе: Илим. 1986. 315 с.

80. Шамшиев О.Ш., Балтаева Г.А., Геологическая позиция базальтов Кыргызстана и перспективы их развития // *Материаловедение*, №2(14), Бишкек, 2015. – С.52-54
81. Abduljawwad et al. Nano-clays as potential pseudo-antibodies for COVID-19 // *Nanoscale research letters*. 2020. 15:173
82. Alekseyev V.A. Nanoparticles and nanofluids in “water-rock” interactions. *Geokhimia*. 2019. pp. 343-355. DOI: 10.31857/S0016-7525644343-355
83. Bhupati Neupane. Role of clay minerals in the occurrence of landslides along Narayangarh-Mugling Highway Section, central Nepal // *Journal of Nepal Geological Society*. №43. 2011. pp. 301-308. DOI:10.3126/jngs.v.43i0.25619
84. Brady B.H.G. *Rock mechanics for underground mining*. NEW YORK. Springer Science. 2005. 645p.
85. David Nikel. Quick Clay Landslides in Norway // *Living in Norway*. May 12, 2021.
86. Fedotov A.M., Tussupov J., Sambetbaeva M.A., Fedotova O.A., Sagnayeva S.K., Bapanov A.A. Classification model and morphological analyses in multilingual scientific and educational information systems // *Journal and Theoretical applied information technology*. vol. 86, Issue 1, 10 April 2016, - pp-111
87. Ghandong Ghang, Mark D. Zoback, Abbas Kharsar. Empirical relations between rock strength and physical properties in sedimentary rocks // *Journal of Petroleum Science and Engineering* №51. 2006. pp. 223-237
88. Guangqi Chen, Yange Li, Yingbin Zhang and Jian Wu. Earthquake Induced a Chain Disasters, *Earthquake Research and Analyses – Statistical Studies, Observations and Planning*, // <http://www.intechopen.com/books/earthquakeresearch-and-analysis-statistical-studies-observations-and-planning/earthquake-induced-a-chain-disasters>.
89. Haoyu Rong, Guichen Li, Dongxu Liang, Ghanglun Sun, Suhui Zhang and Yuantian Sun, Numerical investigation on the evolution of mechanical properties of rock acted by micro-parameters // *Appl.Sci.*10.2020,4957, DOI:10.3390/app10144957.

90. Heisnam Bidyashwari, Ramawadh Singh Kushwahal, Mairembam Chandra, Moirangthem Okendro. Physical Properties of Soil and Its Implication to Slope Stability of Nungbi Khunou, NH-150. Manipur // International Journal of Geosciences. vol. 8. N 11. 2017
91. Hua He, Lien Ai Pham-Huy, Pierre Dramou, Deli Xiao, Pengli Zuo, Chuong Pham-Huy. Carbon nanotubes: applications in pharmacy and medicine // BioMed Research International. vol. 2013. p. 12. Article ID 578290. <https://doi.org/10.1155/2013/578290>.
92. Naida Ademović. High magnitude earthquakes trigger landslides and floods // Geotechnical Society of Bosnia and Herzegovina // GEO-EXPO 2017. Sarajevo, October 26th, and 27th, 2017
93. Niu Y., Grooks R. Dendrimer – encapsulated metal nanoparticles and their applications to catalysis // Chemistry №6.2003. pp. 1049-1059. DOI:10.1016/J.CRCL.2003.08.001
94. Oldrich Hungr, Serge Leroucil, Luciano Picarelli. The Varnes classification of landslide types, an update // Landslides. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. pp. 167-194. 2014. 11:167-194. DOI 10.1007/s10346-013-0436-y.
95. Quick Clay // https://en.wikipedia.org/wiki/Quick_clay.
96. Seyyed Mojtaba Mousavi, Seyyed Alireza Hashemi, Sarvenaz Salahi, Mojgan Hosseini, Ali Mohammad Amani and Aziz Babapoor. Development of clay nanoparticles toward bio and medical applications. 2018. pp. 167-191 <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.77341>.
97. Wei Hua, Runqiu Huang, Mauri Mc.Saveneyab, Lu Yaoc, Qiang Xua, Mingshi Fengd, Xiangxui Zhang. Superheated steam, hot CO₂ and dynamic recrystallization from frictional heat jointly lubricated a giant landslide: Field and experimental evidence // Earth and Planetary Science Letters. Volume 510, 15 March 2019, pp. 85-93.