

Научная статья / Original article
УДК 624.137:626.86
DOI: <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2026-2-82-99>
EDN: <https://elibrary.ru/rfruvp>



2.1.2 Основания и фундаменты,
подземные сооружения (технические науки)
2.1.8 Проектирование и строительство дорог,
метрополитенов, аэродромов, мостов
и транспортных тоннелей (технические науки)



Разработка концепции системы противооползневой защиты территорий

А. И. Кацко ✉, Е. В. Кузнецов

Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина
Краснодар, ул. Калинина, 13, 350044, Российская Федерация

✉ sa_katsko@bk.ru

Аннотация. Оползневые процессы представляют серьезную угрозу для мелиорируемых территорий. Существующие подходы к противооползневой защите, как правило, не учитывают специфику гидромелиоративных систем, что приводит к конфликтам между регулированием водного режима почв и обеспечением устойчивости склонов. Целью настоящего исследования являлась разработка концепции системной интеграции противооползневых мероприятий с мелиоративным обустройством земель на основе методологии системного анализа и синтеза. В работе проанализирован жизненный цикл оползня – от потенциальной стадии до критической – и определены соответствующие каждому этапу типы защитных мер. Ключевым результатом исследования стала архитектура региональной информационно-аналитической системы поддержки принятия решений, объединяющая три контура управления оползневой опасностью: оперативный (система раннего оповещения на основе данных о влажности грунта, лаг до 24 ч), тактический (планирование мероприятий на срок до года) и стратегический (управление рисками и программами на 1–5 лет). Предложена схема интеграции противооползневых и мелиоративных систем, базирующаяся на создании единой дренажной сети и согласованном управлении уровнем грунтовых вод для его поддержания ниже поверхности скольжения. Научная новизна работы заключается в обосновании методики выбора оптимального комплекса защитных мер, учитывающей не только геомеханические факторы, но и задачи сельскохозяйственной мелиорации. Практическая значимость состоит в том, что реализация предложенной концепции позволит повысить эффективность инженерной защиты, снизить техногенную нагрузку на склоны и оптимизировать затраты за счет интеграции противооползневых и гидромелиоративных сооружений. Полученные результаты ориентированы на непосредственное использование при разработке проектной и рабочей документации в части инженерной защиты территорий для объектов капитального строительства, расположенных на склоновых участках.

Ключевые слова: оползневые процессы, противооползневая защита, мелиорация, дренажные системы, мониторинг природно-техногенных систем, геотехнический мониторинг, инженерная подготовка территорий

Для цитирования: Кацко А. И., Кузнецов Е. В. Разработка концепции системы противооползневой защиты территорий. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2026;6(2):82–99. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2026-2-82-99> EDN: RFRUVF

Development of a concept for a landslide protection system for territories

Aleksandr I. Katsko ✉, Evgeniy V. Kuznetsov
Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Krasnodar, 13 Kalinina St., 350044, Russian Federation

✉ sa_katsko@bk.ru



Abstract. Landslide processes pose a serious threat to reclaimed land. Typically, existing approaches to landslide protection do not account for the specific of hydro-reclamation systems, creating a conflict between regulating soil moisture regimes and ensuring slope stability. The aim of this study was to develop a concept for the systemic integration of anti-landslide measures with land improvement practices, based on the methodology of systems analysis and synthesis. The research analyzes the landslide life cycle – from the latent stage to the critical stage – and identifies the types of protective measures corresponding to each stage. A key result of this study is the architecture of a regional information and analytical Decision Support System (DSS), that integrates three tiers of landslide risk management: operational (an early warning system based on soil moisture data, with a lead time of up to 24 hours), tactical (planning measures for periods up to one year), and strategic (risk and program management for 1–5 years). A scheme for integrating anti-landslide and land reclamation systems is proposed, based on the creation of a unified drainage network and coordinated groundwater level management to maintain it below the sliding surface. The scientific novelty of this work lies in substantiation a methodology for selecting an optimal suite of protective measures that considers not only geomechanical factors, but also the objectives of agricultural land reclamation. The practical significance lies in the fact, that implementing the proposed concept will enhance the efficiency of engineering protection, reduce the technogenic load on slopes, and optimize costs through the integration of anti-landslide and hydro-reclamation measures. The obtained results are intended for direct application in the development of design and working documentation concerning the engineering protection of territories for capital construction projects located on sloping areas.

Keywords: landslides, anti-landslide protection, land reclamation, drainage systems, monitoring of environmental-technogenic systems, geotechnical monitoring, land development engineering

For citation: Katsko A. I., Kuznetsov E. V. Development of a concept for a landslide protection system for territories. *Architecture, Construction, Transport*. 2026;6(2):82–99. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2026-2-82-99>



1. Введение / Introduction

Природообустройство должно комплексно решать вопросы защиты территорий от опасных геологических процессов, в том числе оползней. Оползень – это смещение грунта вниз по склону под действием силы тяжести в условиях нарушения равновесия. Учитывая важность изучения и прогнозирования оползневых процессов, в 1928 г. на гидрологическом съезде¹ было решено создавать оползневые станции: на полуострове Крым станция была основана в 1930 г., в Одессе – в 1932 г., в Сочи – в 1934 г., в Горьком и Волгограде – в 1946 г., в Москве – в 1955 г. и т. д. За эти годы был накоплен и обобщен большой практический опыт по получению региональных и локальных прогнозов оползневой опасности.

Противооползневая защита подразумевает комплекс взаимосвязанных мер: мониторинг, оценку риска, проектирование, строительство, эксплуатацию природоохранных и противооползневых сооружений и т. д. Статистика показывает высокую уязвимость России к оползням, причем основным пусковым механизмом их появления (80 % случаев) считается хозяйственная деятельность.

¹ Ибатулин Х. В., Айдаралиев Б. Р., Ордобаев Б. С. Создание и ликвидация оползневой службы Республики. *Наука и новые технологии*. 2012;(2):63–64. URL: <https://www.elibrary.ru/vjxcsv>

Также существенное влияние оказывают интенсивность и продолжительность осадков, наводнения. Ключевым фактором стабильности склонов является их водный режим, который кардинально меняется при осушении, орошении или дренировании. Таким образом, возникает необходимость в системном объединении гидротехнических мелиоративных систем и инженерных решений по противооползневой защите для достижения общей цели устойчивого развития территорий [1].

Обычно влияние осадков на устойчивость склона описывают с использованием гидравлического градиента, порового давления и других характеристик влажности грунта. Так, например, японские ученые предлагают использовать объемное содержание воды iQS , при котором инфильтрация осадков и дренаж уравниваются [2]. Вводится безразмерный показатель, основанный на влажности грунта:

$$iQS = \frac{VWC}{IQS}, \quad (1)$$

где VWC – измеренное объемное содержание воды,

IQS – кватинасыщенный объемное содержание воды (максимальная объемная влажность грунта).

При $iQS > 1$ на подошве верхнего слоя грунта образуется слой воды, появление которого позволяет сделать вывод о риске возникновения неглубокого оползня. Это дает возможность принять меры, например, по закрытию дорог и т. п.

В настоящее время для прогнозирования и оценки состояния оползневых процессов используют системы мониторинга, различные методы анализа временных рядов [3–8], математического моделирования [9–11], метод ассимиляции данных об оползнях для прогнозирования смещения [12]. Оценка подверженности оползням проводится с использованием вероятностного подхода и физически обоснованных методов, оценка распространения оползней – с использованием объемной модели и динамической модели, методы наземного мониторинга, дистанционного зондирования применяются для мониторинга оползней и раннего предупреждения оползней с использованием пороговых значений осадков и физических параметров [13].

В фундаментальном обзоре современных методов прогнозирования оползней (было рассмотрено 159 статей до июля 2024 г.) на основании моделей временных рядов [14] отмечается, что глубокое обучение с использованием рекуррентных нейронных сетей долгой краткосрочной памяти LSTM (long short-term memory) превосходит все традиционные методы [15, 16].

Однако моделирование с использованием LSTM – случайный процесс, который зависит от настроек гиперпараметров модели, качества данных и оптимизации. Поэтому при моделировании оползней рекомендуется опираться на физически обоснованные причинные модели (в частности связанные с экологическими рисками: осадками, уровнем грунтовых вод и т. д.). Для этого во многих странах мира создают системы прогнозирования и раннего оповещения, позволяющие разрабатывать сценарии развития оползневых процессов и осуществлять мероприятия по противооползневой защите.

В упомянутой выше обзорной статье, посвященной прогнозированию оползней по временным рядам, основное внимание уделяется методам машинного обучения (нейронным сетям), которые очень сложно интерпретировать и, как следствие, сложно использовать (человек не использует то, что плохо понимает).

Выделяют следующие этапы получения модели прогноза:

- предобработка временного ряда (выбор временного интервала, частоты дискретизации (минуты, часы, дни – 41 %, месяцы – 59 %), декомпозиция на компоненты, выбор лага, отбор значимых признаков (удаление признаков с низкой дисперсией, перебор признаков различными методами), изучение корреляций и автокорреляций;

- выбор модели (пространственной, временной);
- оптимизация (настройка гиперпараметров обучения, оптимизация обучения, выбор функции потерь, нормализация данных, оценка переобучения, выбор функции активации);
- оценка модели (взвешенные и/или невзвешенные метрики);
- прогнозирование (точечный и/или интервальный прогноз оползня).

Однако в доступных литературных обзорах практически не рассматриваются локальные модели прогноза. Недостаточно внимания уделено физически обоснованным причинным моделям, подготовке данных, оценке качества моделей прогноза, а также вопросам использования результатов прогнозирования для планирования противооползневых мероприятий.

Необходимость интерпретируемых моделей для прогнозирования локального течения оползня подтверждается примерами активных оползней [17]. Например, крымские оползни движутся до 100 мм в год, в районе сельских округов Сочи после осадков и точечной застройки оползни происходят регулярно (около 30 за 2024 г.) и т. д.

Перечисленные подходы не позволяют управлять оползневым риском, что возможно при наличии соответствующих дренажных систем, снабженных средствами прогнозирования и контроля. Актуальность настоящей статьи подтверждается тем, что, несмотря на многочисленные исследования в области противооползневой защиты, все еще не затронуты следующие вопросы:

- отсутствует классификация соответствия противооползневых мероприятий и степени развития оползня на мелиорируемых территориях;
- отсутствует системная интеграция между системами противооползневой защиты и мелиоративными гидротехническими сооружениями;
- отсутствует интеграция современных методов мониторинга и систем раннего предупреждения, опирающаяся на обработку ретроспективных данных и данных в реальном режиме времени.

Выработка предложений по решению этих вопросов в рамках разработки концепции интеграции системы противооползневой защиты территорий и мелиоративных систем и являлась целью настоящей статьи.

Комплексный подход к эффективному управлению мелиорируемыми территориями обусловлен необходимостью улучшения состава, структуры, состояния и свойств грунтов как для решения экологических задач, так и для создания необходимых условий для строительства (устройства оснований зданий, прокладки коммуникаций, планировки склонов), а также для инженерной защиты территорий от опасных экзогенных и эндогенных процессов. При этом техническая мелиорация выступает не только как агромелиоративное мероприятие, но и как обязательный элемент инженерной подготовки строительной площадки на склоновых территориях, поскольку именно режим грунтовых вод определяет несущую способность основания и устойчивость склона.

Необходимо отметить, что геотехнический мониторинг оползневых процессов регулируется большим количеством нормативных документов. В частности, изыскательский базис задает СП 420.1325800.2018², в котором рассмотрены обязательные требования к объему и методам инженерно-геологических изысканий; общие принципы, классификацию защитных мероприятий и требова-

² СП 420.1325800.2018 Инженерные изыскания для строительства в районах развития оползневых процессов. Общие требования = Engineering surveys for construction in the areas of development of landslide processes. General requirements. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554403569?ysclid=mes8tu4cnr402964171> (дата обращения: 10.01.2026).

ния к проведению работ устанавливает СП 116.13330.2012³; проектирование противооползневых и противообвальных сооружений регламентирует СП 436.1325800.2018⁴; регулирование дренажных систем и водоотвода регламентируют СП 81.13330.2017⁵ и СП 100.13330.2016⁶. Подробный анализ нормативно-технической документации, регулирующей проведение геотехнического мониторинга оползневых процессов, в частности, проведен в работе [18]. Система мер противооползневой защиты без учета требований существующих нормативных документов будет неполной.

2. Материалы и методы / Materials and methods

В настоящее время в России отсутствуют комплексные решения по защите территорий от оползней, в том числе на стадии раннего оповещения. Известно достаточно много классификаций оползней, учитывающих различные признаки этих процессов^{7,8} [19]. На рис. 1 представлена классификация оползней с выделением: механизма движения, типа активности, глубины захвата, масштаба.

Разработка концепции опиралась на классификацию оползней и анализ факторов, влияющих на оползневый процесс. Оползень, как и любая другая система, имеет жизненный цикл развития от

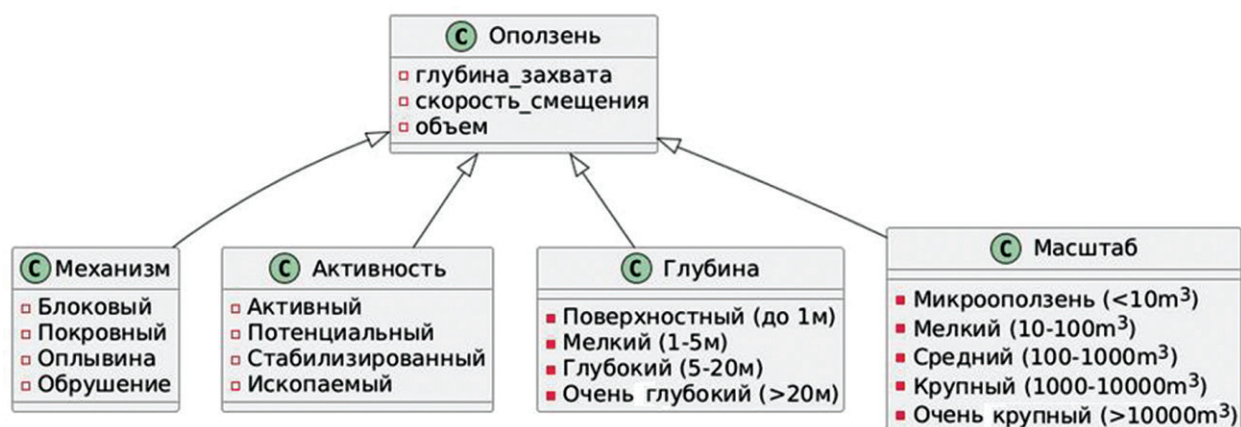


Рис. 1. Классификация оползней по различным критериям (рисунок авторов)
Fig. 1. Landslide classification according to various criteria (authors' figure)

³ СП 116.13330.2012 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения = Engineering protection of territories, buildings and structures from dangerous geological processes. Basic principles. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095540?ysclid=mes83gluda622046607> (дата обращения: 10.01.2026).

⁴ СП 436.1325800.2018 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от оползней и обвалов. Правила проектирования = Engineering protection of territories, buildings and structures against landslides and rockfalls. Design rules. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554818840> (дата обращения: 12.01.2026).

⁵ СП 81.13330.2017 Мелиоративные системы и сооружения = The reclamation systems and construction: Актуализированная редакция СНиП 3.07.03-85*. URL: <https://docs.cntd.ru/document/550565907> (дата обращения: 10.01.2026).

⁶ СП 100.13330.2016 Мелиоративные системы и сооружения = The reclamation systems and construction: Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-8. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456050590> (дата обращения: 10.01.2026).

⁷ Емельянова Е. П. Основные закономерности оползневых процессов. Москва: Недра; 1972. 308 с. URL: <https://www.geokniga.org/books/36307>

⁸ Гулакян К. А., Кюнтцель В. В., Постоев Г. П. Прогнозирование оползневых процессов. Москва: Недра; 1977. 138 с.

появления до исчезновения, и на каждой стадии предполагаются различные сочетания мер по защите склона от оползня: дренаж, мониторинг, залужение, установка анкеров, свай, устройство подпорных стен и т. д. Блок-схема развития геомеханических процессов, связанных с оползнями на склонах, представлена на рис. 2. На практике при обводнении грунтов склонов (вызванных повышением уровня грунтовых вод, выпадением обильных осадков, снеготаянием, прорывом коммуникаций и др.) главной причиной активизации оползневых процессов и потери устойчивости откосов и склонов становится именно деградация физико-механических свойств грунтов. Данный эффект особенно свойственен глинистым грунтам.

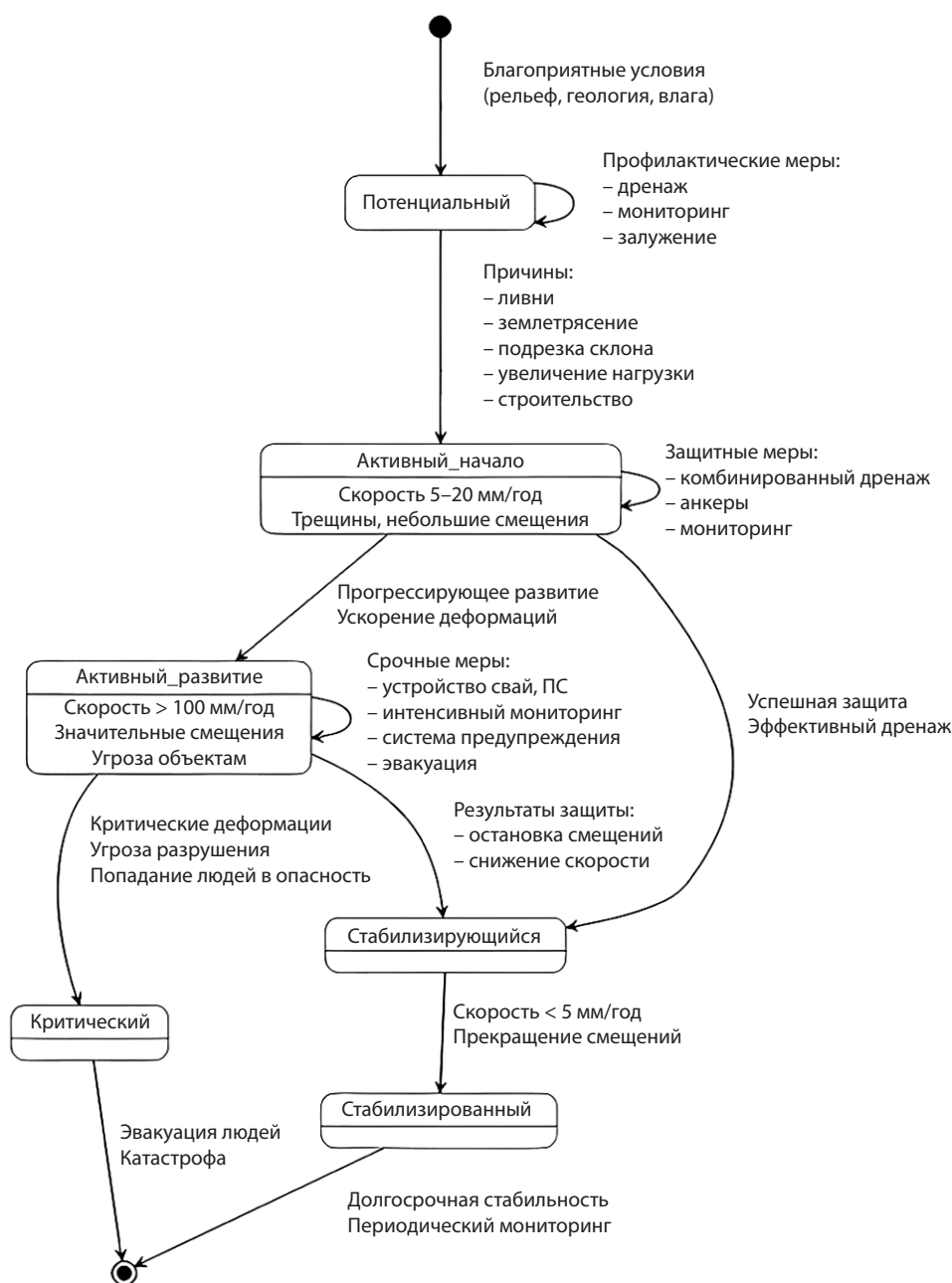


Рис. 2. Жизненный цикл оползня и этапы защиты (рисунок авторов)
Fig. 2. The landslide life cycle and protection stages (authors' figure)

Потенциальным оползневым процессам на территории сопутствуют наличие склона (обычно 5–7° для глинистых грунтов и от 19° для остальных), глинистых и рыхлых грунтов, повышенная влажность.

Для профилактики проводятся следующие мероприятия: дренаж, позволяющий осуществлять отвод поверхностных и грунтовых вод; мониторинг, позволяющий контролировать движение на склоне (с помощью инклинометров), уровень влажности (посредством пьезометров) и др.

Активная стадия оползня (начало) характеризуется наличием трещин, «блюдец замокания», смещением грунтов на склоне до 20 мм в год. Успешная защита (мониторинг, устройство грунтовых анкеров, эффективный комбинированный дренаж) позволяет перевести оползень в стадию стабилизирующегося.

В противном случае (при смещении до 100 мм в год и более) говорят о развитии активной стадии оползня. Проводится интенсивный мониторинг, реализуется система предупреждения с возможностью эвакуации населения. Если срочные меры, такие как уположение склона, устройство свай, подпорных стен и др., не позволяют стабилизировать склон, то ситуация признается критической, возникает риск уязвимости населения, разрушения объектов природообустройства, потерь имущества.

В условиях сложной геологической и метеорологической обстановки, которая способствует возникновению оползневых процессов в предгорной и горной территории Северного Кавказа (например, в Краснодарском крае, Республике Адыгея), Крыма, требуется иметь оперативные, тактические и стратегические программы борьбы с оползневыми рисками. Отсутствие инженерной защиты и мелиоративных систем на сельхозугодьях приводит к катастрофическим последствиям (рис. 3), что подчеркивает необходимость предлагаемой авторами интеграции.

Меры, необходимые для разработки концепции противооползневой защиты территорий

1. На оперативном уровне (реагирование и мониторинг) работа системы должна обеспечиваться данными мониторинга (показаниями инклинометров, пьезометров, материалами спутниковой радиолокационной интерферометрии). Методы исследования: анализ временных рядов с выявлением точек структурных изменений, использование пороговых значений (уровня осадков, влажности, вибрации) для срабатывания системы оповещения, визуальное обследование (выявление трещин, деформаций, наличия «пьяного» леса).
2. На тактическом уровне осуществляется выбор конкретных инженерных решений, опирающихся на результаты изысканий, для защиты территорий от оползней. Методы исследования включают вариантное проектирование и сравнительный анализ, расчет устойчивости склона.



Рис. 3. Уничтоженные сельскохозяйственные поля из-за оползня в деревне Хамбарли, штат Махараштра, Индия, июль 2021 г.

(источник: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Destroyed_agricultural_fields_due_to_landslide.jpg)
Fig. 3. Destroyed agricultural fields due to a landslide in Khambarli village, Maharashtra, India, July 2021
(source: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Destroyed_agricultural_fields_due_to_landslide.jpg)

3. На стратегическом уровне должно осуществляться территориальное планирование и управление, ориентированное на долгосрочную защиту территорий от оползня, с учетом генеральных планов развития территорий, данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и т. д. В числе методов – использование геоинформационных технологий, методы принятия оптимальных решений, прогнозное и сценарное моделирование. Экономическая эффективность решений определяется как отношение *затраты / предотвращенный ущерб*.

Проектируемая информационная система должна объединять три уровня следующим образом: оперативный мониторинг позволяет актуализировать тактический уровень; тактические решения используются для корректировки стратегии развития; стратегические планы и ограничения используются на тактическом уровне.

Развитие интегрированной системы противооползневой защиты предполагает в рамках мониторинга и системы раннего предупреждения использовать спутники, геофизические методы, искусственный интеллект на базе нейронных сетей. Интеграция противооползневых сооружений и мелиоративного обустройства территорий позволит избежать конфликтов между мелиоративными системами и устойчивостью склонов, а научно обоснованный выбор противооползневых мероприятий позволит оптимизировать затраты. В настоящее время в России только начинают внедряться системы раннего оповещения об оползневой (селевой и др.) опасности, и авторы надеются, что систематизация современных методов противооползневой защиты и выработанные в настоящей статье рекомендации послужат их успешной реализации.

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

Международный опыт подтверждает необходимость разработки региональной информационно-аналитической системы поддержки принятия решений (СППР) по управлению оползневой опасностью, реализующей системный подход к управлению рисками. Для функционирования концепции управления оползневой опасностью предлагается следующая архитектура, позволяющая связать блоки СППР (рис. 4). Концепция СППР предполагает: цикл непрерывного управления (мониторинг (ДЗЗ + наземный) – анализ и прогноз (модели) – оценка рисков – решение – реализация – эксплуатация + мониторинг); наличие блока «интерфейсы и исполнение», блока «цифровой двойник территории», отражающего физико-механические свойства склона.

Кроме того, концепция СППР опирается на несколько взаимосвязанных уровней (контуров управления; блок «система принятия решений»), каждый из которых соответствует определенному временному горизонту, масштабу решений и категории пользователей:

- оперативный, реализующий функцию системы раннего оповещения населения об оползневой опасности (не позднее чем за 24 часа);
- тактический, который предполагает возможность планирования противооползневых мелиоративных мероприятий с лагом от нескольких месяцев до года;
- стратегический, позволяющий управлять рисками, планировать мероприятия, программы и регламенты проведения противооползневых мероприятий на срок от года до пяти лет.

На стратегическом уровне регулярно (ежеквартально, ежегодно) обобщаются исторические свидетельства о наступлении оползней и примеры решения задач управления рисками. Проводится ранжирование зон риска и планируемых мелиоративных мероприятий с точки зрения экономической эффективности. Входные данные для СППР формируются на основе данных ДЗЗ и наземного мониторинга (блок «источники данных»). Требования к данным (актуальность, точность, совместимость и полнота) обеспечиваются нормативными регламентами (СНиПами, ГОСТами).

Алгоритмическое ядро СППР опирается на модели обработки данных InSAR, контуры управления (оперативный, тактический, стратегический), модуль оценки.

Требования к СППР: адаптируемость к изменяющимся условиям внешней среды, точность, надежность, производительность, масштабируемость, удобный интерфейс, интегрируемость с внешними системами, кросс-платформенность.

Предлагаемая архитектура СППР предполагает возможность расширения. Например, если рассматривать использование оросительной системы на склоне, то во избежание оползня следует контролировать уровень грунтовых вод, чтобы он не поднялся выше поверхности скольжения.

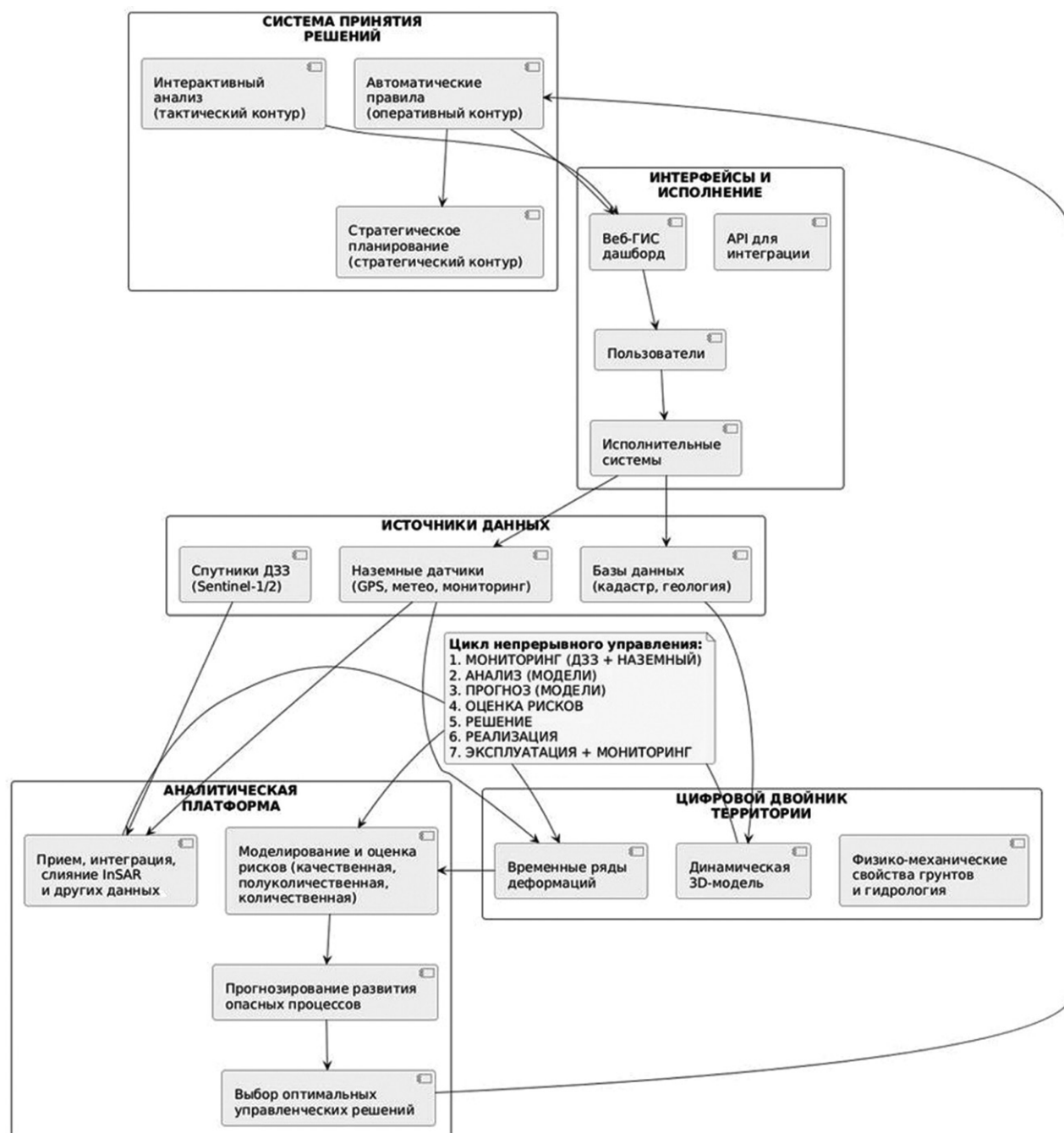


Рис. 4. Архитектура региональной информационно-аналитической СППР для защиты территорий от оползней (рисунок авторов)
Fig. 4. Architecture of the regional information and analytical Decision Support System for territory protection against landslide (authors' figure)

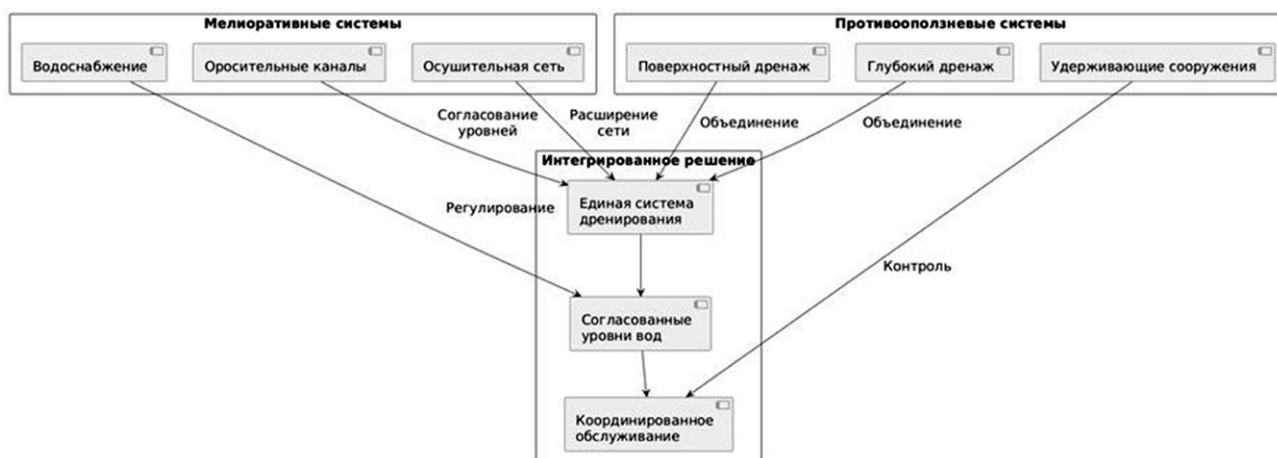


Рис. 5. Интеграция противооползневой защиты с мелиоративными системами (рисунок авторов)
Fig. 5. Integration of anti-landslide protection with land reclamation systems (authors' figure)

Для этого можно предложить использование автоматизированной системы управления дренажем, позволяющей регулировать уровень грунтовых вод с использованием задвижки и насоса. Кроме того, контроль уровня грунтовых вод будет способствовать выявлению таких проблем, как засорение дренажа, неисправность насоса и т. д. На рис. 5 представлена предлагаемая в настоящей статье схема интеграции противооползневой и мелиоративной системы, предполагающая единую систему дренажирования, согласования уровня вод, координированное обслуживание.

Рассмотрим более подробно факторы, от которых зависит устойчивость склона⁹ [20]:

- геоморфологические (крутизна, высота, форма, экспозиция);
- геологические и литологические (наличие глины и алевроитов, водоупорных слоев; степень выветривания пород; трещиноватость пород);
- гидрогеологические (уровень и режим грунтовых вод; наличие напорных водоносных горизонтов; поровое давление; поверхностный сток и перехват воды);
- физико-механические (угол внутреннего трения φ ; удельное сцепление c ; объемный вес γ ; коэффициент фильтрации k ; сжимаемость и водопроницаемость);
- климатические (количество осадков; интенсивность ливней; промерзание – оттаивание (температурный режим); влажность; испарение);
- антропогенные (подрезка склонов; изменение нагрузки на склон); изменение гидрологического режима (мелиорация, водоотведение, орошение; нарушение растительного покрова; вибрации).

Важными факторами влияния на устойчивость склона являются взаимосвязанные показатели влажности грунта: гидравлический градиент, поровое давление [2, 4, 20]. Общий анализ устойчивости склона и удерживающих сооружений с учетом влияния уровня грунтовых вод подразумевает несколько этапов.

Этап 1. Гидравлический анализ – моделирование инфильтрации и развития поровых давлений.

Этап 2. Геотехнические расчеты (анализ устойчивости). Например, методом Моргенштерна – Прайса, который основан на разбиении поверхности скольжения на полосы и одновременном удовлетворении уравнений равновесия сил и моментов каждой полосы. Кроме того, этот метод удов-

⁹ См. сноску 7.

летворяет различным геометриям склона, позволяет учитывать распределение поровых давлений вдоль поверхности скольжения и получать консервативные оценки.

В настоящее время передовым методом оценки устойчивости является применение численного моделирования. Моделирование выполняется с помощью программных комплексов, основанных на методе конечных элементов (Plaxis, Midas и др.). При этом значения коэффициентов устойчивости, полученных численными методами, как правило, меньше тех, что получены инженерными методиками (Феллениуса, Бишопа, Спенсера, Ямбу др.). Это позволяет выполнять оценку устойчивости и проектировать мероприятия инженерной защиты в запас надежности.

Этап 3. Проектирование сооружений (расчет конструкций).

Этап 4. Мониторинг (раннее предупреждение на основе показаний датчиков и анализа их показаний во времени).

Системная интеграция гидравлического анализа, геотехнических расчетов должна учитывать при проектировании сооружений и разработке системы мониторинга для контроля и управления водным режимом мелиорируемых территорий. Это будет способствовать своевременному выявлению таких критических ситуаций, как засорение дренажа, сбои в работе насосов, прогнозированию повышения уровня грунтовых вод над уровнем поверхности скольжения оползневой тела и т. д.

Противооползневая защита мелиорируемых территорий должна использовать системный подход, позволяющий сочетать пассивные (профилактические) меры и активные методы стабилизации оползня. Увеличение гидравлического градиента экспоненциально снижает устойчивость склона и может привести к оползню. При развитии порового давления, что сопровождается изменением влажности склона от естественной к водонасыщенной, понижаются сцепление и угол внутреннего трения (взаимосвязанные параметры грунта), что вызывает понижение коэффициента устойчивости.

Поэтому интегрированная система противооползневой защиты с мелиоративным обустройством территорий должна контролировать работу общих дренажных систем, что обеспечит стабилизацию удерживающих сооружений. Состояние оползневой процесса, уровня грунтовых вод и внешние факторы фиксируются системой мониторинга. Это позволит снизить общие затраты, повысит эффективность защиты, улучшит водный режим почв, снизит техногенное воздействие.

Основой системной интеграции противооползневых мероприятий с мелиоративным обустройством территорий является проектирование дренажных систем, устраняющих главную причину оползней – переувлажнение грунтов – и позволяющих одновременно решать две задачи: регуляции водного режима почв и контроля уровня грунтовых вод ниже поверхности скольжения (рис. 6).

Дренажные системы контролируют уровень грунтовых вод. Это стабилизирует нагрузку на противооползневые удерживающие сооружения и позволяет удерживать оползневые массы.

Необходимо дополнить нормативную базу, регламентирующую проектирование, строительство и эксплуатацию противооползневых сооружений на мелиорируемых землях с учетом специфики гидромелиоративных систем.

Взаимодействие элементов интегрированной системы представлено на рис. 5. Интеграция с мелиорацией позволяет регулировать уровень дренирования, что обеспечивает стабилизацию удерживающих сооружений. Контроль за оползневой процессом, влиянием мероприятий и внешних воздействий осуществляется с использованием системы мониторинга, на которую опирается система раннего предупреждения об оползневой опасности.

Классификация противооползневых мероприятий по критериям эффективности и стоимости приведена в таблице 1. На рис. 6 представлена последовательность взаимодействия компонентов интегрированной системы.

Методика выбора мероприятий может быть представлена в виде последовательности шагов.

Шаг 1. Оценка стадии развития оползня по данным мониторинга (смещения, влажность).

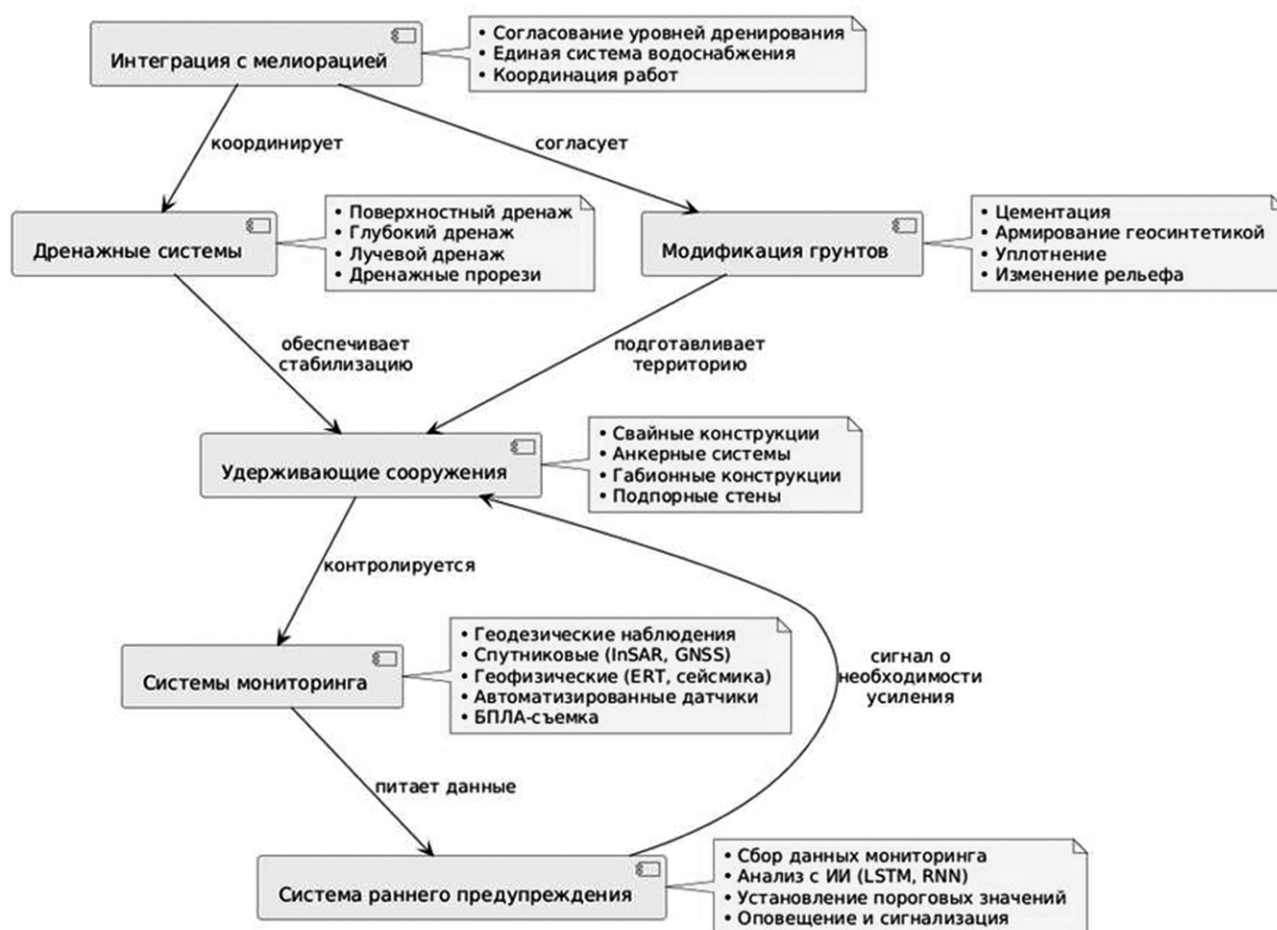


Рис. 6. Компоненты интегрированной системы противооползневой защиты (рисунок авторов)
Fig. 6. Components of an integrated anti-landslide protection system (authors' figure)

Шаг 2. Учет мелиоративных требований (необходимый уровень осушения/орошения).

Шаг 3. Выбор типа мероприятий по таблице 1 с учетом стадии и стоимости.

Шаг 4. Проверка устойчивости расчетом по методу Morgenштерна – Прайса.

Шаг 5. Интеграция с дренажной системой.

Мониторинг с использованием датчиков позволяет осуществлять контроль за смещением, уровнем воды, осадками, напряжением и давлением на удерживающие сооружения. Данные мониторинга используются в системе раннего предупреждения для анализа трендов и прогнозирования оползневой опасности. Показания системы раннего предупреждения являются основой для усиления сооружения или интенсификации дренажа, мониторинга и т. д.

Следует учитывать, что процесс управления системной интеграцией противооползневых мероприятий с мелиоративным обустройством территорий имеет стратегический, тактический и оперативный уровни (таблица 2) и сопровождается рисками, которые имеют следующую структуру:

- внешние (землетрясения, экстремальные осадки, техногенные воздействия),
- финансовые (превышение бюджета, задержка финансирования, инфляция),
- организационные (нехватка квалифицированных специалистов, проблемы координации, нарушение сроков строительства),
- технические (недостаточность выбранных мероприятий, ошибки в оценке геологии, отказ оборудования при проведении мониторинга),

Таблица 1. Противооползневые мероприятия
Table 1. Anti-landslide measures

Мероприятие	Эффективность
Поверхностный дренаж	Стоимость: низкая, сроки: 1–2 мес., эффективность: 40–60 %, стадия: потенциальная
Глубокий дренаж	Стоимость: средняя, сроки: 2–6 мес., эффективность: 70–80 %, стадия: активная
Свайные конструкции	Стоимость: высокая, сроки: 3–12 мес., эффективность: 85–95 %; глубинные оползни
Грунтовые анкеры	Стоимость: высокая, сроки: 1–2 мес., эффективность: 60–75 %, поверхностные оползни
Габионные конструкции	Стоимость: средняя, сроки: 1–3 мес., эффективность: 70–85 %, поверхностные оползни
Система мониторинга	Стоимость: средняя, сроки: 1–2 мес., эффективность: ≈100 % (предупреждение), все стадии

Таблица 2. Управление системой противооползневой защиты
Table 2. Management of the anti-landslide protection system

Уровень	Функции		
Стратегический	Политика противооползневой защиты	Интеграция с мелиоративными программами	Управление рисками
Тактический	Планирование проектов	Выделение ресурсов	Согласование с МЧС и администрацией
Оперативный	Проектирование сооружений	Строительство и монтаж	Техническое обслуживание

- социальные (невосприятие населением опасности, проблемы эвакуации, отсутствие осведомленности).

Управление противооползневой защитой должно обеспечиваться нормативно-правовыми положениями, финансами и учетом, поддерживаться информационно (данными мониторинга, базами данных, аналитикой, системами ИИ), организационно (кадрами, возможностью обучения персонала, разработкой необходимых процедур, взаимодействием со службами). На рис. 7 представлена диаграмма последовательности взаимодействия компонентов интегрированной системы, которая иллюстрирует ее логику работы.

Для снижения рисков необходим последовательный подход с опорой на работу МЧС. Для оценки рисков оползневой опасности можно использовать, например, байесовские сети доверия [21].

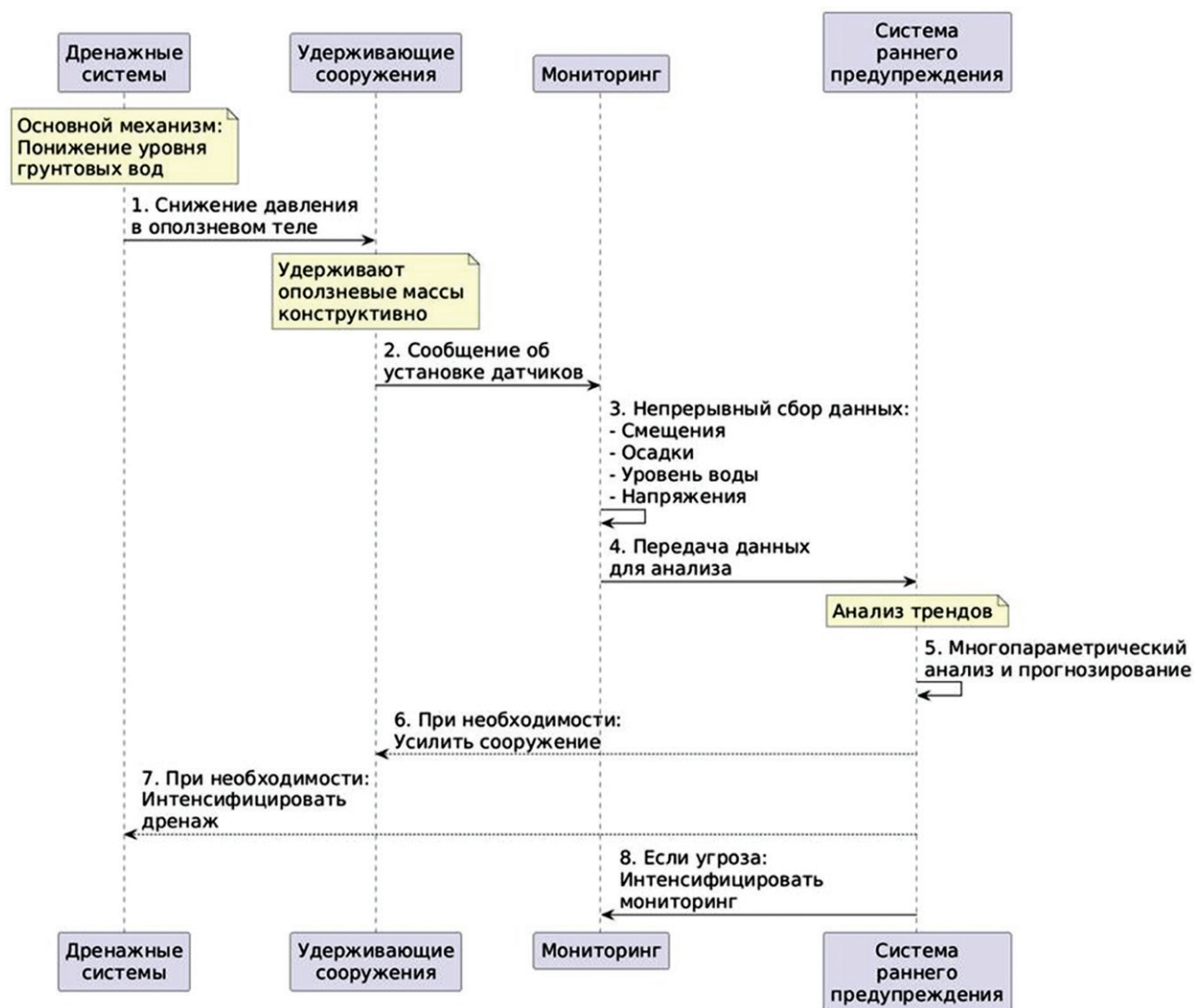


Рис. 7. Последовательность взаимодействия компонентов интегрированной системы (рисунок авторов)
Fig. 7. Sequence of interaction among integrated system components (authors' figure)

4. Заключение / Conclusions

В работе предложена и обоснована концепция системы противооползневой защиты территорий, базирующаяся на интеграции инженерных и мелиоративных решений. Основные результаты исследования заключаются в следующем.

Разработана архитектура региональной информационно-аналитической СППР, объединяющая три контура управления оползневой опасностью: оперативный (система раннего оповещения – до 24 ч), тактический (планирование мероприятий на срок до года) и стратегический (управление рисками и программами на 1–5 лет). Такая иерархическая структура позволяет своевременно реагировать на изменения состояния склонов и эффективно распределять ресурсы. Предложена схема интеграции противооползневых и мелиоративных систем, ключевым элементом которой является создание единой дренажной сети, обеспечивающей одновременно регулирование водного режима почв и поддержание уровня грунтовых вод ниже поверхности скольжения. Это исключает конфликт между задачами сельскохозяйственного производства и требованиями устойчивости склонов.

Обоснована методика выбора оптимального комплекса защитных мер, учитывающая стадию развития оползневой опасности, геомеханические характеристики грунтов, а также специфику мелиоративного обустройства территорий. Методика опирается на классификацию мероприятий по эффективности и стоимости, что позволяет принимать экономически обоснованные решения.

Таким образом, при необходимости строительства на территориях с потенциальной оползневой опасностью разработанная концепция дает: для оснований и фундаментов – инструмент расчета с учетом регулируемого УГВ; для дорог – алгоритм безопасного ведения работ на склонах. Это позволяет перевести техническую мелиорацию из разряда агромер в состав обязательных инженерно-строительных мероприятий.

Определены направления совершенствования нормативной базы в области проектирования и эксплуатации противооползневых сооружений на мелиорируемых землях. Предложенная концепция может служить основой для разработки ведомственных строительных норм и стандартов, регламентирующих создание интегрированных систем инженерной защиты.



Вклад авторов. Кацко А. И.: анализ и сбор данных, проведение экспериментов, написание первоначального текста статьи, создание графиков, схем, иллюстраций. Кузнецов Е. В.: научное руководство, формулирование идеи и цели исследования, критический анализ содержания, проверка результатов и воспроизводимости, редактирование и доработка текста.

Author contributions. Aleksandr I. Katsko: data collection and analysis, investigation, writing original draft, visualization (creation of diagrams, schemes, and figures). Evgeniy V. Kuznetsov: supervision, conceptualization, critical analysis of content, validation, text review and editing.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no relevant conflict of interest.

Список литературы

1. Кацко А. И., Кацко Д. И., Кузнецов Е. В. Формирование экологии речных ландшафтов: мониторинг, предупреждение размыва почв. В сб.: *Экология речных ландшафтов: материалы VIII Международной научной экологической конференции, Краснодар, 01 декабря 2023 года*. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина; 2024. С. 138–143. URL: <https://elibrary.ru/uqcqrp>
2. Коидзуми К., Ода К., Комацу М., Ито С., Цуцуми Х. Метод мониторинга состояния откоса для предупреждений о вызванных дождями неглубоких оползнях. *Геоинфо*. 2023;(6)58–64. URL: <https://geoinfo.ru/wp-content/uploads/2026/04/vypusk-6-2023-2.pdf>
3. Кацко А.И., Маций С.И. Оценка состояния оползневой опасности на основе анализа многомерных временных рядов данных геотехнического мониторинга. *Природообустройство*. 2024;(3):80–87. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-80-87>
4. Кортиев А. Л., Хасцаев Б. Д., Кортиев А. А. Метод мониторинга и достоверного прогнозирования возникновения оползней дорог на основе цифрового устройства. *Горная промышленность*. 2025;(15):47–54. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-15-47-54>
5. Габитов Ф. Г., Зейналов А. З., Байрамова К. К. Прогноз времени возникновения оползневых подвижек. *Вестник МАНЭБ*. 2023;28(3):159–163. <https://elibrary.ru/cmposl>
6. Хорошилов В. С., Павловская О. Г., Кобелева Н. Н., Ямбаев Х. К. Математическое моделирование динамики перемещений оползневых склонов в условиях техногенных воздействий. *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*. 2023;28(1):45–58. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2023-28-1-45-58>
7. Маджиди М., Ишук Н. Р., Якубова Г. Ю. Мониторинг опасных оползневых участков берегов Рогунского водохранилища. *Водные ресурсы, энергетика и экология*. 2023;3(1):117–122. URL: <https://www.elibrary.ru/xvtbj>
8. Barra A., Solari L., Béjar-Pizarro M., Monserrat O., Bianchini S., Herrera G., et al. A Methodology to detect and update active deformation areas based on Sentinel-1 SAR Images. *Remote Sensing*. 2017;9(10):1002. <https://doi.org/10.3390/rs9101002>

9. Гуц А. К. Периодические процессы в системе «оползни – наводнения – землетрясения». *Математические структуры и моделирование*. 2024;(2):51–62. <https://doi.org/10.24147/2222-8772.2024.2.51-62>
10. Барабанов А. Т., Панов В. И. Преобразование гидрологического режима степных агроландшафтов. В сб.: *Степи Северной Евразии: материалы девятого международного симпозиума, Оренбург, 07–11 июня 2021 года*. Оренбург: Оренбургский государственный университет; 2021. С. 105–110. <https://doi.org/10.24412/cl-36359-2021-105-110>
11. Корженевский Б. И., Коломийцев Н. В., Толкачев Г. Ю. Гравитационное движение грунтов на склонах и их влияние на состояние водных объектов. *Природообустройство*. 2023;(5):81–87. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-81-87>
12. Wang J., Nie G., Xue C. Landslide displacement prediction based on time series analysis and data assimilation with hydrological factors. *Arabian Journal of Geosciences*. 2020;13:460. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05452-1>
13. Chae B. G., Park H. J., Catani F., Simoni A., Berti M. Landslide prediction, monitoring and early warning: a concise review of state-of-the-art. *Geosciences Journal*. 2017;21:1033–1070. <https://doi.org/10.1007/s12303-017-0034-4>
14. Ebrahim K. M. P., Fares A., Faris N., Zayed T. Exploring time series models for landslide prediction: a literature review. *Geoenvironmental Disasters*. 2024;11:25. <https://doi.org/10.1186/s40677-024-00288-3>
15. Lin Z., Sun X., Ji Y. Landslide displacement prediction based on time series analysis and double-BiLSTM model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(4):2077. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042077>
16. Baum R. L., Godt J. W. Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debris flows in the USA. *Landslides*. 2010;7:259–272. <https://doi.org/10.1007/s10346-009-0177-0>
17. Ge Q., Li J., Wang X., Deng Y., Zhang K., Sun H. LiteTransNet: An interpretable approach for landslide displacement prediction using transformer model with attention mechanism. *Engineering Geology*. 2024;331(7):107446. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107446>
18. Сидаравичуте У. Р., Маций С. И. Анализ нормативно-технической документации производства геотехнического мониторинга оползневых процессов. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(3):34–54. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-34-54>
19. Зеркаль О. В., Фоменко И. К. Оползни в скальных грунтах и оценка их устойчивости. *Инженерная геология*. 2016;(4):4–21.
20. Маций С. И., Безуглова Е. В. *Управление оползневой опасностью*. Краснодар: АлВи-дизайн; 2010. 239 с.
21. Кацко Д. И. Вероятностное управление оползневой опасностью с использованием байесовских сетей доверия. *Природообустройство*. 2025;(2):60–67. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-60-67>

References

1. Kasko A. I., Katsko D. I., Kuznetsov E. V. Formation of the ecology of river landscape: monitoring, warning soil water. In: *Ekologiya rechnykh landshaftov: materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchnoy ekologicheskoy konferentsii, Krasnodar, December 1, 2023*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin; 2024. P. 138–143. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/uqcqrp>
2. Koizumi K., Oda K., Komatsu M., Ito S., Tsutsumi H. Slope structural health monitoring method against rainfall-induced shallow landslide. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;615:012046. (In Russ.) <https://doi.org/10.1088/1757-899X/615/1/012046> URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/615/1/012046>
3. Katsko A. I., Matsiy S. I. Assessment of the state of a landslide slope based on the analysis of multidimensional time series of geotechnical monitoring data. *Environmental Engineering*. 2024;(3):80–87. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-80-87>
4. Kortiev A. L., Khastsayev B. D., Kortiev A. A. A method to monitor and reliably predict emergence of road landslides using a digital device. *Russian Mining Industry*. 2025;(15):47–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-15-47-54>
5. Gabibov F. G., Zeynalova A. Z., Bayramova K. K. Forecasting the time of occupation of land-slides. *Westnik IAELPS*. 2023;28(3):159–163. (In Russ.) <https://elibrary.ru/cmposl>
6. Khoroshilov V. S., Pavlovskaya O. G., Kobeleva N. N., Yambaev Kh. K. Mathematical modeling of the displacements dynamics of landslide slopes under the conditions of technogenic impacts. *Vestnik of the*

- Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT)*. 2023;28(1):45–58. (In Russ.) <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2023-28-1-45-58>
7. Majidi M. M., Ishchuk N. R., Yakubova G. Yu. Monitoring hazardous landslide areas on the shore of the Rogun reservoir. *Water Resources, Energetics and Ecology*. 2023;3(1):117–122. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/xvtbjs>
 8. Barra A., Solari L., Béjar-Pizarro M., Monserrat O., Bianchini S., Herrera G., et al. A Methodology to detect and update active deformation areas based on Sentinel-1 SAR Images. *Remote Sensing*. 2017;9(10):1002. <https://doi.org/10.3390/rs9101002>
 9. Guts A. K. Periodic processes in the system "landslides – floods – earthquakes". *Mathematical Structures and Modeling*. 2024;(2):51–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.24147/2222-8772.2024.2.51-62>
 10. Barabanov A. T., Panov V. I. Transformation of the hydrological regime of steppe agricultural landscapes. In: *Steppes of Northern Eurasia: proceedings of the Ninth International Symposium*. Orenburg: OSU; 2021. P. 105–110. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/cl-36359-2021-105-110>
 11. Korzhenevsky B. I., Kolomiitsev N. V., Tolkachev G. Yu. Gravitational movement of soils on slopes and their influence on the condition of water bodies. *Environmental Engineering*. 2023;(5):81–87. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-81-87>
 12. Wang J., Nie G., Xue C. Landslide displacement prediction based on time series analysis and data assimilation with hydrological factors. *Arabian Journal of Geosciences*. 2020;13:460. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05452-1>
 13. Chae B. G., Park H. J., Catani F., Simoni A., Berti M. Landslide prediction, monitoring and early warning: a concise review of state-of-the-art. *Geosciences Journal*. 2017;21:1033–1070. <https://doi.org/10.1007/s12303-017-0034-4>
 14. Ebrahim K. M. P., Fares A., Faris N., Zayed T. Exploring time series models for landslide prediction: a literature review. *Geoenvironmental Disasters*. 2024;11:25. <https://doi.org/10.1186/s40677-024-00288-3>
 15. Lin Z., Sun X., Ji Y. Landslide displacement prediction based on time series analysis and double-BiLSTM model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(4):2077. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042077>
 16. Baum R. L., Godt J. W. Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debris flows in the USA. *Landslides*. 2010;7:259–272. <https://doi.org/10.1007/s10346-009-0177-0>
 17. Ge Q., Li J., Wang X., Deng Y., Zhang K., Sun H. LiteTransNet: An interpretable approach for landslide displacement prediction using transformer model with attention mechanism. *Engineering Geology*. 2024;331(7):107446. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107446>
 18. Sidaravichute U. R., Matsiy S. I. Analysis of normative and technical documentation for the production of geotechnical monitoring of landslide processes. *Architecture, construction, transport*. 2025;5(3):34–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-34-54>
 19. Zerkal O. V., Fomenko I. K. Landslides in rocky soils and assessment of their stability. *Engineering Geology*. 2016;(4):4–21. (In Russ.)
 20. Macij S. I., Bezuglova E. V. *Landslide Risk Management*. Krasnodar: AlVi-dizajn; 2010. 239 p. (In Russ.)
 21. Katsko D. I. Probabilistic landslide risk management using bayesian belief networks. *Environmental Engineering*. 2025;(2):60–67. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-60-67>



Информация об авторах

Кацко Александр Игоревич, аспирант кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения, Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация

sa_katsko@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0722-6216>

Кузнецов Евгений Владимирович, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела мониторинга научно-исследовательской деятельности, Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация

dtn-kuz@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0524-8390>

Information about the authors

Aleksandr I. Katsko, Postgraduate at the Department of Hydraulics and Agricultural Water Supply, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation
sa_katsko@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0722-6216>

Evgeniy V. Kuznetsov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Chief Researcher in the Department of Research Activities Monitoring, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation
dtn-kuz@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0524-8390>

*Получена 15 февраля 2026 г., одобрена 30 марта 2026 г., принята к публикации 15 мая 2026 г.
Received 15 February 2026, Approved 30 March 2026, Accepted for publication 15 May 2026*