

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи



Шамурзаева Диана Анурбековна

**Оценка развития оползневых процессов
на территории Горного Дагестана**

Специальность 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2017

Работа выполнена на кафедре инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

- Научный руководитель** – **Трофимов Виктор Титович**,
доктор геолого-минералогических наук,
профессор
- Официальные оппоненты** – **Пендин Вадим Владимирович**,
доктор геолого-минералогических наук,
профессор, ФГБОУ ВО «Российский
государственный геологоразведочный
университет имени Серго Орджоникидзе»
(МГРИ-РГГРУ), гидрогеологический
факультет, зав. кафедрой инженерной
геологии

Шешеня Николай Логвинович,
доктор геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник

Васьков Игорь Михайлович,
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент, ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказский
горно-металлургический институт
(государственный технологический
университет)», горно-геологический
факультет, кафедра прикладной геологии,
доцент

Защита диссертации состоится 15 декабря 2017 года в 17.00 часов на заседании диссертационного совета МГУ.04.01 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119234, Москва, Ленинские горы, д.1, Главное здание МГУ, корпус «А», геологический факультет, аудитория 415.

E-mail: mgu.04.01@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на сайте ИАС «ИСТИНА»: <https://istina.msu.ru/dissertations/78768268/>.

Автореферат разослан 8 ноября 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор геолого-минералогических наук



Харитонов Н.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертация посвящена изучению условий развития оползневого процесса как одного из наиболее распространенных и разрушительных в Горном Дагестане, а также оценке подверженности территории оползневому процессу.

Актуальность. Горная часть Республики Дагестан характеризуется наибольшей интенсивностью развития оползневого процесса; здесь помимо оползней широко развиты сели, обвально-осыпные и другие процессы. Оползневой процесс является одним из наиболее распространенных на рассматриваемой территории. Его проявления распространены в высокогорном, среднегорном и предгорном Дагестане, а их суммарная площадь, по данным Государственного мониторинга состояния недр, составляет более 6 тыс. км². Оползневому процессу подвержена территория 362 населенных пунктов республики.

Пространственное распространение процесса, масштабы и степень активизации, а также размеры ее последствий обусловлены действием целого ряда факторов, как природных, так и техногенных, сочетание которых уникально для каждого региона, в том числе для исследуемой территории. Кроме того, необходимо учитывать изменения инженерно-геологических условий, произошедшие с момента последних проведенных инженерно-геологических обследований территории (1984-90 гг.), а также возможные изменения в результате реализации схемы территориального планирования Республики Дагестан. Это определяет актуальность изучения условий и особенностей развития оползневого процесса как одного из факторов, формирующих современное состояние геологической среды, а также актуальность количественной оценки степени влияния факторов на развитие здесь оползневого процесса и оценки подверженности территории оползневому процессу.

Цель работы – оценка подверженности оползневому процессу горной части Республики Дагестан, которая предусматривает создание информационной модели территории для выявления особенностей развития процесса.

Основными задачами являлись:

- 1) характеристика факторов развития оползневого процесса в горной части Дагестана;
- 2) выделение набора показателей, характеризующих природные и техногенные условия территории, которые определяют развитие оползневого процесса в Горном Дагестане, на основе применения комплексного математического аппарата, включающего теорию информации и теорию вероятности;
- 3) оценка влияния масштаба осреднения данных на получаемые результаты при региональных инженерно-геологических исследованиях;
- 4) оценка подверженности территории оползневому процессу с учетом выделенного набора показателей.

Объектом исследования является оползневой процесс, *предмет исследования* – особенности развития оползневого процесса на территории Горного Дагестана.

Фактический материал. При подготовке настоящей работы обобщались и анализировались опубликованные и фондовые данные, в том числе собранные автором в ФГБУ «Росгеолфонд» (г. Москва) и в Северо-Кавказском филиале ФГУ «Территориальный фонд геологической информации по Южному федеральному округу» (г. Ессентуки), содержащие материалы инженерно-геологических, гидрогеологических и других, ранее проведенных, исследований в пределах Горного Дагестана и на сопредельных территориях, а также данные (2001-2012 гг.) Государственного мониторинга состояния недр на территории Республики Дагестан; выполнялось дешифрирование космических изображений изучаемой территории (дата съемки: 2000-2003 гг.), сделанных спутником Landsat-7. Все материалы, представленные в настоящей работе, были подготовлены непосредственно автором.

Личный вклад автора. В 2010 г. автор принимал участие в обследованиях крупных оползневых проявлений на территории республики, проводимых специалистами «Дагестангеомониторинг» в рамках мониторинга оползневого процесса, что позволило автору более четко представить масштабы развития и характер активизации здесь оползневого процесса. При подготовке настоящей работы автором были собраны, обобщены, векторизованы и систематизированы данные проведенных ранее исследований в Горном Дагестане, а также данные мониторинга экзогенных геологических процессов (ЭГП), которые были собраны в единую электронную базу данных. В процессе работы автором были составлены 7 информационных моделей, по результатам анализа которых в настоящей работе подробно рассмотрены 3 наиболее детальные модели. Формирование таблиц сопряженности и расчеты информативности показателей выполнялись для каждой модели по всем показателям составленного перечня с последующим их анализом.

Методика исследования. В работе использован комплексный анализ данных (на основе теории информации с элементами теории вероятности) применительно к изучению оползневого процесса на примере горной части Республики Дагестан. На основе векторизованной и систематизированной исходной информации была создана база данных, определен набор показателей (27 показателей), которые могут влиять на развитие оползневого процесса в Горном Дагестане. Далее составленный перечень показателей использовался для построения информационных моделей. Были составлены таблицы сопряженности показателей, рассчитана информативность. По итогам интерпретации и анализа полученных результатов среди показателей выбраны наиболее информативные, влияющие на условия развития оползневого процесса на исследуемой территории. Затем отобранные показатели использовались при расчете комплексного показателя подверженности территории оползневому процессу, на основе которого строились соответствующие карты. Подготовка и обработка данных осуществлялась в ГИС ESRI ArcGIS 9.3.

Научная новизна исследований

1. Впервые построены информационные модели горной части Республики Дагестан на основе комплекса показателей, характеризующих природные и техногенные условия территории, которые могут влиять на развитие оползневого процесса, описанных количественно и систематизированных в единой электронной базе данных.

2. Составлены карты, на которых отражены: абсолютные отметки рельефа, уклон земной поверхности, экспозиция склонов, кривизна земной поверхности, превышение над местным базисом эрозии, густота речной сети, средняя годовая температура воздуха, средняя годовая температура поверхности почвы, годовое количество осадков, среднее максимальное суточное количество осадков, литологическая характеристика отложений (дочетвертичные и четвертичные объединенные), характеристика состояния грунтов, обусловленного фазовым состоянием воды в них, транспортная освоенность, сельскохозяйственная освоенность, демографическая освоенность, градостроительная освоенность. Дополнительно были рассмотрены карты, на которых отражены: ландшафт, почвы, растительность, территории развития селевого процесса, территории развития обвально-осыпных процессов, литологическая характеристика четвертичных отложений, литологическая характеристика дочетвертичных отложений, тектонические структуры, сейсмичность территории, разрывные нарушения, скорость современных тектонических движений, характеристика развития оползневого процесса.

3. Выделены показатели, характеризующие условия территории горной части Республики Дагестан, которые влияют на развитие оползневого процесса: абсолютные отметки рельефа, уклон земной поверхности, густота речной сети, среднее максимальное суточное количество осадков, литологическая характеристика четвертичных отложений, тектонические структуры, скорость современных тектонических движений. Выделение показателей выполнено с использованием комплексного математического аппарата, включающего информационный анализ и элементы теории вероятности.

4. Построена прогнозная карта развития оползневого процесса для территории Горного Дагестана на основе моделей разного масштаба, учитывающая условия территории, определяющие развитие оползневого процесса, выделенные с использованием комплексного математического аппарата. При построении карт использовались модельные сетки с размером блока $5 \times 5 \text{ км}^2$ и $1 \times 1 \text{ км}^2$: с увеличением размера блока модельной сетки уменьшается детальность карты, однако, региональные закономерности, характеризующие вероятность развития оползневого процесса, сохраняются. Подверженность территории оползневому процессу возрастает в направлении от равнинной территории к горной, максимальные значения отмечаются в среднегорно-высокогорной зоне, при этом приграничные участки высокогорья характеризуются меньшей подверженностью.

Практическая значимость. В практическом плане результаты настоящей работы могут быть использованы при оценке сложности и неоднородности инженерно-геологических условий территории и возможных проблем ее освоения; ведении мониторинга оползневого процесса, при прогнозе изменений инженерно-геологических условий в результате инженерно-хозяйственной деятельности; при выборе районов размещения инженерных объектов и комплекса мер инженерной защиты территории и сооружений. При этом полученные результаты, а также принципы их получения в рамках комплексного применения теории информации и элементов теории вероятности могут быть использованы при поиске решений указанных задач либо в качестве самостоятельного решения наряду с другими вариантами.

Достоверность результатов исследования определяется применением современных методов обработки информации в ГИС и подтверждается их сопоставлением с результатами работ, выполненных ранее в горной части Дагестана.

Защищаемые положения

1. Составлены информационные модели территории Горного Дагестана на основе комплекса показателей, характеризующих природные и техногенные условия территории и систематизированных в единой электронной базе данных, что позволило выполнить совместное изучение показателей, которые могут влиять на развитие оползневого процесса.

2. Выявлены с использованием комплексного математического аппарата, основанного на информационном анализе с элементами теории вероятности, наиболее важные характеристики природных условий территории Горного Дагестана, определяющие развитие оползневого процесса: абсолютные отметки рельефа, уклон земной поверхности, густота речной сети, среднее максимальное суточное количество осадков, литологическая характеристика четвертичных отложений, тектонические структуры, скорость современных тектонических движений.

3. Составленная прогнозная карта развития оползневого процесса для территории Горного Дагестана на основе моделей разного масштаба (размер блока модельной сетки: $5 \times 5 \text{ км}^2$, $1 \times 1 \text{ км}^2$) учитывает определяющие факторы развития оползневого процесса, выделенные с использованием комплексного математического аппарата.

Апробация результатов исследования. Основные результаты настоящей работы были представлены на международной конференции «Ломоносов-2014», а также на Втором национальном научном форуме «Нарзан-2013» – «Техногенные процессы в гидrolитосфере (идентификация, диагностика, прогноз, управление, оптимизация и автоматизация)».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 4 публикации в рецензируемых научных изданиях, определенных п.2.3 Положения о присуждении ученых степеней в Московском Государственном Университете имени М.В. Ломоносова (Шамурзаева, 2012; Шамурзаева и др., 2013, 2014, 2017).

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения и приложения объемом 272 страницы. Рукопись содержит 71 таблицу и 54 иллюстрации. Список литературы состоит из 264 наименований, 38 из которых – на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю – доктору геолого-минералогических наук, профессору В.Т. Трофимову за помощь и ценные советы при подготовке диссертации. Автор благодарен сотрудникам кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова за проведенные консультации и оказанную при подготовке работы помощь, особенно к.г.-м.н. Т.И. Аверкиной, д.г.-м.н. Ю.К. Васильчуку, д.г.-м.н. В.А. Королёву, к.г.-м.н. О.В. Зеркалю, А.В. Бершову, к.г.-м.н. С.К. Николаевой. Автор также выражает благодарность специалистам ФГБУ «Гидроспецгеология» к.г.-м.н. А.А. Вожику, к.г.-м.н. Б.И. Королеву, к.г.-м.н. К.В. Новикову за консультации и советы, полученные при подготовке работы, а также специалистам территориального центра Государственного мониторинга состояния недр по Республике Дагестан за предоставленные материалы и консультации по направлению диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Современные представления об опасных экзогенных геологических процессах в Горном Дагестане

Территория Дагестана характеризуется интенсивным развитием ЭГП. Начиная с 60-х годов XX в. сотрудниками Дагестанской геологоразведочной экспедиции (В.А. Шмырин, Б.Д. Тагиров и др.) проводились специальные работы по детальному обследованию оползневых и обвальных участков в Горном Дагестане для определения причин их возникновения и выработки рекомендаций по предотвращению катастрофического развития процессов. Закономерности проявления гравитационных процессов (обвалов, оползней, осыпей) на Северном Кавказе, а также особенности их развития на территории Дагестана изучали: И.Н. Сафронов, В.А. Хрисанов (1974); М.К. Казанбиев, В.И. Малюк (1975); А.И. Клименко (1975); Б.Д. Тагиров, З.Т. Гусейнов (1974) и др. Гравитационные явления особенно характерны для районов повышенной сейсмической активности, о чем свидетельствуют крупные сейсмогенные оползни (Мочохский, Ачинский), произошедшие во время землетрясений в 1963 г. и 1970 г. (Лосев и др., 1971; Цыпина и др., 1998).

Особенностям развития в Дагестане селевого процесса (типы потоков, условия и характер проявления, количественная оценка селеопасности горных рек Дагестана) посвящены работы И.В. Боголюбовой (1957); А.А. Тертерова (1957); Д.А. Лилиенберга (1959); В.А. Герасимова (1974); Б.А. Парамонова, В.В. Петросова (1974). Наряду с селевым изучались другие эрозионные процессы (Арзуманян, 1975), а также вопросы разработки эффективных методов борьбы с эрозией почв и регулирования селевых потоков (Мирзазаде и др., 1974). Особенности развития на территории Дагестана карста, факторы карстообразования освещены в работах Д.А. Лилиенберга (1959); М.К. Казанбиева (1974, 1975); Казанбиева, Саидова (1972); А.Г. Мусина (1974). Также

исследователи (М.Н. Первухин, Н.А. Гвоздецкий, А.Р. Якушева и др.) изучали прибрежную часть и подводный береговой склон Дагестана, закономерности перемещения береговых линий, процессы абразии и аккумуляции (Шарков, 1960); развитие современных ЭГП в результате деятельности речной сети в предгорной и приморской частях Дагестана (Косарев, 1970; Рычагов, 1970; Байдин, 1970 и др.); геодинамические процессы (Летов, 1974; Соловьев и др., 1974) в бассейнах рек Сулак, Андийское Койсу и Аварское Койсу в связи со строительством каскада ГЭС.

В 1979-84 гг. на всей территории Горного Дагестана было проведено специализированное инженерно-геологическое картирование проявлений ЭГП (эрозионных, селевых, оползневых, обвально-осыпных) в масштабе 1:200 000, изучались условия развития и режим активизации ЭГП (Тагиров и др., 1984). Эта работа представляла собой первое обобщение данных о региональных пространственных закономерностях развития и активности ЭГП, а также подверженности их воздействию территорий населенных пунктов и других объектов.

В 1984-1990 гг. изучение условий развития и режима ЭГП продолжили Шихрагимов И.М., Шваров Н.С., Абдулкеримов Ш.Г. и др. Выполнено инженерно-геологическое обследование территорий 500 населенных пунктов, проведена классификация ЭГП, определены закономерности их распространения (Шихрагимов и др., 1991). В 1991 г. А.И. Шеко и В.С. Круподеров обосновали организацию и ведение мониторинга опасных геологических процессов в Дагестане с учетом особенностей режима метеорологических и гидрологических факторов. В горной и предгорной частях республики проводились работы по оценке активности оползневого и селевого процессов.

Для Горного Дагестана, где сохраняется высокая плотность населения, а последнее комплексное инженерно-геологическое обследование территории с целью изучения условий развития и режима ЭГП было проведено в 1984-90 годы XX в., вопросы снижения ущерба от опасных геологических процессов, в частности, оползневого процесса, как одного из наиболее опасных и распространенных на исследуемой территории, особенно важны. По данным мониторинга ЭГП, проводимого в настоящее время, оползневому процессу подвержена территория 362 населенных пунктов республики, а суммарная площадь оползневых проявлений составляет более 6 тыс. км². В данном случае не только актуальным, но и необходимым становится выполнение комплексной оценки развития оползневого процесса.

Увеличение количества геологической информации, а также снижение количества высококонтрастных объектов обуславливают исследование геологических систем как многоуровневых распределений информационных показателей, что позволяет изучать геологические системы в рамках теории информации. В основе теории информации лежит предложенный К. Шенноном способ измерения количества информации, содержащейся в одной случайной величине относительно другой случайной величины. Информационный анализ может быть использован при выявлении связи одного параметра с совокупностью параметров, с объектами, имеющими качественную оценку, а также при сравнении двух многомерных моделей.

Преобразование поля признаков в поле информации может служить мощным методом выявления скрытых закономерностей.

В отечественной инженерной геологии аппарат теории информации впервые был применен И.С. Комаровым и Н.М. Хайме (Комаров, Хайме, 1968; Комаров и др., 1976), характеризующими информацию как меру неоднородности и разнообразия объекта инженерно-геологических исследований. В.В. Пендин (1992) использовал информационный анализ при оценке степени неоднородности инженерно-геологических разрезов. И.С. Гудилин и И.С. Комаров (1978) исследовали информативность показателей, характеризующих инженерно-геологические объекты, при дешифрировании материалов аэрокосмических съемок.

В последние годы информационный анализ все чаще используется для прогнозных оценок параметров исследуемых объектов: выявления зон трещиноватости в осадочных комплексах орогенных областей по геофизическим данным (Сиротенко, 2005), разведки и оценки нефтяных залежей (Симонян, 2014); оценки перспективности обнаружения россыпных месторождений (Попов, 2005); изучения условий формирования и прогноза качества подземных вод (Лисенков и др., 2012; Лиманцева, Алексеева, 2009); оценки и прогноза состояния эколого-гидрогеологических систем (Королев и др., 2012) и др.

Для наиболее полного анализа условий развития оползневого процесса в горной части Дагестана с целью выявления факторов его развития, а также определения степени их влияния на развитие процесса используется комплексный математический аппарат, включающий информационный анализ и элементы теории вероятности. Результатом работы станет оценка подверженности территории Горного Дагестана оползневому процессу на основе используемого математического аппарата путем построения, анализа и сравнения карт подверженности для разных моделей с учетом исследованных факторов развития процесса.

Глава 2. Методика исследования оползневого процесса в Горном Дагестане с применением комплексного математического аппарата

Исследование оползневого процесса и оценка степени подверженности территории Горного Дагестана оползням предполагает анализ нескольких информационных моделей исследуемой территории. Решение поставленных задач осуществлялось в несколько этапов (рис. 1).

Первый этап. Построение моделей выполняется на основе предварительно подготовленных показателей, характеризующих природные условия и отдельные (основные) виды техногенной нагрузки на территорию, которые могут влиять на развитие оползневого процесса. Показатели отбираются по итогам обобщения исходной информации: фондовых и опубликованных материалов, а также данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Затем показатели подготавливаются и обрабатываются с помощью ГИС ArcGIS 9.3: создается база данных, формируются векторные тематические слои показателей, которые получают картографическую привязку, т.е. показатели отображаются пространственно на соответствующих картах. Это

позволяет рассмотреть их одновременно и выполнить сопряженный анализ данных. В качестве математического аппарата используется комплексный математический аппарат, включающий теорию информации (информационный анализ) и элементы теории вероятности.

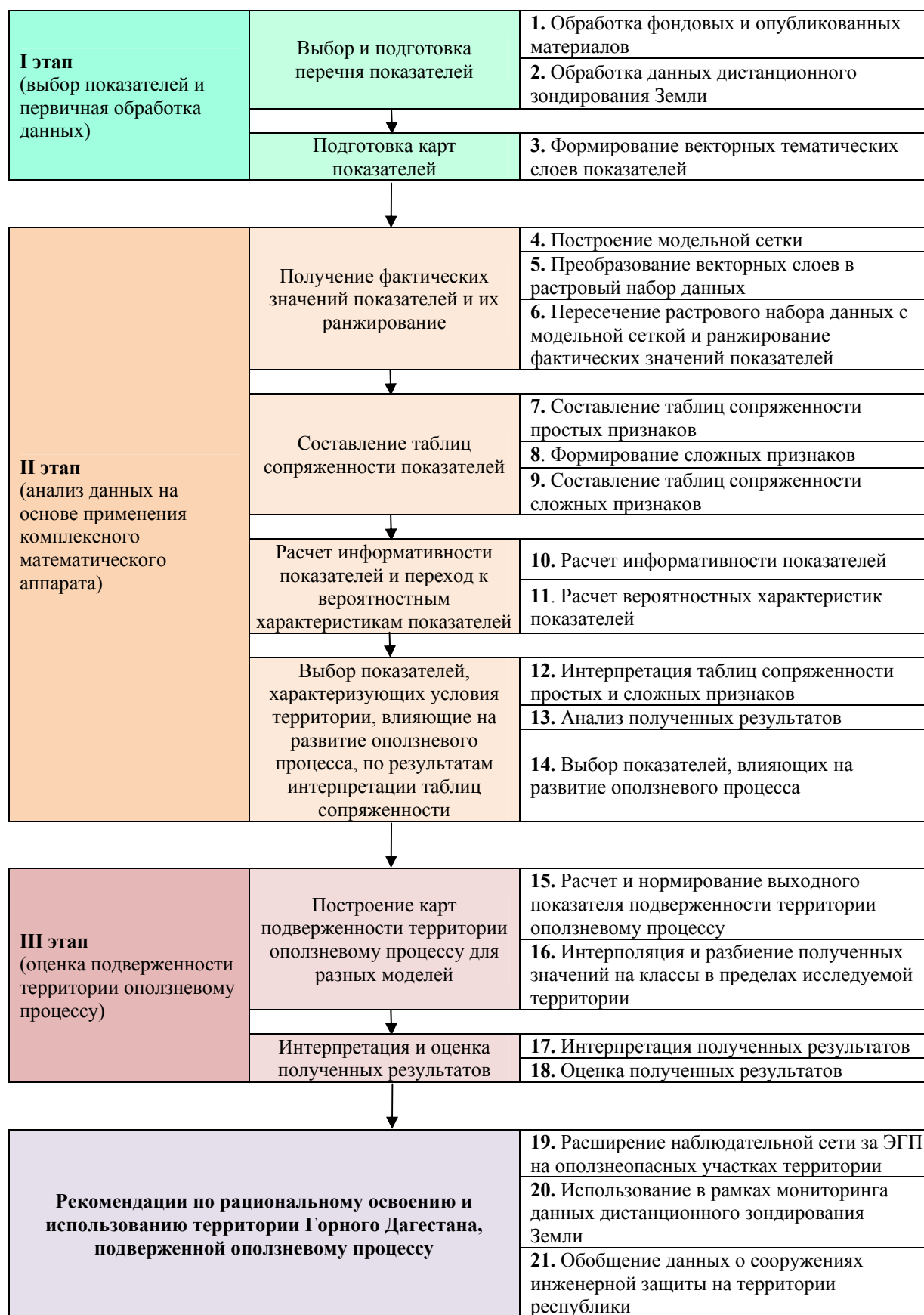


Рис. 1. Алгоритм исследования развития оползневой интерпретации таблиц сопряженности в Горном Дагестане

Второй этап. Изучение показателей, характеризующих природные и техногенные условия территории, которые могут влиять на развитие оползней, начинается с получения и ранжирования фактических значений показателей. Поскольку показатели (признаки) разномасштабные, имеют разный уровень изученности, требуется их приведение к единой пространственной модели. Для этого выполняется разбиение территории на ячейки (блоки сетки), внутри которых признак считается однородным, для чего, в зависимости от ситуации, производится осреднение, генерализация показателей. Для изучения влияния масштаба осреднения данных на получаемые результаты используется несколько модельных сеток с размером блока $1 \times 1 \text{ км}^2$, $5 \times 5 \text{ км}^2$, $10 \times 10 \text{ км}^2$, $15 \times 15 \text{ км}^2$ (рис. 2).

Все тематические слои, имеющие векторный вид, преобразуются в растровый набор данных (GRID) и пересекаются со слоем модельной сетки.

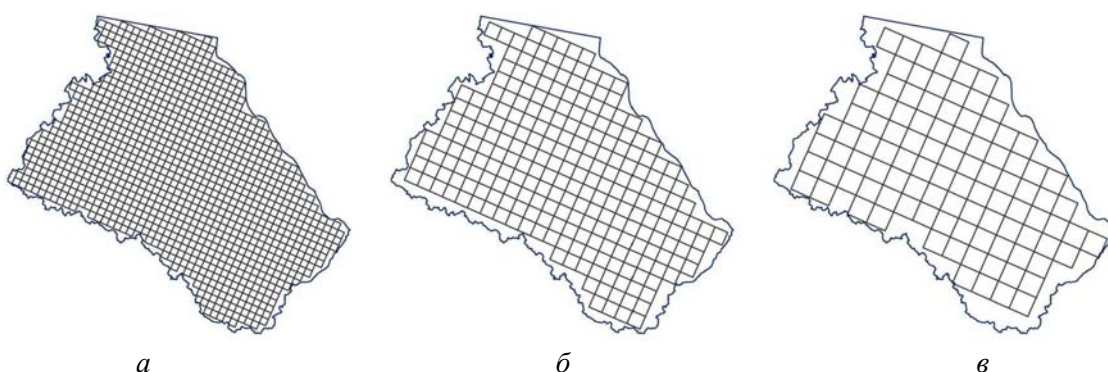


Рис. 2. Модельные сетки, использованные при анализе, с размером блоков 5 км (а), 10 км (б) и 15 км (в)

При ранжировании для растровых наборов *качественных* показателей (ландшафт, растительность, тектонические структуры и т.д.) значениями отдельных классов являются числовые коды, отражающие качественную характеристику каждого класса (тип почв, структур, литологические разности и т.д.). Для таких показателей вычисляется площадь каждого класса показателя в каждом блоке сетки с последующим присвоением блоку значения класса, занимающего в нем наибольшую площадь.

Для растровых наборов данных *количественных* показателей (абсолютные отметки рельефа, градостроительная освоенность и т.д.) выполняется осреднение фактических значений в блоках. Ранжирование количественных показателей проводится графическим методом с использованием гистограмм распределения частот по классам (рангам) признака. Число классов для каждого количественного признака подбирается таким образом, чтобы в распределении частот выявлялась определенная зависимость. Разбиение на классы производится с линейным шагом. Количество классов выбирается с учетом изменения информативности показателя: малое количество дает неоправданно высокую информативность за счет огрубления модели, большое количество классов снижает информативность, приводя к нецелесообразному дроблению модели. В результате, аналогично растровым наборам качественных показателей, каждому блоку сетки присваивается номер класса количественного показателя.

Выходной показатель Y (пораженность территории оползнями) выражается двумя способами: аналогично качественным показателям задается два ранга: процесс развит/не развит (наличие/отсутствие оползней) (Y_1); аналогично количественным показателям вычисляется значение пораженности в каждом блоке (%) с дальнейшим ранжированием значений (Y_2).

Далее формируются информационные матрицы ранжированных значений показателей (x_i) по блокам для четырёх сеток, для каждой из которых подготовлены выходные показатели Y . В работе рассматривается 7 пространственных информационных моделей (табл. 1). Такая модель представляет собой формализованное отображение реального объекта с помощью набора показателей, характеризующих наиболее существенные свойства объекта и определенных в пространстве.

С целью наращивания прогнозных возможностей формируемой информационной модели, что с математической точки зрения реализуется путем увеличения информативности признаков, дополнительно рассматриваются *сложные признаки* (наборы признаков), которые могут быть двойными, тройными и т.д., если добавление очередного x_i приводит к приращению величины информативности (Белоусова и др., 2006).

Таблица 1

Характеристика составленных моделей

Модель	Размер ячейки модельной сетки, км ²	Характеристика пораженности территории оползневым процессом	
		тип	количество классов
I	5×5	качеств. (Y_1)	2
II	5×5	количеств. (Y_2)	5
III	10×10	качеств. (Y_1)	2
IV	10×10	количеств. (Y_2)	5
V	15×15	качеств. (Y_1)	2
VI	15×15	количеств. (Y_2)	5
VII	1×1	количеств. (Y_2)	5

После ранжирования составляются таблицы сопряженности показателей, которые отражают количество одновременных появлений классов x_i и Y . На основе таблиц сопряженности рассчитываются все информационные характеристики модели, выполняется расчет информативности показателей.

Информативность признака x_i равна количеству информации, содержащейся в этом признаке относительно основного признака Y . При наличии у ряда признаков, используемых в работе, большого количества классов, вычисление информативности признака (I_0) становится громоздким, целесообразен переход к вычислению информационной энтропии (H) признаков, близкой по значению к значению информативности ($H \approx I_0$). Энтропия выступает в качестве меры неопределенности системы с известными вероятностями ее состояний. В данном случае системой является признак, а состояниями системы – классы признака (Гулакян и др., 1977). Информационная энтропия записывается в виде (Шеннон, 1963): $H = - \sum P_i \log_2 P_i$, где H – неопределенность состояния системы, P_i – вероятность i -го исхода.

Вероятность i -го исхода в данном случае является вероятностью $p(Y|x_i)$ возникновения оползней в пределах площади j -го класса признака x_i , которая при построении карт крупных и средних масштабов с использованием известных размеров конкретных площадей, пораженных оползнями, определяется как отношение площади оползней в пределах класса ($S_{on\ ji}$) к площади всего класса (S_{ji}) (Гулакян и др., 1977):

$$p(Y | x_i) = \frac{S_{on\ ji}}{S_{ji}}.$$

Оценка информативности признака x_i относительно основного признака Y осуществляется по формуле (Белоусова и др., 2006): $I(Y: x_i) = I(Y) - I(Y/ x_i)$,

где $I(Y: x_i)$ – взаимная информативность x_i и Y ; $I(Y)$ – полная информативность, содержащаяся в Y ; $I(Y/ x_i)$ – относительная информативность x_i и Y .

Условием максимальной информативности показателей x_i относительно основного признака Y в такой постановке будет ситуация, когда $I(Y/ x_i) \rightarrow 0$ или $I(Y/ x_i) = 0$.

Далее используется построенная таблица сопряженности (рис. 3).

$x_i \backslash Y$	1	2	3	...	n	
1	Z_1^1	Z_1^2	Z_1^3	...	Z_1^n	$\rightarrow A_1$
2	Z_2^1	Z_2^2	Z_2^3	...	Z_2^n	$\rightarrow A_2$
...	...	...	...	...	...	...
k	Z_k^1	Z_k^2	Z_k^3	...	Z_k^n	$\rightarrow A_k$
	$\sum Z^1$	$\sum Z^2$	$\sum Z^3$	...	$\sum Z^n$	$\rightarrow B$

Рис. 3. Вычисление информативности по таблице сопряженности

$$A_1 = \sum Z_1 \{ (Z_1^1 / \sum Z_1) * \log_2(Z_1^1 / \sum Z_1) + \dots + (Z_1^n / \sum Z_1) * \log_2(Z_1^n / \sum Z_1) \}.$$

Аналогично по строкам рассчитываются остальные значения параметра A .

$$B = \sum \sum Z_k^n \{ (\sum Z^1 / \sum \sum Z_k^n) * \log_2(\sum Z^1 / \sum \sum Z_k^n) + \dots + (\sum Z^n / \sum \sum Z_k^n) * \log_2(\sum Z^n / \sum \sum Z_k^n) \},$$

где k – классы признака x_i ; n – классы признака Y ; Z_k^n – число переходов класса признака x_i в класс признака Y ; $\sum Z_k$ – суммы Z_k^n по строкам таблицы; $\sum Z^n$ – суммы Z_k^n по столбцам таблицы; $(Z_k^n / \sum Z_k) * \log_2(Z_k^n / \sum Z_k)$ – информационная энтропия.

В результате вычислений, выполненных в таблице, получаем: $B = I(Y)$, $\sum_{i=1}^k A = I(Y/ x_i)$, далее рассчитывается информативность признака x_i (Белоусова и др., 2006):

$$I(Y: x_i) = I(Y) - I(Y/ x_i) = B - \sum_{i=1}^k A.$$

Для определения значимости (веса) отдельного класса признака при изучении его связи с пораженностью территории оползнями (Y) далее выполняется расчет вероятностных характеристик показателей. Полученные значения количества переходов показателя Y по классам признаков (x_i) пересчитываются в значения условной вероятности появления оползней в пределах классов данных признаков ($P(Y|x)$, д.е.). Вычисление осуществляется по формуле:

$$P(Y | x) = \frac{n_{ij}}{\sum n},$$

где n_{ij} – количество переходов i -го класса признака x в j -й класс Y (в блоке сетки),

$\sum n$ – общее количество переходов i -го класса признака x во все классы Y (в блоке сетки).

Произведенные расчеты позволяют по результатам интерпретации таблиц сопряженности осуществить выбор показателей, характеризующих условия территории, влияющие на развитие оползневого процесса.

Третий этап. На основе показателей, определенных на предыдущем этапе, которые служат признаками районирования, выполняется оценка подверженности территории оползневому процессу, предполагающая построение соответствующих карт для территории Горного Дагестана. В данном случае используется подход, основанный на одновременном (сопряженном) количественном учете влияния различных факторов на развитие оползневого процесса на рассматриваемой территории посредством совместной оценки вероятности развития оползневого процесса $p(Y|x_i)$ в пределах классов каждого признака и информативности (I_i) отобранных признаков. Для каждой рассматриваемой модели выполняются расчет и нормирование показателя подверженности территории оползневому процессу (k):

$$k = \frac{\sum (p(Y | x_i) \times I_i)}{\sum (p(Y | x_i) \times I_i)_{\max}}.$$

Далее выполняется собственно построение карт, которое включает интерполяцию в пределах исследуемой территории и разбиение на классы полученных значений выходного вероятностного показателя, рассчитанных для каждого блока модельной сетки. Рассчитанный показатель характеризует вероятность развития оползней с учетом влияния (вклада) условий (x_i) изучаемой территории: по мере увеличения количества наиболее информативных классов признаков, обуславливающих развитие оползней в пределах конкретного участка, наблюдается увеличение значений k , то есть увеличивается вероятность развития оползней.

Поскольку для расчета коэффициентов использовались нормированные вероятности развития оползней в классах признаков отдельно для каждой модели, они не сопоставимы и не подлежат сравнению. Для сравнения построенных карт моделей разной детальности рассчитанные показатели дополнительно приводятся к единой шкале путем нормирования значений по фактической пораженности оползнями классов данных показателей (k_p).

Выполняется интерпретация полученных результатов и их оценка путем сравнения с материалами ранее проведенных инженерно-геологических исследований.

На основе выполненного анализа формулируются рекомендации по рациональному освоению и использованию территории Горного Дагестана, подверженной оползневому процессу.

Глава 3. Характеристика факторов развития оползневого процесса в Горном Дагестане

При выборе факторов, которые могут влиять на оползневой процесс, были учтены следующие основные особенности природных и техногенных условий территории Горного Дагестана: 1) территория является горной частью республики и обладает значительной энергией рельефа; 2) достаточно разнообразные климатические условия территории, обусловленные особенностями горной местности и влияющие на интенсивность развития ЭГП; 3) на территории

развиваются оползни блоковые, потоки, блоковые, переходящие в потоки; в четвертичных отложениях, с захватом дочетвертичных пород; 4) для территории характерны интенсивные неотектонические движения и высокая сейсмическая активность, приводящие к нарушению целостности и устойчивости массивов; 5) развитие и активизация оползневой процесса в настоящее время нередко является следствием техногенного воздействия на территорию при различных видах строительства и освоения территории. На основе этих данных особенности условий развития оползней на территории Горного Дагестана характеризовались показателями, приведенными ниже (табл. 2).

Таблица 2

Показатели, выбранные для характеристики условий развития оползней в Горном Дагестане

Группа признака	№ признака	Признак		Тип признака*
Орографические и ландшафтные	x_1	Абсолютные отметки рельефа (м)		количеств.
	x_2	Уклон земной поверхности (градусы)		количеств.
	x_3	Экспозиция склонов (градусы)		качеств.
	x_4	Кривизна земной поверхности (форма поверхности)		качеств.
	x_5	Превышение над местным базисом эрозии (м)		количеств.
	x_6	Густота речной сети (км/км ²)		количеств.
	x_7	Ландшафт (тип)		качеств.
	x_8	Почвы (тип)		качеств.
	x_9	Растительность (тип)		качеств.
	x_{10}	Территории развития селевого процесса (наличие селевых водотоков)		качеств.
	x_{11}	Территории развития обвально-осыпных процессов (наличие проявлений обвально-осыпных процессов)		качеств.
Гидро-метеорологические	x_{12}	Средняя годовая температура воздуха (°C)		количеств.
	x_{13}	Средняя годовая температура поверхности почвы (°C)		количеств.
	x_{14}	Годовое количество осадков (мм/год)		количеств.
	x_{15}	Среднее максимальное суточное количество осадков (мм/сут)		количеств.
Характеристика состава и состояния грунтов	x_{16}	Литологическая характеристика четвертичных отложений (комплексы отложений)		качеств.
	x_{17}	Литологическая характеристика дочетвертичных отложений (комплексы отложений)		качеств.
	x_{18}	Литологическая характеристика отложений, дочетвертичные и четвертичные объединенные (комплексы отложений)		качеств.
	x_{19}	Характеристика состояния грунтов, обусловленного фазовым состоянием воды в них (1 - мерзлые/талые грунты; 2 - уровень грунтовых вод (м) в области распространения талых грунтов)		качеств.
Тектонические	x_{20}	Тектонические структуры (тип)		качеств.
	x_{21}	Сейсмичность территории (балльность, повторяемость)		качеств.
	x_{22}	Разрывные нарушения (наличие, азимут простирания)		качеств.
	x_{23}	Скорость современных тектонических движений (мм/год)		качеств.
Показатели техногенной нагрузки	x_{24}	Транспортная освоенность (плотность дорожной сети, км/км ²)		количеств.
	x_{25}	Сельскохозяйственная освоенность (удельная продуктивность, тыс.руб./км ²)		качеств.
	x_{26}	Демографическая освоенность (плотность населения, чел./км ²)		качеств.
	x_{27}	Градостроительная освоенность (плотность населенных пунктов, ед./км ²)		количеств.
Характеристика развития оползней	Y_1	Территории развития	наличие оползневых проявлений	качеств.
	Y_2	оползневых проявлений	пораженность территории оползневыми проявлениями (%)	количеств.

*Тип признака (качественный, количественный) определялся формой представления исходной информации, способом первичной обработки данных (оцифровка существующих карт, построение карт признаков путем интерполяции данных и т.д.) и дальнейшей подготовкой к анализу, различными для качественных и количественных признаков.

Для характеристики оползневого процесса в анализе используются площадные оползневые проявления, полученные по результатам ранее выполненных работ (Тагиров, 1974, Шихрагимов и др., 1991). Сведения о типах оползней, которые позволили бы выполнить более детальный анализ, имеются лишь для части территории, в связи с чем не используются при построении моделей.

Для всех показателей были сформированы векторные карты (рис.4), собранные в базу данных, показатели ранжированы.

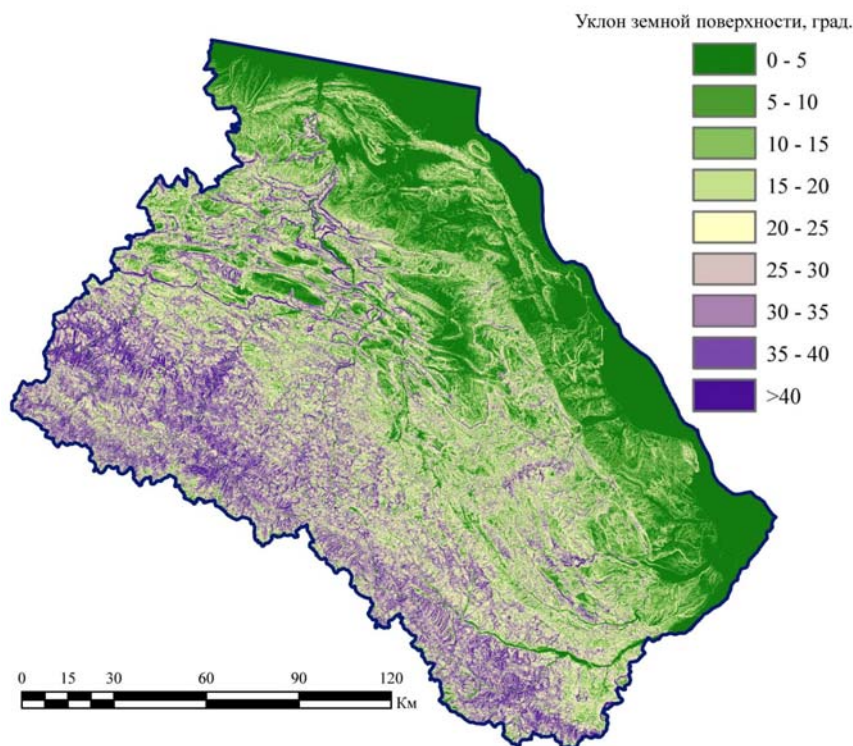


Рис. 4. Пример карты признака: x_2 «уклон земной поверхности»

В работе рассматривается 7 составленных моделей (см. табл. 1).

Глава 4. Изучение оползневого процесса в Горном Дагестане

На основе составленных таблиц сопряженности подготовленных и ранжированных показателей выполняется *расчет информативности (I_0) простых признаков* для всех моделей (рис. 5). Согласно расчетам, информативность показателей в моделях, характеризующихся наличием/отсутствием оползней (Y_1), выше информативности показателей в моделях с количественной характеристикой пораженности (Y_2). Указанная закономерность прослеживается при сравнении значений информативности как одинаковых простых, так и одинаковых сложных признаков в разных моделях. Это объясняется более грубой оценкой пораженности выходным показателем Y_1 , что приводит к получению более высоких значений данного показателя.

Рассматривая вопрос влияния масштаба осреднения данных на получаемые результаты, выявлена прямая зависимость между изменением информативности при осреднении значений показателей в сетках с размером блоков $5 \times 5 \text{ км}^2$, $10 \times 10 \text{ км}^2$, $15 \times 15 \text{ км}^2$ и изменением размера блока модельной сетки: при уменьшении блока модельной сетки снижается информативность признаков, соотношение вкладов (весов) показателей при этом сохраняется (см. рис. 5).

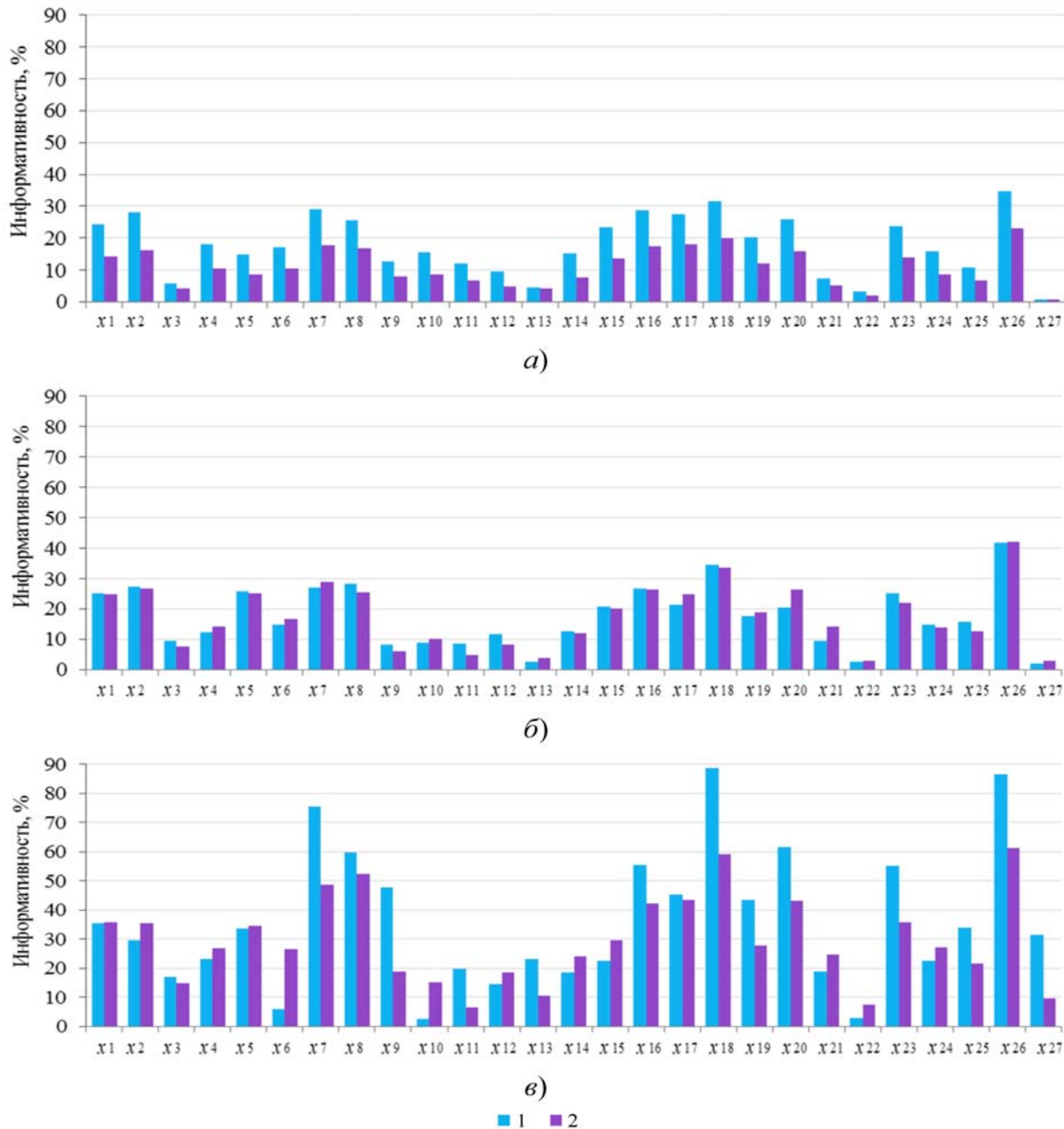


Рис. 5. Информативность признаков (x_1 - x_{27}) в моделях с размером блоков сетки 5 км (а), 10 км (б) и 15 км (в): 1 – модели I, III, V; 2 – модели II, IV, VI

Поскольку соотношение полученных значений информативности простых признаков для разных моделей сохраняется, наиболее подробно далее были рассмотрены только наиболее детальные модели I и II.

Наиболее информативными простыми признаками (x_i), то есть имеющими наибольшую связь с развитием на рассматриваемой территории оползневого процесса, являются следующие признаки: абсолютные отметки рельефа (x_1), уклон земной поверхности (x_2), густота речной сети (x_6), ландшафт (x_7), почвы (x_8), среднее максимальное суточное количество осадков (x_{15}), литологическая характеристика четвертичных отложений (x_{16}), литологическая характеристика дочетвертичных отложений (x_{17}), литологическая характеристика дочетвертичных и четвертичных

объединенных отложений (x_{18}), тектонические структуры (x_{20}), скорость современных тектонических движений (x_{23}), демографическая освоенность (плотность населения) (x_{26}).

По результатам *анализа таблиц сопряженности* исключены признаки, для которых выявлена связь с другими признаками ($x_7, x_{17}, x_{18}, x_{19}, x_{26}$) (наличие связи фиксировалось при взаимной информативности признаков более 50 %), а также признаки, влияние которых на развитие оползней не было выявлено ($x_5, x_{10}, x_{13}, x_{22}, x_{24}, x_{25}, x_{27}$).

Основными признаками, влияющими на развитие оползневой процесса с учетом их информативности, являются: абсолютные отметки рельефа (x_1), уклон земной поверхности (x_2), густота речной сети (x_6), среднее максимальное суточное количество осадков (x_{15}), литологическая характеристика четвертичных отложений (x_{16}), тектонические структуры (x_{20}), скорость современных тектонических движений (x_{23}).

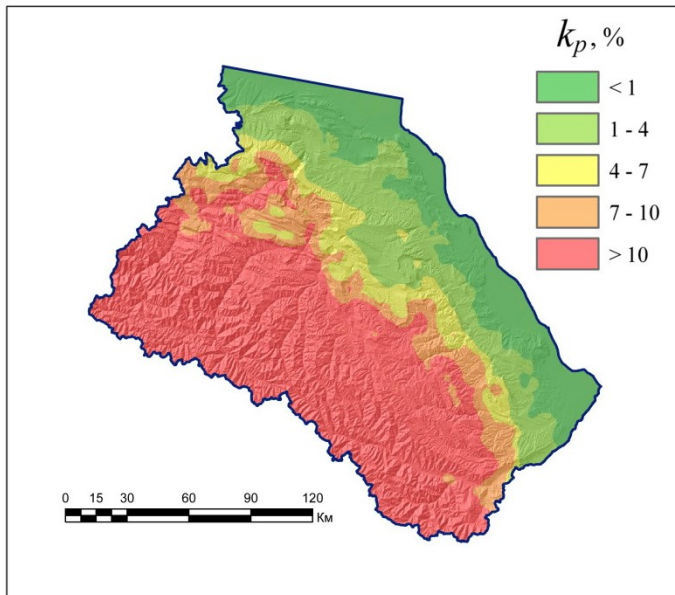
Отобранные признаки участвовали в формировании и последующем анализе сложных признаков (136 двойных и 680 тройных признаков). Наиболее информативными сложными признаками оказались те, в которых присутствуют простые признаки: экспозиция склонов (x_3), литологическая характеристика четвертичных отложений (x_{16}). Информативность сложных признаков, аналогично информативности простых, в модели I выше таковой в модели II, что также можно объяснить более грубой качественной оценкой пораженности территории оползнями (Y_1).

Для *оценки влияния масштаба осреднения данных* при использовании модельной сетки с размером блока $5 \times 5 \text{ км}^2$ были проведены дополнительные расчеты. Расчет информативности и анализ таблиц сопряженности простых признаков были выполнены также с использованием модельной сетки с размером блока $1 \times 1 \text{ км}^2$ (29 000 блоков) – модель VII.

Проведено сравнение моделей II и VII, как имеющих одинаковый выходной показатель (Y_2), но разную детальность. Сравнивались результаты основных этапов анализа: полученные значения информативности признаков; набор признаков, влияющих на развитие оползней; карты подверженности территории оползневому процессу, построенные на основе отобранных признаков. По результатам сравнения отмечается: 1) соотношение информативностей признаков в модели VII сохраняется, размер блока модельной сетки, т.е. масштаб осреднения данных не повлиял на полученный результат, характеризующий влияние (вклад) признака на развитие оползней; 2) для дальнейшего анализа моделей II и VII получены практически одинаковые наборы признаков; 3) для подавляющего большинства признаков характер взаимосвязи признака с развитием оползней был одинаковым для моделей II и VII. Сравнение карт дано ниже.

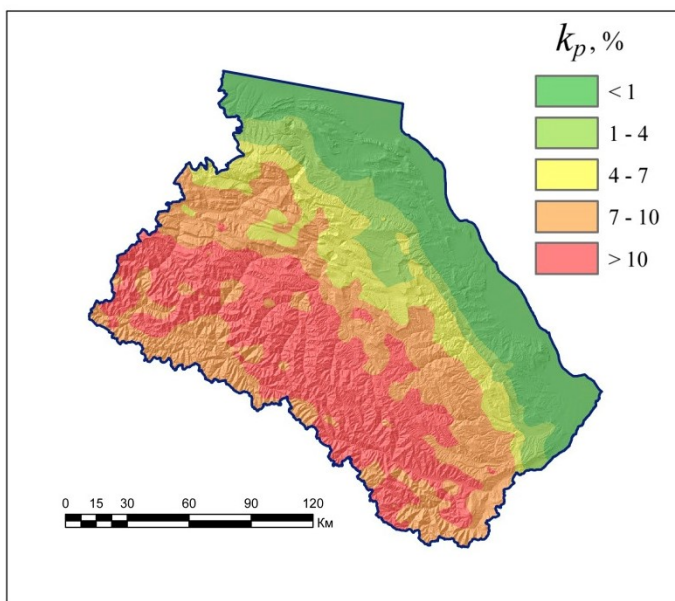
Показатели, влияние которых на развитие оползней было выявлено в результате проведенного информационного анализа, используются в качестве признаков при районировании Горного Дагестана по степени подверженности территории оползневому процессу.

Карты подверженности территории оползневому процессу были построены для наиболее подробно рассмотренных в работе моделей I, II и VII (рис. 6).



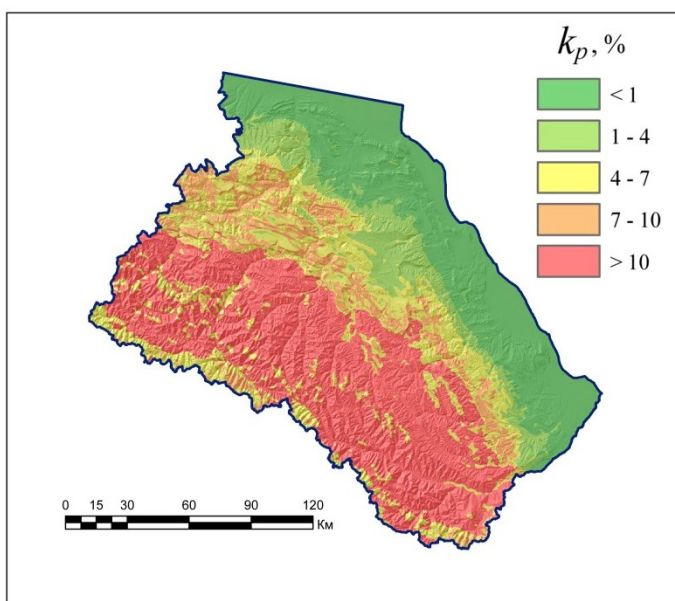
модель I

- блок модельной сетки: $5 \times 5 \text{ км}^2$;
 - пораженность характеризовалась наличием/отсутствием оползней.
- Значения вероятностного показателя (k_p): 0-10,6 %.



модель II

- блок модельной сетки: $5 \times 5 \text{ км}^2$;
 - пораженность оползнями: 0,0-61,3 %.
- Значения вероятностного показателя (k_p): 0-10,9 %.



модель VII

- блок модельной сетки: $1 \times 1 \text{ км}^2$;
 - пораженность оползнями: 0,0-100,0 %.
- Значения вероятностного показателя (k_p): 0-13,8 %.

Рис. 6. Карты подверженности территории оползневому процессу для моделей I, II, VII

Анализируя карты подверженности, в целом можно заключить, что увеличение значений рассчитанного вероятностного показателя наблюдается в направлении от равнинной территории к горной, где целый ряд признаков (см. выше) способствует развитию и активизации оползней.

Развитие оползневого процесса с максимальной подверженностью, согласно построенным картам, наиболее вероятно на территории: с самыми высокими отметками рельефа (2000 м и более), большими уклонами ($\sim 25-35^\circ$) и максимальными значениями густоты речной сети (до 1.6 км/км^2); сложенной, в основном, склоновыми (коллювий, десерпций, солифлюксий, делювий и т.д.) глинистыми и крупнообломочными с суглинистым заполнителем отложениями четвертичного возраста, подстилаемыми, преимущественно, аргиллитами, алевролитами с прослоями песчаников ранне-среднеюрского возраста; тектонически представленной складчато-глыбовым поднятием Восточного Кавказа; сейсмически активной (интенсивность землетрясений, в основном, – 5-7 баллов; 8-9 баллов – 1 раз в 1000 лет) и характеризующейся максимальной ($+8 \text{ мм/год}$ и более) скоростью положительных новейших тектонических движений.

При сравнении карт подверженности для моделей I и II наблюдается увеличение подверженности оползневому процессу в направлении от равнинной территории к высокогорной для обеих моделей, с наибольшими значениями в среднегорно-высокогорной зоне. Различие контуров зон одинаковой степени подверженности оползням на картах разных моделей обусловлено большей детальностью модели II, т.к. она учитывает значение пораженности территории оползнями. При этом показатель k_p для данных моделей имеет близкие значения.

Сравнение моделей I и II показало, что результат, полученный на основе качественной характеристики пораженности территории оползнями (данных только о наличии/отсутствии оползней), позволяет выполнять подобные расчеты и получать при данном масштабе близкую к истинной количественную характеристику вероятности развития оползневого процесса на рассматриваемой территории при отсутствии более подробной информации.

Сравнении карт для моделей II и VII (разной детальности) показало, что при увеличении размера блока модельной сетки уменьшается детальность карты, однако региональные закономерности, характеризующие вероятность развития оползневого процесса и обусловленные влиянием на него целого комплекса факторов, рассмотренных в работе, сохраняются. Это говорит о возможности использования при исследовании рассматриваемой территории обеих моделей, учитывая при выборе масштаба исследований детальность исходных данных.

Для *оценки полученных результатов* составленные карты сопоставлялись с данными мониторинга оползневого процесса за 2001-2012 гг., полученными в рамках ведения Государственного мониторинга состояния недр (ГМСН), а также имеющимися картами пораженности территории оползневом процессом: а) составленной при выполнении инженерно-геологического обследования в 1972-74 гг., б) используемой в настоящее время специалистами территориального центра Государственного мониторинга состояния недр по Республике Дагестан.

Анализ и сравнение полученных результатов с материалами ранее выполненных работ позволяет считать их достоверными и изучать данную территорию, используя модели различной детальности, а также различные характеристики развития оползней: качественную (наличие/отсутствие оползней) и количественную характеристику пораженности оползневым процессом. Полученные результаты позволяют говорить о том, что информационный анализ, применяемый в комплексе с другими математическими методами, дает корректные результаты и может применяться при региональном изучении ЭГП, в частности, оползневого процесса.

Глава 5. Предложения и рекомендации по рациональному освоению и использованию территории Горного Дагестана, подверженной оползневному процессу

Предложения территориального центра мониторинга по организации и развитию мониторинга ЭГП с целью предотвращения рисков, связанных с негативным воздействием ЭГП на населенные пункты и хозяйственные объекты, предполагают, главным образом, периодическое проведение уже выполняемых работ, также предложено проведение новых инженерно-геологических работ в районах активного развития ЭГП на территории Горного Дагестана, которые включают: изучение условий развития, режима ЭГП и факторов их активизации с целью накопления данных для прогноза катастрофических проявлений ЭГП в горной части республики; районирование горной территории по типам режима ЭГП; обследование всех населенных пунктов и крупных народно-хозяйственных объектов в горной части Дагестана. Это позволит актуализировать данные о развитии ЭГП на рассматриваемой территории.

В дополнение к рекомендациям, мероприятиям и соответствующим инженерно-геологическим работам, предложенным специалистами с целью снижения воздействия ЭГП на геологическую среду и снижения ущерба от ЭГП, по мнению автора, необходимо: 1) расширить наблюдательную сеть за ЭГП на оползнеопасных участках территории; 2) использовать в рамках мониторинга данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ); 3) обобщить данные о сооружениях инженерной защиты на территории республики.

Перечисленные выше задачи остаются актуальными для горной части Дагестана ввиду изменений инженерно-геологических условий, произошедших с момента последних проведенных инженерно-геологических обследований территории (1984-90 гг.), а также изменений, к которым приведет реализация схемы территориального планирования республики. При этом полученные автором результаты, а также принципы их получения в рамках комплексного применения теории информации (информационный анализ) и теории вероятности могут быть использованы при поиске решений указанных задач:

- для расширения сети пунктов наблюдений за оползнями необходима оценка инженерно-геологических условий территории, в частности, условий развития оползней, для обоснования выбора участков наблюдений. При этом в качестве основы для изучения особенностей развития оползней могут быть использованы результаты, полученные автором, которые, с одной стороны,

учитывают влияние различных факторов на развитие оползней, с другой стороны, отражают вероятность дальнейшего их развития на данной территории;

- использование данных ДЗЗ (полученных аэрокосмическими методами) целесообразно непосредственно для исследуемой территории, т.к. горные районы республики являются приграничной территорией России, что в силу ряда причин затрудняет их обследование. Кроме того, использование данных ДЗЗ может снять необходимость регулярных наземных обследований этой территории специалистами с целью получения актуальных данных о развитии ЭГП, т.к. дистанционные методы позволяют вести мониторинг на значительной площади, сократить сроки проведения соответствующих работ и обработки данных, увеличить их информативность, что также является актуальным для территории Горного Дагестана. В данном случае, данные ДЗЗ (с учетом их постоянного обновления) наряду с результатами оценки подверженности территории оползневому процессу, полученными автором на основе статистических и картографических материалов, уже систематизированных и собранных в единую базу данных, могут использоваться при изучении оползней, в том числе в многолетнем разрезе;

- обобщение данных о сооружениях инженерной защиты позволит определить необходимость разработки дополнительных мер инженерной защиты. При выборе комплекса мер инженерной защиты территории и сооружений, в частности, противооползневой защиты, могут быть использованы полученные автором результаты. Они позволяют использовать дифференцированный подход, который предполагает осуществление различного по полноте и сложности комплекса мероприятий (административно-правовых, профилактических, конструктивных) с учетом характера развития оползней на разных участках территории, а также выполнить обоснование планируемых мероприятий и схем инженерной защиты.

Кроме того, составленные автором карты подверженности территории оползневому процессу также могут быть использованы с целью определения районов размещения инженерных объектов при увеличении техногенной нагрузки, с целью уточнения состава и объема работ при оценке опасности и риска от природных процессов, в частности оползней, в рамках инженерных изысканий для строительства, состава и объема работ непосредственно при строительстве, а также при прогнозировании развития оползневого процесса.

Осуществление предложенных мероприятий даст возможность свести к минимуму существующие и возможные в будущем негативные последствия развития оползневого процесса и тем самым позволит более эффективно использовать горные территории республики.

Заключение

В настоящей работе изучены особенности условий развития оползневого процесса как одного из наиболее распространенных и разрушительных в Горном Дагестане, а также выполнена оценка подверженности территории оползневому процессу.

Основные результаты проведенных исследований состоят в следующем.

1. Рассмотрение пространственных информационных моделей горной части Дагестана, разномасштабных, с размером блока модельной сетки $5 \times 5 \text{ км}^2$ (модели I, II), $10 \times 10 \text{ км}^2$ (модели III, IV), $15 \times 15 \text{ км}^2$ (модели V, VI), $1 \times 1 \text{ км}^2$ (модель VII) и двумя выходными показателями (качественной и количественной характеристикой пораженности территории оползнями), составленных на основе комплекса показателей, характеризующих природные и техногенные условия территории, позволило выполнить совместное изучение показателей, которые могут влиять на развитие оползневого процесса.

2. По результатам анализа данных, полученным с использованием комплексного математического аппарата, включающего информационный анализ и элементы теории вероятности:

1) выявлена прямая зависимость между изменением информативности при осреднении значений показателей в сетках с размером блоков $1 \times 1 \text{ км}^2$, $5 \times 5 \text{ км}^2$, $10 \times 10 \text{ км}^2$, $15 \times 15 \text{ км}^2$ и изменением шага модельной сетки: при уменьшении размера блока модельной сетки снижается информативность признаков. Соотношение вкладов (весов) показателей при этом сохраняется, то есть использование одного из примененных масштабов осреднения позволяет получить корректные результаты для данной территории, данные масштабы исследования могут использоваться при решении подобных задач (подробно рассмотрены модели I, II, VII);

2) выделены показатели, определяющие развитие оползневого процесса в Горном Дагестане, основными признаками, с учетом их информативности, являются: абсолютные отметки рельефа (x_1), уклон земной поверхности (x_2), густота речной сети (x_6), среднее максимальное суточное количество осадков (x_{15}), литологическая характеристика четвертичных отложений (x_{16}), тектонические структуры (x_{20}), скорость современных тектонических движений (x_{23}).

3. Построены прогнозные карты развития оползневого процесса для территории Горного Дагестана на основе моделей разного масштаба (I, II, VII), учитывающие факторы, определяющие развитие оползней, выделенные с использованием комплексного математического аппарата:

1) развитие оползневого процесса с максимальной подверженностью, согласно полученным результатам, наиболее вероятно на территории: с самыми высокими отметками рельефа (2000 м и более), большими уклонами ($25-35^\circ$), максимальными значениями густоты речной сети (до 1.6 км/км^2); сложенной, в основном, склоновыми (коллювий, десерпций, солифлюксий, делювий и т.д.) глинистыми и крупнообломочными с суглинистым заполнителем отложениями четвертичного возраста, подстилаемыми преимущественно аргиллитами, алевролитами с прослоями песчаников ранне-среднеюрского возраста; тектонически представленной складчато-глыбовым поднятием Восточного Кавказа; сейсмически активной (интенсивность землетрясений, в основном, – 5-7 баллов; 8-9 баллов – 1 раз в 1000 лет) и характеризующейся максимальной ($+8 \text{ мм/год}$ и более) скоростью положительных новейших тектонических движений. В целом, увеличение значений рассчитанного показателя

подверженности наблюдается в направлении от равнинной территории к горной, где целый ряд признаков способствует развитию и активизации оползней. Максимальных значений показатель достигает в среднегорно-высокогорной зоне, при этом выделяется ряд локальных участков высокогорья, в том числе приграничных, для которых характерны меньшие значения данного показателя, поскольку здесь наблюдаются менее благоприятные условия для развития оползней;

2) оценка полученных результатов путем их сравнения с данными проведенных ранее инженерно-геологических работ по оценке пораженности территории оползнями показала, что результаты настоящей работы сопоставимы с полученными ранее, что подтверждает возможность использования информационного анализа при аналогичных исследованиях;

3) сравнение результатов по моделям, имеющим одинаковую детальность, но разную характеристику пораженности территории оползневым процессом (модели I и II), показало, что результат, полученный на основе качественной характеристики (данных только о наличии/отсутствии оползней), позволяет выполнять подобные расчеты и получать при данном масштабе близкую к истинной количественную характеристику развития оползневого процесса на исследуемой территории при отсутствии более подробной информации. Сравнение моделей, имеющих разную детальность, но одинаковую (количественную) характеристику пораженности территории оползнями (модели II и VII), показало, что при увеличении размера блока модельной сетки уменьшается детальность карты, однако, региональные закономерности, характеризующие вероятность развития оползневого процесса, сохраняются, что говорит о возможности использования при исследовании рассматриваемой территории обеих моделей, учитывая при выборе масштаба исследований поставленные задачи и детальность исходных данных.

Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем при оценке сложности и прогнозе изменений инженерно-геологических условий исследуемой территории, выборе комплекса мер инженерной защиты территории и сооружений, при ведении мониторинга оползневого процесса.

Список публикаций автора по теме диссертационной работы

Публикации в рецензируемых научных изданиях, определенных п.2.3 Положения о присуждении ученых степеней в Московском Государственном Университете имени М.В. Ломоносова

1. **Шамурзаева Д.А.** История изучения и основные особенности развития оползневого процесса на территории Республики Дагестан // Разведка и охрана недр. – 2012. – № 10. – С. 10-14.

2. **Шамурзаева Д.А., Королев Б.И., Новиков К.В.** Факторы развития оползневого процесса, выделенные на основе информационного анализа на примере Республики Дагестан // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 10. – С. 21-25.

3. **Шамурзаева Д.А., Королев Б.И., Новиков К.В.** Особенности развития оползневого процесса на территории Республики Дагестан, установленные на основе информационного анализа // Недропользование XXI век. – 2014. – № 6а. – С. 74-79.

4. **Шамурзаева Д.А., Новиков К.В., Королев Б.И.** Оценка подверженности оползневым процессам горной части Республики Дагестан, выполненная на основе применения комплексного математического аппарата // Инженерная геология. – 2017. – №4. – с. 40-48.

Статьи и тезисы докладов в сборниках трудов конференций

5. **Шамурзаева Д.А., Королев Б.И., Новиков К.В.** Особенности регионального развития оползневого процесса на территории Республики Дагестан, установленные на основе информационного анализа // Второй национальный научный форум «Нарзан-2013». «Техногенные процессы в гидrolитосфере (идентификация, диагностика, прогноз, управление, оптимизация и автоматизация)». Кисловодск, 25-27.09.2013 г. Сборник докладов. Пятигорск: РИА-КМВ. – 2013. – С. 243-254.

6. **Шамурзаева Д.А., Новиков К.В., Королев Б.И.** Особенности развития оползневого процесса в горной части Республики Дагестан, выявленные на основе информационного анализа // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2014» / Отв. ред. А.И. Андреев, Е.А. Антипов, М.В. Чистякова. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2014. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Публикации в прочих изданиях

7. **Информационный** бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2007 г. – Вып.31. – М.: ООО «Геоинформмарк», 2008. – 180 с.

8. **Информационный** бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2008 г. – Вып.32. – М.: ООО «Геоинформмарк», 2009. – 211 с.

9. **Информационный** бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2009 г. – Вып.33. – М.: ООО «Геоинформмарк», 2010. – 208 с.

10. **Информационный** бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2010 г. – Вып.34. – М.: ООО «Геоинформмарк», 2011. – 208 с.

11. **Информационный** бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2011 г. – Вып.35. – М.: ООО «Геоинформмарк», 2012. – 220 с.

12. **Информационный** бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2012 г. – Вып.36. – М.: ООО «Геоинформмарк», 2013. – 232 с.

13. **Информационный** бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2013 г. – Вып.37. – М.: ООО «Геоинформмарк», 2014. – 226 с.

14. **Информационный** бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2014 г. – Вып.38. – М.: ООО «Геоинформмарк», 2015. – 236 с.

15. **Информационный** бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2015 г. – Вып.39. – М.: ООО «Геоинформмарк», 2016. – 281 с.