МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи

Шамурзаева Диана Анурбековна

Оценка развития оползневого процесса на территории Горного Дагестана

Специальность 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель –
доктор геолого-минералогических наук,
профессор В.Т. Трофимов

Москва – 2017

Содержание

Введение……3
Глава 1. Современные представления об опасных экзогенных геологических процессах в Горном Дагестане…….....8
1.1. Исследования экзогенных геологических процессов в Горном Дагестане……8
1.2. Методы исследования экзогенных геологических процессов.……..18
Выводы и постановка задач исследования...…….....30
Глава 2. Методика исследования оползневого процесса в Горном Дагестане с применением комплексного математического аппарата……..……31
2.1. Алгоритм исследования развития оползневого процесса в Горном Дагестане…..31
2.2. Методика составления карт подверженности территории оползневому процессу с применением результатов комплексного анализа……...43
Глава 3. Характеристика факторов развития оползневого процесса в Горном Дагестане……46
3.1. Орография и современное оледенение…..……..……..…...……..……47
3.2. Гидрография……..…….52
3.3. Климатические условия…….……..53
3.4. Характеристика ландшафтов……..…….…….……...55
3.5. Краткая геологическая характеристика региона…….……...62
3.6. Гидрогеологические условия…….…….…..86
3.7. Геокриологические условия……..…….…..……89
3.8. Современные экзогенные геологические процессы в Горном Дагестане……....90
3.9. Техногенное влияние на развитие экзогенных геологических процессов……....110
3.10. Выбор показателей и первичная обработка данных……..……118
Глава 4. Изучение оползневого процесса в Горном Дагестане ……..…….……..120
4.1. Подготовка данных для анализа и расчет информационных характеристик.…...120
4.2. Интерпретация таблиц сопряженности простых и сложных признаков……..….140
4.3. Районирование горной части Республики Дагестан по степени подверженности оползневому процессу ……..…..…….197
Глава 5. Предложения и рекомендации по рациональному освоению и использованию территории Горного Дагестана, подверженной оползневому процессу…….……214
5.1. Деятельность территориального центра Государственного мониторинга состояния недр по Республике Дагестан……..……214
5.2. Рекомендации по рациональному освоению и использованию территории Горного Дагестана, подверженной оползневому процессу……..……..……..…220
Заключение……..237
Литература……...240
Приложение. Таблица фактического материала……259

Введение

Развитие оползневого процесса в интенсивно освоенных в хозяйственном отношении горных районах Республики Дагестан представляет опасность для населения и действующих сооружений, создает трудности при проектировании и строительстве новых сооружений, как в населенных пунктах, так и вне их территории, а также приводит к изменениям геологической среды и наносит значительный ущерб объектам экономики республики.

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. км^2. 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 количественной оценки степени влияния факторов на развитие здесь оползневого процесса и оценки подверженности территории оползневому процессу.

С точки зрения научно обоснованного анализа изменений геологической среды в результате комплексного воздействия природных и техногенных факторов, занимающего важное место в вопросах рационального использования природных ресурсов, очевидна также необходимость дальнейшего совершенствования методик оценки современного состояния и прогнозирования возможных изменений геологической среды.

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

Основными задачами настоящей работы 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.

Методика исследования. В настоящей работе автором был 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 5×5 км^2 и 1×1 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 работы. 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: 5×5 км^2, 1×1 км^2) учитывает определяющие факторы развития оползневого процесса, выделенные с использованием комплексного математического аппарата.

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.

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 гидролитосфере (идентификация, диагностика, прогноз, управление, оптимизация и автоматизация)». По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 4 работы в изданиях из перечня, рекомендованных Минобрнауки РФ (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.

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

Важнейшим, во многих случаях определяющим элементом инженерно-геологических условий любой территории, является её пораженность экзогенными геологическими процессами (ЭГП) или предрасположенность к ним. Нередко высокая пораженность территории оползнями, селями, абразией, карстом и другими процессами исключает возможность ее хозяйственного освоения, а на осваиваемых территориях ЭГП нередко являются угрозой жизнедеятельности населения, нормальной эксплуатации действующих сооружений, а также создают множество трудностей при проектировании и строительстве новых сооружений, как в пределах населенных пунктов, так и вне их территории.

Вопреки здравому смыслу, хозяйственные сооружения регулярно возводятся на селевых конусах выноса действующих селевых водотоков, активных оползневых склонах, регулярно затапливаемых террасах и т.д. Всегда актуальная проблема ЭГП обострилась в последние годы в связи с глобальной активизацией и аномальным развитием природных процессов и явлений.

Активизация экзогенных процессов принимает все более масштабный и разрушительный характер, последствия ее становятся все более ощутимыми и значительными в социально-экономическом и экологическом отношении (активизация ЭГП на Северном Кавказе в 2002 г.) [Круподеров, 2007]. Поэтому изучение особенностей развития ЭГП, как одного из факторов, формирующих современное состояние геологической среды, продолжает занимать значительное место в проблеме рационального использования природных ресурсов и обеспечения безопасности жизнедеятельности населения.

1.1. Исследования экзогенных геологических процессов в Горном Дагестане

Начало геологических исследований. Более или менее систематические геологические исследования Дагестана начались в первом десятилетии XIX в., о чем свидетельствуют результаты путешествия академика И.А. Гильденштедта по Северному Кавказу и Грузии, опубликованные в 1809 г. Дагестан был далекой и почти неизученной окраиной царской России. Исследования его территории носили эпизодический характер. Минеральные богатства были изучены недостаточно и использовались в небольших объемах. Кустарными методами добывались некоторые руды, а также нефть и каменный уголь.

В 50-х годах XIX в. изучением Северо-Восточного Кавказа начал заниматься академик Г.В. Абих, считающийся основоположником геологии Кавказа. 1860-1917 годы отмечены более целенаправленными и систематическими исследованиями Дагестана, основным направлением которых были региональные стратиграфические исследования и оценка минеральных ресурсов области. Проводились периодические исследования Каспийского моря и его берегов, прилегающих к территории Дагестана, направленные на изучение проблемы колебаний уровня

моря и установления ее связи с неотектоникой, особенностями климата и характером стока питающих рек, результаты которых отражены в работах А. Соколова (1848, 1852), Н.В. Ханыкова (1853), К.М. Бэра (1856).

Со второй половины XIX в. данные по геологии, гидрогеологии, геоморфологии и полезным ископаемым всего региона, включая Дагестан, публиковались в специальном сборнике «Материалы для геологии Кавказа».

К началу XX в. в пределах северного склона Кавказа, и в Дагестане в частности, проводится геологическое картирование, разрабатывается стратиграфия геологических образований. В богатом различными полезными ископаемыми Дагестане изучались: горючие ископаемые, металлы и неметаллы, минеральные воды и лечебные грязи. В числе наиболее крупных исследователей Северного Кавказа того времени необходимо отметить Н.И. Андрусова, Н.Н. Барбот де Марни, Д.В. Голубятникова, А.П. Иванова, К.П. Калицкого, А.М. Коншина, В.И. Миллера, И.Н. Стрижова, К.В. Харичкова.

Накопившийся к концу 1917 г. опубликованный и фондовый материал по геологии и полезным ископаемым Дагестана явился той первоначальной основой, на которую опирались все последующие исследования геологов.

В 1918-1955 годы в связи с необходимостью выявления минеральных ресурсов в промышленных размерах в Дагестан направляются крупные комплексные экспедиции и геологические партии НГРИ, Геолкома, ГГРУ, ГИН, Гелиогазразведки, треста «Грознефть».

Позднее работы по изучению региона проводились также экспедициями и партиями АН СССР, ВНИИГаза, ВСЕГЕИ, Северо-Кавказским геологическим управлением, выполнявшими в основном геолого-съемочные, поисковые и разведочные работы. ГИ ДагФАН СССР, ГрозНИ и ГрозНИИ проводили исследования по стратиграфии, тектонике, литологии отложений мезо-кайнозоя в связи с изучением их нефтегазоносности. ВНИГРИ, ВНИИНефть, КЮГЭ, МГУ и другие проводили исследования по стратиграфии, тектонике, геоморфологии, оценке перспектив нефтегазоносности, геофизике и гидрогеологии.

Наблюдалось благоприятное сочетание геоморфологических исследований и геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических работ.

Значительное внимание уделялось районированию Дагестана по структурно-геоморфологическим и тектоническим признакам, единичные работы касались вопросов новейшей тектоники Дагестана. Однако, несмотря на определенные успехи проведенных в 1918-1955 гг. геологических исследований территории республики, следует отметить, что геологическое строение высокогорной части Дагестана оставалось слабоизученным. Сведения об Известняковом Дагестане ограничивались материалами геолого-съемочных работ. Сланцевая область, особенно зона Главного и Бокового хребтов, оставалась все еще

слабоизученной из-за малого количества проводимых здесь работ, трудной доступности и чрезвычайной сложности складчатой структуры.

Инженерно-геологические исследования, изучение экзогенных геологических процессов. Северо-Кавказский регион, включающий территорию Дагестана, характеризуется интенсивным развитием ЭГП, многие из которых относятся к категории опасных и являются источниками геологического риска.

Систематическое изучение геологических процессов в Северо-Кавказском регионе началось на рубеже XIX-XX столетий и было связано, в первую очередь, с развитием транспортной инфраструктуры [Зеркаль, Королев, 2008].

Крупные инженерно-геологические работы на территории республики отмечаются с начала XX в. В 1918-1955 годы огромное количество инженерно-геологических работ было проведено на территории Дагестана в связи со строительством гражданских и промышленных сооружений (зданий, подземных коммуникаций, ЛЭП и других объектов). Н.И. Анисимовым (1927, 1928), Д.В. Дробышевым (1931), Е.Е. Керкис (1936) и другими исследователями были проведены крупные инженерно-геологические работы по изысканию условий под строительство гидроэлектростанций в бассейнах рек Сулака, Кара-Койсу и Самура. Кроме того, были изысканы благоприятные участки для строительства небольших ГЭС с целью обеспечения электроэнергией горных районов Дагестана.

В 1961-1965 гг. инженерно-геологические работы в основном были сосредоточены в городах и в бассейне р. Сулак, в районе строительства Чирюртовской ГЭС. Продолжали интересовать исследователей инженерно-геологические особенности лёссовых пород современного возраста, слагающие районы Степного Дагестана [Балаев, Царев, 1964; Царев, Балаев, 1963].

В 1964-1970 гг. сотрудниками проектного института «Ленгидропроект» им. С.Я. Жука С.В. Веселовой и А.В. Трубачевой был выполнен большой объем инженерно-геологических исследований для обоснования технических проектов Чиркейской и Миатлинской ГЭС на р. Сулак, по результатам которых были даны рекомендации об условиях строительства ГЭС. После 1970 г. сотрудники этого же института выполнили детальное инженерно-геологическое исследование в районе строительства Ирганайской и Миатлинской ГЭС на р. Сулак, результаты которых были изложены в работе Н.Ф. Новикова, И.А. Пирогова и Л.В. Толмачева «Инженерно-геологические проблемы строительства гидроузлов в Дагестане».

В 1966-1970 гг. большое количество инженерно-геологических исследований было выполнено в связи с крупным ростом промышленного и гражданского строительства, а также гидромелиоративных работ.

В 1971-1975 гг. большой объем гидрогеологических и инженерно-геологических исследований был выполнен союзными и республиканскими исследовательскими институтами по проектированию гидротехнических и других сооружений в связи с проблемами мелиорации на орошаемых массивах Равнинного Дагестана, а также в связи с гражданским и промышленным строительством в районе предгорий и в Горном Дагестане.

Подверженность горной части республики воздействию многих видов ЭГП, наиболее опасными и распространенными из которых являются гравитационные процессы, связанные с поверхностными водотоками, предопределяла необходимость исследования особенностей развития этих процессов.

Оползневой процесс. Начиная с 60-х годов сотрудниками Даггеолэкспедиции В.А. Шмыриным, Б.Д. Тагировым и другими проводились специальные работы по детальному обследованию оползневых и обвальных участков в Горном Дагестане. Детально были изучены и охарактеризованы оползни и обвалы, проявившиеся за этот период в районах селений Мочох, Араканы, Амишта, Телетль, Гоцатль, Курах, Советское, Чох, Эчеда и др. [Шмырин и др., 1966, 1968, 1969, 1970, 1971]. В результате обследования были выявлены причины развития обвально-оползневых процессов, даны конкретные рекомендации по его предупреждению.

С 1964 г. по 1966 г. инженерно-геологическими исследованиями на участках развития оползневых процессов в Горном Дагестане занимался Инженерно-геологический отряд Гидрогеологической партии Дагестанской комплексной геологической экспедиции.

Систематическое изучение оползней было организовано с целью определения причин их возникновения и выработки рекомендаций по предотвращению оползневых катастроф, в связи с чем была поставлена задача провести инженерно-геологическое (рекогносцировочное) обследование в масштабе 1:200 000 территории Горного Дагестана для выявления оползневых и селеопасных районов с постановкой на некоторых участках детальных работ в масштабе 1:2000.

В этот период было выполнено детальное исследование Мочохского оползневого участка, в рамках инженерно-геологического обследования масштаба 1:200 000 изучались типичные участки: Анчикский, Яргинский и Цумилухский [Шмырин и др, 1966].

В 1967 г. Тематической экспедицией СКТГУ была составлена сводная карта инженерно-геологической изученности Северного Кавказа (Гонсировский Д.Г. и др.). Авторами установлено многообразие, сложность и недостаточная степень изученности региональных инженерно-геологических особенностей территории и даны рекомендации по дальнейшему их изучению. В 1975 г. ими же составлена инженерно-геологическая карта Северного Кавказа масштаба 1:500 000 и монография к ней.

В январе 1967 г. Инженерно-геологическим отрядом было начато обследование новых оползней. За период 1967-1968 гг. инженерно-геологические работы в масштабе 1:2000 были проведены на участках в Унцукульском, Курахском районах и в г. Махачкале, в масштабе 1:10 000 – в Ахвахском, Хунзахском и Советском районах республики.

Кроме детальных обследований, были проведены полевые работы по рекогносцировочному инженерно-геологическому обследованию горных склонов в масштабе 1:200 000 на Курахском, Анчикском, Гоцатлинском, Амиштинском, Телетлинском оползневых участках. В январе 1968 г. Оползневой отряд в составе Гидрогеологической партии был преобразован в Дагестанскую Комплексную гидрогеологическую и инженерно-геологическую станцию (ДКГИС) [Шмырин и др., 1968].

Основой для выделения районов формирования ЭГП могла послужить карта районирования, составленная П.В. Царёвым и А.И. Клименко в качестве приложения к IX тому «Гидрогеологии СССР» (Северный Кавказ) в 1968 г. Однако мелкая масштабность карты (1:500 000) не позволяла дать необходимую, более детальную, инженерно-геологическую характеристику стратиграфо-генетических комплексов.

В 1966-1970 гг. все более широко применяемые аэрометоды позволили Р.И. Милосердовой и другим в результате исследований, проведенных в бассейне р. Ахтычай, описать дешифровочные признаки оползней.

В 1963-1976 гг. в Горном Дагестане В.А. Шмыриным, Б.Д. Тагировым и другими [Ревелис, Тагиров, 1966; Шмырин, Тагиров, 1969] были проведены обследования Араканского, Мочохского, Цумилухского и других оползневых участков. В результате обследования были изучены геологические, геоморфологические, гидрогеологические и инженерно-геологические условия участков. Выявлены причины возникновения оползней и даны рекомендации по инженерно-геологическим исследованиям районов оползней с целью прогнозирования и предотвращения внезапных катастроф [Шихрагимов и др., 1991].

В 1971-1975 гг. в процессе геологических съемок, выполнявшихся в этот период в верховьях рек Андийское Койсу и Аварское Койсу Г.И. Ивановым, В.П. Павловым и Н.В. Венцковским и в бассейне р. Чирагчай – В.Ф. Василенко и Э.С. Паниевым, изучалось геоморфологическое строение территории Дагестана в горной и высокогорной частях. Проведенными работами были подтверждены ранее сделанные выводы о том, что формирование рельефа на современном этапе также обусловлено в основном эрозионно-аккумулятивной деятельностью, образованием речных долин и террас, а также гравитационно-оползневыми перемещениями пород.

Закономерности проявления гравитационных процессов (обвалов, оползней, осыпей) на Северном Кавказе, а также особенности развития этих явлений на территории Дагестана

изучались и были описаны в работах И.Н. Сафронова и В.А. Хрисанова [Сафронов, Хрисанов, 1974], М.К. Казанбиева [Казанбиев, Малюк, 1975], А.И. Клименко [Клименко, 1975], Б.Д. Тагирова [Тагиров, Гусейнов, 1974] и др. Гравитационные явления особенно характерны для районов повышенной сейсмической активности, о чем свидетельствуют крупные сейсмогенные оползни – Мочохский и Ачинский, произошедшие в Дагестане во время землетрясений в июле 1963 г. и в мае 1970 г. [Лосев и др., 1971; Цыпина и др., 1998].

Следует отметить, что большая часть работ в этот период была связана с решением практических задач, в том числе и исследования гравитационно-оползневых и эрозионно-аккумулятивных процессов, широко развитых на территории Дагестана.

В 1972-74 гг. сотрудниками Даггеолэкспедиции Б.Д. Тагировым, З.Т. Гусейновым, В.А. Шмыриным и другими проводились работы по инженерно-геологическому обследованию Горного Дагестана в масштабе 1:200 000 с целью районирования по интенсивности развития ЭГП (оползней, обвалов и осыпей, селей) [Тагиров, 1974]. В результате проведенных работ были составлены схематическая инженерно-геологическая карта Горного Дагестана масштаба 1:200 000 и ряд специальных карт районирования по интенсивности проявлений отдельных видов ЭГП, отражающие широкое распространение ЭГП в Горном Дагестане, которые наносят большой ущерб народному хозяйству республики. В зоне активного проявления ЭГП было отмечено более 10 % населенных пунктов, а также мосты, дороги, ЛЭП, линии телефонно-телеграфной связи и другие объекты. Отмечался наносимый экзогенными процессами значительный ущерб сельскому хозяйству, ухудшение и приведение в полную непригодность различных угодий (пашни, сады, пастбища). Однако, поскольку эта работа была выполнена, в основном, путем разового дешифрирования старых аэрофотоснимков и незначительного объема полевых исследований, авторам не удалось детально картировать, тем более классифицировать, все виды ЭГП, имеющие проявления на обследованной территории.

Инженерно-геологические обследования обвальных и оползневых участков были продолжены сотрудниками Даггеолэкспедиции Б.Д. Тагировым, З.Т. Гусейновым в 1974-1976 гг. [Тагиров, 1976] в окрестностях селений Ругельда, Куркак, Янгикент, Анчик, Нижний Батлух, Местерух, г. Буйнакска и курорта Талги, а также по трассе автодороги Леваши – Сергокала.

Селевой процесс относится к числу наиболее разрушительных ЭГП, развивающихся на территории республики, активное изучение которого отмечалось, начиная со второй половины 50-х годов XX в. Описанию типов селевых потоков, условий их возникновения и характера проявления посвящены работы И.В. Боголюбовой [Боголюбова, 1957], А.А. Тертерова [Тертеров, 1957], Д.А. Лилиенберга [Лилиенберг, 1959 а].

В 70-х гг. наряду с селевым изучались и эрозионные процессы. Условия селеобразования в центральной части Горного Дагестана были охарактеризованы В.А. Герасимовым [Герасимов, 1974], установившим, что его очаги расположены в пределах абсолютных отметок 1500-2000 м. и особенно развиты в бассейнах крупных рек: Андийское Койсу, Аварское Койсу, Самур. А.П. Арзуманян, изучая процесс эрозии, сделал вывод, что она тесно связана с крутизной склонов и густотой расчленения рельефа [Арзуманян, 1975]. Исследовалась также зависимость речного стока в Горном Дагестане от высоты бассейна и орографических особенностей.

Отмечалось, что селевые потоки рек Аварское Койсу, Андийское Койсу, Сулак и Самур наносят большой ущерб народному хозяйству [Габриелян, 1971; Емгушев, 1971], в связи с чем проблемной лабораторией географического факультета МГУ под руководством профессора С.М. Флейшмана [Парамонов, Петросов, 1974] была проведена тематическая съемка, по результатам которой была дана количественная оценка селеопасности горных рек Дагестана.

Проблемы разработки эффективных методов борьбы с эрозией почв и регулирования селевых потоков рассматривались на специальном совещании в г. Закаталы в мае 1974 г. [Мирзазаде и др., 1974].

Карстовый процесс. В 1956-1960 годы карстовые явления на территории Дагестана изучались Д.А. Лилиенбергом [Лилиенберг, 1959 б, 1959 в]. Им были выделены районы с характерным проявлением карста, изучены факторы, влияющие на карстообразование, карстовые пещеры классифицированы по генетическому типу.

В 1971-1975 гг. в больших объемах инженерно-геологические исследования, в комплекс которых входило и изучение геодинамических процессов и карста [Летов, 1974, Соловьев и др., 1974], выполнялись в бассейнах рек Сулак, Андийское Койсу и Аварское Койсу, в связи со строительством каскада гидроэлектростанций. Описание карстового процесса дано в статьях М.К. Казанбиева [Казанбиев, 1974, 1975; Казанбиев, Саидов, 1972], охарактеризовавшего ранее неизвестные и малоизвестные Карабудахкентские и Кучские пещеры, Гапшиманское карровое поле. А.Г. Мусиным определялась скорость карстовой денудации в карбонатных отложениях в бассейне р. Андийское Койсу [Мусин, 1974].

Помимо изучения наиболее распространенных процессов (оползни, сели, обвально-осыпные и эрозионные процессы), исследователи (Первухин М.Н., Гвоздецкий Н.А., Якушева А.Р. и др.) уделяли внимание изучению и других ЭГП, развивающихся на территории республики. Большое количество исследований, особенно в послевоенный период, было посвящено изучению прибрежной части и подводного берегового склона Дагестана и выявлению закономерностей перемещения береговых линий.

В 1956-1960 годы на побережье Каспия, в его мелководной зоне, Лабораторией аэрометодов АН СССР впервые были начаты работы по изучению морского дна до глубины

20 м на основании аэрофотоснимков. В.В. Шарковым [Шарков, 1960] были выделены области с преобладающими процессами абразии и аккумуляции.

Изучением динамики и морфологии берегов занималась группа ученых под руководством О.К. Леонтьева. Особое внимание уделялось изучению процессов морской и эоловой аккумуляции, имеющих большое значение при проектировании гидротехнических сооружений.

В работах А.А. Трушковского [Трушковский, 1958, 1959] описывается история формирования песчаного ландшафта Терско-Кумского междуречья, его эоловая переработка и закрепление растительностью.

В 1966-1970 гг. в пределах Предгорной и Приморской частей Дагестана А.Н. Косаревым [Косарев, 1970], Г.И. Рычаговым [Рычагов, 1970], С.С. Байдиным [Байдин, 1970], А.И. Халиловым и другими изучается развитие современных ЭГП в результате деятельности речной сети на территории Дагестана.

В 1971-1975 гг. продолжались исследования генетических типов и форм рельефа и их связи с геологической структурой, исследования значений современных тектонических движений для сейсмичности территории и значений развития речной сети в формировании рельефа, развитии современных геодинамических и эрозионных процессов. Значительное число работ, как и ранее, было посвящено изучению Каспийского моря: выявлению закономерностей перемещения его береговой линии, истории ее формирования, проблеме поднятия уровня моря, изучению рельефа прибрежной части и подводного склона, а также современных экзогенных процессов.

Природно-антропогенные геологические процессы и явления в предгорьях Северного Кавказа были рассмотрены в статье А.И. Клименко [Клименко, 1975].

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 на территории Горной части Дагестана [Тагиров и др., 1984]. В этот период также было проведено инженерно-геологическое обследование территорий 500 населенных пунктов. В результате исследований был составлен комплект карт, отражающих условия развития ЭГП, интенсивность проявлений различных процессов, подверженность народнохозяйственных объектов воздействию различных типов ЭГП. Была проведена классификация ЭГП, определены закономерности их распространения [Шихрагимов и др., 1991].

Необходимо отметить, что планомерные обследования всего комплекса ЭГП на территории Горного Дагестана ранее не проводились, выполненная в 1979-1984 гг. работа

представляла собой первое обобщение данных о региональных пространственных закономерностях проявления и активности различных типов ЭГП, а также подверженности их воздействию территорий населенных пунктов и других народнохозяйственных объектов.

В 1982 г. Д.Г. Гонсировским и другими была выполнена работа по «Составлению инженерно-геологических карт районирования горной части территории Северного Кавказа по условиям развития ЭГП в масштабе 1:200 000». Одним из основных результатов выполненной работы явилось составление специализированной совмещенной карты инженерно-геологических условий и инженерно-геологического районирования по условиям развития ЭГП горной части территории Северного Кавказа (в том числе Горного Дагестана) в масштабе 1:200 000.

Несмотря на многоотраслевой характер и значительный объем инженерно-геологических работ, выполнявшихся разными организациями для различных целей (гражданское и промышленное строительство в городах и сельской местности, дорожное строительство), не проводилось их анализа и систематизации. При проведении работ не учитывалось и не оценивалось их влияние на развитие ЭГП, воздействию которых, как было установлено исследованиями Дагестанской геологоразведочной экспедиции, подвержено от 60 до 100 % территории Горного Дагестана.

В 1984-1990 гг. изучение условий развития и режима ЭГП на территории республики продолжили Шихрагимов И.М., Шваров Н.С., Абдулкеримов Ш.Г. и др. [Шихрагимов и др., 1991].

В 1991 г. А.И. Шеко и В.С. Круподеровым выполнено обоснование организации и ведения мониторинга опасных геологических процессов на территории Дагестана с учетом особенностей режима метеорологических и гидрологических факторов. С 1991 по 1999 г. в горной и предгорной частях республики проводились работы по оценке активности ЭГП, в частности, оползневого и селевого процессов, по результатам которых ежегодно составлялись карты активности процессов и схема подверженности объектов народного хозяйства воздействию ЭГП.

С 1999 г. и по настоящее время мониторинг ЭГП ведется в рамках Государственного мониторинга состояния недр. Он включает в себя наблюдения за развитием ЭГП на территории республики, а также специализированные и оперативные инженерно-геологические обследования районов активизации и объектов народного хозяйства, подвергающихся негативному воздействию ЭГП, которые выполняются территориальным центром Государственного мониторинга состояния недр по Республике Дагестан – РЦ «Дагестангеомониторинг» [Информационный бюллетень…, 2007].

В Дагестане из 1635 населенных пунктов 820, в том числе 10 городов, подвержены воздействию ЭГП. При освоении территории часто не соблюдаются элементарные меры предосторожности – опасные и потенциально опасные зоны осваиваются или даже заселяются. События последних лет показывают, что современное хозяйственное освоение и использование потенциально опасных территорий не ориентированы на необходимое (максимальное) соблюдение элементарных правил и норм, обеспечивающих защиту людей, объектов, территорий [Круподеров, 2007].

По данным мониторинга, оползневому процессу подвержена территория 362 населенных пунктов республики, а суммарная площадь оползневых проявлений составляет более 6 тыс. км^2 [Информационный бюллетень…, 2011]. Для Горного Дагестана, где сохраняется высокая плотность населения, вопросы снижения ущерба от опасных геологических процессов, в том числе оползневого процесса, особенно актуальны. Ежегодно происходящие катастрофические события показывают, что максимальные ущербы и потери наблюдаются на вновь освоенных под индивидуальное строительство территориях (низкие террасы и поймы рек, гравитационно-неустойчивые склоны, зоны транзита и селевые конусы выноса). По всей видимости, из-за нарушения гидродинамического режима грунтовых вод, не только вследствие техногенного воздействия, но и в результате оползневых подвижек в покровных и коренных отложениях, значительно увеличилось в последние годы на территории Горного и Предгорного Дагестана число населенных пунктов, подверженных подтоплению [Информационный бюллетень…, 2008].

Поскольку последнее комплексное инженерно-геологическое обследование территории Дагестана с целью изучения условий развития и режима экзогенных процессов было проведено в 1984-90 годы XX в., можно говорить о том, что имеющиеся данные о подверженности населенных пунктов и объектов народного хозяйства воздействию ЭГП, а также данные о вкладе различных факторов в развитие процессов, в том числе постоянно увеличивающегося техногенного воздействия на геологическую среду, устарели и не отражают сегодняшней ситуации с учетом произошедших за это время изменений.

В данном случае не только актуальным, но и необходимым становится выполнение комплексной оценки опасности оползневого процесса, как одного из наиболее распространенных и разрушительных на рассматриваемой территории, с целью обеспечения безопасности жизнедеятельности населения и эксплуатации сооружений, главным образом, транспортных коммуникаций и объектов жилого фонда, а также обоснованного выбора и осуществления мероприятий инженерной защиты территории от негативного воздействия оползневого процесса.

1.2. Методы исследования экзогенных геологических процессов

Необходимость применения различных математических методов обработки, анализа и обобщения данных возникает не только при прогнозировании, поисках, разведке и оценке месторождений полезных ископаемых, но и при проведении любых других геологических исследований. В настоящее время основными направлениями использования математических методов в геологии являются: сбор, систематизация и хранение информации; обработка информации при изучении геологических объектов и прогнозировании процессов; автоматизация технологических операций и визуализация результатов (построение карт и разрезов и др.); математическое моделирование геологических объектов и явлений.

При обработке инженерно-геологической информации методы математического анализа в нашей стране начали применяться в 50-х гг. XX в., несколько позднее в других странах. Вопросы применения методов математического анализа в инженерной геологии освещаются в работах Н.В. Коломенского и И.С. Комарова, Н.Н. Маслова, М.В. Раца, Е.М. Пашкина, Э.Н. Ткачука, Г.К. Бондарика и др. Одно из основных направлений применения математических методов в инженерной геологии – исследование разного рода взаимосвязей. Предметом изучения при этом являются такие параметры, как показатели физико-механических свойств пород, связи между структурой пород и их механическими свойствами, влияние различных факторов на геологические процессы (оползни, переработка берегов водохранилищ и т.д.). Решение таких задач выполняется с использованием различных методов и моделей, как детерминированных, так и статистических.

Во второй половине XX в., главным образом в 90-е гг., как в России, так и в других странах мира, начались систематические исследования большинства природных процессов с использованием технических средств измерений, режимных наблюдений, моделирования и картирования, позволившие получить первые представления об их основных типах, механизмах, условиях и факторах развития во времени и пространстве [Природные опасности…, Т.6, 2003].

Систематизация методов изучения и прогнозирования природных процессов. Обширный комплекс методов изучения, мониторинга и прогнозирования природных процессов по своему целевому назначению может быть разделен на два основных блока методов: методы изучения и оценки природных процессов, методы мониторинга и прогнозирования природных процессов. Критерием следующего уровня систематизации может служить тип методов, позволяющий выделить полевые методы (контактные и дистанционные), камеральные (экспериментальные методы определения характеристик природных объектов и методы визуализации информации в виде данных дешифрирования, определенных тематических карт, разрезов и т.д.). При выделении видов методов должны учитываться особенности сред

формирования природных процессов, механизмы и основные факторы развития процессов. С позиции системного подхода ЭГП следует рассматривать как открытую эквифинальную (т.е. способную достигать одинакового конечного результата независимо от начальных условий) систему взаимодействия большого числа компонентов, обусловливающих развитие этих процессов [Методика…, 1988], поэтому каждый из существующих методов имеет определенные ограничения и допущения, обусловленные сложностью и многофакторностью условий развития исследуемых процессов.

При *изучении и оценке природных процессов* используется широкий комплекс разнообразных методов исследований (визуальных, инструментальных, натурных (полевых), лабораторных, дистанционных, аналитических и др.). Важное место среди указанных методов занимают визуальные наблюдения, к которым относятся различные виды рекогносцировок, съемок, картирования, обзорных дистанционных наблюдений [Верещака и др., 1990; Золотарев, 1983; Кронберг, 1988; Методическое пособие…, Т.1, 1984; Полевые методы…, 1982; Ревзон, 1987, 1992; Садов, 1988; Шеко, Тарасова, 1983], а также инструментальные методы изучения природных процессов [Толстых, Клюкин, 1984; Чуринов, 1974].

Значительная роль в изучении природных процессов принадлежит комплексным геодезическим наблюдениям с использованием как наземных и надводных, так и космических средств измерений, которые определяют точное пространственное положение и размеры проявлений природных процессов, а также позволяют фиксировать морфологические и морфометрические изменения природных условий [Асаян, 1993; Гарелик, 1989; Забадаев, Пяткин, 1989; Чуринов, 1974 и др.]. Среди натурных методов наблюдений и исследований широкое распространение получили дистанционные методы [Антыпко, 1989; Виноградов, 1984], основанные на дешифрировании природных объектов.

В группе аналитических методов, используемых при изучении и оценке природных процессов, условно можно выделить три подгруппы методов: комплексные или собственно аналитические, аналитико-статистические и геоинформационные [Природные опасности…, Т.1., 2002].

К комплексным или собственно аналитическим относятся: историко-аналитические методы (природно-сравнительные, исторических аналогов, природных аналогий [Емельянова, 1971; Золотарев, 1983, 1990; Коломенский, 1959, 1968; Коломенский, Комаров, 1964; Розовский, 1969; Розовский, Зелинский, 1975]; сбора, обработки и анализа геологической информации [Дэвис Дж., 1977, 1990; Математические методы…, 1983]; обработки данных натурных и лабораторных исследований [Клюкин, Толстых, 1973; Ломтадзе, 1990; Методическое пособие…, Т.1, Т.2, 1984; Толстых, Клюкин, 1984]; инженерных оценочных расчетов [Золотарев, 1990; Маслов, 1955; Опыт оценки…, 1973; Цветков, 1979]; обработки

информации для идентификации природных явлений [Ломтадзе, 1977; Теоретические основы…, 1985]; методы анализа графической, в том числе картографической информации. В числе аналитико-статистических методов можно выделить методы статистического анализа распределения природных фактических данных в пространстве и во времени, а также экстраполяции данных. Данные о природных опасностях могут быть представлены в текстовой, цифровой, графической и картографической форме [Природные опасности…, Т.1, 2002]. Современный уровень развития вычислительной техники позволяет хранить большие массивы данных, которые служат основой для создания геоинформационных систем (ГИС) [Гарелик, 1989; Забадаев, Пяткин, 1989 и др.]. Подгруппа геоинформационных методов включает методы создания и ведения тематических баз данных первичной информации, методы интерпретации первичной информации и экстраполяции данных на исследуемые территории, методы анализа и подготовки данных в виде, удобном для последующего использования в расчетах, при картографировании, моделировании и др.

В большом массиве методов, используемых *при мониторинге и прогнозировании природных процессов*, выделяются также две основные группы методов: методы визуальных наблюдений и инструментальных измерений и исследований, аналитические методы. Отличие использования этих методов в мониторинге заключается в том, что наблюдения, измерения и анализ результатов выполняются многократно с известной периодичностью и полнотой. В нашей стране мониторинг ведется различными ведомствами. Мониторинг ЭГП, в частности, является подсистемой ГМСН (Роснедра), который, в свою очередь, является частью государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды) [Закон РФ от 21.02.1992 г. № 2395-1], а также единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС. В рамках мониторинга природной среды и опасных процессов широко применяются дистанционные методы. Большое значение при ведении мониторинга и прогнозировании природных процессов имеют аналитические методы, объединяющие методы экспериментального и математического моделирования.

К методам моделирования, применяемым в инженерной геодинамике, относятся следующие методы: эквивалентных материалов, тензометрической сетки, фотоупругости, центробежного моделирования, электродинамических аналогий и другие [Гулакян и др., 1977; Золотарев, 1990; Каменова и др., 1963; Лукнер, Шестаков, 1986; Мироненко, Шестаков, 1974 и др.]. Они позволяют исследовать закономерности, динамику, механизмы и основные факторы развития природных процессов с достаточной для практического применения точностью.

При моделировании процессов, не имеющих строгого математического описания, используются методы математического численного моделирования, основанные на аппарате теории вероятностей и математической статистики. Для создания моделей различных опасных

ЭГП наряду с традиционными методами детерминированного и вероятностного моделирования применяются методы статистической теории надежности с использованием метода конечных элементов. Соотношение между применяемыми методами моделирования определяется масштабом и детальностью модели: в крупномасштабных моделях преобладают детерминированные, а в мелкомасштабных – вероятностные методы. Собственно вероятностными являются метод пространственной оценки оползневого процесса [Гулакян и др., 1977]; метод пространственной оценки карстовых процессов через надежность территории [Толмачев, 1980; Толмачев и др., 1986]; метод ориентировочной пространственно-временной оценки землетрясений, оползней и селей с использованием теории распознавания образов [Кучай и др., 1986]. Крупномасштабные детерминированные модели используются при оценке опасных природных процессов упрощенными методами оценочных (инженерных) расчетов. В инженерной геологии расчетные методы [Золотарев, 1983; Ломтадзе, 1977; Цветков, 1979 и др.] позволяют количественно оценивать деформации массивов пород, а также их напряженное состояние, что широко используется при оценке величин осадок, просадок, набухания грунтов, устойчивости склонов и бортов карьеров, при выборе оптимальных объемов и контуров строительных выемок, определении давлений на сооружения и т.д.

Применительно к оползневым процессам в настоящее время наиболее широко применяются приближенные методы инженерных расчетов устойчивости склонов, основанные на учете состава, неоднородности строения и состояния горных пород, а также вероятных поверхностей скольжения различного очертания, в том числе для оценки устойчивости склонов, сложенных скальными и полускальными породами. В меньшей степени используются методы, основанные на положении теории предельного равновесия и заключающиеся в совместном решении дифференциальных уравнений равновесия и условий предельного равновесия [Природные опасности…, Т.1, 2002].

Вероятностно-детерминированное прогнозирование опасных геологических процессов позволяет использовать в прогнозах наиболее сильные стороны детерминированных и вероятностно-статистических методов оценки как закономерной, так и случайной составляющей развития процесса.

Вероятностно-статистические методы начали применять в инженерной геологии ориентировочно в 50-х гг., сначала для оценки неоднородностей и свойств отдельных элементов геологической среды, а затем – для прогнозирования опасных ЭГП: оползней, переработки берегов водохранилищ, селей и некоторых других процессов. Использование данных методов при решении инженерно-геологических задач нашло отражение в работах И.С. Комарова [Комаров, 1972; Комаров и др. 1976], М.В. Раца [Рац, 1973; Математические методы…, 1983], Г.К. Бондарика [Бондарик, 1972, 1986; Бондарик, Пендин, 1982], В.К. Кучая

[Кучай и др., 1970, 1986], Г.Л. Круковского [Круковский, 1977], В.К. Епишина и В.Н. Экзарьяна [Епишин, Экзарьян, 1979], Л.Б. Розовского [Розовский, 1969; Розовский, Зелинский, 1975], В.В. Пендина [Пендин, 1992, 2009], К.А. Гулакяна, В.В. Кюнтцеля и Г.П. Постоева [Гулакян и др., 1977], А.И. Шеко [Методика…, 1988; Шеко, 1980, 1985], В.В. Толмачева [Толмачев, 1980; Толмачев и др., 1986], Н.Л. Шешени [Шешеня, 1986], А.А. Кагана [Каган, 1984] и многих других исследователей.

При прогнозировании опасных геологических процессов в основном использовались четыре разновидности вероятностно-статистических методов, которые разрабатывались для решения определенных прогнозных задач и ориентировались (несмотря на используемый аппарат математической статистики) в основном на однозначную оценку возможных негативных ситуаций по некоторым, как правило, осредненным и поэтому мало вероятным вариантам развития событий [Природные опасности…, Т.6., 2003]:

1) корреляционно-регрессионный анализ данных режимных наблюдений за процессами и факторами их развития и пространственно-временное прогнозирование процессов по уравнениям множественной регрессии;

2) экстраполяция аналогичных данных на основе анализа гармонических, автокорреляционных или иных функций с составлением преимущественно временных региональных прогнозов активизации процессов в пределах определенных территорий;

3) распознавание образов – природно-техногенных ситуаций, при которых возможно возникновение и развитие процессов определенной интенсивности с последующим пространственным или пространственно-временным прогнозом этих процессов;

4) комплексирование указанных методов.

В инженерной геологии разработано и используется около ста видов различных методов прогнозирования, в том числе для таких процессов, как: объемные деформации массивов грунтов, обусловленные осадками, просадками, набуханием, усадкой, морозным пучением; склоновые деформации оползневого и обвального характера; формирование карстовых и суффозионных полостей в толщах пород и образование над ними провалов дневной поверхности; эрозионные и абразионные разрушения берегов рек, морей и водохранилищ; эоловые процессы, вызывающие дефляцию грунтов и движение песков и др. [Природные опасности…, Т.1., 2002].

Прогнозы развития опасных природных процессов могут осуществляться на основе современных геоинформационных технологий, применение которых наиболее эффективно на региональном и федеральном уровнях ведения мониторинга опасных природных процессов, поскольку на этих уровнях существует необходимость составления оперативных прогнозов для значительных по площади территорий.

Пространственно-временные прогнозы ЭГП. Прогноз ЭГП, являясь научным предсказанием проявления ЭГП в пространстве и во времени под воздействием природных и техногенных факторов [Методика…, 1988], должен ответить на три основных вопроса: где, когда и в каком масштабе произойдет активизация того или иного генетического типа ЭГП. В связи с этим целесообразно различать пространственную, временную составные части прогноза и оценку масштаба, которые могут иметь самостоятельное значение.

Пространственные прогнозы ЭГП предусматривают оценку вероятности проявления ЭГП на территориях с различными инженерно-геологическими условиями. Их основой является специальное районирование территории. По отношению к пространству прогнозы могут быть локальными, региональными и глобальными. Наиболее часто для составления пространственных прогнозов ЭГП используют количественные методы оценки показателей, характеризующих распространение ЭГП или условий их развития. К таким методам относится районирование территории по интенсивности проявления (пораженности) ЭГП [Емельянова, 1966], характеризующее фактическую подверженность территории воздействию ЭГП. Этот метод разрабатывался специалистами ВСЕГИНГЕО на примере Таджикистана и Черноморского побережья бывшего СССР [Современные геологические процессы…, 1976]. Впервые в мировой практике, на примере Черноморского побережья бывшего СССР (от р. Дуная до г. Батуми), в 1975 г. были составлены инженерно-геологические карты прогноза оползней, селей, абразии и эрозии до 2000 г. в масштабе 1:200 000. Позднее аналогичные прогнозные карты были составлены для Северного Кавказа, Грузии, Молдавии и зоны БАМ. Оправдываемость долгосрочных прогнозов оказалась достаточно хорошей [Природные опасности…, Т.3., 2002]. Помимо описанного метода к этой группе относится районирование территории по значению геодинамического потенциала, отражающее ее предрасположенность к развитию изучаемых процессов. Метод был разработан во ВСЕГИНГЕО в 70-х гг. [Постоев, 1976] и использовался для построения прогнозных карт распространения оползневого процесса в различных инженерно-геологических условиях [Гулакян и др., 1977]. Также может быть выполнено районирование по каким-либо качественным показателям, определяющим характер развития прогнозируемого процесса.

В 1972-1980 гг. специалисты Франции, наиболее преуспевшие среди зарубежных исследователей в картировании природных опасностей и рисков, в рамках действующего национального плана картирования ZERMOS разрабатывали способы предотвращения гравитационных ЭГП на основе картографической информации о них. По своему содержанию и назначению карты ZERMOS можно сравнить с оценочными картами инженерно-геологического районирования территории, методика составления которых известна по работам И.В. Попова, Г.С. Золотарева, Г.А. Голодковской и др. (50-60-е гг.). Принципиально новым

приемом в методике оценки территорий, примененном несколько позднее, в 80-х гг., стало совмещение карт вероятности развития опасных геологических процессов с картами уязвимости объектов хозяйства для этих процессов (план PER), сравнительный анализ которых позволяет качественно или количественно определить размеры и уточнить границы зон возможных негативных последствий процессов с последующим рассмотрением вариантов превентивных мероприятий и оценкой их социально-экономической эффективности [Природные опасности…, Т.6., 2003].

Процесс автоматизированного составления прогнозных карт распространения изучаемого процесса осуществлялся в специально разработанных программах [Постоев, 1976], методом «Упорядоченной классификации» [Бондаренко, 1980; Бондаренко и др., 1976], которые реализуют алгоритмы распознавания образов и автоматической классификации, но используют различную исходную информацию и оценочные шкалы (соответственно, шкалу наименований и порядковую шкалу); а также используя метод определения вероятностного комплексного показателя для определенных условий развития оползней путем умножения вероятностей действий факторов [Круковский, 1977] и др.

Прогноз развития ЭГП во времени – одна из самых сложных задач в инженерной геодинамике, решение которой может быть найдено путем исследования закономерностей развития рассматриваемого процесса во времени под воздействием природных и техногенных факторов. Закономерности, которые могут быть выявлены на основе анализа временных рядов ЭГП и факторов, определяющих их развитие, позволяют установить цикличность развития ЭГП и факторов их развития, а также причины, обусловливающие цикличность.

По времени, на которое рассчитаны прогнозы, выделяют краткосрочные, долгосрочные, футурологические. В практике инженерно-геологического прогнозирования также используются «экстренные предупреждения» (Е.П. Емельянова) и «безотносительные ко времени прогнозы» (Г.К. Бондарик) [Теоретические основы…, 1985].

До недавнего времени в инженерной геологии практиковались разработки средне- и долгосрочных прогнозов на срок 20, 50 и более лет. В настоящее время на примере многих реконструированных природно-технических систем (мелиоративные системы, объекты гидротехнического строительства, жилые и промышленные территории, линейные сооружения и др.) установлено, что уже через 10 лет их функционирования инженерно-геологические условия территорий, вмещающих эти системы, изменяются настолько сильно, что для реконструкции объектов или разработки прогнозов развития неблагоприятных природных процессов требуется проведение новых изысканий в практически новых (измененных) условиях [Природные опасности…, Т.1., 2002].

Как правило, большая часть частных (оценочных) прогнозов, имея вероятностную

природу, требует оценки вероятности ошибок, для чего в процессе обработки первичных данных, а также при анализе промежуточных результатов, в том числе мониторинга, применяются общеизвестные методы обработки фактического материала, теории вероятностей, статистические модели и другие методы.

Многообразие геологических задач и объектов изучения сегодня вызвало необходимость использования весьма широкого набора методов из разных разделов математики. Среди них отчетливо доминируют методы теории вероятностей и математической статистики. Наряду с некоторыми вероятностными методами (случайные функции, временные ряды, дисперсионный анализ), применяются также приемы комбинаторики (полиномы), гармонического анализа, векторной алгебры, дифференциальной геометрии, непараметрических методов описания признаков и других разделов математики. При геолого-математическом моделировании используют методы из разделов: теории вероятностей и математической статистики, теории множеств, теории групп, теории информации, теории графов, теории игр, матричной и векторной алгебры, дифференциальной геометрии и др. При этом одна и та же задача может быть решена разными методами, а в некоторых случаях для решения одной задачи необходимо использовать комплекс методов из разных разделов математики. Это создает определенные трудности при систематизации математических методов, применяемых в геологии. Несмотря на это, методы математического моделирования геологических процессов наряду с методами оптимизации процесса сбора, хранения, поиска, обработки и передачи геологической информации являются одними из важнейших направлений использования математических методов в геологии [Каждан, Гуськов, 1990].

При исследовании непосредственно оползневого процесса усилия специалистов многих стран сегодня направлены на систематизацию информации об оползнях в виде электронных баз данных, что позволяет постоянно и оперативно анализировать происходящие в геологической среде изменения. К примеру, в 22 из 37 стран Европы в настоящее время имеются или создаются национальные базы данных по оползням, в которых, в общей сложности, зарегистрировано более 633 000 оползней, представляющих в среднем менее 50 % приблизительного количества оползней, произошедших в этих странах. При этом около двух третей зарегистрированных оползней расположены в Италии. В большинстве баз данных содержится скудная информация о влиянии оползней на объекты, что осложняет оценку рисков на региональном и государственном уровне. Потенциал существующих баз данных по оползням часто используется не в полной мере, поскольку во многих случаях доступ к этой информации ограничен для широкой общественности и исследователей. Кроме того, информация, как правило, доступна только на национальном или местном языке, что

препятствует консультациям по данной тематике для большинства иностранных специалистов [Van Den Eeckhaut M., Hervás J., 2012].

Основные вопросы исследования оползней в последние годы, в том числе методы исследований, обсуждаются специалистами разных стран в рамках проводимого Всемирного оползневого форума, организуемого целым рядом международных организаций. Всемирный оползневой форум объединяет специалистов различных областей науки и техники, представителей промышленности и других заинтересованных лиц, которые обсуждают вопросы изучения оползней, их воздействия на окружающую среду, вопросы управления оползневой опасностью и предотвращения оползней в будущем и др. Первый форум прошел в 2008 г. в Токио, второй – в 2011 г. в Риме. В рамках второго форума, участники которого представляли 63 государства, были рассмотрены такие вопросы [Landslide…, vol.1-7, 2013] как: картирование оползней и районирование территории по оползневой опасности; раннее оповещение и мониторинг оползней; изменения окружающей среды в результате развития оползней; пространственный анализ и моделирование оползневого процесса; политические и социально-экономические последствия оползней; оценка и управление рисками, уменьшение последствий развития оползневого процесса.

При изучении оползневого процесса иностранные специалисты наряду с традиционными методами на основе теории вероятностей и статистической обработки [Althuwaynee O.F. et al., 2014; Chu C.-M. et al., 2009; Chung C.F., Fabbri A.G., 1999; Duman T.Y. et al., 2005; Fabbri A.G. et al., 2002; Guzzetti F. et al., 1999; Jadda M. et al., 2009; Lebourg T. et al., 2010; Lee S., Pradhan B., 2006; Vorpahl P. et al., 2012; Weng M.-C. et al., 2011; Zhou C.H. et al., 2002] все чаще используют методы логистической регрессии [Althuwaynee O.F. et al., 2014; Choi J. et al., 2012; Domínguez-Cuesta M.J. et al., 2007; Dong J.-J. et al., 2011; Lei Z., Jing-Feng H., 2006], нейронные сети [Caniani D. et al., 2008; Choi J. et al., 2012; Pradhan B., Lee S., 2009; Pradhan B. et al., 2011] и другие методы анализа данных. Основной тенденцией исследований последних лет можно назвать комплексное изучение показателей, которые могут влиять на развитие процесса, с последующим их ранжированием и анализом таблиц сопряженности показателей и исследуемого параметра [Duman T.Y. et al., 2005; Jadda M. et al., 2009; Kessarkar P.M. et al., 2011; Lee S., Pradhan B., 2006; Lei Z., Jing-Feng H., 2006; Zêzere J.L. et al., 1999]. Непосредственно расчеты, как правило, выполняются: а) для выделенных обучаемой, тестовой и прогнозной областей рассматриваемой территории; б) с оценкой исследуемого параметра для всей рассматриваемой территории с последующей проверкой полученных результатов (карт районирования территории по степени оползневой опасности, подверженности территории) данными картирования оползневых проявлений при полевых исследованиях либо данными дешифрирования при обработке материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)

[Althuwaynee O.F. et al., 2012; Choi J. et al., 2012; Duman T.Y. et al., 2005; Jadda M. et al., 2009; Kamp U. et al., 2008; Lee S., Pradhan B., 2006; Lévy S. et al., 2012; Pareta K., Pareta U., 2012; Weng M.-C. et al., 2011; Yang M.-D. et al., 2011].

Необходимо отметить широкое использование в подобных исследованиях ГИС [Chacón J. et al., 2006; Choi J. et al., 2012; Chu C.-M. et al., 2009; Jadda M. et al., 2009; Kamp U. et al., 2008; Lei Z., Jing-Feng H., 2006; Lévy S. et al., 2012; Malet J.-P. et al., 2009; Pareta K., Pareta U., 2012; Sarkar S. et al., 2006; Tassetti N. et al., 2008; Yang M.-D. et al., 2011; Zhou C.H. et al., 2002; Гитис, 2012; Коротаев и др., 2012 и др.]. Возможности ГИС-технологий позволяют, обрабатывая большие массивы данных, моделировать различные изменения природной системы рассматриваемого региона, учитывающие предполагаемые, разные по характеру и интенсивности, варианты развития опасных природных процессов, техногенные воздействия; позволяют в оперативном режиме представлять результаты в аналитическом или графическом виде (тематические карты исследуемого региона), которые в дальнейшем могут быть использованы при составлении прогнозов возможных изменений природной системы. Такой подход уже достаточно давно используется за рубежом и все более широко используется отечественными специалистами. Фактически ГИС может быть использована в качестве постоянно действующей модели (ПДМ), которая при условии постоянного пополнения (корректировки) новой информацией, становится эффективной составляющей системы прогнозирования природных процессов.

В целом, можно отметить увеличение в последние годы в геологических исследованиях роли методов многомерного анализа данных. Применение в процессе изучения геологических объектов математических методов, в том числе математического моделирования геологических процессов, обеспечивает возможность перехода от словесных, часто субъективных характеристик к объективным количественным оценкам геологических объектов, что нередко приводит к качественно иным интерпретациям наблюдаемых процессов.

Рост количества геологической информации, а также переход в прикладной геологии к работе в «мутных средах» в результате исчерпания высококонтрастных объектов обусловливает использование подхода к геологическим системам как к многоуровневым распределениям информационных показателей [Егоров, 1997], то есть позволяет изучать геологические системы в рамках теории информации (информационный анализ).

Теория информации представляет собой математическую теорию в составе теоретической кибернетики, посвященную измерению информации, ее потока, «размеров» канала связи и т.п. [Лидовский, 2004]. Основоположниками данной теории считаются Р. Хартли (1928) и К. Шеннон (1949). Теория информации имеет многочисленные приложения в теории передачи сообщений при наличии помех, в теории записывающих и регистрирующих

устройств, в математической лингвистике и других науках, вплоть до генетики [Стратонович, 1975]. В основе теории информации лежит предложенный Шенноном способ измерения количества информации, содержащейся в одной случайной величине относительно другой случайной величины. Этот способ приводит к выражению количества информации числом [Лидовский, 2004]. Теория информации использует понятия и методы теории вероятностей, при этом понятие «сообщения» без ущерба для теории можно заменить понятием «случайной величины», понятие последовательности сообщений» – на «случайный процесс» и т.п. [Стратонович, 1975].

Информация (и только) есть прямая мера неоднородности системы (в нашем случае – геологических тел). В отличие от собственно теории информации при анализе естественнонаучных данных именно рассмотрение информации как *характеристики разнообразия* самой системы является её наиболее ценным прагматическим свойством [Егоров, 1997]. Понятие количества информации тесно связано с понятием энтропии, являющейся мерой неопределенности. Приобретение информации сопровождается уменьшением неопределенности, поэтому количество информации можно измерять количеством исчезнувшей неопределенности, т.е. энтропии [Стратонович, 1975].

Информационный анализ широко применяется в географических исследованиях [Арманд, 1975; Димаксян, Почтарев, 1963; Николаев, 1976; Урсул, 1966 и др.], в геологических исследованиях: при поиске месторождений золота [Лисенков и др., 1996 и др.], для оценки месторождений [Высокоостровская, Зеленецкий, 1968], в нефтяной геологии и при геофизических исследованиях [Губерман, 1987], в гидрогеологических исследованиях [Лисенков, 1995; Лисенков и др., 2008, Швец и др., 2002 и др.]. Успешной реализацией информационного подхода для анализа геологических систем является разработанная Э.Я. Островским система «Целевой прогноз» [Островский и др., 1980, 1985], где при анализе геологических, геофизических и геохимических данных первичные материалы преобразуются в двоичные матрицы путем различных функциональных преобразований входа; одним из основных преобразований является вычисление значений информации методом скользящего окна: выделяется некоторая площадь, в пределах которой происходит пересчет всех данных, полученное значение относится к центру площади, затем операция повторяется для всей исследуемой территории.

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 [Пендин, 1992] использовал информационный анализ при оценке степени неоднородности инженерно-геологических разрезов. И.С. Гудилин и

И.С. Комаров [Гудилин, Комаров, 1978] исследовали информативность показателей, характеризующих инженерно-геологические объекты, при дешифрировании материалов аэрокосмических съемок. 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 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.

В целом использование математических методов в практических исследованиях способствует более глубокому познанию изучаемых объектов, количественному учету и оценкам не только двумерных, но и многомерных связей между наблюдаемыми геологическими объектами и явлениями, исключая в ряде случаев возможности различного толкования одних и тех же фактических данных. При этом исследование, оценка и прогнозирование изменений изучаемого объекта (природного процесса) сопряжены со значительными трудностями, которые определяются разнообразием и многофакторностью условий его формирования и развития.

Рассмотренные выше методы изучения, оценки и прогнозирования природных процессов применяются с целью предупреждения развития природных процессов, а также минимизации ущерба от них. Выбор конкретного метода определяется степенью его разработанности, надежностью и целесообразностью использования метода из числа рекомендуемых для конкретного процесса, в силу чего специалисты нередко применяют комплексирование, которое позволяет оптимально использовать возможности выбранных методов.

Следует также отметить, что исследования природных процессов, начатые еще в середине XX в., послужили основой разработки не только многочисленных современных методов изучения, оценки, прогнозирования и предупреждения этих процессов, но и основой формирования соответствующей нормативно-методической базы (СНиП, СП и др.) научно-технического обоснования и обеспечения безопасности населения, территорий, различных объектов хозяйства в районах развития опасных природных процессов на разных этапах освоения территории (период инженерных изысканий, проектирование, строительство,

эксплуатация объектов), послужившей руководством для специалистов при проведении работ по инженерной защите объектов от природных процессов (оползней, селей, наводнений, лавин, сейсмических воздействий и др.).

Выводы и постановка задач исследования

1. Анализ опубликованных, а также фондовых данных позволяет говорить об актуальности исследований оползневого процесса и многообразии методов, применяемых для его изучения, оценки и прогнозирования. Однако, несмотря на множество применяемых методов, большинство исследований, как правило, сводится к применению традиционных методов на основе теории вероятностей и статистической обработки данных. Теория информации (информационный анализ) является одним из методов, позволяющих выполнить комплексное изучение показателей, которые могут влиять на развитие процесса, с последующим анализом взаимосвязей показателей и исследуемого параметра. 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 предлагается использование комплексного математического аппарата, включающего информационный анализ и элементы теории вероятности, который будет применен при анализе моделей.

2. Увеличение роли методов многомерного анализа данных в геологических исследованиях в последние годы приводит ко все большему применению в подобных исследованиях ГИС, дающих ряд преимуществ при работе с данными. Однако зачастую необходима предварительная подготовка данных (электронный вид, формат и др.) для их анализа в ГИС. Данные, характеризующие условия развития оползневого процесса в горной части Дагестана, с помощью ГИС ArcGIS 9.3 будут подготовлены, систематизированы и использованы при построении моделей исследуемой территории.

3. Основным результатом изучения оползневого процесса являются, как правило, оценки оползневой активности, оползневой опасности, подверженности территории оползневому процессу. Основным результатом настоящей 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.

На основе поставленных задач была определена общая методика их решения в рамках настоящего исследования.

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

2.1. Алгоритм исследования развития оползневого процесса в Горном Дагестане

В настоящей работе выполняется анализ нескольких пространственных информационных моделей. Такая модель представляет собой формализованное отображение реального объекта с помощью набора показателей, характеризующих наиболее существенные свойства объекта и определенных в пространстве. Модели были составлены на основе предварительно отобранных и подготовленных показателей, характеризующих природные условия и отдельные (основные) виды техногенной нагрузки на исследуемой территории, которые могут влиять на развитие оползней. Для составления моделей рассматривается многокомпонентное картографическое изображение исследуемой территории, обработка которого осуществляется в ГИС. Использование такой модели совместно с базой данных, регулярно пополняемой данными мониторинга оползневого процесса, может позволить осуществлять прогноз оползневого процесса с целью предотвращения развития и снижения негативных последствий его активизаций, влияя таким образом на состояние геологической среды в целом.

В качестве математического аппарата для решения поставленных задач использован комплексный математический аппарат, предполагающий применение теории информации (информационный анализ) и элементов теории вероятности.

Указанные методы широко применяются при различных геологических исследованиях, в том числе инженерно-геологических, которые подробно описаны в главе 1. Для моделирования многофакторных процессов геологической среды или ее геодинамических процессов (оползневых, сейсмогравитационных, селевых и т.д.) в связи с отсутствием строгих математических описаний этих процессов при моделировании обычно используется математический аппарат теории вероятностей и математической статистики [Королев, 2007]. Информационный анализ, как отмечалось ранее, 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.

Использование информационного анализа позволяет выявить показатели, являющиеся наиболее информативными относительного рассматриваемого показателя, а также изучить и интерпретировать таблицы сопряженности таких показателей, что дает возможность выявить особенности условий формирования и развития исследуемого объекта, в данном случае оползневого процесса, посредством изучения составленных информационных моделей.

Комплексное использование данных методов позволит решить задачи, сформулированные в рамках настоящего исследования. Решение поставленных задач осуществлялось в несколько этапов (рис. 1).

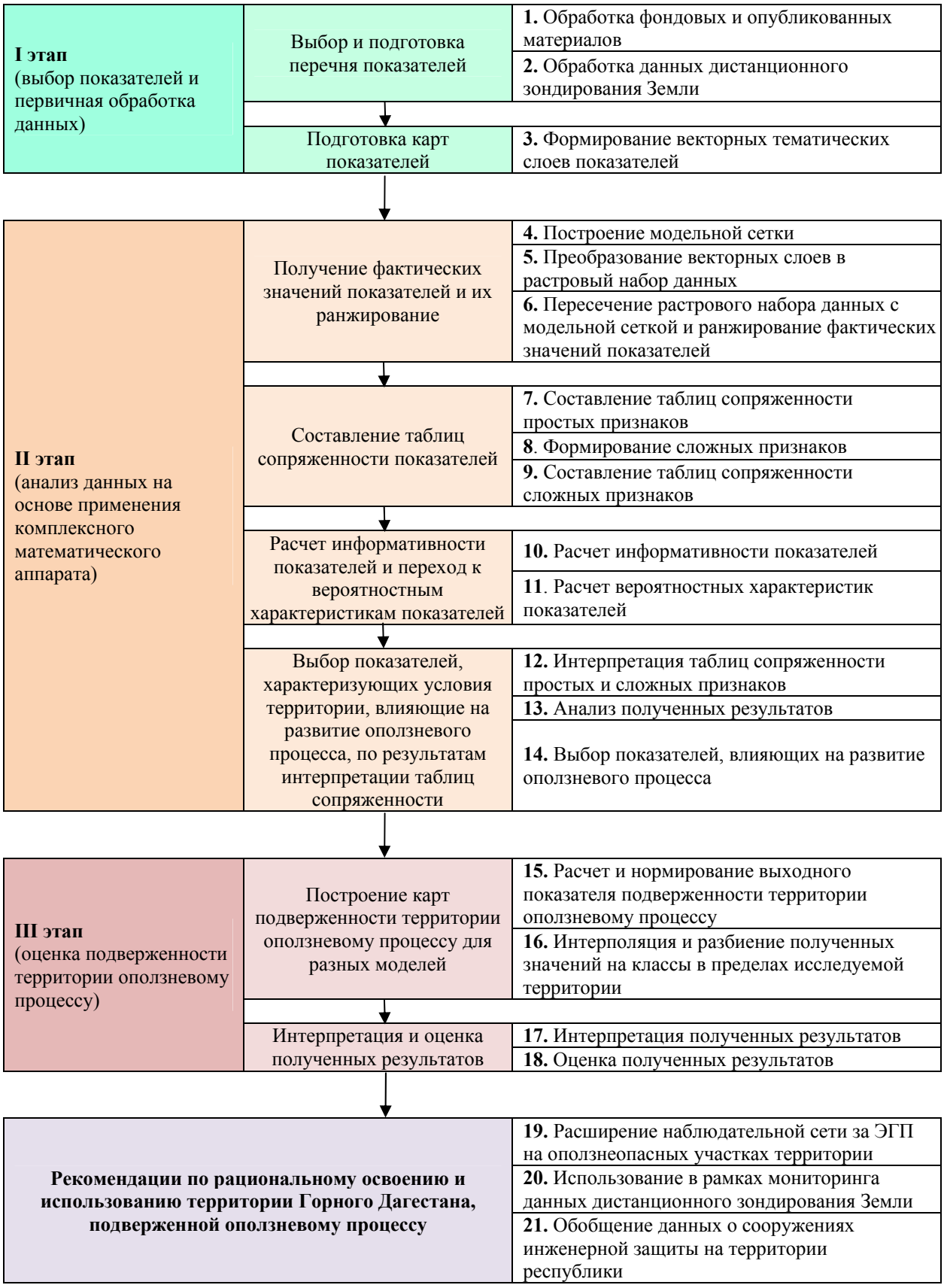


Рис.1. Алгоритм исследования развития оползневого процесса в Горном Дагестане

На первом этапе выполняются **выбор показателей и первичная обработка данных**.

Выбор и подготовка перечня показателей. Изучение оползневого процесса и оценка степени подверженности оползневому процессу территории Горного Дагестана выполняется с помощью пространственных информационных моделей исследуемой территории, построение которых осуществляется на основе обобщения исходной информации: фондовых и опубликованных материалов, а также данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), подготовленных и обработанных с помощью ГИС.

Обработка фондовых и опубликованных материалов. Обработка информации включает в себя анализ имеющихся изданных и фондовых, в том числе картографических, материалов о геологических, тектонических, гидрогеологических условиях территории Восточного Кавказа; данных о гидрометеорологических условиях рассматриваемой территории и прилегающих регионов, а также данных о техногенной нагрузке. Первоначальная обработка данных позволяет отобрать и систематизировать информацию о тех условиях территории, которые могут влиять на развитие здесь оползневого процесса. Эта информация служит основой для построения карт различных показателей, характеризующих условия территории, и последующего построения пространственных информационных моделей.

Обработка данных дистанционного зондирования Земли. Исследуемая территория характеризуется развитием в высокогорье современного оледенения и, соответственно, распространением здесь многолетнемерзлых пород (ММП). Отсутствие современных данных о распространении ММП на этой территории, а также достаточно интенсивные изменения параметров современного оледенения, в частности, площадные изменения, не позволяют выделить область распространения ММП по имеющимся устаревшим данным.

С целью выделения на изучаемой территории области распространения ММП, приуроченной к высокогорным районам и характеризующейся своим комплексом ЭГП, используются космические снимки (КФС) разных лет (2000-2003 гг.) со спутника Landsat-7 [Каталог материалов…, 2014] (рис.2). Выбираются снимки летнего периода, поскольку именно в летний период, характеризующийся наиболее высокими температурами воздуха, отмечается интенсивное таяние сезонных и сокращение площади многолетних снежников и ледников в высокогорье. Это позволяет выделить на снимках области распространения ММП, которые сохраняются даже летом.

Космические снимки, получаемые со спутника Landsat-7 многозональной сканирующей системой ETM+, характеризуются широким охватом (185 км) и мультиспектральными изображениями (8 спектральных каналов) (табл.1). Существенным отличием сканирующей системы от предыдущих является наличие панхроматического канала высокого разрешения (15 м), разрешение теплового канала повышено до 60 м [Книжников и др., 2004].

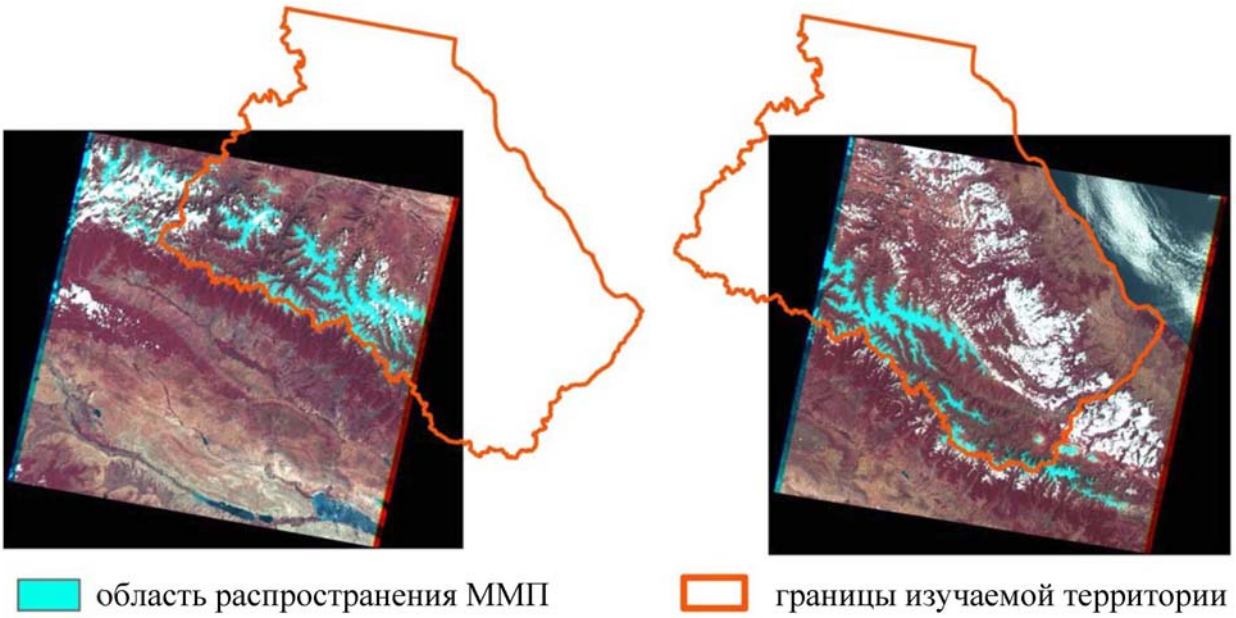


Рис.2. Космические снимки изучаемой территории [Каталог материалов…, 2014]

Таблица 1.

Спектральные зоны съемки сканирующей системой ETM+ спутника Landsat-7

№ зоны	Длины волн (мкм)	Разрешение (м)
1	0,45-0,52	30
2	0,52-0,60	30
3	0,63-0,69	30
4	0,76-0,90	30
5	1,55-1,75	30
6	10,40-12,50	60
7	2,08-2,35	30
Pan	0,52-0,90	15

Интерпретация и анализ комбинаций каналов данных дает возможность дешифрировать на снимке территории, различные по температурной характеристике, то есть выделить область развития ММП и область распространения талых грунтов и использовать эти данные в дальнейшем анализе условий развития оползней.

Принципиально важные особенности территории Горного Дагестана определяют, какие параметры, их характеризующие, учитываются при формировании соответствующего перечня изучаемых показателей.

На основе этих данных, а также с учетом существующих представлений о факторах, влияющих на развитие оползневого процесса в целом, в перечень включаются показатели, характеризующие: орографические, ландшафтные и климатические условия, геологическое строение, тектонические условия и техногенную нагрузку.

Данные показатели отображаются пространственно на соответствующих картах, что позволяет рассмотреть их одновременно и выполнить сопряженный анализ данных после соответствующей их подготовки.

Для ***подготовки карт показателей*** создается база данных фактических значений показателей, для чего формируются векторные тематические слои показателей.

Формирование векторных тематических слоев показателей осуществляется путем оцифровки собранной по исследуемой территории информации. Цифровая модель объектов является цифровым представлением пространственных объектов, соответствующих объектовому составу топографических карт и планов. Цифровая карта создается путем цифрования картографических источников, фотограмметрической обработки данных ДЗЗ, цифровой регистрации данных полевых съемок или иным способом [Берлянт и др., 1999]. При этом объекты, отображенные на таких картах (разрывные нарушения, литологические границы, объекты инфраструктуры и др.), имеют реальные картографические координаты, а также содержат различные тематические атрибуты. Все эти данные в совокупности составляют картографическую базу данных, массивы которых упорядочены. Основным отличием такой базы данных является наличие географической привязки любого объекта.

Поскольку предполагается комплексный анализ условий развития оползневого процесса в горной части Дагестана, в базу данных собирается и систематизируется информация о различных факторах развития оползневого процесса на исследуемой территории. При обработке данных используется ГИС ArcGIS 9.3. С целью приведения всех формируемых векторных слоев к единообразию, а также для уменьшения искажения изображений, то есть для получения корректных результатов, была выбрана равноугольная проекция UTM Zone 38N; на эллипсоиде WGS-84. Все векторизованные данные, разнородные по своему содержанию, получают картографическую привязку, т.е. любой объект каждой векторной карты характеризуется реальными значениями широты и долготы.

На втором этапе выполняется **анализ данных на основе применения комплексного математического аппарата** (информационного анализа с элементами теории вероятностей). Анализ предполагает изучение показателей, характеризующих природные и техногенные условия территории, которые могут влиять на развитие оползневого процесса.

Изучение показателей начинается с ***получения фактических значений показателей и их ранжирования***. Для этого выполняются: построение модельной сетки, преобразование векторных слоев в растровый набор данных (GRID), пересечение растрового набора данных с модельной сеткой и ранжирование фактических значений показателей. Это позволяет сформировать таблицы сопряженности показателей (признаков) и выполнить их анализ.

Построение модельной сетки. При рассмотрении признаков разномасштабных, имеющих разный уровень изученности, требуется приведение признаков к единой пространственной модели. Для этого используется разбиение территории на ячейки (блоки), внутри которых признак считается однородным, для чего в зависимости от ситуации, производится осреднение, генерализация показателей.

Выбор различных размеров ячеек для исследуемой территории (блоков модельной сетки) позволяет производить анализ с разной степенью детальности [Егоров, 1997]. Параметры модельной сетки должны отражать особенности моделируемого объекта в соответствии с условиями поставленных задач. В данной работе для изучения влияния масштаба осреднения данных на получаемые результаты используются модельные сетки с размером ячейки 1×1 км^2, 5×5 км^2, 10×10 км^2, 15×15 км^2. Подробно модельные сетки рассматриваются в главе 4.

Преобразование векторных слоев в растровый набор данных (GRID). Для получения фактических значений показателей (в каждом блоке подготовленной модельной сетки) все тематические слои, имеющие векторный вид (полигональные темы), предварительно преобразуются в растровый набор данных (GRID формат). Растровая модель является цифровым представлением пространственных объектов в виде совокупности элементов растра (пикселов) с присвоенными им значениями класса объекта. Растровая модель предполагает позиционирование объектов указанием их положения в соответствующей растру прямоугольной матрице единообразно для всех типов пространственных объектов [Капралов и др., 2005]. Кроме того, растровый набор данных, аналогично векторной карте, содержит характеристику относительного расположения объектов в пространстве в виде географических координат объектов.

Каждый пиксел (минимальный неделимый элемент изображения) имеет определенное значение, служащее идентификатором класса или категории, к которым относится ячейка. Это значение соответствует исходному на векторной карте и может содержать различные характеристики (абсолютные отметки рельефа, значение густоты речной сети, тип почв или растительности и т.д.).

Пересечение растрового набора данных с модельной сеткой и ранжирование фактических значений показателей. Для получения фактических значений показателей растровый набор данных (GRID) каждого тематического слоя пересекается со слоем модельной сетки. Далее выполняется ранжирование.

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. Вычисление среднего фактического значения в блоке осуществляется по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n},$$

где $\sum x_i$ – сумма фактических значений пикселов в блоке,

n – количество пикселов в блоке.

Группировка количественных признаков начинается с того, что весь диапазон значений делится на некоторое число интервалов, как правило, одинакового размера. Выбор количества классов осуществляется в каждом случае индивидуально, с учетом объёма выборки и её функции распределения.

В результате подсчета частот – чисел, показывающих, сколько раз в пределах совокупности встречаются значения, принадлежащие тому или иному классу, получают ряд распределения [Самарин и др., 2004].

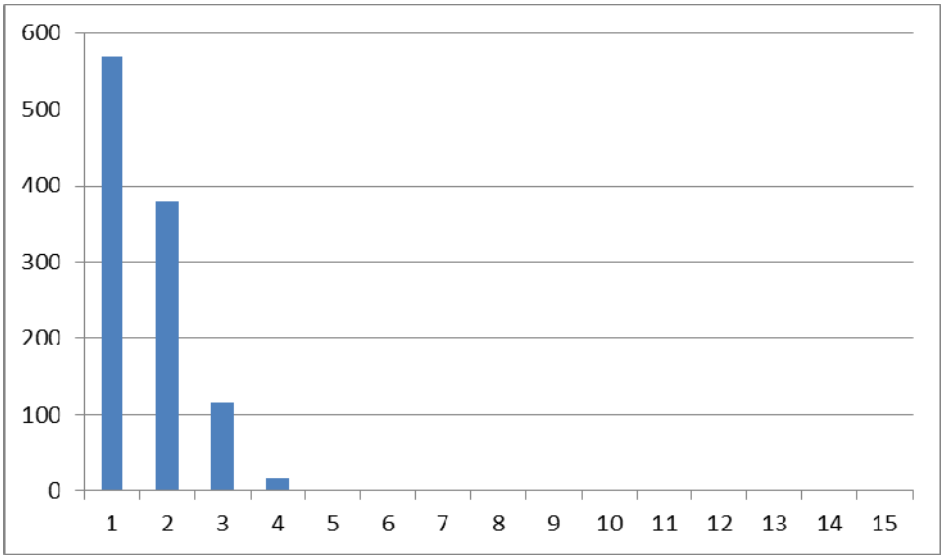
В настоящей работе ранжирование количественных показателей проводится графическим методом с использованием графического изображения ряда распределения в виде гистограмм, на которых по оси абсцисс откладываются значения признака (классы признака), а по оси ординат – частота (рис.3). Границы между столбцами гистограммы соответствуют границам между классами, ширина столбцов равна величине классового промежутка, а высота – частоте отдельных классов.

Графический метод заключается в подборе числа классов для каждого количественного признака таким образом, чтобы в распределении частот по классам (рангам) выявлялась определенная зависимость. Разбиение на классы производится с линейным шагом.

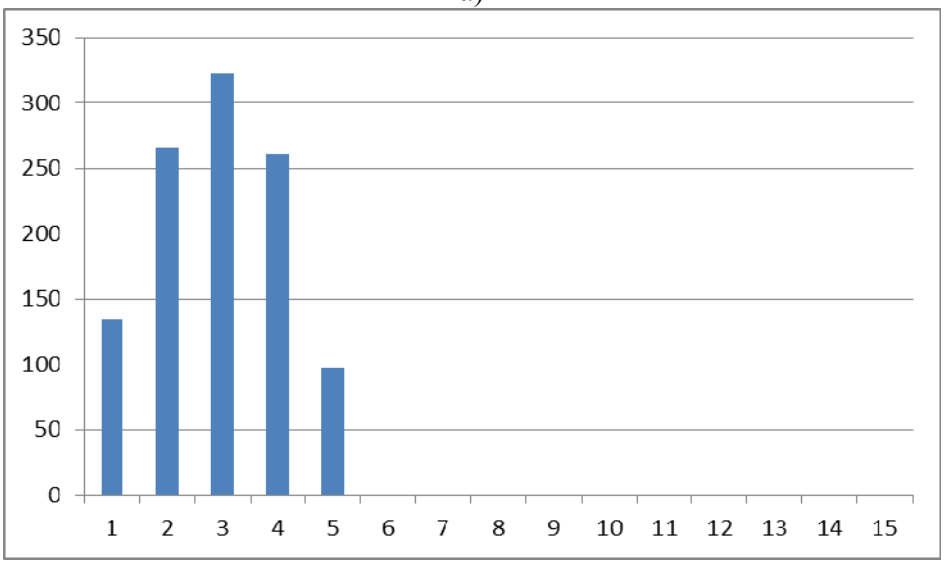
Количество рангов выбирается с учетом изменения информативности показателя: малое количество рангов дает неоправданно высокую информативность за счет огрубления модели, большое количество рангов снижает информативность, приводя к нецелесообразному дроблению модели.

В результате, аналогично растровым наборам качественных показателей, каждому блоку сетки присваивается номер класса количественного показателя.

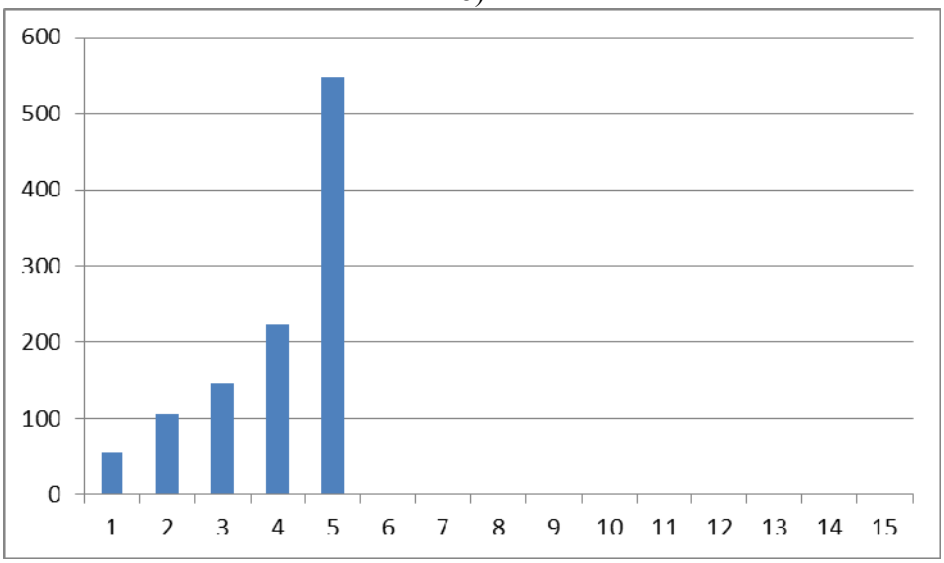
Выходной показатель Y (пораженность территории оползневыми проявлениями) выражается двумя способами.



а)



б)



в)

Рис.3. Распределение частот по классам для признаков: а) x_5 «превышение над местным базисом эрозии», б) x_6 «густота речной сети», в) x_{12} «средняя годовая температура воздуха»

Y_1: аналогично обработке растровых наборов данных качественных показателей выполняется присвоение блоку номера ранга. При этом задается два ранга: процесс на территории развит (наличие оползневых проявлений в блоке), процесс на территории не развит (отсутствие оползневых проявлений в блоке).

Y_2: аналогично обработке растровых наборов данных количественных показателей вычисляется истинное значение пораженности в каждом блоке, выраженное в процентном виде, с дальнейшей процедурой ранжирования значений, аналогично описанному выше для количественных показателей.

Необходимо отметить, что предварительный анализ пораженности территории оползневым процессом дал представление о нелинейном распределении её значений. Разбиение выполнялось поочередно на 3, 4, 5, 6, 7 классов с линейным шагом и на 3, 4, 5, 6, 7 классов с экспоненциальным шагом. При ранжировании значений показателя Y_2 наиболее эффективным оказалось применение экспоненциального шага с разбиением на 5 классов. Применение линейного шага дало значительно меньшую информативность.

Сведения о типах оползней, которые позволили бы выполнить более детальный анализ классов признаков, имеются лишь для части изучаемой территории. В связи с неполнотой этой информации она не используется для построения моделей.

Далее формируются информационные матрицы ранжированных значений показателей (x_i) по блокам для четырёх сеток, для каждой из которых подготовлены выходные показатели Y. В настоящей работе рассматривается 7 моделей (табл.2).

Таблица 2.

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***. Для *составления таблиц сопряженности простых признаков* необходимо определить, сколько раз каждый класс каждого признака (x_i) характеризуется развитием оползней и их отсутствием (Y) (по блокам модельной сетки), то есть переходит в значение «поражен оползневым процессом» и

сколько раз не переходит. Количество переходов класса признака x_i в класс признака Y показывает количество одновременных появлений данных классов.

Таблица сопряженности простых признаков составляется следующим образом (для признака x_6 «густота речной сети», модель I) (рис.4): определяем, что 1 ранг признака x_6 переходит в 1 ранг Y_1 104 раза, во 2 ранг – 30 раз. Получаем первую строку таблицы, подсчитываем сумму элементов этой строки. Аналогично проводим подсчет по каждому рангу признака x_i (каждой строке таблицы). В конце определяем также сумму элементов каждого столбца [Гоппа, 1995].

x_6\Y_1	1	2	∑
1	104	30	**134**
2	122	147	**269**
3	52	268	**320**
4	42	221	**263**
5	13	80	**93**
∑	**333**	**746**	**1079**

а)

1, 2, 3, 4, 5 – классы признака x_6;
1, 2 – классы пораженности оползневым процессом (Y_1), разделенные по наличию /отсутствию оползневых проявлений (модель I)

x_6\Y_2	1	2	3	4	5	∑
1	105	2	4	19	4	**134**
2	23	2	14	93	37	**269**
3	55	7	22	126	110	**320**
4	42	2	12	85	122	**263**
5	13	2	2	28	48	**93**
∑	**338**	**15**	**54**	**351**	**321**	**1079**

б)

1, 2, 3, 4, 5 – классы признака x_6;
1, 2, 3, 4, 5 – классы пораженности оползневым процессом (Y_2), разделенные экспоненциальным шагом (модель II)

Рис.4. Таблицы сопряженности признака x_6 «густота речной сети»

Аналогично составляются таблицы сопряженности для всех признаков.

Выполнять информационную оценку показателей x_i по отношению к выходным признакам Y и интерпретацию результатов информационного моделирования удобно после расчета и оценки информативности признаков. Поэтому анализ составленных таблиц сопряженности, позволяющий выявить наиболее информативные признаки и классы признаков, к которым приурочено развитие оползней, выполняется после расчета информативности признаков.

Формирование сложных признаков. Обычно один отдельно взятый признак x_i лишь частично раскрывает неопределенность относительно признака Y, поэтому возникает необходимость рассматривать наборы признаков, то есть сложные признаки [Гоппа, 1995]. Целью таких расчетов является наращивание прогнозных возможностей формируемой информационной модели, что с математической точки зрения реализуется путем увеличения информативности признаков, которые могут быть двойными, тройными и т.д., если добавление очередного x_i приводит к приращению величины информативности [Белоусова и др., 2006].

При формировании сложного признака (рис.5) происходит пересечение простых признаков, при этом каждая образованная область сложного признака приобретает новые свойства, включающие все параметры, которыми характеризуются составляющие его простые признаки в области пересечения.

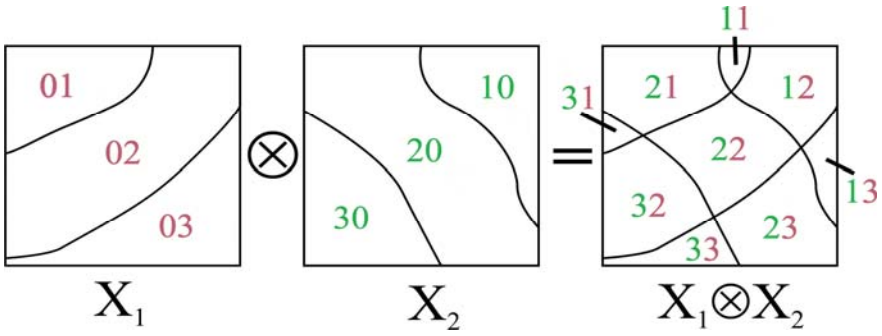


Рис.5. Формирование двойного сложного признака

Для удобства формирования и последующего анализа сложных признаков предварительно выполняется приведение кодировки классов признаков к уникальной по формуле:

$$N_{симв} = N_{призн} \times maxN_{разр},$$

где $N_{симв}$ – количество символов полученного кода признака;

$N_{призн}$ – количество всех рассматриваемых признаков;

$maxN_{разр}$ – максимальное количество разрядов в номере классов всех признаков.

Таблицы сопряженности сложных признаков составляются аналогично таблицам сопряженности простых признаков.

Далее выполняется ***расчет информативности показателей и переход к вероятностным характеристикам показателей***.

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 большом количестве классов (рангов) признака вычисление информативности признака (I_0) становится громоздким, поэтому интерес представляют приближенные асимптотические выражения, основанные на формуле Стирлинга для факториалов [Гоппа, 1995].

При наличии у ряда признаков, используемых в работе, большого количества классов, целесообразно переходить к вычислению информационной энтропии (H) признаков, близкой по значению к значению информативности ($H \approx I_0$).

Понятие количества информации тесно связано с понятием энтропии, являющейся мерой неопределенности. Приобретение информации сопровождается уменьшением неопределенности, поэтому количество информации можно измерять количеством исчезнувшей неопределенности, т.е. энтропии [Стратонович, 1975]. 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]:

$$p(Y \mid x_i) = \frac{S_{onji}}{S_{ji}} \ .$$

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.6).

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

Рис.6. Вычисление информативности по таблице сопряженности

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

Аналогично по строкам рассчитываются остальные значения параметра A.

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

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:

$$B = I(Y), \quad \sum_{i=1}^{k} A = I(Y/ x_i),$$

далее рассчитывается информативность признака x_i [Белоусова и др., 2006]:

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

Информативность сложных признаков рассчитывается аналогично информативности простых признаков.

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:

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

где n_{ij} – количество переходов i-го класса признака x в j-й класс Y (в блоке модельной сетки), $\sum n$ – общее количество переходов i-го класса признака x во все классы Y (в блоке модельной сетки).

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

На основе *интерпретации таблиц сопряженности простых и сложных признаков* и *анализа полученных результатов* выделяются наиболее информативные, то есть имеющие наиболее тесную связь с развитием оползневого процесса, признаки, а также классы указанных признаков. Из дальнейшего рассмотрения исключаются информативные, но не влияющие на развитие оползневого процесса, признаки. Это позволяет *выбрать показатели, влияющие на развитие оползневого процесса*.

На третьем этапе выполняется **оценка подверженности территории оползневому процессу**, предполагающая построение соответствующих карт для территории Горного Дагестана с учетом условий территории, способствующих развитию оползневого процесса, определенных на предыдущем этапе.

2.2. Методика составления карт подверженности территории оползневому процессу с применением результатов комплексного анализа

Оценка подверженности рассматриваемой территории оползневому процессу может быть выполнена путем районирования территории по степени *подверженности*, т.е. по степени

предрасположенности территории к развитию оползневого процесса в зависимости от наличия условий для его развития.

Инженерно-геологическое районирование – выявление на основе совокупности теоретических и методических приемов в верхних горизонтах литосферы системы территориальных элементов, обладающих какими-либо общими инженерно-геологическими признаками, отграничение их от территорий, не обладающих этими признаками, их систематика, картографирование и описание [Трофимов, 1986].

При инженерно-геологических исследованиях используются различные типы районирования. В.Т. Трофимов предложил систематику, которая объединяет 2 типа, 5 видов и 2 разновидности инженерно-геологического районирования (рис.7).

Рис.7. Систематика типов инженерно-геологического районирования [Трофимов, 1979]

Тип метода обработки региональной инженерно-геологической информации, одним из которых и является инженерно-геологическое районирование, определяется исследователем, исходя из поставленных перед ним задач. В настоящей работе выполняется специальное сравнительно-оценочное районирование территории по степени ее подверженности оползневому процессу.

Признаками районирования [Трофимов, 1986], на основе которых производится классификация, служат качественные и количественные показатели, отобранные в результате выполненного анализа. В данном случае используется подход, основанный на одновременном (сопряженном) учете региональных и зональных геологических факторов инженерно-геологических условий [Трофимов, Зилинг, 1995]. Кроме того, сформированный набор признаков, как было указано ранее, определяется характером инженерно-геологической обстановки, степенью изученности территории и детальностью исходных данных.

Построение карт подверженности территории оползневому процессу для разных моделей выполняется поэтапно.

Сначала, используя рассчитанные значения вероятности $p(Y|x_i)$ появления оползней в пределах классов признаков, выполняются *расчет и нормирование выходного показателя подверженности территории оползневому процессу* (k) по блокам модельной сетки для каждой модели:

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

В качестве весового коэффициента для каждого признака берутся рассчитанные ранее значения информативности признака (I_i). Границы интервалов значений вероятностного показателя (k) определяются с помощью гистограммы распределения значений.

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.

Для сравнения построенных карт моделей разной детальности рассчитанные показатели (k) дополнительно приводятся к единой шкале путем нормирования значений по фактической пораженности оползнями классов данных показателей, определяемой как отношение площади оползней в пределах i-го класса показателя k (S_{onk}) к площади i-го класса показателя k (S_k):

$$k_p = \frac{S_{onk}}{S_k} .$$

Нормированные значения разбиваются на одинаковое количество классов для всех моделей.

Далее выполняются ***интерпретация и оценка полученных результатов***. На основе карт подверженности территории оползневому процессу, составленных для сформированных моделей, проводится *интерпретация полученных результатов*: в пределах исследуемой территории выделяются участки разной степени подверженности оползневому процессу, характеризующиеся различным комплексом условий развития оползневого процесса.

С целью *оценки полученных результатов* построенные карты сравниваются с материалами инженерно-геологических исследований, проведенных ранее на данной территории.

На основе выполненного анализа формулируются ***рекомендации по рациональному освоению и использованию территории Горного Дагестана, подверженной оползневому процессу***, учитывающие мероприятия, проводимые в рамках мониторинга оползневого процесса в горной части республики, а также возможные изменения инженерно-геологических условий в связи с планируемым увеличением техногенной нагрузки в пределах исследуемой территории.

Глава 3. Характеристика факторов развития оползневого процесса в Горном Дагестане

Республика Дагестан с населением около 2 963 тыс. чел. (на 01.01.2014) расположена на территории площадью 50.3 тыс. км^2, из которых 25.5 тыс. км^2 занимают горы.

Исследуемая территория представляет собой южную, горную, часть республики, расположенную на северном склоне Большого Кавказа. Горная часть Дагестана, простираясь с северо-запада на юго-восток, имеет ширину 150-160 км и длину – 200-220 км. Южная граница рассматриваемой территории совпадает с государственной границей Российской Федерации с Грузией и Азербайджаном, западная – с границей Чеченской Республики. С севера территория ограничена Северо-Дагестанской низменностью, граница проходит по линии Махачкала – Хасавюрт, отделяя предгорье от равнинной части республики. С востока территория ограничена Каспийским морем (рис.8).

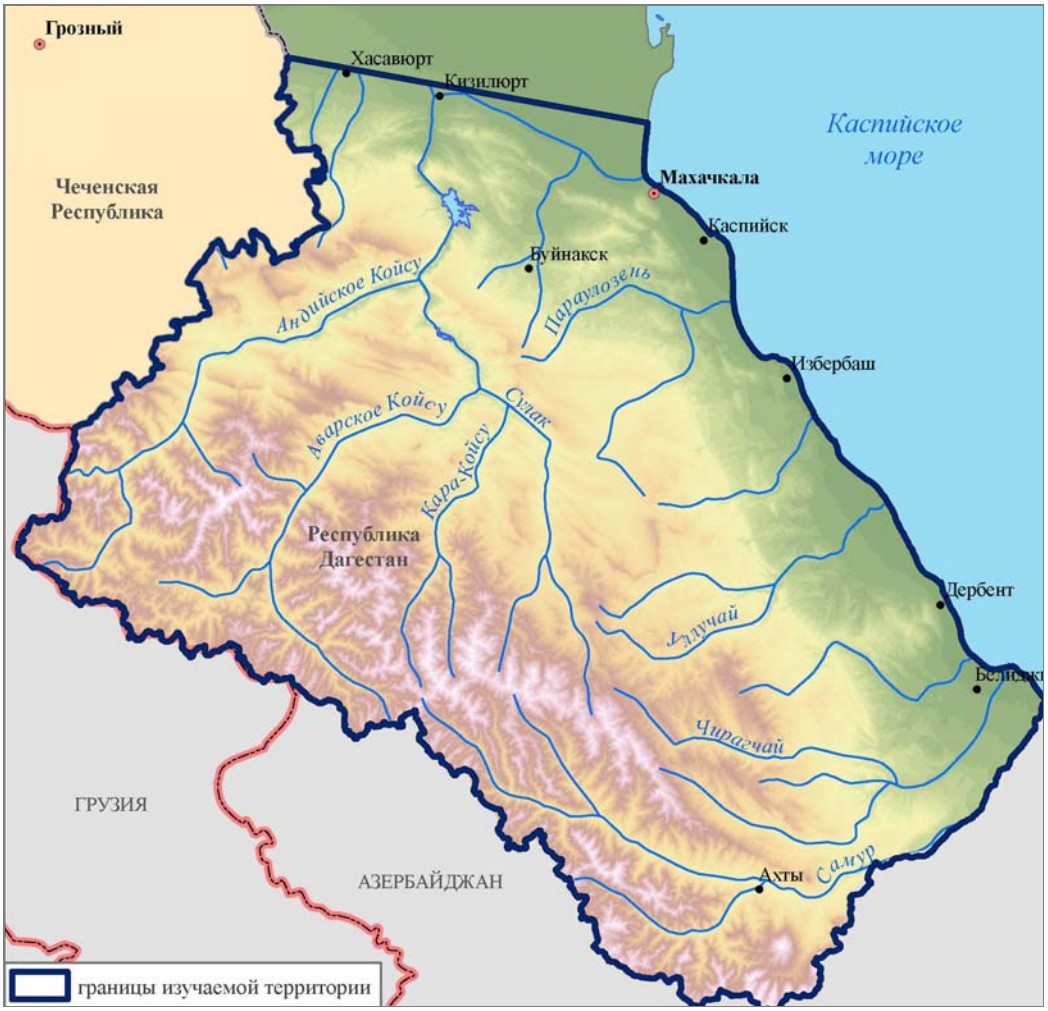


Рис.8. Изучаемая территория в пределах Республики Дагестан

Через территорию республики проходят важнейшие железнодорожные (железнодорожная магистраль Ростов – Баку), автомобильные (федеральная автодорога «Кавказ»), воздушные (международный аэропорт г. Махачкалы), морские (Махачкалинский морской торговый порт) и трубопроводные маршруты федерального и международного значения.

Недра Дагестана богаты минерально-сырьевыми ресурсами. Первостепенное промышленное значение имеют месторождения нефти и газа. Имеются месторождения торфа, бурого угля, каменного угля, черных и цветных металлов, неметаллов и строительных материалов, минеральные источники.

3.1. Орография и современное оледенение

Орография. По характеру рельефа территория Дагестана разделяется на две части, резко отличные по своим ландшафтно-климатическим особенностям: равнинную и горную (рис.9).

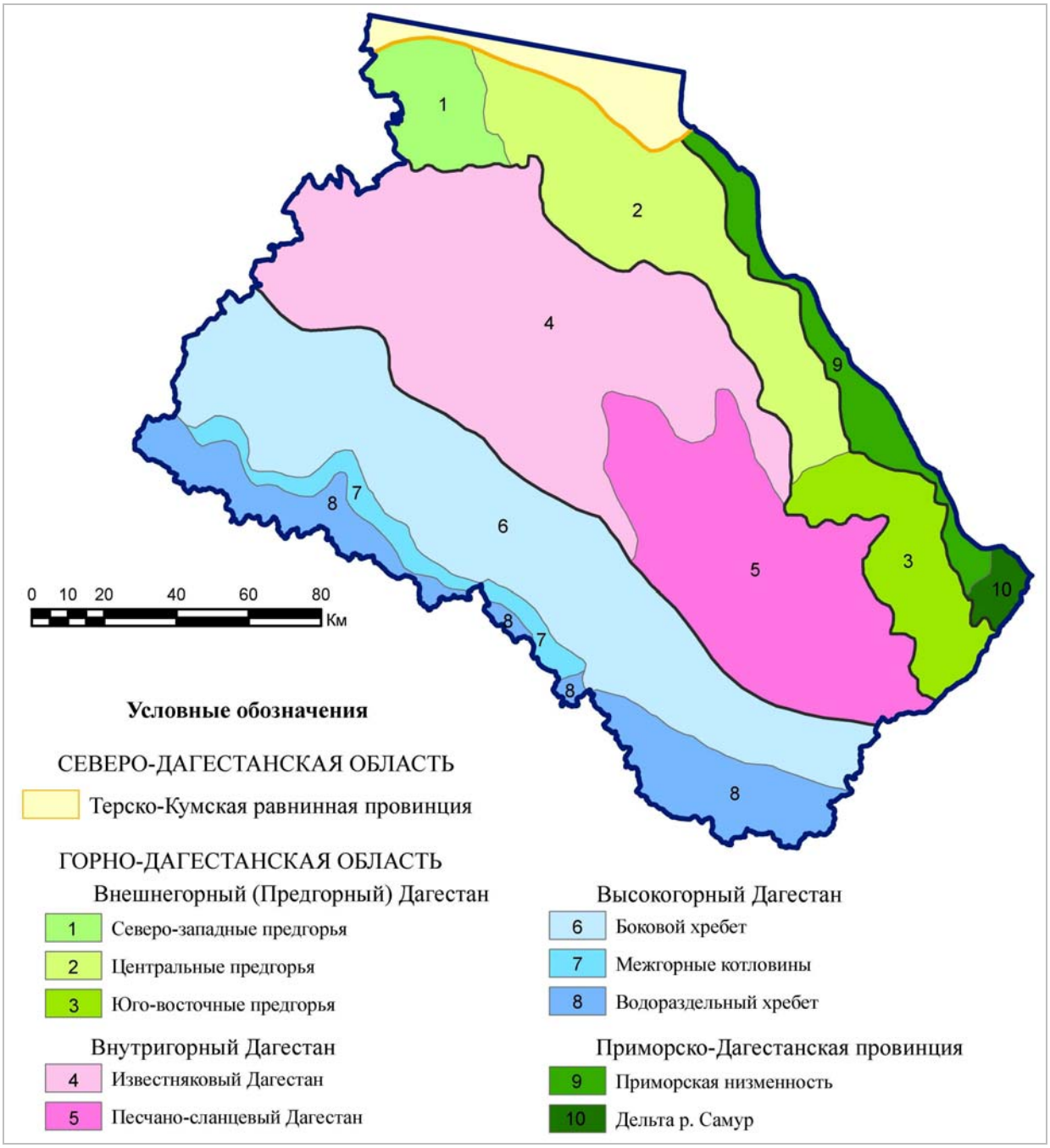


Рис.9. Схема физико-географического районирования изучаемой территории [Схема…, Т.2, кн.1, 2007]

В рассматриваемой горной части Дагестана выделяются предгорно-низкогорная (500-1200 м), среднегорная (1200-2000 м), высокогорная (более 2000 м) и нивально-высокогорная (более 3200 м) высотно-климатические зоны, каждой из которых присущи отличительные морфоклиматические и орографические черты.

Восточный Кавказ (восточнее г. Казбек) выше Западного, но уступает по высотам Центральному Кавказу. Высшие точки: г. Тебулосмта (4493 м) на Боковом хребте и г. Базардюзю (4466 м) – на Водораздельном. Современные ледниковые формы ярко выражены на массивах Бокового хребта. С севера к Восточному Кавказу примыкают вытянутые в широтном направлении Терский и Сунженский хребты (высоты до 926 м) [Гидрогеология СССР, 1968].

Современный рельеф Горного Дагестана – результат длительного взаимодействия эндогенных и экзогенных факторов. Главными среди экзогенных факторов в условиях воздымающегося Кавказа и, особенно, новейших поднятий, являются эрозионно-денудационные процессы, а также развивающиеся под их влиянием другие ЭГП. При этом определяющее значение имеет устойчивость пород к агентам выветривания и понижение уровня Каспийского моря, играющего роль базиса эрозии [Шмырин и др., 1968].

Предгорье не является сплошной возвышенностью, а состоит из множества отдельных хребтов с абсолютными отметками ~800-900 м, имеет значительный контраст с Приморской низменностью. Полоса предгорий, имеющая ширину 5-50 км, постепенно повышается до 1200 м и примыкает к внешним склонам горных хребтов, окружающих Среднегорный Дагестан. Предгорья сложены породами третичного и мелового возрастов, смятыми в широкие, пологие складки, вытянутые с северо-запада на юго-восток (г. Тарки-Тау, Беловецкая гора и др.). Равнины разрезаны сухими долинами рек глубиной до 300-400 м. Узкие и широкие продольные и поперечные долины чередуются с плато и грядами. Придолинные участки ровных поверхностей в предгорьях сильно изрезаны оврагами и балками [Геологическое строение…, 1972].

Среднегорный (внутренний горный) Дагестан занимает северную и центральную части горного Дагестана, является сложным горным районом с господством горностепных ландшафтов. Начинается он вслед за Предгорным, отделяясь от него передовыми хребтами – Андийским, Салатау, Гимринским, Лес и другими, и представляет собой следующую вертикальную ступень рельефа, протянувшуюся широкой полосой с северо-запада на юго-восток. На юго-востоке он отделяется отрогами Бокового хребта от Высокогорного Дагестана. Для среднегорной зоны характерны абсолютные высоты до 2000 м. Северные склоны хребтов более пологие, а южные, обращенные к Горному Дагестану, – крутые и обрывистые, у их подножий отмечается накопление рыхлообломочного материала [Тагиров и др., 1984].

В отличие от равнин и предгорий здесь обнажаются более древние породы юрского и мелового возраста, смятые в складки сундучной формы. Благодаря такой форме складок здесь широко распространены плато высотой до 200 м и более (Хунзахское и Гунибское плато, Кули-Меэр, плато Тетли и др.), обрамленные очень крутыми, обрывистыми склонами, на которых развиты обвально-осыпные процессы [Геологическое строение…, 1972].

Северо-западную часть называют Известняковым, а юго-восточную – Сланцевым Дагестаном. Сланцевый район характеризуется широкими продольными долинами рек с менее крутыми склонами и хорошо выраженными террасами, в отличие от Известнякового Дагестана с его грубым и резким расчленением рельефа, наличием крутых и скалистых склонов [Тагиров и др., 1984]. Там, где преобладают более мягкие песчаники и сланцы, воды вымывают глубокие котловины (Голотлинская котловина в долине р. Аварское Койсу, Ботлихская в долине р. Андийское Койсу и др.). Напротив, пересекая известняки, многие реки «пропиливают» глубокие (до 1000-1500 м) ущелья и образуют каньонообразные долины с непреступными скалистыми стенами. Такие ущелья существуют в долинах рек Аварское, Андийское, Казикумухское Койсу, а также Кара-Койсу. При выходе из гор между хребтами Салатау и Гимринским расположен знаменитый Сулакский каньон общей протяженностью более 40 км и наибольшей глубиной – 1800 м [Геологическое строение…, 1972].

Высокогорный Дагестан (высокогорная и нивально-высокогорная зоны) занимает южную и юго-западную части Дагестана, он образован двумя главными, параллельно расположенными, хребтами Большого Кавказа – Водораздельным и Боковым. Здесь они достигают высот 3000-4000 м и более над уровнем моря. Боковой хребет разделен глубокими поперечными долинами рек на четыре хребта: Богосский, Нукатль, Дюльтыдаг и Самурский – и единой цепи не образует. Здесь обнажаются более древние, чем в других частях республики породы: хребты сложены мощными толщами глинистых сланцев и песчаников нижнеюрского возраста, смятыми в широкие и пологие складки. В верхних частях хребтов породы легко подвергаются выветриванию. Днища долин лежат на значительной высоте – 1600-1700 м. На обрывистых склонах глубоких каньонов и у подножий гор наблюдаются мощные скопления обломочного каменистого и щебнистого материала [Геологическое строение…, 1972]. Продвижение отвершков каньонов вверх, к истокам рек, и их врезание в крутые склоны горных гряд и плато вызывает грандиозную перестройку древнего профиля равновесия, сопровождающуюся развитием оползневых процессов [Шмырин и др., 1968].

В Дагестане повсеместно встречаются речные террасы, прослеживающиеся на самой различной высоте (от 2-3 до 100-200 м). Хорошо выражены древние террасы, достигающие высоты 100-150 м, в среднем течении р. Самур. В долинах рек нередко отмечаются значительные по площади древние конусы выноса с мощностью рыхлых отложений до 100 м

[Тагиров и др., 1984], на древних конусах построены селения Ахты и Хрюк [Геологическое строение…, 1972]. В устьях рек и временных водотоков также образуются современные мощные конусы выноса, широко развитые и в долине р. Самур.

Современное оледенение дагестанского высокогорья невелико и полностью приурочено к 6 наиболее высоким хребтам и массивам: Снеговому, Богосскому, Нукатль, цепи Бишиней – Саладаг, Дюльтыдагу и Главному Кавказскому (табл.3). Ледники сгруппированы вокруг отдельных массивов и вершин каждого из перечисленных хребтов, образуя отдельные узлы оледенения, которых в Дагестане насчитывается 25. Они мало связаны друг с другом и часто разделены большими расстояниями. Расстояние между крайними очагами оледенения Дагестана огромно для масштабов этой небольшой республики: от диклосских ледников Снегового хребта на западе до ледового щита массива Базардюзю на востоке – 225 км. Все ледниковые узлы питают своими водами две главные реки Дагестана – Сулак и Самур. Общая площадь ледников составляет ~50 км^2 [Ахмедханов, 1998].

Таблица 3.

Распределение дагестанских ледников по горным хребтам

Хребты	**Количество ледников**	**Площадь ледников, км^2**
Снеговой	18	1.7
Богосский	35	16.7
Нукатль	37	7.0
Бишиней-Саладагская цепь	35	11.5
Дюльтыдаг	30	6.2
Главный Кавказский	13	4.5
ВСЕГО	158	47.6

На территории Дагестана встречаются практически все геоморфологические типы ледников: долинные, каровые, висячие и их комбинации. Долинные, висяче-долинные и карово-долинные ледники наиболее полно отвечают всем параметрам, свойственным крупным ледникам – размерам, толщине льда, влияния на погоду данного горного района и т.д. Таких ледников в Дагестане насчитывается 20, среди которых 11 долинных. Основную массу ледников составляют небольшие каровые и висячие глетчеры [Ахмедханов, 1998]. Большинство ледников расположено на северных, северо-западных и северо-восточных склонах гор. На южных склонах количество ледников гораздо меньше, здесь встречаются лишь незначительные по размерам каровые ледники и фирновые снежники. Большинство всех ледников расположено в теневых местах обширных цирков, в карах и существует благодаря накоплению снега во время снежных обвалов или метелей [Схема…, Т.2, кн.1, 2007].

Ледники постоянно находятся в движении, их средняя суточная скорость изменяется от 2 до 10 см, за год составляет 12-25 м. В летний период происходит интенсивное таяние ледников. Средняя величина суточного стаивания поверхности составляет 4-9 см. За 2-3 летних

месяца может стаять слой льда мощностью до 3 м [Схема…, Т.2, кн.1, 2007]. В силу сухого и тёплого климата, свойственного Дагестану, ряд высоких хребтов и массивов (Кириоти, Самурский, Кябяктепе, Шалбуздаг и др.) вообще не имеют ледников.

Снежный покров неустойчивый почти повсеместно, кроме северо-западных склонов высокогорий, где достигает 70 см и держится всё лето. К югу высота снежного покрова уменьшается до 50-55 см. В предгорных районах мощность снежного покрова достигает 40-50 см. Однако из-за сильной расчленённости рельефа и высокой крутизны склонов снег ложится неровным слоем. Поэтому на крутых склонах слой снега незначительный, а в котловинах и лощинах может достигать 2 м и более. Во внутригорных районах снежный покров сильно сокращается и сохраняется только на высоте 3000 м и более мощностью 20-25 см [Схема…, Т.2, кн.1, 2007].

Высота снеговой линии в горах Дагестана превышает аналогичные показатели по Западному и Центральному Кавказу. В основном она колеблется от 3200 до 3500 м, достигая 3760 м в бассейне р. Кусарчай (табл.4) [Ефремов, Панов и др., 2007]. Большую разницу в значения высоты снеговой линии вносит экспозиция склонов. На склонах северной экспозиции снеговая линия на 150-200 м ниже, чем на южных. В августе, как правило, снеговые поля и отдельные снежники полностью исчезают до высот 3700-3900 м.

Таблица 4.

Распределение современного оледенения по бассейнам рек Большого Кавказа на 2000 г.

Бассейн реки	**Число ледников**		**Площадь ледников**		**Средние размеры ледника, км^2**	**Высота нижней границы ледников, м**	**Средняя толщина ледников, м**
	всего	**% от общего числа**	**км^2**	**% от общей площади**			
Северный склон	1521	72,3	853,6	68,4	0,56	2800	53
Терек	842	40,0	597,0	47,8	0,71	2810	63
Сулак	174	8,3	41,4	3,3	0,24	3220	20
Самур	29	1,4	8,4	0,7	0,29	3280	21
Кусарчай	9	0,4	2,9	0,2	0,32	3760	26

Вследствие потепления климата Дагестана, как и всего Кавказа в целом, отмечается устойчивая тенденция к сокращению площади ледников. За 1985-2000 гг. отмечалось увеличение высоты нижней границы ледников, в том числе и на Восточном Кавказе: в бассейне р. Сулак – на 140 м, р. Кусарчай – на 180 м, р. Самур – на 220 м.) [Ефремов, Панов и др., 2007]. Площадь оледенения Кавказа (за 1881/1910-1965/1976 гг.) уменьшилась на 794.06 км^2 (на 36.0 %). На северный склон приходится 80.9 % общей площади (787.32 км^2) сокращения оледенения Большого Кавказа. Наибольшее сокращение площади оледенения по отдельным районам Большого Кавказа отмечается на восточном участке: на северном склоне площадь

оледенения сократилась на 59.3 % [Панов, 1993]. Наряду с сокращением площадей уменьшается мощность ледников, они покрываются мощным слоем поверхностных морен. Область питания ледников получает в настоящее время гораздо меньше твёрдых осадков, чем в начале XX в., поэтому величина стаивания превышает накопленную массу льда, фирна и снега [Ахмедханов, 1998].

3.2. Гидрография

Среди многочисленных природных богатств Горного Дагестана реки занимают одно из первых мест как источники гидроэнергетической промышленности, орошения, водоснабжения и рыболовства. Во всем Дагестане насчитывается около 1800 рек общей длиной более 24 тыс. км. Большинство из них берет начало в Горном Дагестане. В среднем по Дагестану на каждый квадратный километр площади приходится ~500 м речной сети (это почти в 5 раз больше, чем в среднем для всей территории бывшего СССР) [Тагиров и др., 1984].

Главные реки – Терек, Сулак с Аварским Койсу, Андийским Койсу, Казикумухским Койсу и Кара-Койсу, Самур. На территории республики насчитывается свыше 100 небольших озер общей площадью около 150 км^2, наибольшее количество озер находится в низовьях Терека и Сулака [Геологическое строение…, 1972]. Гидрографическая сеть исследуемой территории относится к бассейну Каспийского моря.

Питание рек в основном дождевое и снеговое. Основной особенностью гидрологического режима рек является зависимость от высоты местности, направления горных хребтов и экспозиции склонов по отношению к господствующим воздушным течениям. В пределах Горного Дагестана выделяется три гидрологические области: I – высокогорная, II – внутригорная, III – внешнегорная, каждая из которых по гидрологическим особенностям делится на северную (а) и южную (б) [Шихрагимов и др., 1991].

Густота речной сети неравномерно распределена на всей территории. В низкогорной высотно-климатической зоне она составляет 0.2-0.5 км/км^2; в среднегорной – 0.5-1 км/км^2; в нивально-высокогорной резко возрастает до 1.1-1.6 км/км^2. Наибольшей густоты (около 1.6 км/км^2) сеть достигает в высокогорном и внутригорном районах на отметках 1500-2500 м, где выпадает от 600 до 800 мм/год и более осадков [Тагиров и др., 1984]. На высотах 3500-4000 м густота речной сети уменьшается до нулевых значений.

Среднее количество воды, стекающей с одного квадратного километра территории всего Дагестана, составляет около 10 л/с. А в бассейнах рек, формирующих свой сток в высокогорном районе (Андийское Койсу, Аварское Койсу и др.), где слой осадков превышает 700 мм, а коэффициент стока достигает 60-90 %, величина модуля стока изменяется от 15 до 30 л/с. [Ресурсы…, 1966].

Максимальные расходы на реках Горного Дагестана превышают средние годовые в десятки, а иногда в сотни раз, отмечаются в периоды половодья (май-июнь), когда расходуются основные запасы снега в горах, и выпадает большое количество осадков. Они наносят существенный ущерб народному хозяйству, разрушают мосты, плотины, водозаборные сооружения ирригационных каналов.

Водная эрозия в Дагестане проявляется намного интенсивнее, чем в других районах России. В Горном Дагестане степень эрозии еще выше. Так, для понижения поверхности бассейна на 1 мм р. Дон требуется 50 лет, р. Волге – 140 лет, а для рек Самур и Сулак – всего 5-6 месяцев [Гюль и др., 1959]. Модуль эрозии в большинстве случаев превышает 1000 тонн, а в бассейнах некоторых рек даже 2000 тонн (р. Усухчай – 2305 т., р. Аксай – 2543 т.), достигая в бассейне р. Ахтычай почти 4000 тонн. Довольно значителен и годовой объем стока наносов: р. Сулак у сел. Миатлы выносит 18,3 млн. тонн/год, р. Самур у сел. Ахты – 3,5 млн. тонн/год. Высокая интенсивность водной эрозии в Горном Дагестане объясняется литологическим составом пород, слагающих бассейн (легкоразмываемые глинистые сланцы, глины и мергели), бедностью растительного покрова и относительной континентальностью климата. Эти факторы способствуют интенсивным процессам выветривания горных пород, дающих мелкораздробленный материал, легко вымываемый текущими водами. Большая часть взвешенных наносов (90-95 %) в Горном Дагестане приходится на весенне-летний период [Тагиров и др., 1984].

3.3. Климатические условия

Современный климат оказывает существенное влияние на современное состояние пород (зависящее главным образом от фазового состояния влаги и ее количества в них), характер и интенсивность экзогенных геологических процессов, создаваемые ими явления и гидрогеологические особенности верхней части разреза территории [Трофимов, 1985].

Дагестан расположен у южной границы умеренного климатического пояса. Промежуточное положение его территории между областями, резко отличающимися друг от друга по климату (полупустыни и пустыни Средней Азии, Казахстана и Прикаспийской низменности, с одной стороны, высокие горные хребты на юго-западе – с другой), исключительная расчлененность рельефа и наличие значительного водного бассейна Каспийского моря сделали климат республики весьма разнообразным. Здесь встречается большинство типов климата России, начиная от засушливого Терско-Кумской низменности и близкого к сухим субтропикам климата низовий Самура и заканчивая холодным, влажным климатом снежных вершин Бокового и Водораздельного хребтов Большого Кавказа [Тагиров и др., 1984]. Климат Горного Дагестана неоднородный. На возвышенных участках он характеризуется как умеренно-холодный, полувлажный, а на уровне дна речных долин –

умеренный, полусухой. Отличительной чертой климата на описываемой территории являются его континентальность и сухость. Для территории характерны жаркое лето и неморозная солнечная зима [Шмырин и др., 1968].

Большое влияние на формирование климата Дагестана оказывают восточные континентальные и северо-западные атлантические морские воздушные массы. Каспийское море незначительно влияет на климат Дагестана. Проходящие через это море воздушные массы предварительно проносятся над полупустынями и пустынями Средней Азии и поэтому несут очень мало влаги. Осадки, приносимые ветрами с Каспия, выпадают в прибрежной части Предгорного Дагестана, обращенной к морю, и почти не имеют значения для Внутригорного и Высокогорного Дагестана. Поэтому Каспийское море незначительно смягчает зимние и летние температуры воздуха в республике [Тагиров и др., 1984].

Одним из главных местных климатообразующих факторов можно считать рельеф: горы Дагестана способствуют конденсации влаги. К основным климатическим факторам, способствующие развитию ЭГП в Горном Дагестане, относятся температура воздуха и атмосферные осадки [Тагиров и др., 1984].

Температура воздуха Горного Дагестана отличается большим разнообразием, что обусловлено особенностями рельефа, высотой местности, а также влиянием Каспийского моря. На высотах с отметками выше 1000 м над уровнем моря, среднемесячная температура января колеблется в среднем от -4 до -7º С, а среднемесячная температура июля составляет +16 ÷ +18º С. Суточные колебания температуры воздуха отличаются резкими перепадами [Шмырин и др., 1968].

Орографические особенности Горного Дагестана часто приводят к тому, что холодный воздух, спускаясь по склонам в долины рек, способствует возникновению инверсий в горах, поэтому температура воздуха в глубоких котловинах оказывается значительно ниже, чем на окружающих их склонах. В целом, с повышением местности на 100 м температура понижается в среднем на 0.5ºС [Эльдаров, 1980]. В Махачкале на высоте 20 м над уровнем моря среднегодовая температура составляет +11.9ºС, в Буйнакске (475 м) – +10.5ºС, в Хунзахе (1685 м) – +6.2ºС, на метеостанции Сулак Высокогорная (2923 м) – (-0.5ºС).

Средняя годовая температура Горного Дагестана в целом близка к среднегодовой температуре соответствующей широты, однако январь холоднее на 3-4ºС, июль – теплее почти на 5ºС. Абсолютный перепад значений температуры воздуха достигает 50ºС и более (среднемноголетние абсолютные максимальные значения на исследованной территории – +30 ÷ +35ºС, минимальные – -10 ÷ -20ºС), что благоприятствует процессам выветривания горных пород, а, следовательно, развитию обвально-осыпных процессов и накоплению на

склонах большого количества обломочного материала, способствующего зарождению селевых потоков [Тагиров и др., 1984].

Атмосферные осадки в Горном Дагестане выпадают, в основном, в виде дождя в весенне-летний, летне-осенний периоды и в виде снега в зимний период. Выпадение осадков обусловлено, как переносом воздушных масс извне, так и местной циркуляцией. Годовое количество осадков вследствие высотной поясности, различной экспозиции склонов, а также непосредственной близости Каспийского моря колеблется в значительных пределах.

По характеру распределения осадков Горный Дагестан подразделяется на 2 подрайона: более увлажненный – западный и менее увлажненный – восточный. К западному подрайону относятся бассейны среднего и нижнего течений рек Андийское Койсу и Аварское Койсу, а к восточному – бассейны рек Кара-Койсу, Казикумухское Койсу, Уллучай, Гамриозень и других.

С увеличением высоты местности количество осадков, до определенных высот, возрастает. Однако, в силу особых орографических условий территории, эта зависимость часто нарушается. Например, в юго-западной части Дагестана (с. Шаури) на высоте 1480 м выпадает ~740 мм/год, в то время как в юго-восточной части Дагестана (с. Кули), на высоте 1900 м, выпадает 430 мм/год; на западном склоне Андийского хребта (с. Ведено, Чеченская республика) годовое количество осадков составляет 845 мм, а на восточных склонах этого хребта (с. Ботлих, Республика Дагестан) количество осадков составляет 350-400 мм/год [Справочник…, 1971].

Среднегодовое количество осадков в высокогорной зоне превышает 800 мм, местами доходит до 1000 мм. Выпадение осадков в разные годы отличается большими отклонениями от средней величины. В теплый период (апрель-сентябрь) в горах выпадает 70-80 % годового количества осадков. Максимумы приходятся на весенне-летний период (май, июнь). В периоды затяжных дождей с частыми ливнями обычно активизируются оползневые проявления [Шмырин и др., 1968]. В Горном Дагестане выпадают ливни большой интенсивности и малой продолжительности. В течение суток может выпасть от 5 до 10 % годового количества осадков. Переувлажнение грунтов атмосферными осадками является одной из основных причин, нарушающих устойчивое состояние склонов и провоцирующих развитие и активизацию ЭГП, в том числе оползневых и обвально-осыпных проявлений, что отмечалось в 1963 г. в Хунзахском районе (выпало 803 мм осадков, среднегодовая норма осадков – 530 мм), в 1981 г. на склонах Беловецкой горки в г. Буйнакске и т.д. [Тагиров и др., 1984]. Подобные активизации оползневых проявлений наблюдаются и в настоящее время.

3.4. Характеристика ландшафтов

Восточной части северного склона Большого Кавказа свойствен восточнокавказский, или дагестанский, тип ландшафтной высотной зональности (рис.10), который характеризуется

появлением в предгорьях сухих степей, а у подножия – полупустынь, резким сужением горно-лесной зоны и развитием у ее нижней границы кустарниковых зарослей, отсутствием пояса хвойных лесов, появлением в среднегорье горных степей, расширением зоны горных лугов и их частичной ксерофитизацией, более высоким расположением гляциально-нивальной зоны [Мильков, Гвоздецкий, 1976].

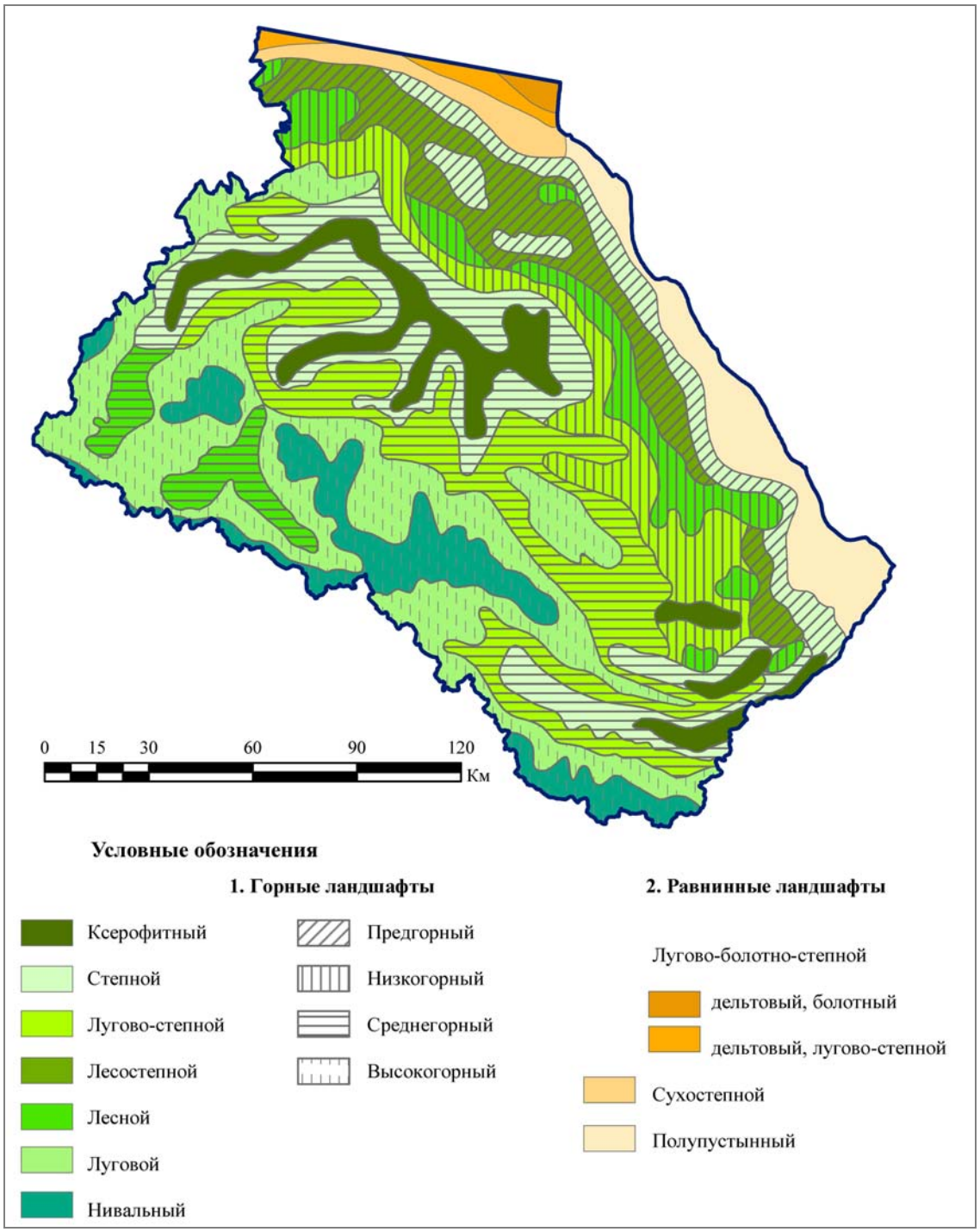


Рис.10. Ландшафты Горного Дагестана [Схема…, Т.2, кн.1, 2007]

Исключительной расчлененностью рельефа и сложностью климатических условий территории объясняется разнообразие почв и обилие видов растительности (рис.11, 12). Их распределение в горной части республики подчинено закону высотной поясности, однако

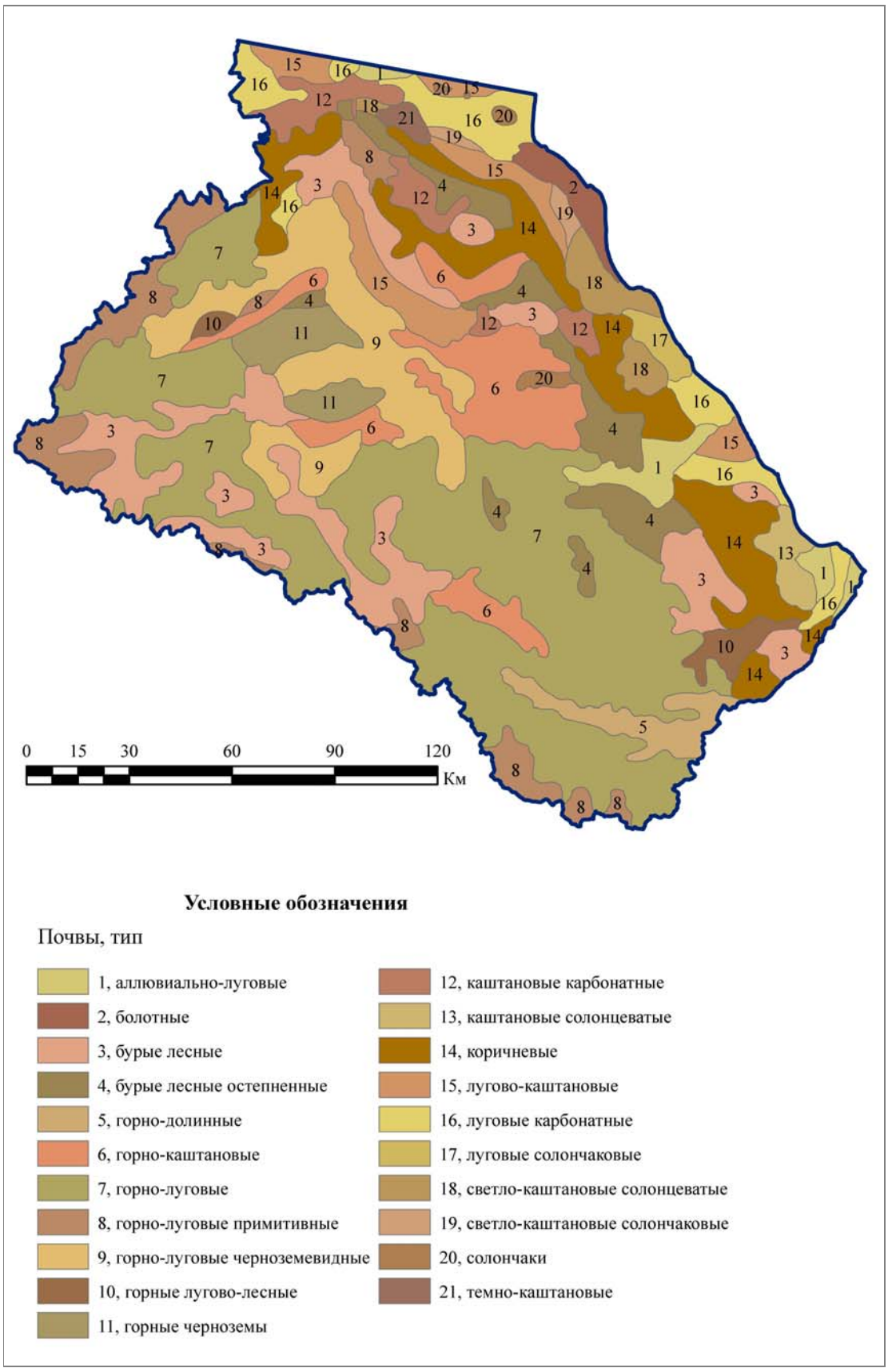


Рис.11. Почвы, распространенные в пределах горной части Дагестана [Схема…, Т.2, кн.1, 2007]

следует отметить, что границы высотных поясов не всегда могут быть очерчены горизонталями, и высота их изменяется в зависимости от местных особенностей рельефа,

прежде всего, от экспозиции горных склонов. Южные склоны получают больше тепла, поэтому они суше, чем северные. В ряде случаев пояс лесов на южных склонах дагестанских гор совершенно выпадает, а вместо него появляется пояс с засухоустойчивой степной растительностью.

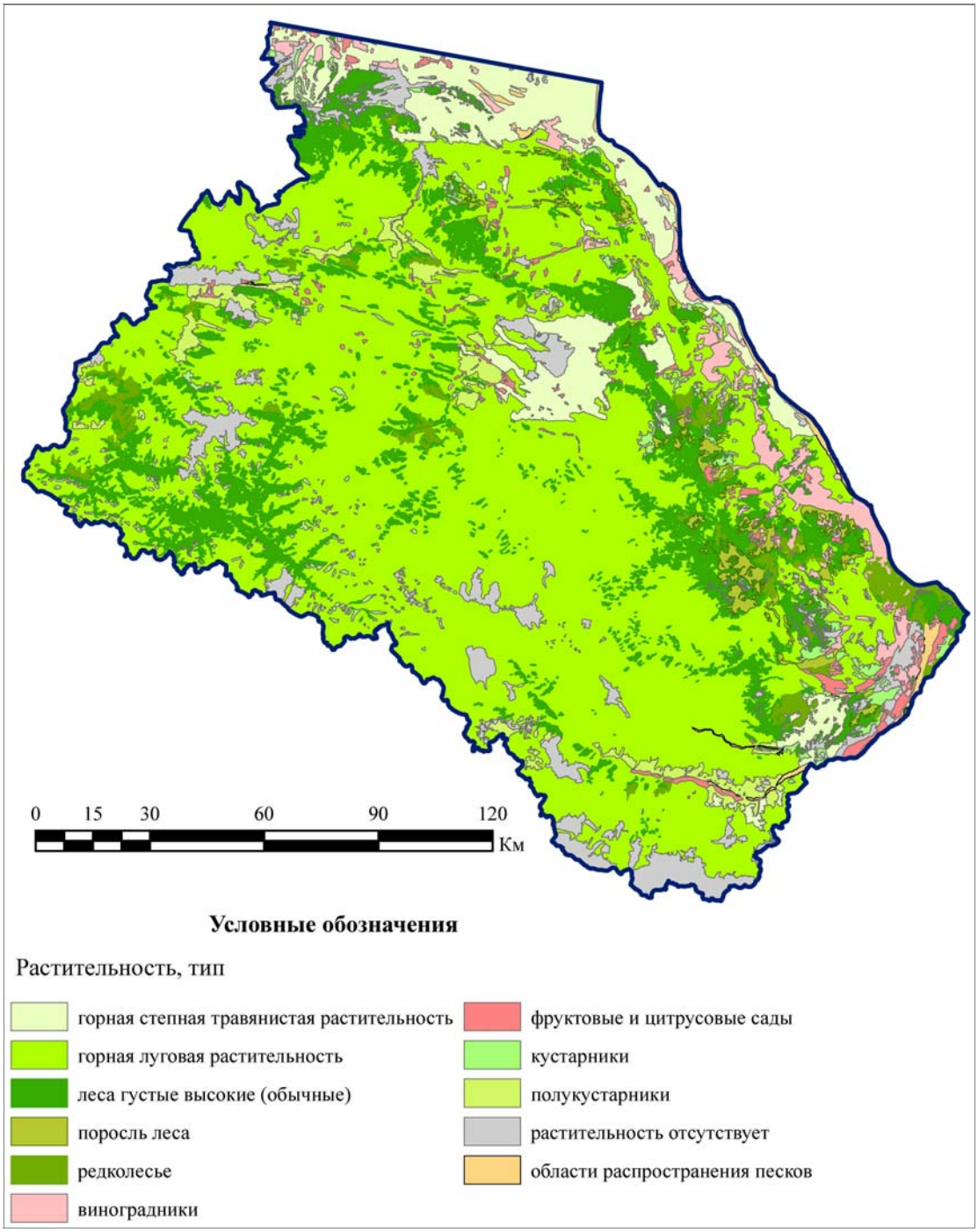


Рис.12. Растительность Горного Дагестана [Схема…, Т.2, кн.1, 2007]

В соответствии с различиями в структуре высотной зональности ландшафтов и геолого-геоморфологическими особенностями в пределах рассматриваемой территории выделяются различные ландшафтные провинции [Мильков, Гвоздецкий, 1976].

Дагестанская провинция отличается сложным структурно-эрозионным рельефом, сложной структурой высотной зональности ландшафтов, более сухим и континентальным климатом, очень малой площадью лесов (8-9 % от всей площади провинции), господством лесостепных и степных ландшафтов [Физико-географическое районирование…, 1968].

Приморская равнина занята культурной растительностью, выращиваемой человеком (виноградники, сады, огороды). Наиболее распространенными почвами на низменности являются светло-каштановые, луговые, солончаки [Геологическое строение…, 1972]. До высоты 300-400 м на платообразных предгорьях располагается сухостепная зона с зарослями кустарников в дельтовых участках. Местами по долинам рек, особенно в дельте р. Самур, встречаются широколиственные леса. Плато и склоны южной экспозиции заняты полынно-типчаковыми, типчаково-бородачевыми, злако-разнотравными группировками. Под ними развиты каштановые почвы мощностью до 60-80 см. На склонах северной и восточной экспозиции растут сухолюбивые кустарники на горно-коричневых почвах мощностью до 85-100 см [Физико-географическое районирование…, 1968].

В предгорьях до высоты 600-700 м с несколько бóльшим увлажнением дубовые и дубово-грабинниковые редколесья на горнолесных бурых почвах чередуются с пырейно-ковыльными степными группировками на темно-каштановых почвах по южным склонам и разнотравно-злаковыми лугово-степными группировками на черноземных почвах [Физико-географическое районирование…, 1968]. Для северных склонов передовых хребтов, а также для плато внутреннего горного Дагестана характерны горные степи и лугостепи [Гидрогеология СССР, 1968]. В верхнем поясе предгорий (700-1200 м) сосредоточены главные лесные массивы Дагестана, состоящие в основном из дуба, граба, бука, клена, ясеня, липы, а во внутреннем и высокогорном Дагестане – из березы, сосны и других видов. Здесь преобладают горные черноземы и бурые горнолесные почвы [Физико-географическое районирование…, 1968]. Леса распространены преимущественно на внешних склонах, окаймляющих Горный Дагестан. В нижнем поясе леса сильно вырублены, их заменили кустарниковые заросли типа шибляка [Мильков, Гвоздецкий, 1976].

В отличие от лесистых предгорий, Горный Дагестан характеризуется преобладанием нагорно-ксерофитной (засухоустойчивой) растительности на южных склонах и луговой – на северных. Лесов здесь мало: лишь на северных и западных (более влажных) склонах на высоте 1400-2200 м встречаются лесные массивы с преобладанием сосны и березы. Древесная растительность в условиях Горного Дагестана положительно влияет на устойчивость склонов. На отдельных участках склонов в верховьях Аварского и Андийского Койсу встречаются единичные оползни в лесных районах, однако в большей степени они развиты на незалесённых участках склонов [Тагиров, 1974].

Наибольшие площади занимает среднегорная степная зона со скалистыми склонами, глубокими долинами, сухим климатом. В растительности преобладают бородачевые, пырейные, типчаково-ковыльные группировки на горно-черноземных почвах. Почвы маломощные (до 60-80 см), щебенистые, карбонатные. Для котловин и долин характерна нагорно-ксерофитная растительность из сухолюбивых трав и полукустарников на горных коричневых почвах. Выше 1500 м располагается лугово-степная зона. Плато и склоны покрыты злаково-разнотравными группировками, приуроченными к лугово-черноземным почвам [Физико-географическое районирование…, 1968].

Восточная высокогорная провинция занимает восточную половину осевой зоны Большого Кавказа с высотами от 2000 до 3200 м. Днища долин лежат иногда на высоте 600 м над уровнем моря. Провинция отличается от Западной высокогорной провинции геологическим строением (преобладают глинистые сланцы) и большей континентальностью климата. Поэтому здесь меньше развито оледенение, а интенсивные процессы физического выветривания вызывают образование щебенистых осыпей и грубого каменистого делювия. Весной со склонов сходят снежные лавины, особенно частые в западной части провинции. Летние ливневые дожди вызывают высокие паводки на реках, образование селей, оползней. В провинции широко распространены селевые конусы выноса, конусы выноса боковых притоков рек, на которых мощность аллювиально-делювиальных наносов достигает 40 м. На склонах хребтов распространены древние оползневые формы рельефа; оползни образуются и в настоящее время, что препятствует строительству [Физико-географическое районирование…, 1968].

В долинах рек и на склонах южной экспозиции до высоты 2000 м располагается горностепная зона. Здесь характерны пырейные, пырейно-типчаковые, полынно-злаковые степные группировки, нагорные ксерофиты на маломощных горностепных щебенистых почвах. По склонам северной, западной экспозиций, получающим несколько больше влаги, растут, преимущественно в западной половине провинции, буково-грабовые, дубовые и сосновые леса, не образующие целой зоны [Физико-географическое районирование…, 1968]. Причина выклинивания ландшафтов лесной зоны в местных условиях связана с солярной экспозицией склонов (южные склоны куэст заняты степями). Прерывается зона там, где есть межгорные котловины, впадины с более континентальным климатом [Макунина, 1985]. Леса выполняют важную водоохранную и противоэрозионную роль.

В провинции преобладает горно-луговая ландшафтная зона, поднимающаяся до 2800-3000 м. Склоны хребтов и долин (выше 1800 м) до 2500 м покрыты субальпийскими лугами с господством овсяницево-разнотравных, пестрокострово-вейниковых, вейниково-разнотравных, злаковых группировок. Луга приурочены к горно-луговым дерновым субальпийским почвам мощностью до 50-80 см, содержащим много щебня, и отличаются пышной и разнообразной

растительностью с высотой травостоя до метра. Выше субальпийских лугов располагаются альпийские мелкозлаково-осоково-разнотравные, злаковые и другие луга, с переходом к которым растительность постепенно изменяется и беднеет, снижается высота травостоя. Под альпийскими лугами развиты дерновые и торфянистые, маломощные (до 50 см), щебенистые, часто скелетные, горно-луговые альпийские почвы. Среди лугов большие пространства занимают каменистые осыпи со скально-осыпной травянистой растительностью, мхами и лишайниками, голые скалы [Физико-географическое районирование…, 1968]. Неумеренный выпас на субальпийских и альпийских лугах ведет к их замоховению и заторфовыванию, а полный сбой дернины – к активизации склоновых процессов (поверхностного водного стока, смыва почвы, заложения эрозионной сети), что может значительно нарушить целостность всего каскада склоновых природно-территориальных комплексов [Макунина, 1985].

Выше 3000 м узкую полосу гор (привершинные районы) занимает субнивальная зона, отличающаяся суровостью природных условий, отсутствием сплошного травяного покрова и почв. На высоте 3200-3600 м, у границы с вечными снегами, растительность совсем бедная. Преобладают мхи, лишайники, другие холодоустойчивые растения [Физико-географическое районирование…, 1968]. В результате сурового климата вершин в высокогорье развито современное оледенение. К вершинам гор (высоты ~4000 м) приурочены нивально-гляциальные ландшафты. Ледники и снежники здесь сочетаются со скалами, каменными осыпями, моренными валами, ледниковыми озерами [Макунина, 1985]. Гляциально-нивальные формы здесь развиты слабо, древние же сильнее разрушены, так как сланцы легко выветриваются и размываются водными потоками. Эрозионные процессы протекают исключительно интенсивно: смыв почвы достигает большей величины, чем в других районах Северного Кавказа и в Европейской части России. После ливней образуются разрушительные сели [Мильков, Гвоздецкий, 1976].

Динамичность склоновых процессов предопределена крутизной склонов, многолетними климатическими колебаниями и сезонной ритмикой природных процессов. На нижней границе вершинного яруса гор начинается сток талых ледниковых и снежных вод, происходит свал снежных лавин и вынос обломочного материала. Все это сносится в ландшафты, расположенные ниже по склону. Водообильность при таянии снега и льда нивально-гляциальных ландшафтов оказывает увлажняющее и охлаждающее влияние на всю систему нижерасположенных ландшафтов [Макунина, 1985].

Особенности физико-географических условий территории, описанные выше (глубоко расчлененный горный рельеф, неоднородный климат, речная сеть, мелкокорневая растительность и др.), являются основными причинами развития и активизации в Горном Дагестане таких ЭГП, как оползни, сели и обвально-осыпные процессы.

3.5. Краткая геологическая характеристика региона

В пределах Горного Дагестана развиты мезозойские и кайнозойские отложения, представленные мощной толщей осадочных пород. Среди образований, слагающих верхнюю часть геологического разреза, к которой, чаще всего, приурочено развитие ЭГП, выделяются комплексы юрских, меловых, палеогеновых, неогеновых и четвертичных отложений, отличающиеся друг от друга характером отложений, магматизмом и связью с различными структурными элементами [Геокриология СССР, 1989]. Наиболее древними, выходящими на поверхность, являются породы мезозоя (рис.13). В Горном Дагестане они представлены юрскими и меловыми отложениями.

Дочетвертичные отложения

Отложения мезозойской эры распространены в западной высокогорной части Дагестана и слагают большую часть территории республики. Наиболее древними из них являются отложения юрской системы, представленные толщей осадочных и сильно метаморфизованных и дислоцированных пород. Меловые отложения особенно широко распространены в Северо-западном и Центральном Дагестане в районе нижнего течения р. Казикумухское Койсу, Аварское и Андийское Койсу и по р. Сулак. В Южном Дагестане отложения мела выступают узкой полосой и слагают Передовой хребет, отделяющий область третичных отложений от Горного Дагестана [Голубятников, 1959].

Кайнозойские образования слагают верхний структурный этаж рассматриваемой территории и представлены различными по генезису и составу отложениями. Отложения палеогенового и неогенового возраста распространены вне криолитозоны, в межгорных впадинах и долинах крупных рек (в горах распространены в основном четвертичные образования различного генезиса) [Геокриология СССР, 1989].

Юрская система. Нижний отдел (J_1). Нижний и средний отделы выполнены осадками осевой части (Казбекско-Лагодехская зона), континентального склона (Бежитинская зона), мелководного (Агвали-Хивская зона) и глубоководного (зоны Шаро-Аргунская, Бокового хребта) шельфов задугового киммерийского бассейна [Государственная геологическая карта..., 2009].

Шаро-аргунская серия (J_1***ša***) развита в бассейнах рек Андийское, Аварское Койсу и включает ряд согласно залегающих свит. Общая мощность серии превышает 5850 м.

Юрская система. Нижний-средний отделы, нерасчлененные (J_{1-2}). ***Цурибская, хельдихойская, квандринская, рубасчайская и курахчайская серии объединенные*** (J_{1-2}***cr-kr***) распространены в среднем течении рек Андийское Койсу, Кара-Койсу и достигают мощности 13280 м. *Цурибская серия* слагает основание разреза в восточном и южном районах Агвали-Хивской зоны (общая мощность серии – 7900 м). В западном районе Агвали-Хивской зоны

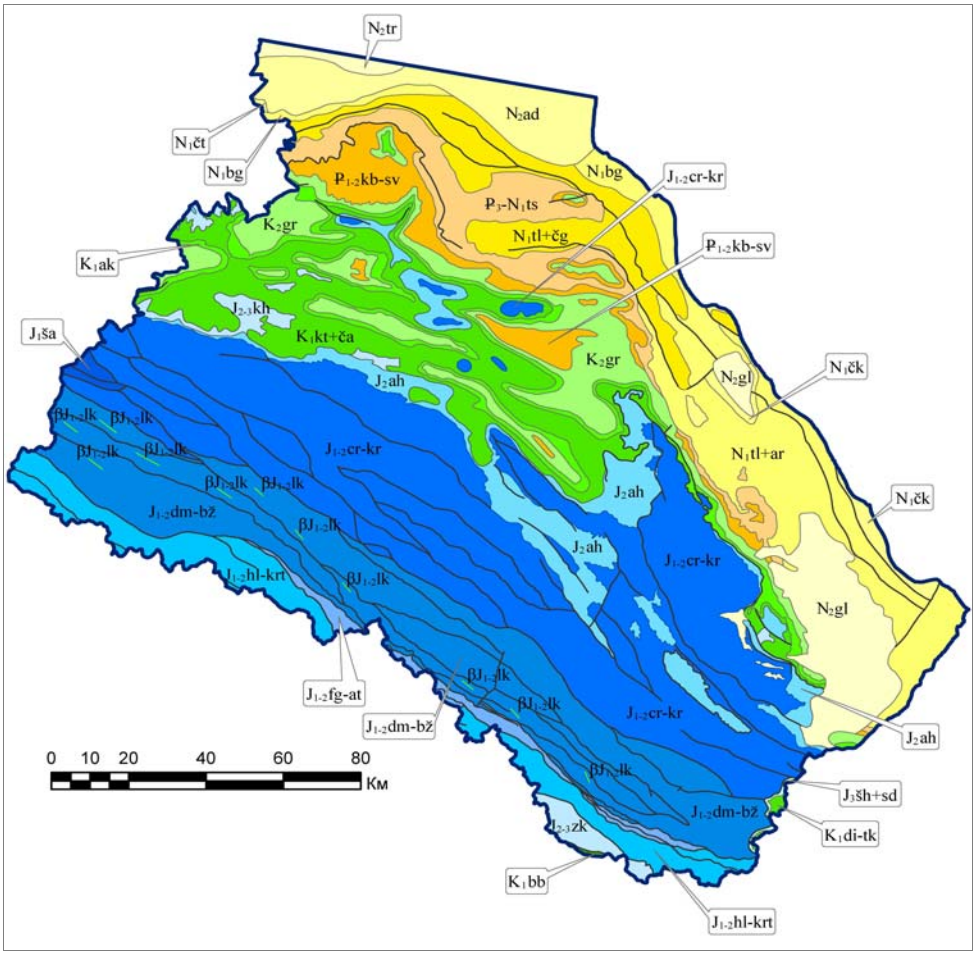


Рис.13. Дочетвертичные отложения, слагающие исследуемую территорию [Государственная геологическая карта..., 2009]

Условные обозначения

сис-тема	отдел	ярус		индекс	характеристика отложений
1	2	3	4	5	6
неогеновая	плиоцен	пьяченцийский и гелазский (акчагыльский региоярус)		N_2gl	*Гильярская толща*. Глины с прослоями песков, песчаников, конгломератов, галечников, реже известняков и пеплов (до 750 м).
				N_2tr	*Тарумовская толща*. Глины, пески, песчаники, конгломераты, прослои мергелей, ракушечников (до 360 м).
				N_2ad	*Алдыкская толща*. Пески, песчаники, глины, линзы галечников, прослои известняков (до 350 м).
	миоцен	тортонский и мессинский (мэотический и понтический региорусы)		$N_1čt$	*Чуртовская серия*. Глины, прослои ракушечников и оолитовых известняков, редко конгломератов, линзы бурого угля (до 700 м).
				$N_1čk$	*Чакаурская толща*. Глины, песчаники, пески, прослои известняков (до 400 м).
				N_1bg	*Брагунская серия*. Глины с редкими прослоями песков, мергелей, песчаников, известняков и ракушечников (до 1000 м).
		лангийский, серравальский (тарханский, чокракский, караганский, конкский, сарматский региорусы)		N_1tl+ar	*Талгинская и артузенская серии объединенные*. Глины, пески, песчаники, прослои алевролитов, мергелей, линзы ракушечников (до 1130 м).
				$N_1tl+čg$	*Талгинская серия и черногорская свита*. Глины, песчаники, прослои мергелей, алевролитов (до 1500 м).

1	2	3	4	5	6
палеогеновая – неогеновая	олигоцен-миоцен	рюпельский, хаттский, аквитанский (кавказский) и бурдигальский (коцахурский, сакараульский)		P_3-N_1ts	*Терско-Сулакская серия*. Глины, прослои песчаников, алевролитов, мергелей (до 1700 м).
палеогеновая	палеоцен-эоцен	датский, зеландский, танетский, ипрский, лютетский, бартонский, приабонский		P_{1-2}kb-sv	*Кабардинская, сюжинская и суворовская серии объединенные*. Мергели, известняки, глины мергельные, алевролиты, редко прослои песков (до 720 м).
меловая	верхний	сеноманский, туронский, коньякский, сантонский, кампанский, маастрихтский		K_2gr	*Гергебильская серия*. Известняки, мергели, песчаники, олистостромы (до 1000 м).
	нижний	аптский, альбский		K_1ak	*Акушинская серия*. Аргиллиты, песчаники, мергели, известняки, алевролиты (до 650 м).
		берриасский, валанжинский, готеривский, барремский		K_1kt+ča	*Кутишская и чанты-аргунская серии объединенные*. Известняки, песчаники, аргиллиты, прослои мергелей, доломитов, брекчий, линзы гравелитов и конгломератов, гипсы (до 1300 м).
				K_1di-tk	*Доломитово-известняковая и терригенно-карбонатная толщи объединенные*. Известняки, доломиты, мергели, аргиллиты, алевролиты (до 700 м).
		берриасский, валанжинский, готеривский		K_1bb	*Бабадагская свита*. Песчаники, известняки, мергели, аргиллиты (до 220 м).
юрская	верхний	оксфордский, кимериджский, титонский		J_3šh+sd	*Шахдагская и судурская свиты объединенные*. Известняки, доломиты, прослои глин, песчаников, гипсов (до 800 м).
	средний-верхний	келловейский, оксфордский, кимериджский, титонский		J_{2-3}zk	*Закатало-ковдагская серия*. Флиш. Аргиллиты, алевролиты, мергели, песчаники, известняки (до 1100 м).
				J_{2-3}kh	*Кионхохская серия*. Известняки, доломиты, алевролиты, песчаники, прослои глин, мергелей, кремней, в основании конгломераты, линзы гипса (до 3000 м).
	средний	байосский, батский		J_2ah	*Агвали-хивская серия*. В основании – аргиллиты, алевролиты, реже песчаники (до 3100 м). В кровле – песчаники, аргиллиты, алевролиты, прослои известняков, мергелей, конгломератов.
	нижний-средний, неразделенные	геттангский, синемюрский, плинсбахский, тоарский, ааленский, байосский, батский		J_{1-2}hl-krt	*Халахельская, аттагай-мулларчайская и куртатинская серии объединенные*. Песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, прослои известняков, туффитов, лавы кислого и среднего состава (более 10500 м).
		плинсбахский, тоарский, ааленский		J_{1-2}fg-at	*Фиагдонская, джоахорская и аттагайская серии объединенные*. Глинистые сланцы, песчаники, алевролиты, горизонты базальтов, лавобрекчий (более 3750 м).
				βJ$_{1-2}$lk	*Лаурско-Казбекско-Кахетинский латеральный ряд дайковых комплексов*. Долериты, микрогаббро, габбро-долериты, реже пикриты, перидотиты.
		плинсбахский, тоарский, ааленский		J_{1-2}dm-bž	*Джурмутская, джурмутско-самурская, самурская, ахтынская серии и бежитинская свита объединенные*. Аргиллиты, алевролиты, прослои песчаников, редко горизонты дацитов, риолитов и их туфов (до 1200 м).
				J_{1-2}cr-kr	*Цурибская, хельдихойская, квандринская, рубасчайская и курахчайская серии объединенные*. Аргиллиты, алевролиты, прослои песчаников, песков, угля, линзы конгломератов (до 13280 м).
	нижний	плинсбахский, тоарский		J_1ša	*Шароаргунская серия*. Аргиллиты, алевролиты, прослои песчаников, линзы конгломератов, конкреции глинистых сидеритов (более 5850 м).

распространена *хельдихойская серия*, фациально сменяющая цурибскую (общая мощность серии – 5420 м). На отложениях хельдихойской серии согласно залегает *квандринская серия* (общая мощность серии – 3635 м). *Рубасчайская серия* (до 3950 м) фациально замещает квандринскую к востоку, распространена в бассейнах рек Аварское и Казикумухское Койсу, Самур, Ахтычай, Курах и др., согласно перекрывает цурибскую серию. *Курахчайская серия* фациально замещает рубасчайскую, распространена в южном районе зоны, в междуречье Казикумухского Койсу и Самура, согласно перекрывает цурибскую серию свит (общая мощность курахчайской серии – 5380 м) [Государственная геологическая карта..., 2009].

Джурмутская, джурмутско-самурская, самурская, ахтынская серии и бежитинская свита объединенные (J_{1-2}***dm***÷*bž*) мощностью до 10200 м распространены в верховьях рек Андийское, Аварское Койсу, Самур и Ахтычай. *Джурмутская серия* сложена переслоем аргиллитов и алевролитов (общая мощность серии превышает 5800 м). *Джурмутско-самурская серия* севернее и восточнее фациально сменяет джурмутскую (общая мощность серии – 4510 м). *Ахтынская серия* фациально сменяет к северу джурмутско-самурскую и самурскую серии и распространена в среднем течении р. Самур, в районе пос. Ахты (общая мощность серии – 4350 м). *Самурская серия* согласно перекрывает джурмутско-самурскую, распространена в бассейнах рек Самур и Ахтычай (общая мощность серии – 5720 м). *Бежитинская свита* распространена в узком тектоническом клине в верховьях р. Аварское Койсу, а также в бассейнах рек Самур и Ахтычай (видимая мощность свиты – 2150 м) [Государственная геологическая карта..., 2009].

Фиагдонская, джоахорская и аттагайская серии объединенные (J_{1-2}***fg***÷***at***) распространены в Мачхалор-Даккичайской подзоне. *Джоахорская серия* является фациальным аналогом фиагдонской (обнажается в истоках рек Фиагдон, Геналдон) и распространена узкой полосой в приводораздельной зоне Восточного Кавказа в истоках рек Джурмут и Самур (общая мощность серии превышает 3750 м). *Аттагайская серия* фациально замещает джоахорскую к востоку и распространена в верховьях рек Самур и Ахтычай (общая мощность серии превышает 2435 м). В бассейне правых притоков р. Ахтычай, в узких тектонических клиньях распространены осадки, коррелируемые с джоахорской и аттагайской сериями [Государственная геологическая карта..., 2009].

Халахельская, аттагай-мулларчайская и куртатинская серии объединенные (J_{1-2}***hl***÷***krt***) распространены в основном в высокогорной части Восточного Кавказа в Куртатин-Курдульской подзоне и представлены терригенными и терригенно-вулканогенными образования подножья континентального склона глубоководной части юрского бассейна. *Халахельская серия* распространена в истоках Андийского и Аварского Койсу. Осадки серии интенсивно дислоцированы, разбиты пологими нарушениями на отдельные пластины (общая

видимая мощность разреза серии – 10500 м). *Аттагай-мулларчайская серия* к востоку фациально замещает халахельскую и распространена в бассейнах рек Ахтычай и Усухчай (общая мощность серии превышает 5140 м). *Куртатинская серия* распространена за пределами республики (в истоках рек Ардон и Геналдон) [Государственная геологическая карта..., 2009].

Юрская система. Средний отдел (J_2). ***Агвали-хивская серия*** (J_2***ah***) развита в бассейне рек Андийское, Аварское и Казикумухское Койсу и сложена мелководными осадками, объединяющими кумухскую и цудахарскую свиты. Максимальная мощность серии в бассейне р. Казикумухское Койсу составляет 3100 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Юрская система. Средний-верхний отделы, нерасчлененные (J_{2-3}). ***Кионхохская серия*** (J_{2-3}***kh***) трансгрессивно перекрывает среднеюрские осадки и распространена от р. Тызыл на западе до р. Самур на востоке. Общая мощность серии составляет 1800-3000 м.

Закатало-Ковдагская серия (J_{2-3}***zk***) залегает трансгрессивно на средней юре, обнажается в одноименной подзоне в бассейне р. Курмухчай. Общая мощность серии – до 1100 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Юрская система. Верхний отдел (J_3). ***Шахдагская и судурская свиты объединенные*** (J_3*šh+sd*) распространены в Судурско-Шахдагской подзоне, где со срывом налегают на среднюю юру. *Шахдагская свита* сложена рифогенными известняками, доломитами с прослоями известняковых брекчий, песчаников, конгломератов и аргиллитов (мощность – до 800 м). *Судурская свита* к югу фациально замещает шахдагскую и представляет собой полосу зарифовых фаций, сложена известняками, доломитами с прослоями аргиллитов, песчаников, гипсов (мощность – более 550 м) [Государственная геологическая карта..., 2009].

Меловая система. Нижний отдел (K_1). ***Бабадагская свита*** (K_1*bb*) распространена в Закатало-Ковдагской подзоне, где согласно перекрывает образования зругской серии. Сложена песчаниками, известняками, мергелями, аргиллитами (мощность – 180-220 м) [Государственная геологическая карта..., 2009].

Доломитово-известняковая и терригенно-карбонатная толщи объединенные (K_1di+tk) выделены в Судурско-Шахдагской подзоне. *Доломитово-известняковая* толща залегает с размывом на верхнеюрских отложениях (мощность – до 700 м). *Терригенно-карбонатная толща* к югу фациально замещает доломитово-известняковую и залегает согласно на верхней юре (мощность – до 500 м) [Государственная геологическая карта..., 2009].

Кутишская и чанты-аргунская серии объединенные (K_1***kt+ča***) с размывом залегают на верхней юре, сложены мелководными терригенно-карбонатными осадками и распространены в Дагестанской подзоне. *Кутишская серия* слагает берриасс-барремскую часть нижнего мела Восточно-Кавказского сегмента (мощность серии – 300-600 м). *Чанты-аргунская серия*

распространена за пределами республики (в междуречье Асса – Шаро-Аргун) [Государственная геологическая карта..., 2009].

Акушинская серия (K_1***ak***) согласно перекрывает кутишскую, распространена в Дагестанской подзоне, в междуречье Сулак – Цмурчай. Мощность серии – 120-650 м.

Меловая система. Верхний отдел (K_2). ***Гергебильская серия*** (K_2***gr***) распространена в Дагестанской подзоне, где с размывом залегает на отложениях акушинской серии. Мощность серии – до 1000 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Палеогеновая система. Палеоцен-эоцен, нерасчлененные (P_{1-2}). ***Кабардинская, сюжинская и суворовская серии объединенные*** (P_{1-2}***kb÷sv***) распространены от реки Баксан до Самура. *Кабардинская серия* выделена за пределами республики (в бассейнах рек Чегем – Черек). *Сюжинская серия* с размывом залегает на осадках верхнего мела и распространена от Фиагдона до Самура. Восточнее р. Сулак отложения осложнены внутриформационными палеооползневыми деформациями. Мощность серии изменяется от 70 м на западе (р. Ардон) до 440 м – на востоке (р. Сулак). Мощность *Суворовской серии* здесь достигает 160 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Палеогеновая и неогеновая системы. Олигоцен-миоцен, нерасчлененные (P_3-N_1). Отложения олигоцена-миоцена сохранились от позднеальпийского размыва в Терско-Самурской зоне. ***Терско-Сулакская серия*** (P_3-N_1***ts***) распространена от Баксана до Каспия и на большей части территории залегает согласно. Мощность серии – 1700 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Неогеновая система. Миоцен (N_1). Неогеновые отложения распространены в Терско-Самурской зоне. ***Талгинская серия и черногорская свита объединенные*** (N_1***tl***+*čg*) распространены в Терско-Сулакской подзоне и обнажаются по долинам рек от р. Сунжи до р. Рубасчай. *Талгинская серия* является фациальным аналогом владикавказской свиты и постепенно замещает ее в восточном направлении (мощность серии – 130-1100 м). *Черногорская свита* залегает согласно на талгинской серии (мощность – до 420 м) [Государственная геологическая карта..., 2009].

Талгинская и артузенская серии объединенные (N_1***tl***+***ar***) мощностью до 1130 м распространены в Уллучай-Рубасчайской подзоне по побережью Каспия. *Талгинская серия* (до 130 м) залегает в основании разреза и представлена карбонатно-терригенными осадками. *Артузенская серия* является фациальным аналогом черногорской свиты, постепенно замещая ее к юго-востоку, обнажается в междуречье Гамриозень – Самур. Залегает согласно на талгинской серии. Общая мощность серии – 350-900 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Брагунская серия (N_1***bg***) распространена в Терско-Сулакской подзоне. Представлена в нижней части глинами с тонкими прослоями мергелей, глинистых песчаников. Выше согласно

залегают глины с прослоями песков, песчаников, детритусовых известняков-ракушечников, в верхней части мелкогалечных конгломератов. Песчанистость возрастает вверх по разрезу. Залегает согласно на черногорской свите. Общая мощность серии – до 1000 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Чакаурская толща (N_1čk) распространена в Уллучай-Рубасчайской подзоне вдоль побережья Каспия, где фациально замещает брагунскую серию. Сложена прибрежно-морскими осадками (песчаниками, известняками, глинами). Залегает несогласно на артузенской серии. Мощность – 200-400 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Чуртовская серия (N_1***čt***) распространена в Уллучай-Рубасчайской подзоне. Сложена прибрежно-морскими осадками, в нижней части глинами, песчаниками с прослоями известняков-ракушечников, вверху – песчаниками и глинами, в которых в северном направлении появляются линзы конгломератов. Залегает с размывом на брагунской серии и мужичинской свите. Мощность серии – до 700 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Неогеновая система. Плиоцен (N_2). ***Алдыкская толща*** (N_2ad) распространена в Терско-Сулакской подзоне, где залегает с размывом на образованиях миоцена. Сложена чередованием грубозернистых песчаников, песков, глин с прослоями галечников, гравийников и известняков-ракушечников. Мощность – 100-350 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Тарумовская толща (N_2tr) в северном направлении фациально замещает алдыкскую толщу, представлена глинами песчанистыми с прослоями песков, рыхлых песчаников, линзами галечников, конгломератов, и маломощными прослоями мергелей, известняков-ракушечников. В южной части подзоны отмечаются прослои туфогенных песчаников. Залегает с размывом на породах понта. Мощность – до 360 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Гильярская толща (N_2gl) распространена в Уллучай-Рубасчайской подзоне вдоль побережья Каспия, где фациально замещает алдыкскую толщу. Представлена в нижней части глинами с прослоями и линзами песчаников, алевролитов, известняков-ракушечников, двумя прослоями (0,2 и 0,3 м) вулканического пепла. Верхняя часть характеризуется чередованием пачек (5-80 м) глин песчанистых, песчаников и детритусовых известняков с галькой. Залегает с размывом на чуртовской серии и различных горизонтах юры, мела и палеогена. Мощность – от 150 до 750 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

На участках распространения неогеновых отложений развиты оползневые и обвально-осыпные процессы [Шмырин и др., 1968].

Четвертичные отложения

Отложения четвертичной системы представлены морскими образованиями Каспия и континентальными образованиями (рис.14). Четвертичные отложения в горной области Дагестана генетически представлены практически всеми группами, характерными для горных

районов [Голубятников, 1959]. Ледниковые отложения (валуны, галечники) развиты в межгорных депрессиях, у подножий хребтов и в пределах троговых долин высокогорья. На более низких уровнях широко развиты флювиогляциальные, пролювиальные, аллювиально-пролювиальные отложения и другие переходные разности, состоящие из плохо отсортированных валунников и галечников. По мере удаления от гор происходит обычная дифференциация их гранулометрического состава. В пределах поверхностей выравнивания развиты элювиальные, делювиальные, а в долинах – аллювиально-делювиальные образования преимущественно крупнообломочного характера [Геокриология СССР, 1989]. В геодинамическом отношении все эти образования, постоянно перемещаясь, являются основой возникновения катастрофических оползней, селей, обвалов и осыпей.

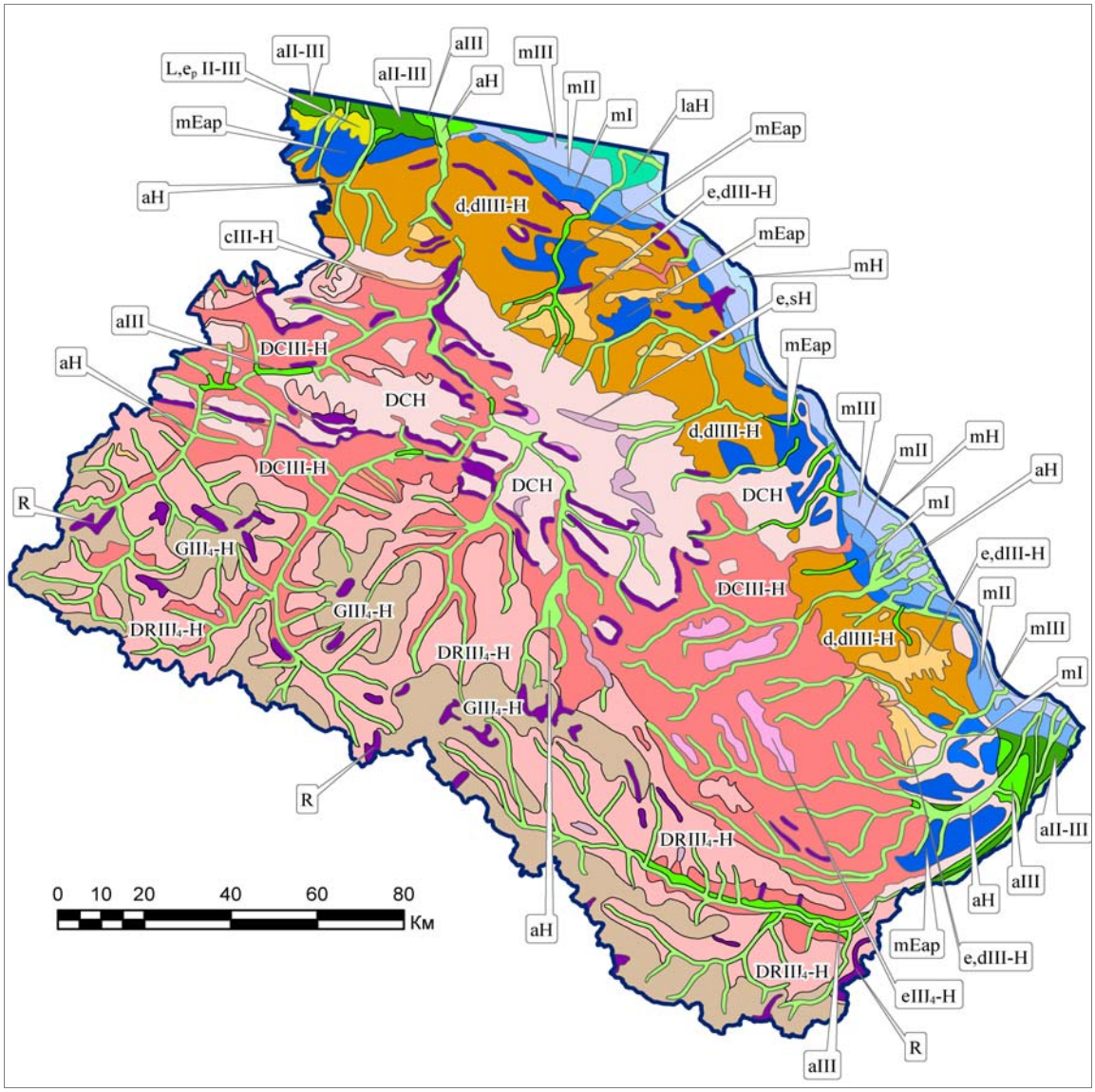


Рис.14. Четвертичные отложения, слагающие исследуемую территорию [Государственная геологическая карта..., 2009]

Условные обозначения

	раздел	звено		индекс	характеристика отложений
				R	*Выходы дочетвертичных образований*
Четвертичная система	Голоцен			aH	*Аллювий русел, пойм, низких надпойменных террас*. Валунно-галечные отложения, гравийные пески, глины (до 30 м)
				mH	*Мариний*. Новокаспийские и черноморские отложения. Пески полимиктовые, детритусовые с прослоями галечников и иловатых глин (8-25 м)
				e,sH	*Элювий и солифлюксий*. Суглинки и супеси щебнисто-дресвяные (до 10 м)
				laH	*Лимноаллювий*. Глины иловатые, суглинки, супеси (до 10 м)
				DCH	*Делювий и коллювий с участием солифлюксия*. Мелкозем плывунный, щебнисто-глинистый и дресвяно-глинистый (до 6 м)
	Плейстоцен. Неоплейстоцен (верхнее звено) – Голоцен			$GIII_4$-H	*Гляциалий, глациофлювиал и гляциолимний*. Валунно-галечные отложения с включениями глыб, дресвы, щебня, песка, глины (до 450 м)
				$DRIII_4$-H	*Коллювий, десерпций, солифлюксий*. Щебень с глыбами, дресвой, суглинками и скальными отторженцами (до 40 м)
				$eIII_4$-H	*Элювий*. Дресвяные суглинки и глины с включениями щебня (до 5 м)
				cIII-H	*Коллювий*. Щебнистые глины и суглинки, дресва, отломники (до 30 м)
				e,dIII-H	*Элювий и делювий*. Суглинки и супеси с дресвой, щебнем и глыбняком (до 200 м)
				DCIII-H	*Делювий и коллювий с участием солифлюксия*. Глыбово-щебнистые накопления с дресвой и глиной (до 50 м)
				d,dIII-H	*Делювий и деляпсий*. Суглинки щебнисто-дресвяные с включениями глыб (до 10 м)
	Плейстоцен (Неоплейстоцен)	верхнее		aIII	*Аллювий*. Валунно-галечные отложения с песком и гравием, глины, илы, алевролиты (до 400 м)
				mIII	*Мариний*. Пески, галечники, глины с редкой ракушкой (до 40 м)
		среднее – верхнее		aII-III	*Аллювий*. Глины песчанистые, супеси, гравийники, галечники (до 20 м)
				L, e_pII-III	*Лессоид*. Лёссовидные суглинки с четырьмя горизонтами погребенных почв (до 61 м)
		средне		mII	*Мариний*. Валунно-галечные отложения и конгломераты с прослоями песков (до 12 м)
		нижнее		mI	*Мариний*. Галечники и гравийники с редкими валунами и прослоями песков (до 150 м)
	Эоплейстоцен			mEap	*Мариний апшеронский*. Глины, песчаники, пески, прослои мергелей, галечников, ракушечников (до 600 м)

Четвертичная система. Эоплейстоцен (E). *Мариний апшеронский* (mEap) распространен в пределах прибрежных областей Горного Дагестана, наиболее полно вскрыт по рекам Аксай, Ямансу и Ярыксу. В разрезе преобладают светлые известковистые глины, песчаники и пески с мелкой галькой. Часто встречаются линзовидные прослои мергеля, ракушечника, гравия и конгломерата. Общая мощность осадков – до 600 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Четвертичная система. Неоплейстоцен (I-III). Неоплейстоцен, в виде покровно-прерывистого чехла, распространен практически повсеместно и представлен различными типами морских и континентальных образований, часто в сложных парагенетических сочетаниях [Государственная геологическая карта..., 2009].

Мариний (mI) в приморской равнине Горного Дагестана представлен бакинским маринием, образует IV морскую террасу Каспийского побережья к югу от г. Махачкалы и участвует в строении высоких террас рек Сулак, Курах и Самур. Отложения представлены конгломератами, детритусовыми известняками, песками и глинами мощностью от 5-10 до 150 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Мариний (mII) в приморской равнине Горного Дагестана представлен хазарским маринием. Террасы расположены на высотах 30-90 до 170 м и слагают до 5 уровней. Сложены конгломератами, детритусовыми известняками, песками и песчаниками. Мощность – до 26 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Лессоид ($L,e_pII-III$). Лессовидные суглинки с горизонтами палеопочв залегают на различных, преимущественно апшеронских, горизонтах и протягиваются полосой к северу от долины р. Терек. Суглинки палево-бурые, нередко лессовидные, пористые, комковатые с мицелиями и карбонатными включениями. Палеопочвы (до 4 горизонтов) представлены коричневато-бурыми, комковато-землистыми суглинками мощностью 0,2-0,8 м. Мощность отложений – 61 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Аллювий (aII-III) р. Самур слагает VII-XI речные террасы высотой от 75 до 210 м, представлен глинами песчанистыми. Мощность – 12-20 м и более [Государственная геологическая карта..., 2009].

Мариний (mIII). В Прикаспийской низменности мариний хвалынский завершает осадки двух трансгрессий Каспийского моря. Распространен на абсолютных отметках от +50 до 0 м. Представлен прибрежными и мелководными песками, «шоколадными» и зеленоватыми глинами, реже галечниками мощностью более 10 м. Морской ундалювий Дагестанской равнины слагает аккумулятивные части 6 террас, где представлен гравийно-галечными отложениями с прослоями и линзами песков, супесей и глин мощностью до 40 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Аллювий (aIII). Состав аллювиальных комплексов варьирует в широких пределах и в значительной степени зависит от вертикальной расчленённости рельефа и удаленности от горного сооружения. Аллювий рек, не связанных с горами, представлен различными сочетаниями песков, супесей, суглинков и глин. Во впадинах террасы погружены под голоценовые образования, в направлениях морских бассейнов замещаются дельтовыми и морскими осадками. Аллювий горных рек представлен валунно-галечниками, галечниками и гравийниками с прослоями песков. Мощность в бассейне Сулака, Самура – до 80-100 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Четвертичная система. Неоплейстоцен, верхнее звено – голоцен (III-H). *Делювий и деляпсий* (d,dlIII-H) приурочены, довольно часто, к зонам тектонических нарушений. Формирование их связано с блоковыми смещениями огромных пакетов, их дроблением в процессе транзита и постепенной трансформацией в оползни-потоки. В составе отложений – суглинки щебнисто-дресвяные с включениями глыб. Мощности отложений – от 5 до 10 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Делювий и коллювий с участием солифлюксия (DCIII-H) покрывают плоские слаборасчленённые местные водоразделы. Часто толщи имеют смешанный генезис (в том числе с сейсмогравитационными отложениями). Отложения представлены щебнем, глыбами в дресвяно-глинистой массе мощностью от 5-10 до 50 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Элювий и делювий (e,dIII-H) развиты в долинах разных порядков на пересечении ими высокогорных хребтов осевой зоны Большого Кавказа и частично – на территориях внутригорных депрессий. Слагают береговые и конечные морены, втянутые в оползание и сильно перемешанные со склоновым материалом. Суглинки и супеси со щебнем, глыбово-валунным материалом с линзами дресвяных глин и суглинков с включениями гальки и валунов различной степени окатанности. Мощность 3-5 генераций морен, флювиогляциальных террас, гляциоселевых конусов выноса и полигенных толщ в долинах ледникового выпахивания составляет до 200 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Коллювий (cIII-H) связан с выходами устойчивых к выветриванию скальных пород на крутых склонах горных долин, подножий эскарпов, плато и вулканических нагорий, часто образует прерывистые шлейфы. В типичных разрезах представлен нестратифицированными щебнистыми глинами и суглинками с дресвой и отторженцами мощностью до 20-30 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Элювий ($eIII_4$-H) плоских водоразделов и плато развит спорадически. Относительно большие площади его распространения приурочены к слабонаклонным платообразным поверхностям хребтов, градиенты колебаний поверхностей которых не превышают 50-60 м/км.

Представлен россыпями глыб, щебня и дресвяными суглинками, сплошного покрова не образует. Максимальная мощность – 1-2 м. В области морских субтропиков мощность элювия составляет до 5 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Коллювиальные, десерпционные и солифлюкционные образования ($DRIII_4$-H) относятся к многочленным парагенезам. Развиты в приледниковой зоне, занимающей в современном рельефе высокогорий сравнительно широкую полосу, ограниченную сверху уровнем региональной снеговой границы, а снизу – нижним пределом распространения не тающих в летний период снежников и фирновых полей. Здесь, в условиях развития сезонной и постоянной мерзлоты, большим распространением пользуются солифлюкционные процессы, формирующие псевдотеррасы – своеобразные натечные образования в форме языков различных размеров и форм. Образования представлены щебнем с глыбами, дресвой и скальными отторженцами. Мощность – до 40 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Гляциальные, гляциофлювиальные и гляциолимнические образования ($GIII_4$-H) представлены полигенными толщами сложного строения в переуглублённых участках троговых долин, выпаханных ледниками последнего оледенения. Днища долин заняты донной мореной максимума наступления ледников. Выше, как правило, с размывом залегает сложная неоднородная толща гравийных песков и валунно-галечников с прослоями ленточных глин, алевритов, супесей, линзами и гнездами ледниковых, обвально-осыпных, лавинно-селевых грубовалунных и глыбовых накоплений. Верхние перемытые горизонты толщи представлены валунно-галечными и гляциально-лимническими образованиями. Общая мощность образований – до 450 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Четвертичная система. Голоцен (H). *Делювиальные и коллювиальные образования* (DCH) с участием солифлюксия часто покрывают сплошным чехлом относительно пологие участки склонов (20-30°) и их подножья. Образуются в результате наложения процессов смыва и гравитационного перемещения материала. Это мелкозем плывунный, щебнисто-глинистый и дресвяно-глинистый мощностью 1-6 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Лимноаллювий (laH) слагает обширные пространства в низовьях Сулака. Глины иловатые, карбонатные светло-бурые суглинки с обломками пресноводных раковин, супеси. Мощность – до 10 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Элювий и солифлюксий (e,sH) развиты спорадически на участках уплощенных водоразделов предгорий и горной зоны. На абсолютных высотах 2200-3000 м элювий зачастую перерабатывается солифлюксионными процессами, поэтому эти образования объединены. Отложения представлены суглинками и супесями щебнисто-дресвяными с включениями щебня и глыб мощностью до 10 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Мариний (mH) представлен новокаспийскими отложениями, которые окаймляют берег моря до отметки -22 м и представлены песком с ракушкой, прослоями глин и супесей. Часто встречается рассеянная галька осадочных пород. Мощность – 8-15 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Аллювий русел, пойм, низких надпойменных террас (aH) распространен, в основном, в долинах крупных рек, где ширина их достигает 0,5-6 км. Отложения образуют единый комплекс из шести наиболее молодых террас, на высотах от 1-2 до 30-40 м, представлены галечниками с редкими валунами, прослоями и линзами глин, песков, супесей общей мощностью от 1-2 до 15-30 м. В бассейнах Сулака, Самура и более мелких рек отмечаются также аллювиальные отложения более древнего возраста (al, aII), в которых преобладает грубый валунно-галечный материал мощностью до 100-200 м [Государственная геологическая карта..., 2009].

Интрузивные образования. Магматические породы развиты в высокогорной части Дагестана в зоне Главного и Бокового хребтов. Они залегают в виде секущих даек различной мощности и прорывают весь комплекс отложений до верхнего тоара включительно, более молодые отложения магматическими телами не прорваны. Дайки в Горном Дагестане имеют северо-западное или северо-восточное простирание (падение под углом 40-90º); некоторые из них разбиты разломами северо-западного простирания (310-340º) и смещены по ним Отдельные дайки прослеживаются по простиранию на протяжении 2-4 км и более и имеют мощность от нескольких метров до 10 (реже до 18-20 м). Кроме секущих даек, хотя и гораздо реже, встречаются пластовые интрузии небольшой мощности. Дайки обычно приурочены к сбросовым трещинам, линиям крупных региональных разломов и зонам раздробленных пород, вытянутых параллельно крупным нарушениям [Голубятников, 1959].

Дайки приурочены к Северному диабазовому (Казбекскому) поясу, который прослеживается в районе Бокового хребта, от г. Диклосмта до р. Аварское Койсу, и к Южному диабазовому (Кахетинскому) поясу, распространенному в зоне Главного хребта и прослеживающемуся к северо-западу от р. Андийское Койсу. Дайки встречаются также в районе Бежитинской депрессии, где прорывают породы бежитинской свиты.

В районе Бокового хребта магматические породы представлены темно-зелеными и светло-серыми диабазами, диоритами и кварцевыми диоритами. В районе Главного хребта, особенно в Южном Дагестане, состав магматических пород более разнообразный. Здесь кроме типичных диабазов, габбро-диабазов, диоритов и диабазовых порфиритов, встречаются породы более кислого состава, по-видимому, более молодого возраста. К ним относятся дайки гранит-порфира, достигающие местами мощности 7-10 м, которые внедряются и прорывают дайки диабазов [Голубятников, 1959].

Тектоническое строение

Горная часть республики представлена *складчато-глыбовым сооружением Большого Кавказа* (восточной частью северного крыла мегантиклинория Большого Кавказа), к которому примыкают *Терско-Каспийский передовой прогиб* и *Кусаро-Дивичинский наложенный передовой прогиб* (рис.15).

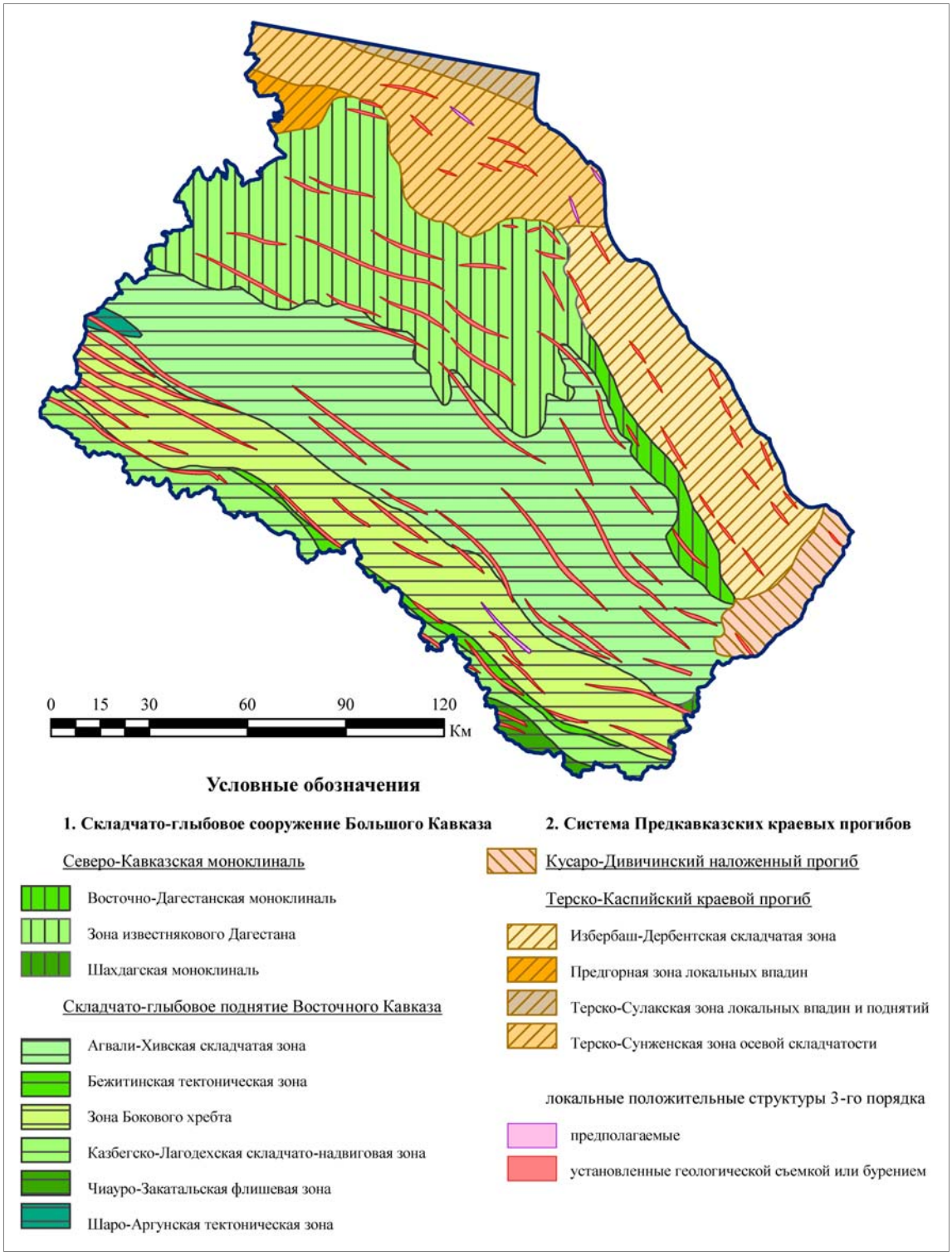


Рис.15. Тектоническое строение горной части Дагестана [Государственная геологическая карта..., 2009]

Складчато-глыбовое сооружение Большого Кавказа

Северная граница складчато-глыбового сооружения Большого Кавказа условно проводится по выходам на поверхность эоценовых отложений. Здесь различаются Складчато-глыбовое поднятие Восточного Кавказа и Северо-Кавказская моноклиналь.

Наиболее характерной чертой тектонического строения Горного Дагестана является линейное расположение складок параллельно современному простиранию Кавказа, которые определяют и контролируют современный тектонический план территории. Для территории характерно наличие двух морфологических типов складок: складки коробчатой формы с широким пологим сводом и крутыми крыльями, связанные преимущественно с жесткими карбонатными и песчаными породами; складки узкие, сжатые с боков, с практически исчезающим сводом, характерные для мягких глинистых толщ [Шмырин и др., 1968].

Складчато-глыбовое поднятие Восточного Кавказа расположено к востоку от р. Ардон до побережья Каспия и представляет собой перекрытое юрским складчатым чехлом поднятие с отметками до 3,5-4 км. Внутренняя структура характеризуется развитием субширотных и общекавказских киммерийских складчатых зон, разделенных крутыми разломами типа взбросов. Образования киммерийского структурного этажа (J_{1-2}) распространены наиболее широко и представлены следующими зонами: Агвали-Хивской, Шаро-Аргунской, Бокового хребта, Бежитинской, Казбегско-Лагодехской. Все осадки этажа смяты в складки, осложненные разрывами, а в южной части сорваны с основания. Интенсивность деформаций возрастает с севера на юг [Государственная геологическая карта..., 2009].

Агвали-Хивская складчатая зона (от Зоны Известнякового Дагестана на севере до Зоны Бокового хребта на юге) сложена нижне-среднеюрскими существенно песчанистыми осадками мелководного шельфа (квандринская и хельдихойская серии, рубасчайская, курахчайская и цурибская серии). На юго-западе зона ограничена Пуйским и Тиндино-Кейдынским разломами. Мощность разреза от байоса до плинсбаха составляет на западе зоны более 9 км, на востоке – до 9,7 км, в южной части – более 11 км. В структурном отношении Агвали-Хивская складчатая зона неоднородна. В её пределах отчетливо устанавливается усложнение внутренней структуры к югу, по мере приближения к зоне Бокового хребта. В целом для ее южной части характерна линейная складчатость, осложненная серией южно-вергентных разрывных нарушений взбросо-надвигового типа. В северо-восточном направлении складчатость упрощается и замещается зоной развития складок коробчатого типа, а затем моноклиналью, погружающейся под отложения верхней юры-мела [Государственная геологическая карта..., 2009].

Шаро-Аргунская тектоническая зона выполнена нижнеюрскими песчано-глинистыми образованиями амагматичной шаро-аргунской серии мощностью ~6 км. По ориентировке структур, литологическому составу и мощности осадков эта зона близка тектонической зоне

Бокового хребта. Внутренняя структура Шаро-Аргунской зоны характеризуется широким развитием симметричной или слегка опрокинутой на север складчатости с размахом структур от 0,5 до 1-2 км и углами падения от 40-55 до 85°. С севера и с юга зона ограничена разломами с амплитудой до первых сотен метров [Государственная геологическая карта..., 2009].

Тектоническая зона Бокового хребта является продолжением горст-антиклинория Главного хребта Центрального Кавказа, сложена песчано-глинистыми осадками нижне-среднеюрского возраста. В качестве граничных нарушений здесь выступают Пуйский разлом на севере зоны и Адайком-Казбегский – на юге. На западе зона сложена аргиллитами, алевролитами с прослоями песчаников плинсбах-тоарской джурмутской серии (до 5.8 км), в центральной части – ааленской вулканогенно-терригенной самурской (более 3.3 км) и плинсбах-тоарской джурмутско-самурской (~4.5 км) сериями, а на востоке – близкой по составу к последней тоар-ааленской ахтынской серией (более 4 км). Западнее Аварского Койсу зона представляет собой веерообразное горстовое поднятие, структурной основой которого являются система сжатых и изоклинальных складок. На этом отрезке горст-антиклинорий Бокового хребта расчленён системой продольных нарушений на ряд продольных блоков, ступенчато погружающихся в сторону смежных тектонических зон (Агвали-Хивской и Бежитинской). Восточнее Аварского Койсу антиклинорий испытывает погружение, благодаря чему здесь появляются более молодые (до аалена включительно) и менее дислоцированные отложения. Сжатые и изоклинальные складки уступают место более спокойным. Разрывные нарушения здесь также характерны для осевой части антиклинория. Они расчленяют тектоническую зону на ряд продольных блоков [Государственная геологическая карта..., 2009].

Бежитинская тектоническая зона представляет собой узкий (не более 10-12 км) грабен-синклинорий, заполненный интенсивно дислоцированными субфлишевыми терригенными осадками амагматичной тоар-ааленской бежитинской свиты. С севера она ограничена Адайком-Казбегским (Тляротинским), с юга – Ахтычайским разломами взбросо-надвигового типа. Ориентированный в северо-западном направлении грабен-синклинорий протягивается до верховий Самура, где постепенно выклинивается. Породы собраны в многочисленные крутые или изоклинальные складки северо-западного простирания, осложненные продольными разрывными нарушениями. В верховьях Аварского койсу на фоне устойчивого северо-западного простирания отмечается субширотный коленообразный изгиб зоны (вертикальная флексура) общей протяженностью до 15 км, связанный с развитием здесь разрывных нарушений север-северо-восточного и субширотного простирания [Государственная геологическая карта..., 2009].

Казбегско-Лагодехская складчато-надвиговая зона пространственно охватывает приводораздельную часть Главного хребта Восточного Кавказа и подразделяется на две

Куртатин-Курдульскую и Мачхалор-Даккичайскую структурно-формационные подзоны. Слагающие рассматриваемую зону толщи смяты в изоклинальные складки и осложнены многочисленными разрывами взбросового типа. Этими разломами складчатая зона расчленена на целый ряд продольных узких тектонических блоков [Государственная геологическая карта..., 2009].

Осадки альпийского структурного этажа сохранились на рассматриваемой территории в пределах Чиауро-Закатальской флишевой зоны поднятия Восточного Кавказа и Северо-Кавказской мониклинали Складчато-глыбового сооружения Большого Кавказа, а также в пределах Системы Предкавказских краевых прогибов.

Чиауро-Закатальскаяя флишевая зона на рассматриваемую территорию заходит в верховьях р. Ахтычай на юго-востоке Восточного Кавказа. В целом описываемая структура представляет собой моновергентную сжатую систему складок и взбросов, сформированных в условиях общего субмеридионального фронтального сжатия. Для нее характерны кливаж, выжатые покровы, широкое развитие продольных взбросо-сдвигов и сопряженных с ними линейных симметричных или опрокинутых на юг складок [Государственная геологическая карта..., 2009].

Северо-Кавказская моноклиналь охватывает северную периферийную часть горного сооружения, сложенную выходящим на поверхность преимущественно мальм-эоценовым комплексом осадков. Она выполняет роль соединительного крыла между орогеном и зоной Предкавказских краевых прогибов и представлена Зоной известнякового Дагестана, Восточно-Дагестанской и Шахдагской моноклиналями. Повсеместно толщи Северо-Кавказской моноклинали залегают трансгрессивно, запечатывая домезозойский фундамент и структуры киммерийского этажа [Государственная геологическая карта..., 2009].

Зона Известнякового Дагестана охватывает северо-восточное крыло Восточно-Кавказского складчато-глыбового поднятия и сложена терригенно-карбонатными осадками поздней юры, мела и палеоцен-эоцена мощностью до 5 км. От расположенных севернее структур Терско-Каспийского прогиба отличается складчатым строением, основу которого составляют коробчатые, иногда асимметричные или с опрокинутыми крыльями, антиклинальные складки значительной протяженности (до 60 км). В ядрах некоторых из них на дневную поверхность выведены толщи киммерийского структурного этажа. Разделяющие синклинали представляют собой крупные плоскодонные мульды, заполненные образованиями мела и реже палеоцен-эоцена. Зеркало складчатости погружается на север, в сторону краевых прогибов. По внешней северной и северо-восточной периферии зона ограничена подошвой олигоцен-нижнемиоценовых осадков. Ориентировка этой границы придала зоне клиновидную форму. На западе Дагестанского клина складки имеют субширотное простирание, тогда как к

юго-востоку от Сулака – северо-западное. Кроме складчатых структур зона Дагестанского клина осложнена северо-западными и субширотными вертикальными флексурно-разрывными зонами, сочетание которых реализовано в возникновении на острие клина Буйнакской ступени, заполненной образованиями палеоцена и эоцена [Государственная геологическая карта..., 2009].

Восточно-Дагестанская моноклиналь слагает восточное периклинальное замыкание Восточно-Кавказского складчато-глыбового поднятия. Также, как и на западном погружении орогена, здесь позднеюрско-эоценовый комплекс сорван с киммерийского основания. Масштабы срыва достигают максимума на северо-восточном склоне Джуфидагского антиклинория, где на толщи средней юры тектонически налегают отложения апт-альба. Внутренняя структура характеризуется пологими (10-20°, до 25°) залеганиями с падением на восток-северо-восток [Государственная геологическая карта..., 2009].

Шахдагская моноклиналь заходит на российскую территорию своей северо-западной частью в правом борту долины р. Самур. Сложена верхнеюрскими карбонатными лагунными и рифогенными отложениями судурской (до 100 м) и шахдагской (до 800 м) свит, перекрытыми доломито-известняковой и терригенно-карбонатной нижнемеловыми толщами (более 500 м). Моноклиналь полого (3-7°) падает на юго-восток и местами осложнена мелкими (20-40 м) коробчатыми складками [Государственная геологическая карта..., 2009].

Система Предкавказских краевых прогибов

Система Предкавказских краевых прогибов развивается унаследованно от индосинийского и киммерийского времени и представлена Терско-Каспийским краевым и Кусаро-Дивичинским наложенным прогибами. Конфигурация поперечного сечения прогибов указывает на их формирование под воздействием субмеридианального сжатия.

Терско-Каспийский передовой прогиб граничит с Терско-Кумской впадиной Предкавказской платформы по системе региональных глубинных разломов севернее широтного течения р. Терек. На северо-западе – по стратиграфической границе палеоген-меловых отложений. Прогиб заполнен мощной толщей кайнозойских отложений. В предгорной части Дагестана горные породы смяты в пологие складки, линейно-вытянутые в северо-западном направлении, осложненные разрывными нарушениями, преимущественно, сбросового типа. По побережью Каспийского моря в северо-западном направлении до границы Дагестана антиклинальные складки, сложенные палеоген-неогеновыми отложениями, своим северо-восточным крылом уходят под четвертичные отложения, образуя прогиб. Залегание слоев в осевой части прогиба горизонтальное. В пределах прогиба установлен ряд поднятий [Шмырин и др., 1968]. В границах рассматриваемой территории прогиб объединяет Терско-Сулакскую и Предгорную зоны локальных впадин, Терско-Сунженскую и Избербаш-Дербентскую складчатые зоны. Прогиб резко асимметричен. Его северный, более пологий, борт погружается

на юг с градиентом 20-30 м/км, южный же имеет крутизну не менее 100-150 м/км [Государственная геологическая карта..., 2009].

Терско-Сулакская зона локальных впадин и поднятий расположена в северо-западной части Терско-Каспийского краевого прогиба, имеет ширину до 35-40 км и представлена Притерекской, Червленой и Сулакской локальными впадинами (линейными, субширотной или северо-западной ориентировки), а также Советско-Курской зоной и Бабаюртовским локальным поднятием. В пределы рассматриваемой территории попадает незначительная часть зоны, представленная Сулакской впадиной, днище которой на уровне доюрского фундамента расположено на глубинах до 16 км [Государственная геологическая карта..., 2009].

Терско-Сунженская зона осевой складчатости имеет запад-северо-западную ориентировку и вытянута более чем на 100 км, на востоке смыкается с Избербаш-Дербентской складчатой зоной. Зона представлена сложно построенными антиклиналями, которые разделены синклиналями. Складки в юрско-эоценовом структурном ярусе имеют острую или веерообразную форму, в периклинальной зоне коробчатую, повсеместно асимметричны, осложнены взбросо-надвигами и взбросо-сдвигами, с которыми образуют разломно-складчатые клиновидные структуры, обусловленные встречным погружением разрывных нарушений (ширина складок – 3-5 км, протяженность – 60-70 км, амплитуда – от первых сотен метров до 2 км). В олигоцене-раннем миоцене антиклинальные зоны имеют ярко выраженное диапировое и криптодиапировое строение. Средне-верхнемиоценовый подъярус представлен интенсивно дислоцированными гребневидными складками различной морфологии, плиоценовый – пологими складками облекания, обычно денудированными в сводах [Государственная геологическая карта..., 2009].

Предгорная зона локальных впадин расположена между горным сооружением и Терско-Сунженской антиклинальной зоной. Она представлена рядом кулисообразно расположенных локальных впадин ромбовидной конфигурации, разделенных перемычками северо-западной ориентировки. Глубины залегания днищ наиболее глубоких впадин по кровле верхней юры, нижнего и верхнего мела составляют соответственно 6-8, 5,2-6,4 и 5-6 км, разделяющих их перемычек на 0.8-1 км выше. Впадины резко асимметричны и характеризуются более крутым южным крылом и более пологим северным [Государственная геологическая карта..., 2009].

Избербаш-Дербентская складчатая зона слагает юго-западное замыкание Терско-Каспийского прогиба и является промежуточной ступенью между прогибом и горным сооружением. На поверхности она сложена образованиями палеогена-неогена общей мощностью до 5 км. В пределах Избербаш-Дербентской складчатой зоны выделяются коробчатые антиклинальные складки, нарушенные продольными, зачастую сходящимися на

глубине, взбросами, надвигами и сбросами. Подвижки по разломам происходят и в настоящее время [Государственная геологическая карта..., 2009].

Кусаро-Дивичинский наложенный прогиб является самым восточным звеном зоны Предкавказских краевых прогибов. На северо-западе он сливается с Терско-Каспийским прогибом, в районе нижнего течения р. Гюльгерычай и на юге выходит за пределы территории Дагестана. По глубине заложения Кусаро-Дивичинский наложенный прогиб значительно меньше Терско-Каспийского. Прогиб представлен пологой моноклинальной структурой с общим падением слоев на юго-восток, на западе осложнен поперечным разломом глубинного заложения (Самурский разлом) [Шмырин и др., 1968]. Основная часть прогиба имеет субширотное простирание и выполнена плиоцен-четвертичными отложениями мощностью до 4 км. Отложения прогиба перекрывают периклинальную часть Терско-Каспийского краевого прогиба [Государственная геологическая карта..., 2009].

Степень развития ***разрывных нарушений*** в различных областях Горного Дагестана не одинакова (см. рис.13). Разрывные нарушения в зоне среднеюрско-меловой складчатости не имеют широкого развития. В основном, здесь преобладают мелкие, продольные, реже поперечные нарушения типа сколов небольшой амплитуды, не имеющие региональной распространенности и не играющие существенной роли в тектонике района. Ряд более крупных нарушений располагается на границе нижнеюрской и среднеюрско-меловой складчатостей [Шмырин и др., 1968]. На Восточном Кавказе известно большое количество крупных разрывных нарушений. Их можно разделить на две группы: разрывные нарушения общекавказского направления и поперечные.

Разрывы общекавказского направления чаще всего четко выражены и прослеживаются на большие расстояния. Они, как правило, отделяют тектонические зоны и подзоны одну от другой. Среди этой группы разрывов наиболее крупными являются Ахтычайский, Адайком-Казбегский, Фалфанский и Пуйский разломы. В зонах смятия, местами или на всем протяжении сопровождающих разломы, располагаются дайки изверженных пород и кварцево-рудные жилы, наиболее часто встречающиеся на пересечении с поперечными разрывами. Кроме продольных разломов общекавказского направления, на Восточном Кавказе известны разломы антикавказского направления (*поперечные разломы*): Самурский, Гамри-Озеньский, Хзан-Орский, Кутлабский и целая серия в бассейне р. Аргун. Наиболее крупным из них является Самурский, играющий заметную роль в структуре Восточного Кавказа [Голубятников, 1959; Государственная геологическая карта..., 2009].

По проявлению ***неотектонических движений*** территория Северного Кавказа весьма разнородна. Одной из главных особенностей новейших движений является их унаследованное развитие. К числу главных неотектонических зон рассматриваемой территории принадлежат

описанные выше: Терско-Каспийский передовой прогиб, Кусаро-Дивичинский наложенный передовой прогиб, мегантиклинорий Большого Кавказа. Каждая из зон отличается сложными новейшими движениями в течение неотектонической стадии. Прогибы, как правило, характеризовались периодами погружений, разделенных временем прекращения погружений или некоторого поднятия, в результате их втягивания в поднятие Большого Кавказа. Восточная часть мегантиклинория Большого Кавказа, приуроченная к описываемой территории, в неотектонической стадии испытала поднятие с амплитудой новейших движений от 0-1 км (в северной части) до 3.0-3.5 км (в южной части), также существенно отличающихся по характеру [Тагиров и др., 1984].

Современные унаследованные тектонические движения в пределах Горного Дагестана имеют положительный знак, вся изучаемая территория испытывает поднятие, величина которого изменяется от 2 до 8 мм/год (рис.16) [Шихрагимов и др., 1991]. Нулевая изобаза проходит, приблизительно, по северной границе изучаемой территории, а в юго-восточной, прибрежной, части участка протягивается в направлении от пос. Мамедкала к южной границе Дагестана. Далее, в юго-западном направлении, наблюдается равномерное увеличение скоростей современных поднятий до 8 мм/год. Скорость поднятия земной поверхности под воздействием новейших тектонических движений в пределах Известнякового Дагестана составляет 6-8 мм/год, в пределах Сланцевого – более 8 мм/год. Изобаза 8 мм/год проходит на западе по склонам Андийского хребта, далее по долине р. Аварское Койсу, в ее нижнем течении, и продолжается по линии селений Леваши – Уркарах, выходя к границе с Азербайджаном у с. Магарамкент. Эта изобаза повторяет, примерно, осевую линию Главного Кавказского хребта. Изобазой 8 мм/год выделяется структура мегантиклинория Большого Кавказа [Тагиров и др., 1984].

Современные тектонические движения оказывают отрицательное влияние на устойчивость склонов изучаемой территории. В результате значительных скоростей поднятия горной части республики происходит увеличение высоты и крутизны склонов. Это приводит к увеличению энергии рельефа, что играет существенную роль в развитии экзогенных процессов.

Сейсмическая активность

Интенсивностью современных тектонических движений обусловлена сейсмическая активность горной части Дагестана. Территория республики является одним из самых сейсмоактивных районов Северного Кавказа. Землетрясения вызывают дробление и трещиноватость горных пород, которые ускоряют их выветривание и денудацию, предопределяя тем самым интенсивное развитие всех видов ЭГП, прежде всего эрозионных, селевых и оползневых процессов [Тагиров и др., 1984].

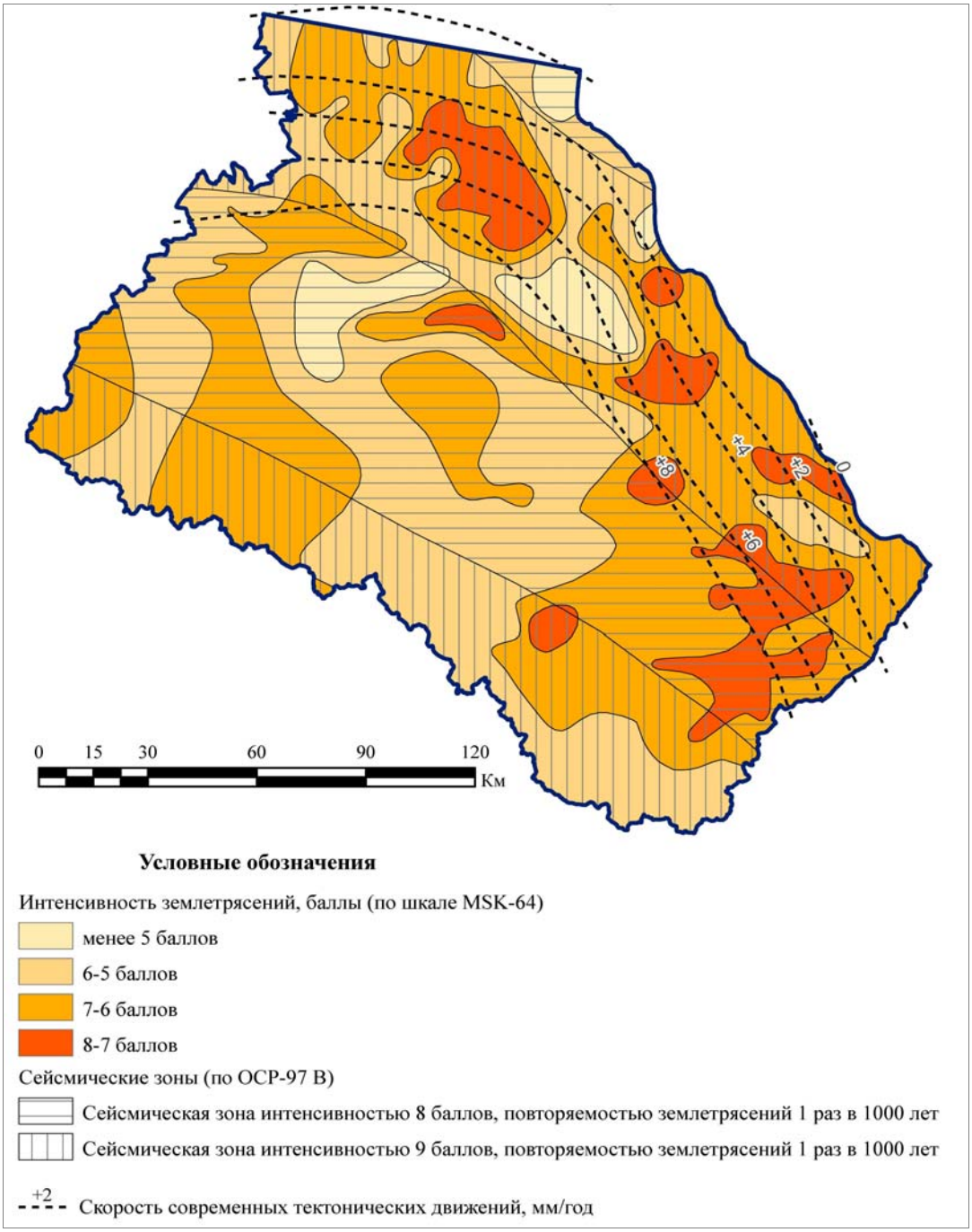


Рис.16. Сейсмическая активность горной части Дагестана [Цыпина и др., 1998]

Современные сейсмотектонические процессы, по мнению многих авторов [Федоренко и др., 1978; Чуринов, Цыпина, 1959], оказывают непосредственное влияние на устойчивость склонов, которая определяется соотношением условно-мгновенной прочности пород и напряжений, возникающих во время землетрясений. При землетрясениях силой 6 баллов и более сейсмические напряжения превышают мгновенную прочность приповерхностных пород и нарушают устойчивое состояние склона. Это приводит к образованию крупных обвалов и оползней во время землетрясений, случаи образования которых отмечались в Дагестане [Левкович и др., 1979].

Расположение зон наибольшей сотрясаемости приурочено к районам распространения сейсмогенерирующих структур, которыми являются неотектонические активные флексурно-разрывные зоны, активные разломы и узлы их пересечения. В Дагестане такими сейсмогенерирующими структурами являются флексурно-разрывная переходная зона от орогенных структур Большого Кавказа к Терско-Каспийскому прогибу (*Хасавюртско-Беноййская флексурно-разрывная зона*), а также переходная зона от орогенных структур Большого Кавказа к Кусаро-Дивичинскому прогибу (*Избербаш-Дербентская флексурно-разрывная зона*) [Цыпина и др., 1998]. Кроме того, сейсмогенерирующими структурами в Дагестане являются крупные активные региональные тектонические разломы – Хунзахский и Гунибский, к которым приурочено расположение очагов наиболее сильных землетрясений. Районы повышенной сейсмической активности также отмечаются вдоль линий новейших разломов (Сулакский, Касумкентский разломы, система разломов Главного Кавказского хребта) [Шихрагимов и др., 1991].

Очаги землетрясений во всем регионе мелкофокусные (только отдельные из них располагаются на глубине более 30 км), чем объясняется большой макросейсмический эффект землетрясений, несмотря на их невысокие энергетические характеристики ($M \leq 7$). Анализ результатов макросейсмических наблюдений показал, что для многих землетрясений отмечено несовпадение пространственного положения инструментального эпицентра и его расположения по макросейсмическим наблюдениям. Это, по-видимому, связано с наблюдениями наибольшего макросейсмического эффекта в зонах распространения слабых и водонасыщенных грунтов [Цыпина и др., 1998]. Очаги наиболее сильных землетрясений ($M \geq 6.0$) тяготеют к погруженным участкам палеозойского фундамента, пространственно совпадая с системой глубинных разломов: с субкавказскими Черногорским (в пределах Дагестанского клина) и Пшекиш-Тырныаузским (на всем протяжении от р. Аксай до р. Самур) разломами; с поперечными Сулакским и Кумторкалинским (в пределах Дагестанского клина) и Касумкентским на всем его протяжении разломами, а также с системой дизъюнктивов Главного Кавказского хребта в верховьях р. Самур [Тагиров и др., 1984].

Наибольшие макросейсмические деформации (сотрясаемость в 7-8 баллов) на территории Дагестана происходят в переходных зонах от хребтов к прогибам – полосе низкогорий, протягивающейся от Хасавюрта до Буйнакска, зоне восточных склонов Большого Кавказа вдоль побережья Каспийского моря и других. В целом, вся территория Дагестана, располагающаяся южнее долины р. Терек, представляет собой единую сейсмическую область, в пределах которой имеются районы и отдельные участки с сильной макросейсмической сотрясаемостью [Цыпина и др., 1998]. Наиболее опасным районом в сейсмическом отношении является Предгорный Дагестан, район междуречья Сулак – Шура-Озень, где в 1970 г.

произошло разрушительное 8-балльное землетрясение. Такой же силы землетрясения имели место 20 апреля 1966 г. (Южно-Дагестанское) и 9 января 1975 г. (Буйнакское) [Шихрагимов и др., 1991]. Впервые для этой территории была выделена область возможного возникновения землетрясений, имеющих энергетический класс К=17, вероятность возникновения которых в горной части Дагестана оценивается периодичностью в 220 лет. В Южном Дагестане зоны 8-балльных землетрясений значительно более локализованы. Максимальные сотрясения в 7 баллов возможны практически на всей остальной части Горного и Предгорного Дагестана [Тагиров и др., 1984].

К сильным землетрясениям, в результате которых на территории Дагестана образовывались крупные сейсмогравитационные оползни и обвалы, происходили разрушения как отдельных зданий и сооружений, так и целых населенных пунктов, которые сопровождались человеческими жертвами, относятся указанные выше землетрясение 20 апреля 1966 г. (Южно-Дагестанское) и землетрясение 14 мая 1970 г. [Агамирзоев и др., 1981; Ананьин и др., 1980; Горбунова, Шаторная, 1977; Штейнберг и др., 1974].

20 апреля 1966 г. в 16 часов 42 мин. в районе с. Касумкент (в 150-170 км к югу от г. Махачкалы) произошло землетрясение магнитудой 5.5-5.6 (глубина очага – 19 км). Землетрясение проявилось на поверхности земли с интенсивностью до 8 баллов, вызвав разрушения жилых строений на значительной территории. Эпицентральная область землетрясения находилась на границе Сланцевого Дагестана и Кусаро-Дивичинского прогиба, в пределах Колохского хребта. Землетрясение ощущалось на значительной территории Дагестана и Азербайджана (от р. Алазани на западе до г. Шемахи на юге и до г. Махачкалы на севере). Площадь, охваченная 4-балльной изосейстой, составила ~85 тыс. км^2 [Ананьин и др., 1970]. В плейстосейстовой 8-балльной зоне отмечались значительные обвально-оползневые деформации и разрушения жилых строений. Значительная часть строений оказалась в аварийном состоянии.

В результате землетрясения 14 мая 1970 г., являющегося вторым по энергии с начала XX в. и сильнейшим инструментально зарегистрированным землетрясением Кавказа, было разрушено 11 и сильно повреждено 257 населенных пунктов. Заметные повреждения наблюдались примерно на 25 % территории республики – в 16 сельских районах и нескольких городах (Буйнакск, Кизилюрт, Хасавюрт, Махачкала, Каспийск), где проживает более 50 % населения Дагестана. В результате землетрясения без крова осталось ~45 тыс. чел. Во многих местах (главным образом в междуречье рек Сулак и Шура-Озень) образовались многочисленные обвально-осыпные, оползневые проявления, на поверхности земли образовались трещины протяженностью в несколько сот метров [Тагиров и др., 1984].

Рассмотренные случаи подтверждают влияние сейсмотектонических процессов на ЭГП, заключающееся в нарушении энергетического равновесия склоновых отложений при

землетрясениях, о чем свидетельствуют примеры синхронности их развития. Развитие наиболее опасных ЭГП (сейсмогенных оползней, селей, осыпей, обвалов и др.) обычно приурочено к предгорным и горным районам республики с сейсмичностью 6 и более баллов, для которых характерна комплексная активность склоновых процессов [Цыпина и др., 1998]. Все землетрясения интенсивностью более 7-8 баллов в Горном Дагестане сопровождались активизациями обвально-оползневых и селевых процессов [Шихрагимов и др., 1991]. Землетрясения меньшей балльности также оказывают влияние на активизацию опасных геологических процессов.

3.6. Гидрогеологические условия

Гидрогеологические условия Дагестана весьма разнообразны и существенно отличаются в его низменной части, предгорной и горной.

В Предгорном Дагестане и Приморской низменности Южного Дагестана в палеоген-неогеновых и четвертичных отложениях залегают пресные безнапорные и напорные воды (дебит родников – 0.05-3.0 л/с, скважин – 0.1-2.4 л/с). На глубине 900-1600 м залегают термальные воды среднемиоценовых отложений, разнообразного химического состава с минерализацией от 3.0-5.0 до 80 г/л [Схема…, Т.2, кн.1, 2007].

В пределах Горного Дагестана подземные воды приурочены к отложениям различного геологического возраста, гидрогеологические условия которых сложны и разнообразны. К наиболее важным для формирования подземных вод особенностям природных условий описываемой территории относятся: горный и высокогорный, глубоко расчлененный, рельеф с перепадом высот от 1 до 4 км (обусловливает вертикальную зональность атмосферного питания подземных вод и высокую интенсивность подземного стока); увлажнение территории за счет атмосферных осадков, имеющее ярко выраженный сезонный характер и вертикально зональную структуру (определяет инфильтрационное питание подземных вод) [Кулаев и др., 1992].

В условиях синклинального залегания пород подземные воды обладают значительными напорами и дебитами. В пределах Горного Дагестана в области питания выделяются грунтовые подземные воды, в зонах погружений – пластовые, пластово-трещинные. Питание подземных вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод, движение – от водоразделов к долинам, где происходит их разгрузка. По химическому составу воды области питания гидрокарбонатно-кальциевые, пресные, холодные. По мере удаления от области питания воды, циркулирующие в породах различной промытости, метаморфизации, приобретают высокую минерализацию. С глубинными разломами связаны крупнодебитные термальные, часто минерализованные восходящие источники [Шмырин и др., 1968].

Для Внутригорного известнякового Дагестана характерны трещинно-карстовые воды, приуроченные к карбонатным трещиноватым коллекторам меловых отложений. Дебиты родников (35-180 л/с) зависят от количества выпадающих атмосферных осадков. Родники, связанные с поровыми коллекторами и делювиально-аллювиальными отложениями речных долин, имеют дебиты, не превышающие 0.5-1.0 л/с.

В Высокогорном Дагестане распространены трещинно-пластовые пресные воды, приуроченные к обводнённым дислоцированным отложениям юрского возраста. Здесь отмечаются многочисленные выходы родников с дебитом 0.05-2.0 л/с (реже до 5.0-10.0 л/с). С зонами тектонических нарушений связаны минеральные источники с минерализацией 1.2-10.0 г/л углекислого, азотно-углекисло-метанового и метанового газового состава [Схема…, Т.2, кн.1, 2007].

Обводненность горных пород крайне неравномерна и зависит от литолого-стратиграфических и структурно-тектонических условий в горных сооружениях. По условиям, непосредственно влияющим на динамику ЭГП, подземные воды разделены на разобщенные гидравлически стратиграфо-литологические комплексы и горизонты. В пределах территории выделяются: водоносный комплекс верхнего мела, водоносный горизонт песчано-глинистой толщи апт-альба Известнякового Дагестана, водоносный горизонт карбонатных образований неокома Известнякового Дагестана, водоносный комплекс верхне-нижнеюрских отложений [Шихрагимов и др., 1991].

Подземные воды горизонтов и комплексов залегают в основном глубоко от поверхности, разгружаются в виде родников в отрицательных формах рельефа (котловины, долины, врезы и др.), на склонах по разрывным нарушениям, прорезанным отрицательными элементами рельефа в местах обнажения водоупоров (дебит родников 0.01-15 л/с). По химическому составу выделяются подземные воды различного типа (гидрокарбонатные, соляно-щелочные содовые и др.) с минерализацией 0.2-1.3 г/л [Шихрагимов и др., 1991].

Кроме водоносных горизонтов коренных отложений подземные воды широко распространены в четвертичных отложениях. Они приурочены к морским, аллювиальным, делювиальным и другим песчано-глинистым отложениям. Водоносный горизонт четвертичных отложений не имеет сплошного распространения, характеризуется мощностью от нескольких сантиметров до 10 м и более, залегает на глубине от 0 до 20 м. Воды сильно отличаются по составу. Среди них встречаются как пресные воды, так и воды различной минерализации [Схема…, Т.2, кн.1, 2007].

Особый интерес представляет режим подземных вод в присклоновых частях массивов, так как именно в этой зоне происходит формирование и развитие наиболее активных ЭГП. «Кавказский» тип питания поверхностных водотоков, с кратковременным половодьем в теплую

часть года и резкими суточными колебаниями расхода, предопределяет особенности режима подземных вод, гидравлически связанных с поверхностными. Пестрота геологического строения территории, наличие огромного количества тектонических и стратиграфических контактов, как проницаемых, так и водоупорных, определяют сложный характер движения и разгрузки подземных вод [Кулаев и др., 1992].

Обвально-осыпные, делювиально-осыпные отложения, распространенные на более древних магматических и метаморфических породах, характеризуются достаточно большой проницаемостью. Источником их питания являются летне-весенние талые и дождевые воды. Наиболее интенсивно разгрузка вод происходит в апреле-августе в виде высачивания и родников с часто изменяющимися дебитами (до 0.1 л/с), которые обычно наблюдаются в основании шлейфов делювиально-осыпных и обвально-осыпных накоплений [Кулаев и др., 1992].

В делювиальных отложениях, широко развитых на склонах долин, наблюдаются сезонные подземные воды спорадического распространения. В этих отложениях формируются подземные воды типа верховодки. Источником их питания являются весенние инфильтрационные талые и дождевые воды, время основного питания – февраль-май. Зона насыщения небольшой мощности (до первых метров) формируется над кровлей дочетвертичных пород, выступающих в роли местного водоупора. Обычно разгрузка происходит в виде родников и высачивания (дебит – 0.1-0.2 л/с) в многочисленные овраги и промоины [Кулаев и др., 1992].

Режим подземных вод оползневых накоплений нестабилен, его особенности определяются неравномерной проницаемостью оползневых отложений, а также гидрогеологическими условиями нижележащих пород. Обычно в зимнюю межень зоны водонасыщения в оползнях исчезают полностью или слабо водообильны. Весной в результате увлажнения талыми водами и летом после интенсивных дождей уровень подземных вод в оползневых отложениях резко поднимается, на что указывает возникновение временных родников. Движение вод происходит по подошве оползней, где водоупором служит зона скольжения оползней, состоящая из глинистого материала. Разгрузка вод происходит в нижних частях склонов в современных активных оползнях и в виде многочисленных высачиваний и рассредоточенных источников (дебит – 0.1-0.6 л/с), отмечающихся гипсометрически выше, на участках выполаживания оползневых склонов [Кулаев и др., 1992].

В целом влияние подземных вод на развитие ЭГП заключается: в увеличении нагрузки на склон за счет веса воды, содержащейся в водоносном горизонте и гидродинамическом давлении фильтрующихся вод; в гидростатическом давлении воды в трещинах, а также во взвешивающем воздействии на грунтовую толщу. Кроме того, следует отметить наличие

родников, мочажин и других форм проявления подземных вод, отмечающихся на склонах и приводящих к активизации оползней, которая, как правило, отмечается в весенний и осенний периоды, а также в периоды затяжных дождей.

3.7. Геокриологические условия

Среди факторов, контролирующих современное распространение и состояние мерзлых пород на рассматриваемой территории, основными являются рельеф и климат территории (см. п.п. 3.1., 3.3). Наличие мерзлых горных пород в горной части, целиком обусловлено проявлением высотной географической поясности и, как ее составной части, поясности геокриологической, которая выражается в понижении температуры пород, увеличении сплошности и мощности криолитозоны с высотой. Под многолетними снежниками и ледниками, широко развитыми выше снеговой границы, температура пород через 0 ºС не переходит. С увеличением континентальности и аридности климата, наблюдающимся на Кавказе в направлении с запада на восток, граница распространения многолетнемерзлых пород (ММП) в горах повышается [Геокриология СССР, 1989].

Среди локальных факторов геологической природы следует отметить осыпи, обвалы и другие скопления грубообломочного материала (курумы, каменные глетчеры): в условиях континентального климата при маломощном несомкнутом снежном покрове крупноглыбовые, лишенные дисперсного заполнителя, образования оказывают сильное (до 3-4 ºС) охлаждающее влияние за счет конвекции холодного воздуха зимой и застаивания его в пустотах в летний период. Существенное влияние на климат высокогорья и термический режим грунтов оказывает ветровой режим. С высотой повторяемость и скорость ветров возрастают. Это приводит к уменьшению различий среднегодовых температур воздуха и пород [Геокриология СССР, 1989].

В пределах Большого Кавказа наиболее широко развит островной и редкоостровной тип распространения многолетнемерзлых пород. На Восточном Кавказе в силу большей расчлененности рельефа область редкоостровного распространения мерзлых пород сужается и встречается лишь в виде относительно узких поясов. В поясе несплошного распространения мерзлых толщ (редкоостровного, островного и прерывистого) в пределах рассматриваемой территории преимущественно развиты породы со среднегодовой температурой от +2 до -2 ºС. С повышением абсолютных отметок в соответствии с высотно-экспозиционной поясностью происходит закономерное понижение среднегодовых температур пород (до -10 ºС и ниже). Нижняя граница распространения несплошной мерзлоты на Кавказе колеблется до 2700-3200 м. Ниже границы островного и редкоостровного распространения ММП в области развития талых и немерзлых пород в рассматриваемой горной системе практически повсеместно существует сезонное промерзание пород [Геокриология СССР, 1989]. Максимальная глубина сезонного

промерзания грунтов на территории республики составляет 50-52 см, средняя не превышает 30 см [Схема…, Т.2, кн.1, 2007].

3.8. Современные экзогенные геологические процессы в Горном Дагестане

Территория Горного Дагестана подвержена воздействию многих видов ЭГП (табл.5). Интенсивность их развития обусловлена многими факторами, основными из которых являются геологическое строение, значительная расчлененность рельефа, большая крутизна склонов, высокая сейсмичность и особенности климатических условий.

Таблица 5.

Классификация экзогенных геологических процессов,
развитых в пределах Горного Дагестана

Группа	Класс	Тип
Связанные с действием многих факторов	Выветривание	Физическое
		Химическое
		Биологическое
Связанные с действием поверхностных вод	Водотоков	Сели
		Эрозионно-аккумулятивные процессы временных водотоков
		Эрозионно-аккумулятивные процессы постоянных водотоков
Связанные с действием подземных вод	Химическое выщелачивание	Карст
	Механический вынос	Суффозия
Связанные с действием силы тяжести (гравитационные)	Движение без потери контакта со склоном	Оползни
		Лавины
	Движение с потерей контакта со склоном	Обвалы
		Осыпи
Связанные с промерзанием и оттаиванием горных пород	Оттаивание горных пород	Каменные моря и чехлы
		Каменные глетчеры
	Промерзание горных пород	Снежно-фирновые и ледяные образования пещер и шахт

Наиболее распространенными и представляющими опасность для народнохозяйственных объектов являются селевые, обвально-осыпные и оползневые процессы, характеристика которых приводится более подробно.

Процессы, связанные с действием многих факторов

Развитие ЭГП обусловлено наличием выветрелых, то есть подготовленных в результате ***выветривания*** к перемещению и накоплению, горных пород. Процессы выветривания на рассматриваемой территории подчинены закону вертикальной зональности. Преобладающим типом является физическое выветривание, обусловленное, главным образом, суточными и сезонными колебаниями температур. В высокогорно-ледниковом поясе именно физическое выветривание является одним из главнейших факторов разрушения пород. Интенсивное

механическое дробление пород, происходящее здесь в результате воздействия комплекса факторов, приводит к образованию мощных подвижных осыпей, курумов и каменных россыпей. Высокогорный ледниковый пояс в Горном Дагестане является основным источником рыхлообломочного материала, формирующим селевые потоки. С выветриванием связано также развитие обвально-осыпных и других процессов [Тагиров, 1974].

Процессы, связанные с действием поверхностных вод

На рассматриваемой территории широко развиты: сели, эрозионно-аккумулятивные процессы временных водотоков, эрозионно-аккумулятивные процессы постоянных водотоков, а также плоскостная эрозия [Тагиров и др., 1984].

Интенсивность проявления ***селевых процессов*** в Горном Дагестане высока. В отличие от других видов ЭГП, сели характеризуются большой линейной протяженностью зоны проявления и воздействия. Широкое развитие селевых процессов в Горном Дагестане обусловлено сочетанием природных условий [Тагиров, 1974]: горный рельеф с крутыми, преимущественно обнаженными, склонами и значительными уклонами русел рек и тальвегов временных водотоков; наличие значительных запасов рыхлообломочного материала на склонах долин и в руслах водотоков; интенсивный склоновый и русловой сток, обусловленный климатическими условиями (выпадением значительного количества атмосферных осадков); развитие на склонах ЭГП (выветривание, оползни, обвалы, осыпи, плоскостной смыв); отсутствие травяной и, главным образом, лесной растительности; активные сейсмотектонические явления.

Селевыми проявлениями охвачены, в основном, высокогорные и среднегорные районы (рис.17). Преимущественно, сели формируются по притокам первого порядка, селеносными являются притоки 2-го и 3-го порядков таких крупных рек, как Самур, Курах, Чирагчай, Андийское Койсу, Аварское Койсу, Кара-Койсу, Казикумухское Койсу. Сами же крупные реки не селеносны. Объемы единовременных выносов селей составляют от нескольких сот до нескольких тысяч кубических метров, по этому параметру выделяются три категории селей: малые (до 1 тыс.м^3), средние (1-10 тыс.м^3), крупные (свыше 10 тыс.м^3) [Тагиров и др., 1984].

В Горном Дагестане очаги зарождения селей по гидрологическим особенностям их формирования и развития подразделены на три группы.

К *первой группе* отнесены очаги зарождения селей, находящихся в долинах небольших ручьев и временных водотоков, где наблюдаются благоприятные условия для постепенного накопления рыхлообломочного материала в тальвегах. Селевая катастрофа обычно наступает после длительного периода накопления рыхлого материала в результате дождей и ливней, иногда и таяния снега. В Горном Дагестане очаги зарождения селей этой группы имеют широкое распространение. В пределах водотока, где зарождаются селевые потоки, они не носят

катастрофического характера, но при выходе в более крупные водотоки могут вызвать их подпруживание и формирование более мощных селевых потоков.

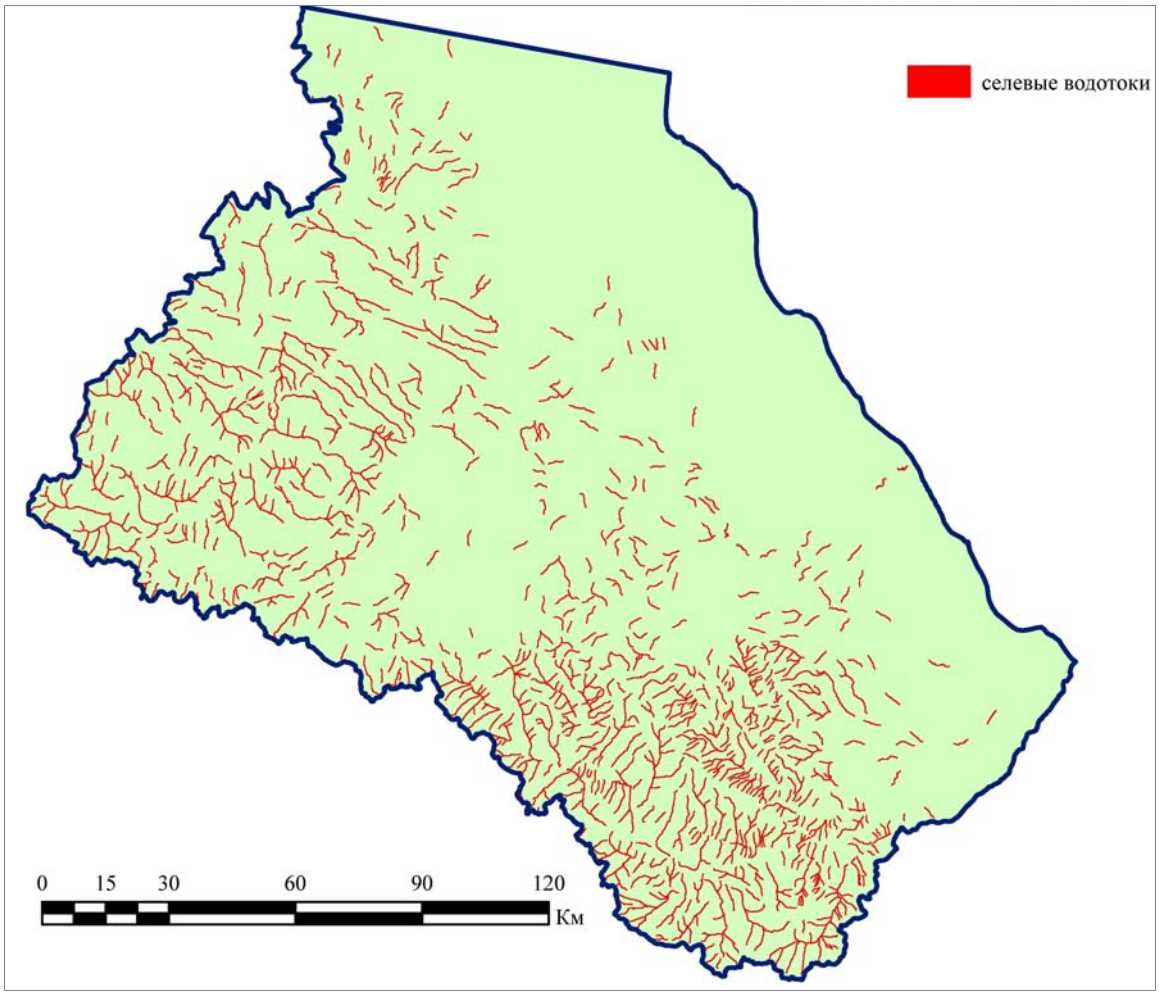


Рис.17. Территории развития селевого процесса [Тагиров, 1974]

Вторая группа очагов зарождения селей объединяет две подгруппы, связанные с подпруживанием горных рек. Первая подгруппа включает в себя современные завалы рек, вызванные оползнями, обвалами и селями из притоков, при которых быстрое поступление рыхлого материала в водоток приводит к подпруживанию рек. Ко второй подгруппе отнесены древние завалы, приведшие к образованию озер, а также искусственным подпруживаниям рек плотинами. Прорыв завальных озер и водохранилищ всегда приводит к образованию катастрофических паводков и селей. Формирование селей указанной группы происходит независимо от атмосферных осадков. Случаи формирования таких селей отмечались в Горном Дагестане по р. Джурмут (верховья р. Аварское Койсу) в 1966 г., в долине р. Сулак (вблизи Чиркейской ГЭС) после активизации обвально-оползневых процессов в результате землетрясения в 1970 г. и др.

Третья группа очагов зарождения селей связана с деятельностью современных ледников: сели формируются в периоды интенсивного таяния ледников. Очаги этой группы очень активны и часто являются причиной катастрофических селей. В 1972 г. в результате

интенсивного таяния ледника на высоте 3700-3800 м по долине р. Аварское Койсу прошел сель, который на своем пути разрушил дороги, мосты, летние пастбища и унес ~500 голов мелкого рогатого скота [Тагиров, 1974].

По гранулометрическому составу твердой фазы выделены сели: *грязевые* (содержание твердого материала – 3-10 %, причем основная масса твердой фазы представлена песком, глиной и щебнисто-гравелистым материалом); *грязекаменные* (содержание твердого материала – 20-40 %, в том числе крупнообломочного материала – более 20 % от содержания всей твердой фазы); *водокаменные* (твердая фаза составляет 10-20 %, представлена, в основном, грубообломочным материалом) [Тагиров и др., 1984].

Различия твердой составляющей селевых потоков определяются разным составом горных пород: в Известняковом Дагестане характерны водокаменные сели, в Сланцевом – грязекаменные. Почти повсеместно на рассматриваемой территории развиты грязекаменные сели, твердая фаза которых представлена крупнообломочным материалом выветрелых песчаников, известняков и мергелей. В западном высокогорье (бассейны рек Андийского и Аварского Койсу, Кара-Койсу) преобладают несвязные, в восточном высокогорье (бассейн р. Самур) – связные и несвязные грязекаменные потоки. В северо-западном среднегорье (Известняковый Дагестан) преобладают несвязные водокаменные сели, в котловинах – грязекаменные. В юго-восточном среднегорье (Сланцевый Дагестан) развиты несвязные грязекаменные сели, реже водокаменные. Проявления водокаменных селей отмечаются в некоторых элементарных бассейнах по долинам Андийского и Аварского Койсу. В низкогорье основные селевые очаги приурочены к северо-восточным склонам и возвышенностям передовых хребтов. Развиты грязевые, водокаменные, реже – грязекаменные несвязные сели. Своеобразное проявление имеют селеподобные потоки, вызванные катастрофическими паводками. По долинам Самура, Курахчая, Чирагчая (Южный Дагестан) встречаются бассейны, в которых образуются грязевые сели. Таким образом, селевые потоки возникают в различных природных вертикальных зонах; в низовых зонах эрозионный эффект сменяется аккумулятивным [Тагиров и др., 1984].

Среди гидрометеорологических факторов главную роль в процессах селеобразования играют атмосферные осадки, прежде всего ливневые, за счет которых образуется водная составляющая селевых потоков. Формирование селевых потоков возможно в результате ливней интенсивностью более 0.5 мм/мин, после которых на склонах начинают возникать потоки дождевых вод, преобразующиеся затем в паводки на реках. Здесь же развиваются обвально-осыпные процессы, за счет которых формируется твердая составляющая селевых потоков.

Основная разгрузка селей происходит в устьях селевых русел и в крупных долинах. Эти участки местности, как правило, наиболее заселены и освоены. Чаще всего сели разрушают

автодороги, мосты, линии связи и электропередач, заносят фруктовые сады и уничтожают посевы, иногда деформируют и разрушают жилые и административные постройки. Наиболее селеопасными являются следующие районы [Тагиров и др., 1984]: Ахтынский, Рутульский, Цумадинский, Советский, Ахвахский, Ботлихский, Чародинский, Курахский, Тляратинский; менее селеопасными – Унцукульский, Гумбетовский, Цунтинский; относительно слабо селеопасными – Агульский, Хунзахский, Гергебильский и Лакский районы.

Эрозионно-аккумулятивные процессы временных водотоков формируют овражно-балочную сеть рассматриваемой территории. Большей частью они приурочены к предгорной зоне, поскольку предгорья обладают двумя благоприятными для оврагообразования факторами: значительными уклонами земной поверхности и наличием рыхлых, легко разрушаемых пород.

В горной части эрозионно-аккумулятивная деятельность временных водотоков хорошо развита, в основном, в отложениях подэскарпных шлейфов, а также в мощных толщах древнеаллювиальных и моренных отложений. Основные очаги эрозионно-аккумулятивной деятельности временных водотоков распространены на следующих участках: северо-восточный склон Гимринского хребта, представляющего собой верховья р. Шура-Озень и ее притоков (20 км^2); юго-западные склоны хр. Татаргоше-Сырт (8 км^2); юго-восточные склоны гор Мискинбаш и Агирбаш (26 км^2); склоны долины р. Пулеувла и ее притоков (130 км^2); северо-восточный склон долины р. Накхер (70 км^2); западные склоны хр. Хархалтабек (28 км^2); северный склон г. Окюз-тау (30 км^2) [Тагиров и др., 1984].

Эрозионно-аккумулятивные процессы постоянных водотоков (речная донная и боковая эрозия) имеют значительное распространение, что обусловлено наличием развитой речной сети. Густота речной сети в предгорной части составляет 0.5-1.0 км/км^2, в горной – 0.9-1.6 км/км^2. Для горных районов с большими продольными уклонами рек и соответствующими скоростями течения (верховья рек Андийского и Аварского Койсу, Самура) характерно преобладание донной эрозии. Долины рек и их притоков на участках с интенсивным развитием донной эрозии каньонообразные (щелевидные), с крутыми, часто отвесными, стенками берегов, аллювиальные отложения здесь практически отсутствуют (долины притоков рек Китлярта и Хзанор) [Тагиров, 1974]. В широких речных долинах с незначительным уклоном отмечается боковая эрозия, проявляющаяся в подмыве берегов при горизонтальном перемещении русла реки, в горных районах она развита лишь на отдельных локальных участках русел рек. В местах подмыва берегов стенки уступов обычно вертикальные. Разрушение берегов, сложенных рыхлыми отложениями, происходит в виде обрушения отдельных блоков горных пород (берега рек Аксай, Акташ, Ямансу и др.). Местами отмечается одновременно донная и боковая эрозия (в средних течениях Аварского и Андийского Койсу) [Тагиров и др., 1984].

Донная эрозия существенной угрозы народнохозяйственным объектам не представляет. Особенно значительным развитием она пользуется в Табасаранском, Дахадаевском, Кайтагском и, в меньшей степени, в Акушинском. Левашинском, Лакском и Казбековском районах. На остальной части изучаемой территории донная эрозия играет менее существенную роль, чем другие виды ЭГП. Воздействию речной боковой эрозии подвергаются участки берегов рек Аксай (1 км), Ямансу (~10 км), Акташ (~7 км), Шура-Озень (~7 км), Рубас (~6 км), Количи, Курах, Казикумухское Койсу. Кроме того, боковая эрозия развита на отдельных участках длиною 150-200 м по берегам рек Самур, Гюльгерычай, Сулак и некоторых других. Она наносит существенный ущерб народному хозяйству за счет сокращения площадей сельскохозяйственных угодий, под угрозой разрушения периодически находятся жилые дома, участки автодорог и другие объекты. Наиболее интенсивная эрозия отмечается, как правило, в паводки [Тагиров и др., 1984].

Процессы, связанные с действием подземных вод

Характер проявления ***карстового процесса*** в пределах республики довольно разнообразный. В неогеновых песчано-глинистых и карбонатных породах обнаруживаются небольшие карстовые пещеры, ниши. Такие же карстовые формы встречаются в сарматских известняках Джалганского хребта юго-восточного Дагестана. В скважинах на месторождениях Ачи-су, Гаша, Селли, Шамхалбулак, где к известняковой толще верхнего мела приурочены залежи нефти и газа, отмечалось интенсивное поглощение глинистого раствора, что свидетельствует о закарстованности верхнемеловых карбонатных пород [Тагиров, 1974].

На Талгинском поднятии также отмечались многочисленные выходы карстово-трещинных горячих и холодных источников, формирование которых тесно связано с карстовыми процессами. На Эльдамском поднятии, в 3 км к юго-западу от с. Карабудахкент, были обнаружены две крупные (140 и 145 м) и одна небольшая (25 м) пещеры. Здесь известняки верхнего мела подверглись выщелачиванию с образованием гротов.

Карстовые процессы отмечены и в Предгорном Дагестане в пределах Хадумского поднятия. Многочисленные карстово-трещинные источники, в том числе и сероводородные, имеются в районе Сулакского каньона и вблизи с.с. Верхнее Казанище, Нижний Дженгутай, Ишкарты и других [Тагиров, 1974]. В небольшом по площади районе юго-восточных предгорий в бассейнах рек Рубасчай и Уллучай имеются пещеры, воронкообразные провалы и ямы, широкие трещины и кары.

Суффозионные процессы развиваются в результате химического выветривания коренных сланцевых пород в искусственных обнажениях (в бортах серпантинных дорог и стенках планировочных врезов на строительных площадках), а также естественных обнажениях, которые, как правило, поражены оплывинами и осыпями [Шмырин и др., 1968].

Разгрузка грунтовых вод и выпадение значительного количества атмосферных осадков приводят к суффозии коренных пород и вымыванию и выщелачиванию суглинисто-глинистого заполнителя крупнообломочных четвертичных отложений.

Процессы, связанные с действием силы тяжести (гравитационные)

По характеру передвижения материала по склону гравитационные процессы подразделяются на оползни и лавины (движение без потери контакта), обвалы и осыпи (движение с потерей контакта со склоном).

Одним из наиболее распространенных на изучаемой территории является ***оползневой процесс*** (рис.18, 19, 20). Оползень – это смещение вниз части горных пород, слагающих склоны, происходящее в виде скользящего движения без потери контакта между смещающимися и неподвижными породами в результате нарушения равновесия склона [Емельянова, 1972].

Размеры оползневых проявлений на рассматриваемой территории колеблются от первых сотен квадратных метров до первых квадратных километров. Площадь подавляющего большинства зафиксированных оползней не превышает 1км^2.

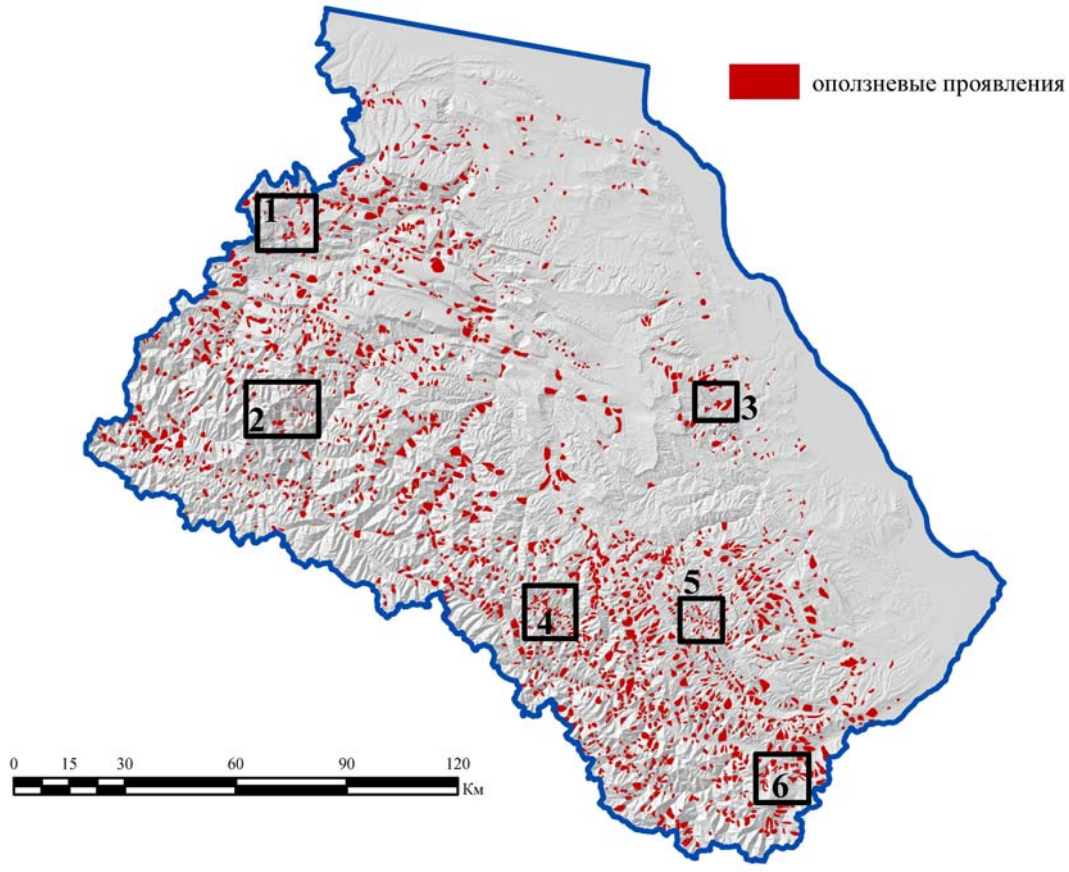


Рис.18. Распространение оползней на исследуемой территории (контурами отмечены участки с типовыми геологическими разрезами оползней, табл.6)
[Тагиров, 1974; Шихрагимов и др., 1991]

Рис.19. Оползень в районе Беловецкой горки, г. Буйнакск (фото Шамурзаевой Д.А.)

Рис.20. Оползень на правом склоне долины р. Чирагчай, в районе с. Чираг (фото Шамурзаевой Д.А.)

Специалисты ПГО «Севкавгеология» на данной территории классифицировали оползневые проявления следующим образом [Тагиров и др., 1984]: по геологическим условиям (в четвертичных отложениях, с захватом дочетвертичных пород); по форме проявления (блоковые, потоки, блоковые, переходящие в потоки); по фазам развития (активные, неактивные).

В северной части *Терско-Каспийского передового прогиба* оползни приурочены к зоне предгорных наклонных террасированных равнин и зоне низкогорья (пораженность – не более 6 %, на отдельных участках – 8-20 %). Оползни развиваются в глинистых отложениях с прослоями слаболитифицированных песчаников, мергелей, и, реже, известняков, они наносят значительный ущерб народному хозяйству в г. Буйнакске и других населенных пунктах. В северо-восточной части прогиба (район Дагестанского клина) оползни развиваются в коллювиально-делювиальных отложениях г. Тарки-Тау (пораженность склонов – 30-60 %), а также на склонах хр. Нарат-Тюбе. В восточной части прогиба отмечается низкая пораженность (не более 10 %), что объясняется составом пород (пески, песчаники и галечники с прослоями песчанистых глин). В южной части прогиба пораженность возрастает до 25 %, что связано с увеличением содержания в разрезе глинистых грунтов. Здесь развиты блоковые оползни с захватом коренных пород, большей частью неактивные. Поверхность древних оползней покрыта лесом, что обусловливает отсутствие их активности. Однако в случае антропогенного воздействия, ливневых дождей и других факторов блоковые оползни переходят в активные оползни-потоки [Тагиров и др., 1984].

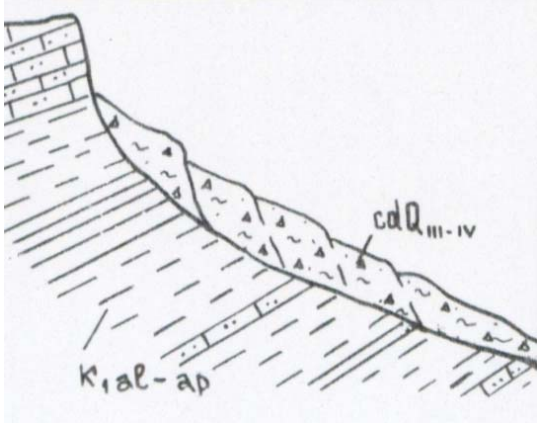
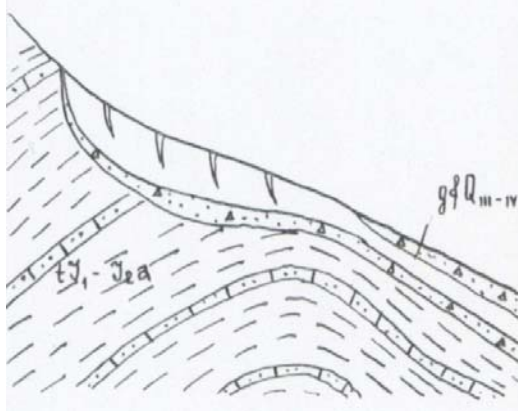
Территория *Кусаро-Дивичинского наложенного передового прогиба* поражена оползнями в западной части (пораженность – 6-20 %). В глинах развиваются блоковые оползни с захватом коренных пород. Отсутствие активных оползней объясняется хорошей задернованностью и частичной залесенностью их поверхности [Тагиров и др., 1984].

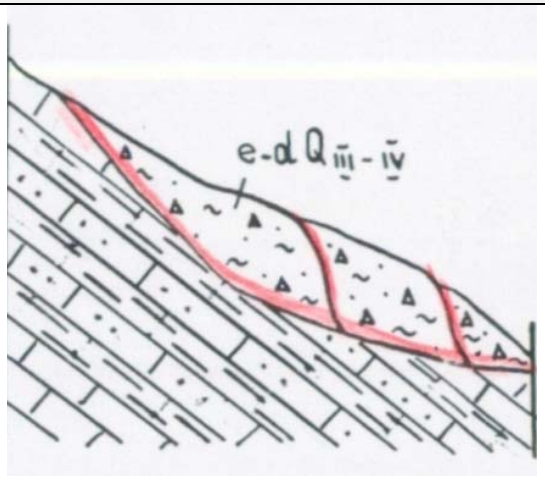
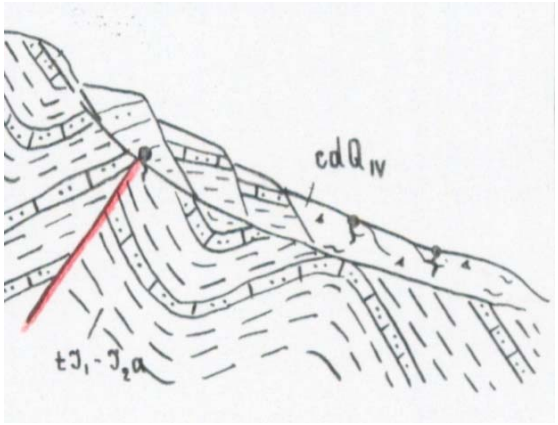
Большую часть рассматриваемой территории занимает *мегантиклинорий Большого Кавказа*, разделяющийся на Известняковый и Сланцевый.

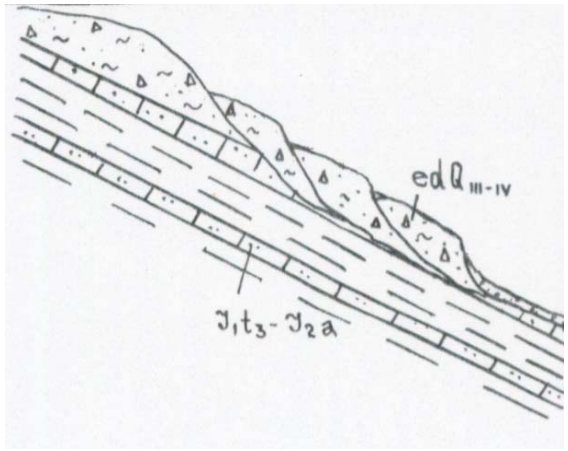
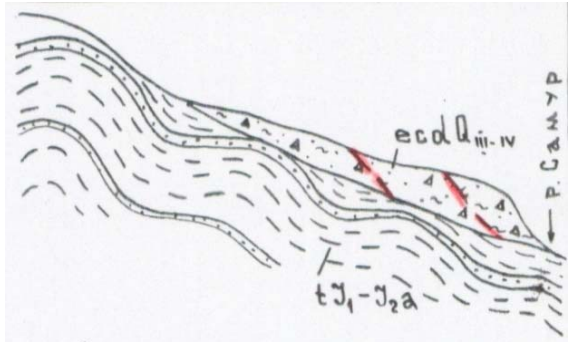
Известняковый Дагестан расположен в трех высотно-климатических зонах: низкогорной, среднегорной и высокогорной. Пораженность низкогорной части не превышает 20 %. Оползни в основном блоковые, неактивные, с захватом коренных пород, в местах подрезки рекой языковой части оползня, они активизируются и переходят в потоки. В отложениях подэскарпных шлейфов при подрезке их основания также развиваются оползни-потоки. К среднегорной зоне в Известняковом Дагестане относятся юго-восточные склоны Андийского хребта (пораженность – 30-40 %), Хунзахское плато и куэсты срединного Дагестана. Коренные породы перекрыты рыхлыми суглинками с примесью обломочного материала, склоны безлесные и почти не задернованы. В основном, оползни блоковые, неактивные, с захватом коренных пород.

Таблица 6.

Характеристика развития оползневого процесса на исследуемой территории

Местоположение участка и его площадь	Типовой геологический разрез с выделением ОДГ, основные факторы оползнеобразования и современная активизация	Гидрогеологическая характеристика оползневых склонов	Тип оползня	Факторы оползнеобразования	Факторы современной активизации
1	2	3	4	5	6
1. Северный склон долины р. Андийское Койсу (230 км^2)	 cdQ_{III-IV} – глины, суглинки с включением щебня дресвы; K_1al-ap – переслаивание песчаников с глинами, алевролитами.	Инфильтрация атмосферных осадков в трещиноватую горную породу и элювиально-делювиальную толщу. Разгрузка трещинно-жильных вод тектонических нарушений в элювиально-делювиальную толщу. Заболоченность оползневых ступеней с разжижением грунтов и формирование оползней-потоков.	Блоковые (скольжения) Пластического течения (потоки)	1. Показатель отношения высоты склона к длине его проекции (по межоползневым гребням) $H/L_{пр}$=0.25-0.37. 2. Тектоническая трещиноватость пород. 3. Согласное залегание пород на склонах. 4. Сейсмическая активность.	1. Увлажненность: за счет формирования верховодки, по тектоническим зонам. 2. Техногенез
2. Нивально-высокогорная и высокогорная зона с абс.отм. выше 2000 м (260 км^2)	 gfQ_{III-IV} – валунно-галечная морена с рыхлым заполнителем; tJ_1-J_2a – аргиллиты, алевролиты с прослоями песчаников	Инфильтрация атмосферных осадков в трещиноватую горную породу и делювиальную толщу.	Блоковые (скольжения) Пластического течения (потоки) Солифлюкционные оползни-потоки (течения)	факторы образования солифлюкционных течений: 1. ледниковый; 2. морозное выветривание; 3. гравитационный.	1. Сезонное таяние ледников и фирна. 2. Выпадение атмосферных осадков (в летний период).

1	2	3	4	5	6
3. Левый и правый склоны долины р. Гамри-Озень (68 км^2)	 edQ$_{III-IV}$ – глины, суглинки, супесь, щебень, дресва; tK$_1$h-al – глины, алевролиты, песчаники	Инфильтрация атмосферных осадков в элювиально-делювиальную толщу. Разгрузка трещинно-жильных вод в элювиально-делювиальную толщу.	Блоковые (скольжения) Пластического течения (потоки)	1. Показатель отношения высоты склона к длине его проекции H/L$_{пр}$=0.2-0.06. 2. Тектоническая трещиноватость пород. 3. Сейсмическая активность.	1. Увлажненность: за счет формирования верховодки, по тектоническим зонам. 2. Боковая эрозия.
4. Долина р. Хултайчай (95 км^2)	 cdQ$_{III-IV}$ – суглинки, супеси, щебень, дресва; tJ$_1$-J$_2$a – аргиллиты, алевролиты с прослоями песчаников	Инфильтрация атмосферных осадков в трещиноватую горную породу и делювиально-коллювиальную толщу. Разгрузка трещинно-жильных вод тектонических нарушений в четвертичные отложения. Выклинивание подземных вод средней юры спорадического распространения в уступах оползней срезания. Заболоченность оползневых ступеней с разжижением грунтов и формирование оползней-потоков.	Блоковые (скольжения) Пластического течения (потоки) Блоковые, переходящие в потоки	1. Показатель отношения высоты склона к длине его проекции (по межоползневым гребням). 2. Тектоническая трещиноватость пород. 3. Согласное залегание пород на склонах. 4. Сейсмическая активность.	1. Увлажненность: за счет формирования верховодки, по тектоническим зонам.

1	2	3	4	5	6
5. Северный и южный склоны долины р. Чирагчай (120 км^2)	 edQ$_{III-IV}$ – глины, суглинки с включением щебня, дресвы; J_1t_3-J_2a – аргиллиты и алевролиты с прослоями песчаников	Инфильтрация атмосферных осадков в трещиноватую горную породу (в элювиально-делювиальную толщу). Разгрузка трещинно-жильных вод в элювиально-делювиальную толщу.	Блоковые (скольжения) Пластического течения (потоки)	1. Показатель отношения высоты склона к длине его проекции (по межоползневым гребням) H/Lпр=0.35-0.40. 2. Тектоническая трещиноватость пород. 3. Согласное (на отдельных участках несогласное) залегание пород на склонах. 4. Сейсмическая активность.	1. Увлажненность: за счет формирования верховодки, по тектоническим зонам. 2. Техногенез. 3. Боковая эрозия.
6. Северный склон Главного Кавказского хребта (р. Гуркам, р. Усухчай, правые притоки р. Самур) (110 км^2)	 ecdQ$_{III-IV}$ – глины, суглинки с включением щебня, дресвы, макропористые; tJ_1-J_2a – аргиллиты, алевролиты с прослоями песчаников	Инфильтрация атмосферных осадков сквозь проницаемую толщу делювиальных отложений. Разгрузка трещинно-жильных вод на границе четвертичных и нижнеюрских отложений. Выклинивание подземных вод средней юры спорадического распространения в уступах оползней срезания.	Блоковые (скольжения) Пластического течения (потоки)	1. Показатель отношения высоты склона к длине его проекции (по межоползневым гребням) H/Lпр=0.25-0.42. 2. Тектоническая трещиноватость пород. 3. Согласное залегание пород на склонах. 4. Сейсмическая активность.	1. Увлажненность: за счет формирования верховодки, по тектоническим зонам. 2. Техногенез.

В меньшей степени отмечены оползни-потоки в четвертичных отложениях, развивающиеся на древнеоползневых склонах под воздействием эрозионных процессов, а также в результате подрезки и пригрузки склонов. Северо-восточные склоны куэст Дагестана сравнительно пологие, их поверхность бронирована мощными известняками или песчаниками, перекрыта незначительной мощности рыхлыми отложениями. В большей части эти склоны залесены, хорошо задернованы. Выявленные здесь оползни маломощные, неактивные, не имеющие широкого площадного распространения (пораженность – не более 10 %). У подножия юго-западных склонов распространены небольшие по площади, но довольно мощные подэскарпные шлейфы, сложенные рыхлообломочными отложениями, на площади распространения которых отмечаются активные оползни, как блоковые, так и потоки, сравнительно небольшие по размерам. В пределах Хунзахского плато оползни отсутствуют, однако на его склонах, где накоплены делювиально-коллювиальные рыхлые отложения, отмечается развитие оползней. К высокогорной зоне Известнякового Дагестана относятся южная часть Хунзахского плато, где развитие оползней не отмечено, и Андийский хребет, на склонах которого отмечены древние оползни, в основном с захватом коренных пород. Их поверхности хорошо задернованы, в большинстве случаев покрыты лесом (пораженность – 20-30 %) [Тагиров и др., 1984].

В *Сланцевом* Дагестане выделяется четыре высотно-климатические зоны: низкогорная, среднегорная, высокогорная, нивально-высокогорная. По направлению течения рек территорию Сланцевого Дагестана условно подразделяют на две части: западную и восточную. Западная часть представлена бассейнами рек Андийское и Аварское Койсу, Кара-Койсу и Казикумухское Койсу. Эти реки текут в субмеридиональном направлении, в первом приближении, вкрест простирания горных пород. В геологическом строении этой части территории принимают участие горные породы различных стратиграфо-генетических комплексов: алевролиты, аргиллиты, песчаники и различные виды переслаивания этих пород. Оползни в западной части Сланцевого Дагестана активные, распространены в четвертичных отложениях, потоки или блоковые, переходящие в потоки (если оползень смещается по тальвегу), и блоковые (если оползень расположен на одном из склонов долины ручья). Развитие оползней обусловлено, в основном, эрозионной деятельностью водотоков за счет подрезки склонов. На залесенных участках, а также в нивально-высокогорной части пораженность не превышает 10-15 %, в высокогорной и среднегорной зонах составляет 20-40 %. В приконтактной зоне с Известняковым Дагестаном из-за большей раздробленности пород пораженность оползнями составляет 20-70 %. Оползни блоковые, в основном, неактивные, с захватом коренных пород. Активные оползни развиваются в четвертичных отложениях [Тагиров и др., 1984].

Восточная часть Сланцевого Дагестана представлена верховьями рек Улучай и Рубас, а также бассейнами рек Чирагчай, Курах и Самур. Эти реки текут, согласно простиранию пород,

поэтому в геологическом строении склонов их долин участвуют, в основном, породы одного-двух комплексов юрских отложений. В бассейне р. Улучай пораженность оползнями – не более 10 %. Бассейн р. Рубас приурочен к пограничной с Терско-Каспийским передовым прогибом зоне, что обусловило повышенную в сравнении с соседними участками дислоцированность и трещиноватость горных пород, пораженность бассейна ~27 %. В незалесенной верхней части бассейна оползни активные, в четвертичных отложениях, потоки, ниже, на залесенной территории, оползни древние, с захватом коренных пород, блоковые. В бассейне р. Чирагчай оползневым процессом в значительной мере поражен правый склон. Распространены блоковые оползни, оползни-потоки и оползни сложного типа (пораженность – 18-40 %). Левый склон долины р. Чирагчай поражен меньше, на отдельных участках отмечается высокая пораженность (20-80 %), что объясняется локальным распространением мощных слоев рыхлого суглинистого материала и значительной трещиноватостью коренных пород в зонах проявления тектонических нарушений. Здесь в основном встречаются оползни-потоки в четвертичных отложениях. В нижних частях долины р. Чирагчай выявлены неактивные блоковые оползни с захватом коренных пород (пораженность ~10 %, реже 20 %). Пораженность оползнями склонов долины р. Курах очень высока: в верховьях и в среднем её течении – 30-40 %, на отдельных участках – 70-90 %. В нижнем течении реки пораженность правого склона – 15 %, левого – 5 %. Падение пород в правом склоне долины соответствует наклону поверхности склона, чем объясняется наличие на нем огромных по площади оползней в четвертичных отложениях. В целом, в пределах бассейна р. Курах распространены различные по характеру оползни: активные и неактивные; блоковые оползни, потоки и блоковые, переходящие в потоки; оползни в четвертичных отложениях и с захватом дочетвертичных пород [Тагиров и др., 1984].

Бассейн р. Самур является самым крупным из всех ранее описанных, наиболее значительными притоками Самура являются реки Кара-Самур, Шиназчай (левые притоки), Ахтычай и Усухчай (правые притоки). Пораженность оползнями левых склонов долин рек Самур и Кара-Самур изменяется от 5 до 100 %, с преобладающим значением 20 %. В нивально-высокогорной зоне пораженность территории незначительна (1-10 %), в припойменной части склона долины р. Самур пораженность возрастает (12-30 %). Развиты оползни, как в четвертичных отложениях, так и с захватом дочетвертичных пород. Пораженность правого склона долины р. Ахтычай выше, чем левого, на отдельных участках достигает 30-40 % (на большей части – 3-10 %). Пораженность левого склона долины р. Усухчай – 50-60 % (реже 80 %), правого склона – 20-80 %. Распространены активные оползни-потоки в четвертичных отложениях [Тагиров и др., 1984].

Характеризуя развитие оползней в горной части республики в целом, можно отметить, что территория Горного Дагестана поражена оползневыми процессами неравномерно. Если в

низкогорной и предгорной областях они развиты слабо, а местами совсем отсутствуют, то в среднегорной и высокогорной областях оползни развиваются интенсивно: в отдельных элементарных бассейнах (долины рек Курах, Чирагчай, Кара-Самур) отмечается очень высокая пораженность оползнями.

Структурно-тектонические особенности участков речных долин крупных рек влияют на характер развития оползневых проявлений, создавая условия для образования оползней на склонах, сложенных как скальными, так и четвертичными отложениями: в пределах Известнякового Дагестана преобладают оползни, захватывающие коренные породы юры и мела, в Сланцевом Дагестане также широко развиты оползневые проявления в четвертичных отложениях.

Значительные влияние на развитие оползневых проявлений оказывает сейсмическая активность территории. Так, после 5-балльного землетрясения (14 мая 1970 г.) в июне 1970 г. отмечались оживления некоторых древних оползней на левом берегу Самура; в окрестностях с. Эчеда (верховья Андийского Койсу) на склонах в грунтах отмечалось образование узких трещин, которые в последующем местами расширились до 0.5 м. и начали сливаться в протяженные системы [Тагиров и др., 1984].

Активизация оползневых проявлений чаще, чем в других местах, отмечается в переходной зоне от области распространения сланцевых песчано-глинистых пород верхней и средней юры к другим отложениям. Здесь больше, чем в других районах, оползни проявляют свое разрушительное воздействие. Высокая пораженность оползнями объясняется, как правило, наличием тектонических нарушений, высокой дислоцированностью пород, слагающих склоны, высокой сейсмичностью, плохой задернованностью склонов, густой изрезанностью склонов руслами постоянных и временных водотоков, мощным чехлом рыхлых четвертичных отложений, преобладающим падением коренных пород, совпадающим с направлением падения склона.

Лавинами являются пришедшие в движение, скользящие и обрушивающиеся вниз по склону снежные массы. Они возникают на любом крутом склоне (более 15°) при снежном покрове мощностью 30-40 см, то есть они характерны, как для высокогорных районов с резко контрастным рельефом, так и для среднегорных районов Дагестана. Обломочный материал, выносимый лавинами, образует специфические положительные формы рельефа: конусы выноса и лавинные бугры, лотки, каналы стока. Внутренние части лотков, как правило, выглажены и отполированы. Объем конусов выноса изменяется от 100-200 м^3 до 8-10 тыс.м^3 [Тагиров, 1974].

На изучаемой территории выделяются, главным образом, три типа лавин: осовы (снежные оползни), лотковые, прыгающие. *Осовы* – снежные массы, соскальзывающие со всей поверхности склона, вне строго фиксированных русел. Они возникают главным образом на

крутых травянистых склонах, очень часто южной экспозиции, где на поверхности снега образуются корки, по которым легко соскальзывает свежевыпавший снег. *Лотковые* лавины движутся по строго фиксированным руслам (логам или каналам стока) и у подошвы косогора образуют завал в виде конуса выноса. *Прыгающими* называют лавины, слетающие с уступа на дно долины, как бы прыгая с трамплина, когда канал стока оканчивается отвесной стеной.

Весной, во время интенсивного таяния снега, возможно возникновение мокрых лавин, состоящих из смеси воды, снега и грунта, приближающихся по своим свойствам к снежно-грязевым потокам (селям). Эти лавины проходят по дну долин с углом наклона 10° и менее на расстояние 1,5-2 км [Тагиров и др., 1984].

На процесс лавинообразования влияют: высота снежного покрова и крутизна склона; состояние подстилающей поверхности при вновь выпавшем снеге; высота нового снега; структура нового снега; плотность нового снега; интенсивность снегопада (количество выпавшего снега, см/ч); интенсивность выпадения осадков (количество воды в виде снега, мм/ч); оседание снега; ветер; температура воздуха. При прогнозировании лавинной опасности рассчитывается комплексная оценка 10 перечисленных факторов: каждый фактор оценивается по десятибалльной шкале, результаты суммируются. Минимальная сумма для лавинной опасности равна 0, максимальная – 100 баллам, значение оценки лавинной опасности, равное 75 баллам, требует немедленного объявления лавинной опасности [Тагиров и др., 1984].

Лавины образуются в разное время года, преимущественно в конце зимы, и связаны с периодами максимального выпадения твердых осадков. Внешними признаками лавиноопасных участков являются снежные карнизы, надувы, снежные шапки и козырьки**.** Оторвавшиеся снежные массы быстро набирают скорость и на своем пути приводят к большим разрушениям [Тагиров, 1974]. В зону воздействия лавин попадают, как правило, дороги и ЛЭП, реже населенные пункты. Наибольшее распространение лавин отмечено в Ахтынском, Рутульском, Тляратинском, Советском, Цунтинском и Цумадинском районах на северных склонах долин рек Ахтычай, Самур, Кара-Самур, Джурмут, Ойсор, Хзанор, Симбирисхеви, Цемар-ор, в средних течениях Аварского и Андийского Койсу и их крупных притоков [Тагиров и др., 1984].

Обвально-осыпные процессы подразделяются на обвалы, осыпи. Под ***обвалами*** понимается обрушение пород со склонов в условиях свободного падения обломков, сопровождающееся их дроблением. ***Осыпи*** представляют собой: 1) разновидность обрушения пород склона, при котором обломки пород, слагающих склон, скатываются по нему; 2) скопление обломочных пород на склоне, медленно смещающихся вниз и представляющих собой своеобразные полого-выпуклые формы рельефа; 3) сочетание первых двух видов [Тагиров, 1974].

Обвалы и осыпи на территории Горного Дагестана (рис.21) рассматриваются как единый обвально-осыпной процесс, поскольку проявления этих процессов взаимосвязаны, трудно разделимы и в чистом виде встречаются весьма редко. Обвально-осыпные проявления определяются по беспорядочному нагромождению глыб, камней с суглинисто-щебнистым заполнителем, а также телам осыпей (осыпи-потоки и осыпные плащи) [Тагиров и др., 1984].

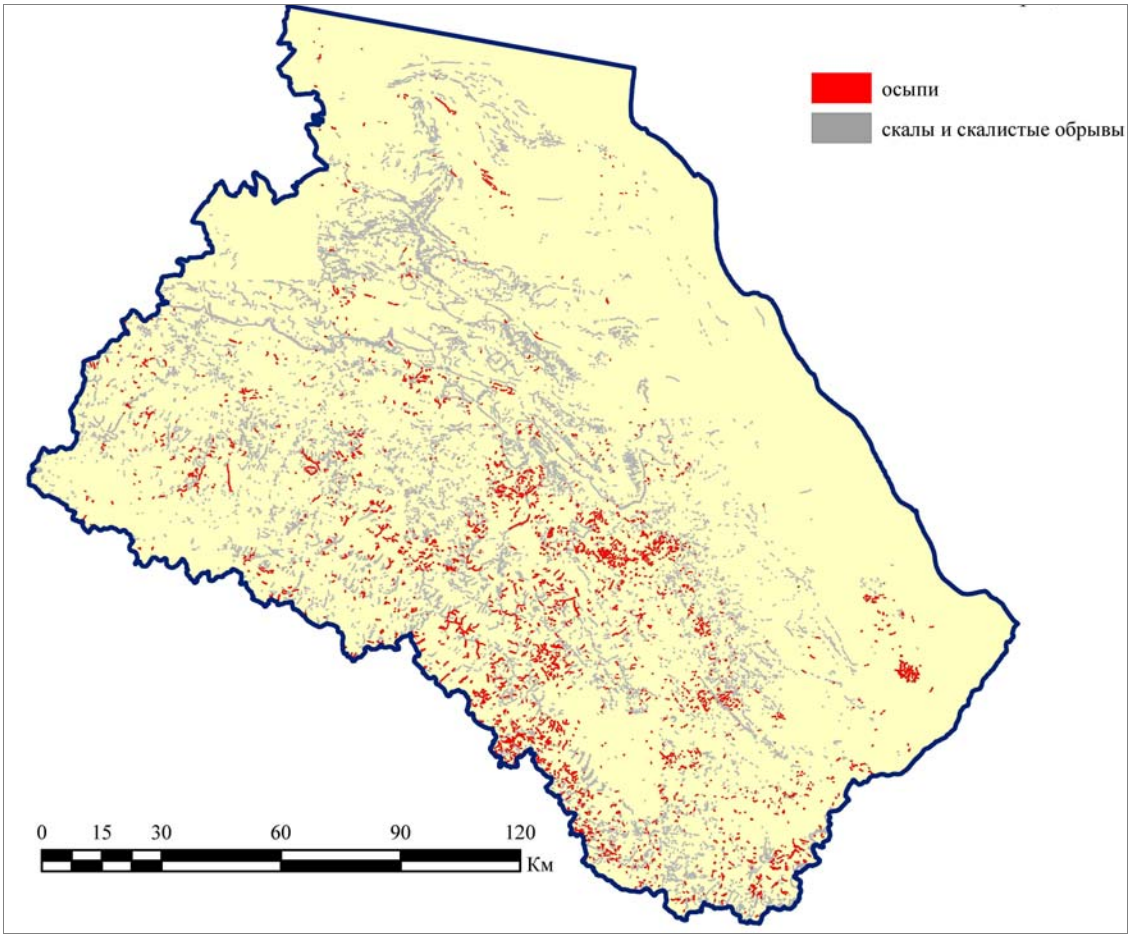


Рис.21. Территории развития обвально-осыпных процессов [Схема…, Т.2, кн.1, 2007]

Условия и факторы образования обвалов и осыпей аналогичны условиям и факторам образования оползней. Из обвалообразующих факторов особо следует отметить современные сейсмотектонические процессы. Наиболее интенсивное проявление обвально-осыпных процессов было отмечено после землетрясения 1970 г. на склонах рек Сулак, Аварское, Андийское, Казикумухское Койсу и Кара-Койсу, Шура-Озень [Тагиров, 1974]. Развитие обвально-осыпных процессов отмечается также в нивально-высокогорной зоне, где более интенсивно по сравнению с другими зонами протекают процессы выветривания.

В пределах *Терско-Каспийского передового прогиба* обвально-осыпные процессы развиты незначительно только на севере и северо-востоке. Воздействию обвально-осыпных (больше осыпных) процессов подвержены склоны южной экспозиции, сравнительно невысокие, крутые и протяженные (линейно вытянутые), представленные эскарпами и сложенные

известняками, песчаниками, в меньшей степени, мергелями и алевролитами (пораженность – первые проценты, у Чирюртовского водохранилища – 40 %, на левом берегу р. Шура-Озень – 15 %). В пределах *Кусаро-Дивичинского наложенного передового прогиба* проявления обвально-осыпных процессов не отмечались [Тагиров и др., 1984].

Мегантиклинорий Большого Кавказа. В *Известняковом* Дагестане развитию обвально-осыпных процессов способствует развитие трещин бортовой разгрузки в верхней части склонов долин, обусловленной их составом, совершенно различной устойчивостью пород к процессам выветривания и другими внешними воздействиями. В прослоях глин, которые легко выветриваются и разрушаются, вдоль склонов образуются протяженные ниши и пустоты. Дроблению коренных пород и обвальным процессам активно способствуют землетрясения, поскольку территория Известнякового Дагестана характеризуется высокой сейсмической активностью (7-8 баллов).

Обвалы на участках крутых обрывистых склонов широко известны. Так, например, объем обвала у с. Ашильта Унцукульского района составил 200 тыс.м^3. Известны обвалы в районе селений Унцукуль, Чаида, Игали, Карадах с объемом каждого 10-30 тыс.м^3. В Чиркейском ущелье в августе 1964 г. произошел обвал объемом ~ 35 тыс.м^3. На склонах Чиркейской котловины известны обвалы объемом до 1 тыс.м^3 (объем потенциально неустойчивых блоков – 0.5-15 тыс.м^3). В августе 1967 г. у с. Нижнее Инхо Гунибского района наблюдался обвал объемом ~ 5 тыс.м^3. Землетрясение 14 мая 1970 г. сопровождалось обрушением крупных массивов пород на склонах указанных выше долин, объем обвалов составлял ~5-8 тыс.м^3 каждый [Тагиров и др., 1984].

Кроме крутых склонов речных долин в Известняковом Дагестане обвальными являются распространенные здесь эскарпы. К примеру, граница между Известняковым и Сланцевым Дагестаном представляет собой эскарп, выполненный карбонатными породами с прослоями глин и гипса. Пораженность обвально-осыпными процессами крутых склонов речных долин, эскарпов и подэскарпных шлейфов в Известняковом Дагестане составляет 60-100 %, на остальной территории не превышает 20 %.

Сланцевый Дагестан. В бассейнах рек Андийского и Аварского Койсу обвально-осыпные процессы наиболее интенсивно протекают в нивально-высокогорной (пораженность – 90-100 %) и высокогорной (60-80 %) зонах. Пораженность средне- и низкогорной зон – 10-50 %, здесь обвально-осыпными процессами поражены нижние части склонов речных долин, что обусловлено эрозионной деятельностью рек.

В бассейне р. Кара-Койсу развитию обвальных процессов подвержены скальные обрывы плато (Гунибское плато) и куэст, пораженность которых может достигать 100 %. Остальная часть территории пограничной полосы хорошо задернована, покрыта лесом и травостоем,

поэтому обвально-осыпными процессами поражена только в нижних частях речных долин (пораженность – не более 20 %). Пораженность внутренней области бассейна р. Кара-Койсу неравномерна. Правый склон долины поражен незначительно, что объясняется сравнительно спокойным рельефом, хорошей задернованностью и залесенностью склонов. Лишь на некоторых (высокогорных) участках пораженность составляет 30-40 %. Левый склон долины р. Кара-Койсу обвально-осыпными процессами поражен больше. Пораженность нивально-высокогорной и высокогорной зон – 80-100 %, среднегорной зоны – 20-40 %, что обусловлено разными условиями развития процессов (перепад температур, залесенность склонов) [Тагиров и др., 1984].

В бассейне р. Казикумухское Койсу пораженность правого склона долины обвально-осыпными (больше обвальными) процессами составляет 40-90 % на юго-западных склонах куэст, северо-восточные склоны процессам не подвержены. Пораженность верховий реки – 40-100 %. Пораженность левого склона долины реки обвально-осыпными процессами в среднем течении – 20-40 % (в районе с. Кумух – менее 10 %), в нижнем течении – 40-100 %.

В бассейне р. Чирагчай пораженность территории, которая относится к пограничной с Терско-Каспийским передовым прогибом зоне (склон севернее с. Хив Хивского района), составляет 5-30 %, на одном из участков – 60 %. Севернее с. Тпиг Агульского района пораженность склона долины – 20-50 %, что объясняется расположением этого участка склона в высокогорной зоне. Пораженность остальной части территории бассейна р. Чирагчай низкая, это обусловлено хорошей задернованностью, а в низовьях – залесенностью склонов долины и низкой тектонической раздробленностью горных пород.

В бассейне р. Курах правый склон долины, аналогично правому склону долины р. Чирагчай, воздействию обвально-осыпных процессов подвержен меньше, чем левый. Правый склон задернован, покрыт альпийской луговой растительностью. Обвально-осыпные процессы развиваются здесь только в бортах эрозионных врезов. Пораженность левого склона долины р. Курах – 3-20 %, наиболее поражены истоки притоков. Для южного склона долины характерно развитие осыпных плащей.

В бассейне р. Самур южный склон Самурского хребта (левый склон долин рек Самур и Кара-Самур) подвержен воздействию обвально-осыпных процессов в верхней части (10-20 %), в верховьях р. Шиназчай (50-70 %), на склонах гор Гутон и Дюльтыдаг (верховья р. Самур и её притока – р. Дюльтычай). Как и склоны долин рек Чирагчай и Курах, южный склон покрыт осыпным плащом, слабо задернован. Верховья р. Самур поражены на 30-80 %. Пораженность левого склона долины р. Ахтычай – 60-80 % (южный склон хр. Кябяк), правый склон является северным склоном Главного Кавказского хребта, его пораженность – 70-100 %. Пораженность северных склонов г. Шалбуздаг (водораздел между притоками р. Самур – Ахтычай и Усухчай)

составляет 30-50 %, южных – 10-20 %. В долине р. Усухчай обвально-осыпные процессы развиты только по бортам эрозионных врезов (пораженность – не более 10 %).

Самая южная часть рассматриваемой территории представлена склонами гор, относящихся к системе Главного Кавказского хребта. Условия активизации и развития обвально-осыпных процессов здесь аналогичны выше охарактеризованным условиям. Пораженность высокогорной зоны Главного Кавказского хребта составляет 60-90 %, за исключением склонов долины р. Фий, где она составляет 40-50 %, что обусловлено большей задернованностью поверхности [Тагиров и др., 1984].

Обобщая данные, характеризующие развитие на территории обвально-осыпных процессов, можно отметить, что пораженность территории процессами изменяется в широких пределах (от нескольких процентов до 100 %). Интенсивность проявления обвально-осыпных процессов обусловлена литологическим составом пород, их тектонической раздробленностью (особенно в пограничной зоне Сланцевого и Известнякового Дагестана), высотно-климатическими условиями, резкими перепадами температур воздуха, даже в течение суток, изрезанностью рельефа руслами водотоков, степенью задернованности (залесённости) склона, высокой сейсмической активностью территории (которая носит региональный характер), а также техногенным воздействием (прокладка автодорог по склонам), которое сопровождается нарушением устойчивости склонов при их подрезке и проведении буровзрывных работ. Коренные породы местами перекрыты рыхлыми отложениями четвертичного возраста коллювиального, делювиального и флювиогляциального генезиса. Базисом обломочного материала служат поймы рек и их крупных притоков, на склонах долин которых распространены осыпи, накапливаются делювиально-коллювиальные отложения значительной мощности. Указанные факторы благоприятствуют развитию обвально-осыпных процессов.

Спокойный рельеф припойменных участков склонов, практически плоские склоны, осложненные долинами ручьёв, частично покрытые лесом, частично травой, отсутствие тектонических нарушений, сравнительно неглубокие врезы речных долин обеспечивают незначительное развитие обвально-осыпных процессов на припойменных участках.

Процессы, связанные с промерзанием и оттаиванием горных пород

Особенности сезонной динамики процессов оттаивания и промерзания верхних горизонтов горных пород в горах (мощности слоев сезонного оттаивания и промерзания пород, динамика их формирования) обусловливают характер морозного выветривания, особенности формирования и интенсивности развития каменных глетчеров, каменных морей и чехлов (курумов) и других процессов.

С морозным выветриванием и интенсивной дезинтеграцией пород под влиянием резких температурных колебаний в высокогорных, труднодоступных, районах связано образование

каменных морей и чехлов, имеющих широкое распространение выше 2200-2300 м в альпийской и субальпийской зонах.

Основные площади распространения современных ***каменных глетчеров*** Большого Кавказа приурочены к Главному и Боковому хребтам. По данным И.С. Краснослободцева, на Восточном Кавказе интервал высот, в пределах которых они развиты, составляет 3000-4000 м. Исследования в пределах наиболее поднятых частей Бокового хребта показали, что типичные каменные глетчеры в этом регионе представляют собой недифференцированные потоки каменного материала, включающего лед, со следами вязкого течения. Самые молодые каменные глетчеры берут начало в карах и цирках со снежниками. Удлиненные языковидные потоки длиной первые сотни метров возвышаются на 20-50 м над днищем эрозионных ложбин. На отметках 3200-2800 м эти потоки наползают на более древние, с задернованной сглаженной поверхностью. На высоте 2700-2500 м поверхность потоков переработана солифлюкцией. Фронтальные части каменных глетчеров налегают на более древние глетчеры. Последние плохо выражены в рельефе, поверхность их выположена, сглажена, обломочный материал значительно измельчен процессами морозного выветривания.

В некоторых долинах севернее и восточнее массива Аддала-Шухгельмеэр вне очагов современного оледенения на выположенных склонах северной экспозиции в интервале высот 1800-3000 м расположены обширные каменные потоки – покровы площадного типа, плащеобразно перекрывающие склоны на значительном протяжении. Ниже отметок 2400-2500 м потоки полностью законсервированы, выше их поверхность изменена современным солифлюкционным процессом.

Снежно-фирновые и ледяные образования пещер и шахт (ледяные сталактиты, ледяные наросты и потеки, скопления снега и т.д.) наблюдаются в карстовых образованиях в пределах Дагестана. Эти образования формируются в результате затекания холодного воздуха в полости с затрудненной воздушной циркуляцией. Просачивающаяся в такие пещеры вода замерзает, а водяные пары образуют на дне и стенах слои сублимационного льда и отдельные кристаллы, оттаивающие не каждое лето. Ледяные пещеры были описаны К.М. Курдовым еще в 1905 г., который наблюдал их в Южном Дагестане в известняковых породах Гимринского хребта [Геокриология СССР, 1989].

3.9. Техногенное влияние на развитие экзогенных геологических процессов

Основными направлениями инженерно-хозяйственной деятельности, вызывающими развитие и активизацию ЭГП, в том числе оползневого процесса, на территории республики являются: промышленное и гражданское, гидротехническое, а также дорожное строительство, сельскохозяйственное освоение территории, в процессе которых возникают значительные трудности, связанные со сложными природными условиями территории.

Процессы, вызванные строительством промышленных и гражданских зданий и сооружений

Темпы промышленного и гражданского строительства второй половины XX в. в горной части республики вызывали большую необходимость в земельных отводах. Выделение таких отводов и сейчас остается трудноразрешимым вопросом, поскольку в горной части Дагестана природных площадей, пригодных для застройки гражданскими и промышленными объектами очень мало.

С давних времен жители горных районов селились на небольших плато, где безопасность от камнепадов, недоступность для врагов и теплый микроклимат сочетались с благоприятными для строительства условиями, что подтверждают постройки, сохранившиеся до наших дней (сакли первых поселенцев а. Аракани, VII в.). Во второй половине XX в. в связи с расширением многих населенных пунктов интенсивно застраивались прилегающие горные склоны. Необходимо отметить, что разработанные ранее для многих населенных пунктов республики, особенно для районных центров и отдельных городов, проекты планировки и застройки, как правило, выполнялись без проведения изыскательских работ, а участки для застройки выделялись местными органами власти без учета сложных природных условий территорий, где и в настоящее время периодически происходит активизация ЭГП.

Строительство, как правило, велось путем подрезки и террасирования склонов, прокладки дорог и водопроводов, с полным нарушением задернованного почвенного покрова. Инфильтрация и разгрузка атмосферных осадков и бытовых стоков на крутых склонах нередко сопровождалась выносом мелкозема и образованием суффозионных воронок. Кроме того, на склонах развивались оползни, активизировались процессы плоскостного смыва.

В результате подрезки склонов, их перегрузки интенсивным строительством, бессистемного и бесконтрольного полива приусадебных участков, прокладки водопроводно-канализационных сетей без соблюдения технических условий надежной герметичности труб, нарушения поверхностного и подземного стока отмечалась активизация древних и образование новых оползней. В результате оползневых смещений грунтов отмечалось аварийное состояние жилых домов частного сектора в районе Беловецкой горки г. Буйнакска, на склонах г. Тарки-Тау, ограничивающей г. Махачкалу с юго-запада, жилых домов и других объектов в с.с. Дылым, Хариколо, Агачаул. Аналогичная картина проявлений оползневого процесса и других ЭГП встречается в настоящее время во многих населенных пунктах горной части Дагестана [Тагиров и др., 1984].

По данным проведенного в 70-х гг. обследования 500 населенных пунктов (н.п.), расположенных в 33 административных районах, всех дорог районного и местного значения, а также 31 народнохозяйственного объекта, подвергшегося катастрофическому воздействию

ЭГП, было выявлено воздействие на населенные пункты 12 видов ЭГП, среди которых наибольшее воздействие оказывают [Тагиров и др., 1984]: оползни (218 н.п.), обвалы и камнепады (169 н.п.), осыпи (114 н.п.), сели (117 н.п.), эрозия постоянных водотоков (120 н.п.). При этом 168 селений из числа обследованных находились вне зоны воздействия ЭГП. Указанные цифры говорят о том, что большинство населенных пунктов подвержено воздействию сразу нескольких процессов, за счет чего воздействие ЭГП на них может увеличиваться. Обследование народнохозяйственных объектов (31), подвергшихся катастрофическому воздействию ЭГП, показало, что главным процессом, воздействующим на объекты, также является оползневой (20 проявлений).

Если до 2000 г. Горный Дагестан являлся экономически слабо освоенной территорией, то сегодня – это развивающийся регион республики. На этой территории, в сложных инженерно-геологических условиях с высокой степенью пораженности территории ЭГП (оползни, обвалы, сели и т.д.), находится более 900 населенных пунктов, которые расширяются ускоренными темпами, идет строительство погранзастав и военных городков. Крупными промышленными центрами Горного Дагестана являются город Буйнакск, с.с. Ботлих, Хунзах, Тлярата, Бежта и др. Сегодня здесь широко развиваются транспортные коммуникации: строятся дороги, мосты, тоннели, газопроводы, водоводы и т.д. Продвижение цивилизации в горы, в том числе улучшение социально-бытовых условий в сельских населенных пунктах, как правило, не сопровождается адекватными мерами по обеспечению устойчивости территорий, прежде всего, от развития оползней. Ярким примером является случай катастрофической активизации оползневого процесса в пос. Тарки (г. Махачкала) 28 декабря 2007 г., в результате которой погибли 3 человека, было разрушено 1 домостроение, были деформированы и находились в аварийном состоянии еще 5 домостроений [Информационный бюллетень…, 2008].

Процессы, вызванные строительством гидротехнических сооружений

Среди многочисленных природных богатств Дагестана реки, как источники гидроэнергетической промышленности, занимают одно из первых мест. Наличие благоприятных климатических условий, обеспечивающих устойчивое постоянство объёма среднегодового стока; узкие каньонообразные ущелья с высокими берегами, позволяющими строить плотины с водохранилищами; расширенные участки речных долин и большое падение рек позволяет возводить здесь высокогорные электростанции [Схема…, Т.2, кн.1, 2007].

Широкомасштабное гидротехническое строительство осуществлялось во второй половине XX в. в горной части республики, в бассейне р. Сулак. Количество действующих в республике электростанций увеличилось в последнее десятилетие. В 2005 г. введены в эксплуатацию Магинская малая ГЭС и Гунибская ГЭС. В 2006 г. завершено строительство и

вывод на полную мощность первого и второго энергоблоков Ирганайской ГЭС, введены в эксплуатацию Гельбахская и Агульская ГЭС [Схема…, Т.2, кн.2, 2007].

С созданием крупных водохранилищ связано одно из наиболее интенсивных инженерных вмешательств в геологическую среду. Гидротехническое строительство изменяет гидрогеологический режим долины; оказывает существенное влияние на ход развития ЭГП в долине реки, где возводится сооружение; приводит к развитию и активизации экзогенных процессов, связанных с переработкой берегов и подъемом уровня грунтовых вод, в береговой полосе водохранилища; вызывает значительные изменения напряжений в земной коре, влияя на геодинамические процессы. Многие из перечисленных изменений отмечались, к примеру, в районе Чиркейского водохранилища. Большая крутизна как надводной, так и подводной частей склонов здесь в сочетании с высокой сейсмической активностью территории (8-балльная зона) предопределили возможность развития в районе водохранилища обвально-оползневых процессов. Также в районе водохранилища отмечались так называемые возбужденные землетрясения.

Развитие описанных процессов возможно также на стадии строительства гидротехнических сооружений. Так, например, в процессе строительства Миатлинской ГЭС в 1977 г. имел место крупный оползень в правом борту долины Сулака объемом более 2 млн.м^3, нанесший значительный материальный ущерб строительству [Тагиров и др., 1984].

Самая крупная из действующих на территории республики ГЭС – Чиркейская на р. Сулак с установленной мощностью 1000 МВт, высота плотины – 233 м, емкость водохранилища – 2.9 км^3. Сток р. Сулак сегодня зарегулирован каскадом водохранилищ. Все водохранилища Сулакского каскада работают в штатном режиме, проводится предпаводковая сработка для создания необходимого резерва регулирующей ёмкости на период прохождения паводков. Однако пиковый режим работы Чиркейской ГЭС и ограниченные регулирующие возможности Миатлинского и Чирюртовского водохранилищ обусловливают вынужденные залповые пропуски с расходами до 900 м^3/с, которые сопровождаются резкими колебаниями уровня в нижнем течении р. Сулак, создавая угрозу подтопления и затопления ряда селений (Нечаевка, Чонтаул, Кироаул), жилых строений хозяйств отгонного животноводства и сельхозугодий [Схема…, Т.2, кн.3, 2007], провоцируют активизацию оползней на берегах водохранилищ.

В бассейнах рек Сулак, Самур, Аварское Койсу и Андийское Койсу сосредоточено более 94 % общего гидроэнергетического потенциала республики. Именно здесь в соответствии с программой ускоренного развития гидроэнергетики на период до 2020 г. с целью более эффективного использования гидроэнергетических ресурсов предусматриваются основные работы: освоение гидроэнергетических ресурсов рек Сулак и Самур, реконструкция и

расширение действующих гидроэлектростанций, а также восстановление и строительство новых малых ГЭС (рис.22). Дальнейшие перспективы гидроэнергетического строительства в бассейне р. Сулак связаны с каскадами ГЭС на его притоках – Аварском Койсу и Андийском Койсу. Исследования, проведенные Ленгидропроектом, подтвердили возможность строительства 5 крупных ГЭС на Андийском Койсу, 3 ГЭС на Аварском Койсу и 2 ГЭС на Кара-Койсу [Общие сведения…, 2014].

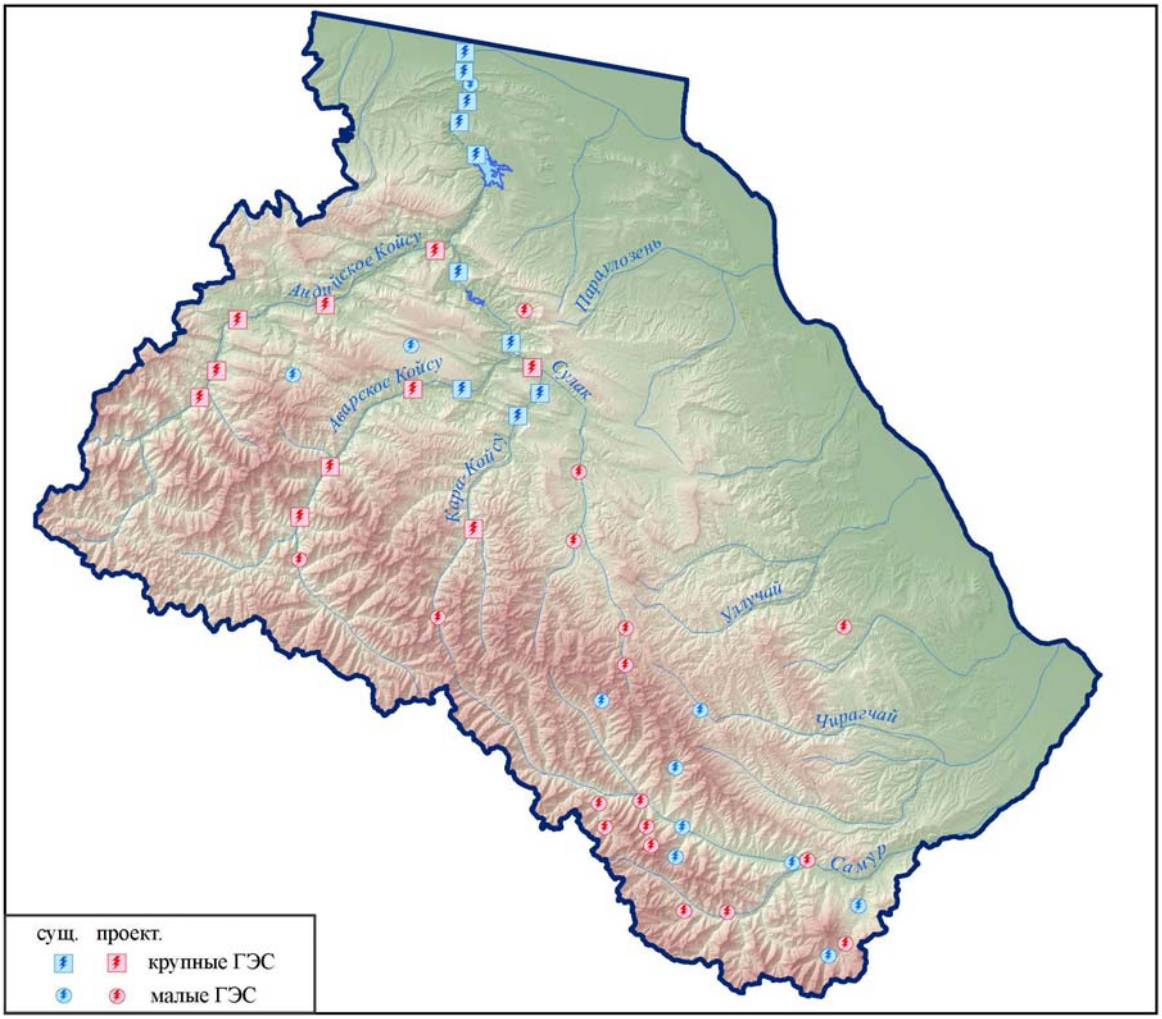


Рис.22. Схема расположения ГЭС на территории Республики Дагестан [составлено Шамурзаевой Д. по данным Схемы…, Т.1, 2007; Общих сведений…, 2014]

Необходимо отметить, что строительство значительного количества новых, как крупных, так и малых ГЭС в пределах Горного Дагестана, характеризующегося сложными инженерно-геологическими условиями, может привести к активизации ЭГП. Масштабное гидротехническое строительство, как правило, предполагает перенесение населенных пунктов, затопление сельскохозяйственных угодий и восстановление их на других территориях, а также строительство дополнительных сооружений, дорог и тоннелей, других объектов инфраструктуры в горах, что без выполнения необходимых мероприятий инженерной защиты может повлечь за собой развитие ЭГП в районе строительства и на прилегающих территориях.

Процессы, вызванные строительством дорог

Горная часть Дагестана характеризуется довольно густой сетью автомобильных дорог республиканского и местного значения. По северной и восточной окраине рассматриваемой территории проходит участок федеральной трассы «Кавказ», от которой отходит большое число ответвлений в горные районы.

Строительство и эксплуатация автодорог вносят значительные изменения в природную обстановку горных склонов. Особенности строительства заключаются в прокладке дорог часто по участкам с очень интенсивным развитием ЭГП с подрезкой и пригрузкой склонов при устройстве полотна дорог, подпруживанием поверхностного стока и сбросом атмосферных вод на склоны. Значительное влияние на устойчивость оползневых склонов могут оказывать динамические нагрузки от транспорта, ударно-вибрационных механизмов и взрывных работ.

Если шоссейные магистрали (такие, как Ростов – Баку) проходят по равнинной части, и они проложены с разработкой мероприятий против развития ЭГП, то автодороги в населенные пункты горной части республики прокладывались путем подрезки склонов, а также с проведением буровзрывных работ. Интенсивное развитие ЭГП отмечается на склонах во всех горных районах Дагестана, где автодороги прокладываются подобным образом. Так, к примеру, активизация обвалов отмечалась при производстве буровзрывных работ во время прокладки и расширения автодороги к с. Гуниб [Тагиров и др., 1984].

Во многих случаях активизация оползней при строительстве дорог обусловлена несоблюдением правил ведения земляных работ в оползневых районах, а в отдельных случаях – несоблюдением рекомендаций специалистов: стенки подрезанных склонов оставляются вертикальными, что в случае проходки по рыхлым отложениям обусловливает развитие оползней и обвалов, а в случае проходки по скальным горным породам – камнепады и вывалы, поскольку скальные породы уже нарушены при производстве буровзрывных работ. Для всех горных дорог характерно воздействие эрозии временных водотоков, проявляющееся в виде размыва полотна автодорог. Эти факторы регулярно создают работу по ремонту и содержанию автодорог, и, что немаловажно, подвергают опасности жизни проезжающих по ним.

Под угрозой наибольшего воздействия ЭГП находятся следующие участки дорог [Тагиров и др., 1984]: Мехельта – Тлярата, Цудахар – Акуша, Гуниб – Гилиб, Гочоб (оползни, обвально-осыпные процессы); Кунзах – Тлох, Ботлих – Агвали – Хвайни (сели, обвально-осыпные процессы); Унцукуль – Цитаних, Советское – Бежта, Тлярата (обвально-осыпные процессы); Ботлих – Анди, Зило, Риквани, дороги по долинам рек Чирагчай, Курах, Самур и их притоков (оползни, обвально-осыпные процессы, сели).

Наиболее опасными по подверженности воздействию ЭГП являются участки автодорог [Тагиров и др., 1984]: с. Ахты – пос. геологов Кизил-дере; с. Рутул – Цахур, Мишлеш; участки

автодорог между районными центрами Совестского, Тляратинского и Цунтинского районов; с. Агвали – Эчеда, Тлондора, Хуштада; р.ц. Мехельта – с. Тлох и многие другие.

Процессы, вызванные сельскохозяйственным освоением

Освоение территории горной части Дагестана под сельскохозяйственные угодья с использованием современной мощной техники существенно нарушает естественные условия развития склонов и вызывает активизацию выветривания, эрозионных и оползневого процессов.

В последнее время в горной части Дагестана, в бассейнах рек Ахтычай, Усухчай, Кара-Самур, Курахчай, Чирагчай, в верховьях рек Аварское и Андийское Койсу отмечается оголение склонов, что связано с интенсивным проявлением в этих районах оползней, эрозии, солифлюкции. На крутых склонах маломощный почвенный покров (1-3 м) теряет устойчивость в контакте с коренными породами и смещается вниз по склону. Наиболее сильное проявление эрозионного процесса наблюдается, преимущественно, в зоне распространения глинистых сланцев, которые легко подвергаясь выветриванию, превращаются в мелкощебенистую сыпучую массу, что приводит к эрозии вышележащих почвенных слоев. Развитию эрозии способствуют неправильная вспашка склонов, неумеренный выпас животных и другие факторы [Тагиров и др., 1984].

Нарушение целостности почвенного покрова в горах приводит к тому, что оголенные и каменистые склоны не поглощают выпадающие атмосферные осадки, которые, попадая в долину, усиливают речные паводки, нередко провоцируя прохождение селевых потоков. Значительную роль в защите поверхности склонов от денудации играют леса, уничтожение которых также приводит к активизации эрозионных, селевого, оползневого и других процессов.

Анализ проведенных работ по обследованию участков катастрофического проявления ЭГП [Тагиров и др., 1984] показал, что в девяти случаях из десяти главной причиной катастрофического проявления ЭГП (особенно оползней) является активное вмешательство человека в окружающую среду, особенности которого разнообразны и связаны со спецификой того или иного вида деятельности.

Направления дальнейшего развития территории

В 2011 г. Правительством республики была утверждена «Схема территориального планирования Республики Дагестан», разработанная ОАО «Российский институт градостроительства и инвестиционного развития» («Гипрогор», г. Москва) в целях определения направления территориального развития Республики Дагестан до 2015 г., на расчетный срок – до 2025 г., прогнозный период – до 2040 г. [Схема…, Т.1, 2007]. В ней представлен долгосрочный план развития государственной инфраструктуры республиканского уровня (транспортной, инженерной и социальной), а также планирование территории для установления

функциональных зон, зон планируемого размещения объектов капитального строительства для государственных нужд (объектов энергетических систем, объектов транспорта и связи, линейных и других объектов республиканского значения), зон с особыми условиями использования территории.

Основными направлениями дальнейшего территориального развития республики являются: 1) развитие рекреационных территорий; 2) развитие территории поселений, урбанизированных территорий, территории агломерации (в том числе развитие сети горных дорог республики – реконструкция и новое строительство автомобильных дорог, мостов, тоннелей и др. сооружений); 3) освоение гидроэнергетических ресурсов (строительство малых ГЭС на горных реках Дагестана); 4) освоение месторождений углеводородного сырья, строительных материалов, медно-колчеданных руд.

С одной стороны, республика имеет большие потенциальные резервы развития и усовершенствования сложившейся планировочной структуры и функционального зонирования. С другой стороны, намеченные преобразования связаны с достаточно серьезными ограничениями развития производственного потенциала республики, которыми являются широкое распространение опасных геологических процессов и дефицит земельных ресурсов в пределах горной части республики [Схема…, Т.1, 2007].

Современный этап градостроительного освоения здесь, как и по всей России, связан с решением задач качественного обустройства и сохранения экологического равновесия в регионе. В связи с этим планируемые масштабы и направления градостроительного освоения территории будут существенно различаться по территориальным зонам и районам республики. Наиболее интенсивно будут осваиваться рекреационные территории, территории, тяготеющие к транспортным коридорам, а также территории месторождений полезных ископаемых. Поэтому главным при комплексной оценке территории, согласно указанной схеме территориального планирования, являлось выявление потенциальных резервов градостроительного освоения именно этих территорий [Схема…, Т.2, кн.3, 2007].

Несмотря на то, что центральная зона объективно имеет более благоприятные условия для градостроительного освоения (по природно-климатическим и экономическим факторам), в проектном периоде предусматривается активное хозяйственное освоение горных территорий республики за счет туристско-рекреационной деятельности, а также отраслей агропромышленного комплекса [Схема…, Т.2, кн.3, 2007]. Кроме того, увеличение хозяйственной освоенности этих территорий произойдет за счет освоения месторождений строительных материалов и освоения гидроэнергетических ресурсов горных районов республики.

Увеличивающиеся темпы развития инфраструктуры в горной части республики

усиливают техногенную нагрузку на геологическую среду, что без выполнения необходимых мероприятий инженерной защиты, приведет к активизации и увеличению площадей развития здесь целого комплекса различных ЭГП, в том числе оползневого процесса.

3.10. Выбор показателей и первичная обработка данных

Обобщение и анализ рассмотренных выше особенностей исследуемой территории, включающих как природные условия, так и отдельные (основные) виды техногенной нагрузки, позволили систематизировать данные, характеризующие факторы развития оползней 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 разнообразны климатические условия территории, обусловленные особенностями горной местности (высотной поясностью, экспозицией склонов и т.д.) 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 горных пород;
5. развитие и активизация оползней в настоящее время нередко являются следствием техногенного воздействия на территорию при различных видах строительства и освоения территории.

На основе этих данных были подготовлены показатели, собранные в группы: орографические и ландшафтные; гидрометеорологические; показатели, характеризующие состав и состояние грунтов; показатели, характеризующие тектонические условия; показатели техногенной нагрузки на территорию.

Для всех показателей были сформированы векторные карты, собранные в картографическую базу данных. Эти данные используются в дальнейшем исследовании условий развития оползневого процесса.

Выводы.

1. На основе исследованных особенностей развития оползней в Горном Дагестане были выбраны условия, которые могут влиять на развитие оползневого процесса непосредственно на исследуемой территории. Выделены следующие группы показателей, характеризующие условия развития оползней: орографические и ландшафтные; гидрометеорологические; показатели, характеризующие состав и состояние грунтов; показатели, характеризующие тектонические условия; показатели техногенной нагрузки на территорию. Также приведена характеристика развития оползней на данной территории.
2. Отобранные в результате обобщения и анализа исходной информации данные об условиях развития оползневого процесса в Горном Дагестане были векторизованы, приведены к единой форме и собраны в созданную базу данных. Составлены электронные векторные карты для всех показателей, характеризующих природные и техногенные условия, которые могут влиять на развитие оползневого процесса, а также карта оползневых проявлений. Это позволило решить вопрос представления данных, четко структурировать, оперативно использовать, а также визуализировать исходную информацию. При этом применялись различные современные методы обработки пространственных и атрибутивных данных.
3. Созданная база данных и серия карт горной территории Дагестана могут использоваться в качестве информационной и картографической основы при ведении мониторинга оползневого процесса на исследуемой территории, в том числе в качестве основы моделей (различного масштаба и назначения), а также для прогноза изменений геологической среды. Применение ГИС позволяет моделировать различные варианты изменений условий в пределах исследуемой территории с учетом развития здесь ЭГП, а также различных по типу и интенсивности техногенных воздействий. Такая база данных может позволить с заданной степенью достоверности формировать представление о развитии оползней на исследуемой территории, как компонента геологической среды.

Глава 4. Изучение оползневого процесса в Горном Дагестане

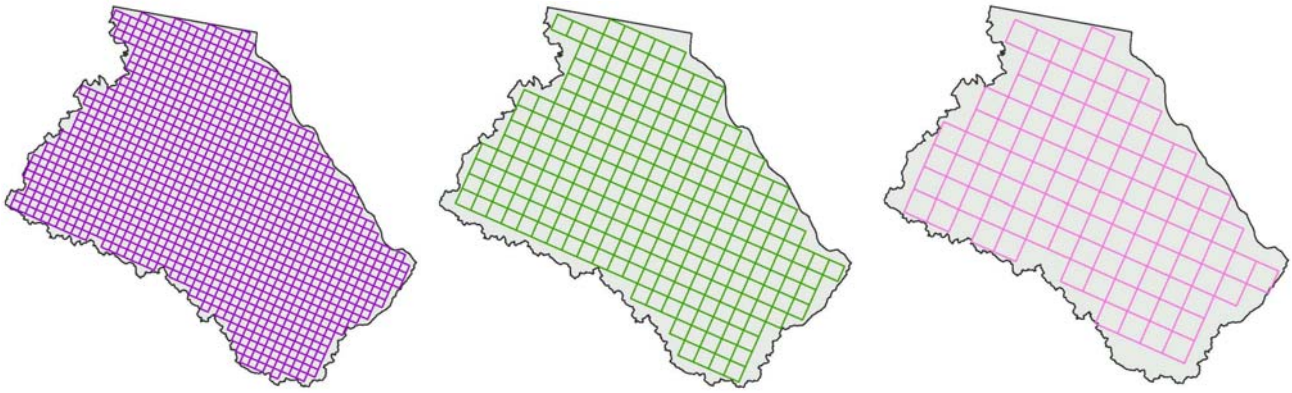
4.1. Подготовка данных для анализа и расчет информационных характеристик

Выбор показателей, характеризующих условия территории, которые могут влиять на развитие оползневого процесса, и первичная обработка данных позволили подготовить векторные карты всех показателей (признаков), собранные в базу данных.

В виду того, что все признаки разномасштабные и имеют разный уровень изученности, использовалось разбиение территории на квадратные ячейки (блоки), внутри которых признак считается однородным.

Детальность (масштаб) оценки и основных карт на региональном уровне оценки и управления природными рисками предполагает 2 вида: субрегиональный уровень (городской, районный), масштаб – 1:10 000-1:50 000; региональный уровень (субъектный), масштаб – 100 000-1 000 000 [Природные опасности…, Т.6, 2003]. Соответственно, изучение территории субъекта или его части, в данном случае горной части Республики Дагестан, должно выполняться в масштабах 100 000-1 000 000 с учетом детальности исходной информации о признаках.

Для изучения влияния масштаба осреднения данных на получаемые результаты в настоящей работе при построении моделей были использованы сетки с размером блоков 5×5 км^2 (1079 блоков), 10×10 км^2 (246 блоков), 15×15 км^2 (100 блоков) (рис.23), ориентированные вкрест основной изменчивости показателей.



а *б* *в*

Рис.23. Модельные сетки, использованные при анализе, с размером блоков 5 км (*а*), 10 км (*б*) и 15 км (*в*)

Использование подготовленных модельных сеток позволило привести признаки к единой пространственной модели, после чего все признаки, выделенные в группы, были ранжированы. Таким образом, особенности условий развития оползней на территории Горного Дагестана характеризовались показателями, перечень которых приведен ниже (табл.7).

Таблица 7.

Показатели, выбранные для характеристики условий развития оползней на территории Горного Дагестана

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-метео-рологи-ческие	x_{12}	Средняя годовая температура воздуха (°С)		количеств.
	x_{13}	Средняя годовая температура поверхности почвы (°С)		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.
Тектони-ческие	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.
Характе-ристика развития оползней	Y_1	Территории развития оползневых проявлений	наличие оползневых проявлений	качеств.
	Y_2		пораженность территории оползневыми проявлениями (%)	количеств.

*Тип признака (качественный, количественный) определяется 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.

Подготовленные векторные тематические карты всех показателей, использованных в последующем анализе, рассмотрены далее по выделенным группам.

Орографические и ландшафтные показатели. В данной группе собраны показатели, характеризующие особенности поверхности рельефа, типы почв и растительности, а также особенности развития наиболее распространенных и ущербообразующих на рассматриваемой территории ЭГП. Особенности рельефа предопределяют пространственные закономерности развития оползневого процесса; типы почв и растительности влияют на устойчивость склонов, на которых распространены; рассмотрение других ЭГП, развитых на данной территории, может выявить взаимосвязь развития этих процессов непосредственно с оползневым процессом.

Среди показателей были выбраны следующие.

Абсолютные отметки рельефа (x_1) (рис.24). Показатель количественный. Рассчитан в ГИС путем построения цифровой модели рельефа, используя горизонтали рельефа топографической основы масштаба 1:200 000 [Схема…, Т.2, кн.1, 2007]. Представляет собой среднее значение высотных отметок в каждом блоке сетки.

Уклон земной поверхности (x_2) (рис.25). Показатель количественный. Рассчитан с использованием ГИС из полученной цифровой модели рельефа. Представляет собой среднее значение уклона в каждом блоке сетки.

Экспозиция склонов (x_3) (рис.26). Показатель качественный. Рассчитан с использованием ГИС из полученной цифровой модели рельефа. Представляет собой характеристику экспозиции склонов, занимающих наибольшую площадь в каждом блоке сетки.

Кривизна земной поверхности (x_4) (рис.27). Показатель качественный. Рассчитан с использованием ГИС из полученной цифровой модели рельефа. Представляет собой характеристику формы поверхности рельефа (выпуклую, вогнутую, условно плоскую), занимающей наибольшую площадь в каждом блоке сетки.

Превышение над местным базисом эрозии (x_5) (рис.28). Показатель количественный. Рассчитан с использованием ГИС из полученной цифровой модели рельефа. Представляет собой среднее значение превышения в каждом блоке сетки.

Густота речной сети (x_6) (рис.29). Показатель количественный. Рассчитан с использованием ГИС как общая длина всех водотоков, полученных по топографической основе масштаба 1:200 000 [Схема…, Т.2, кн.1, 2007], приходящаяся на 1 км^2. Представляет собой среднее значение густоты речной сети в каждом блоке сетки.

Ландшафт (x_7) (см. рис.10). Показатель качественный. Получен по карте ландшафтов масштаба 1:300 000 [Схема…, Т.2, кн.1, 2007]. Характеризует тип горного ландшафта, занимающий наибольшую площадь в каждом блоке сетки.

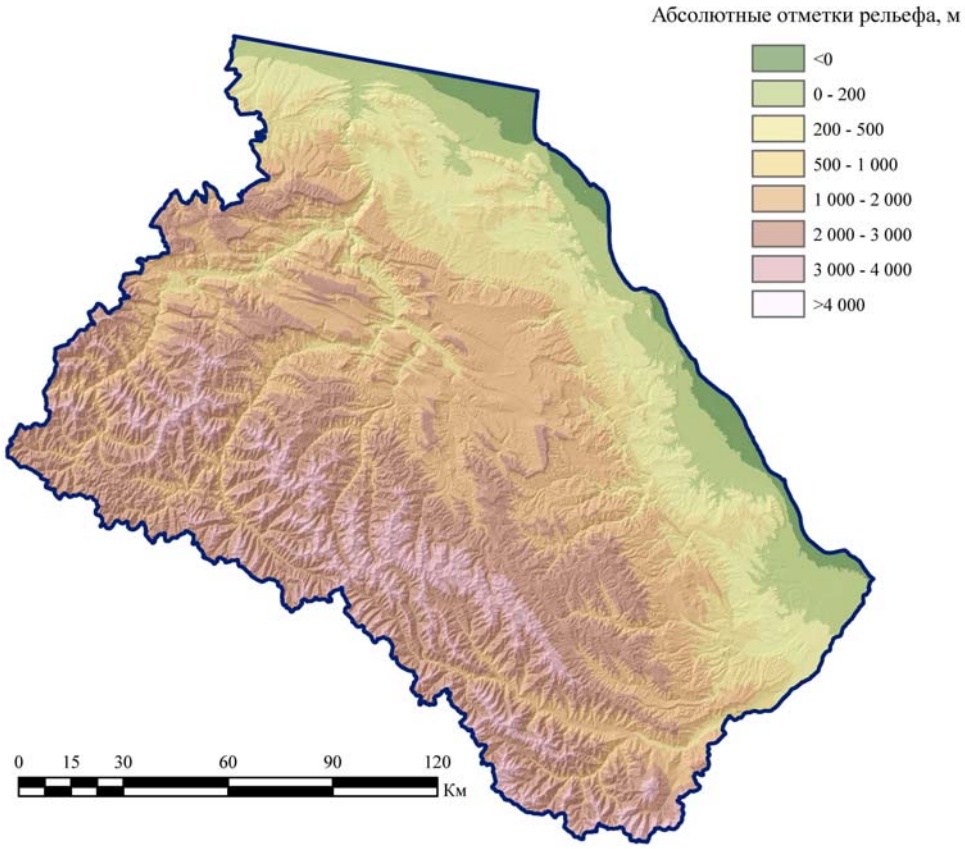


Рис.24. Признак x_1

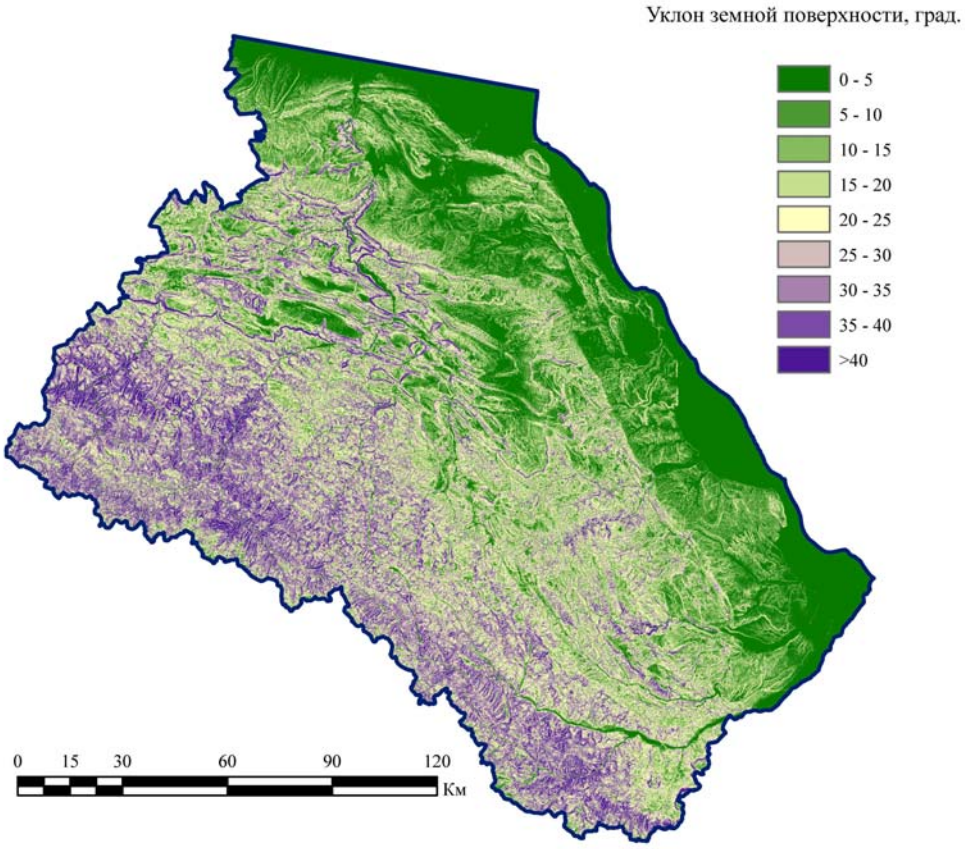


Рис.25. Признак x_2

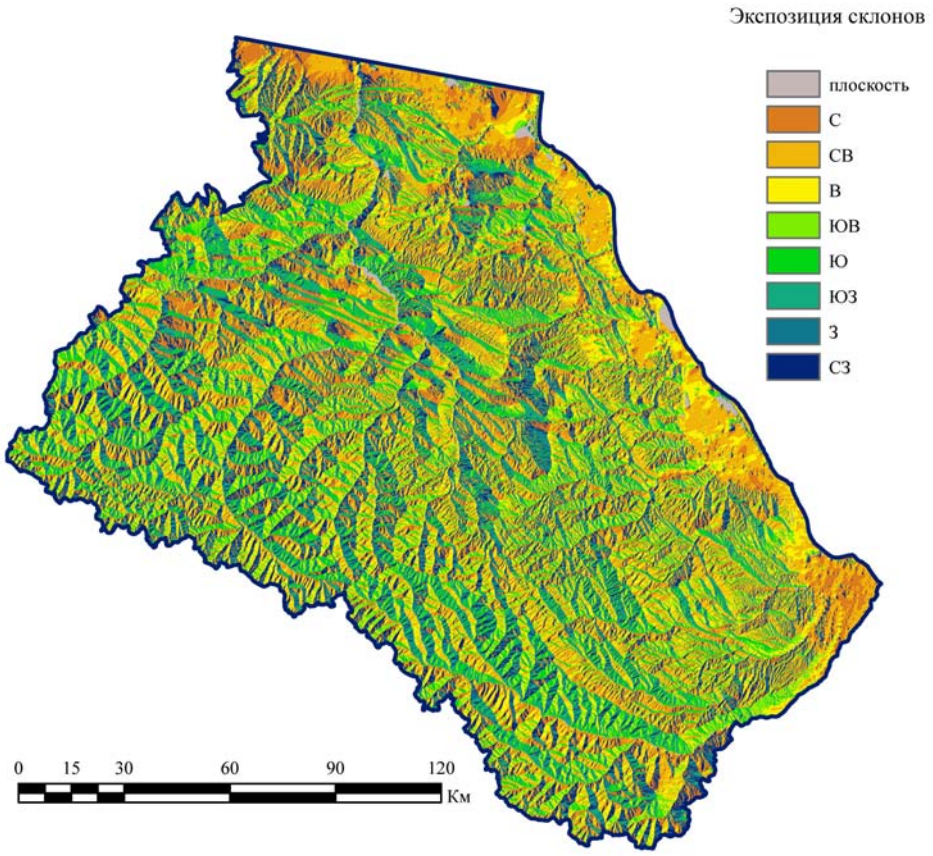


Рис.26. Признак x_3

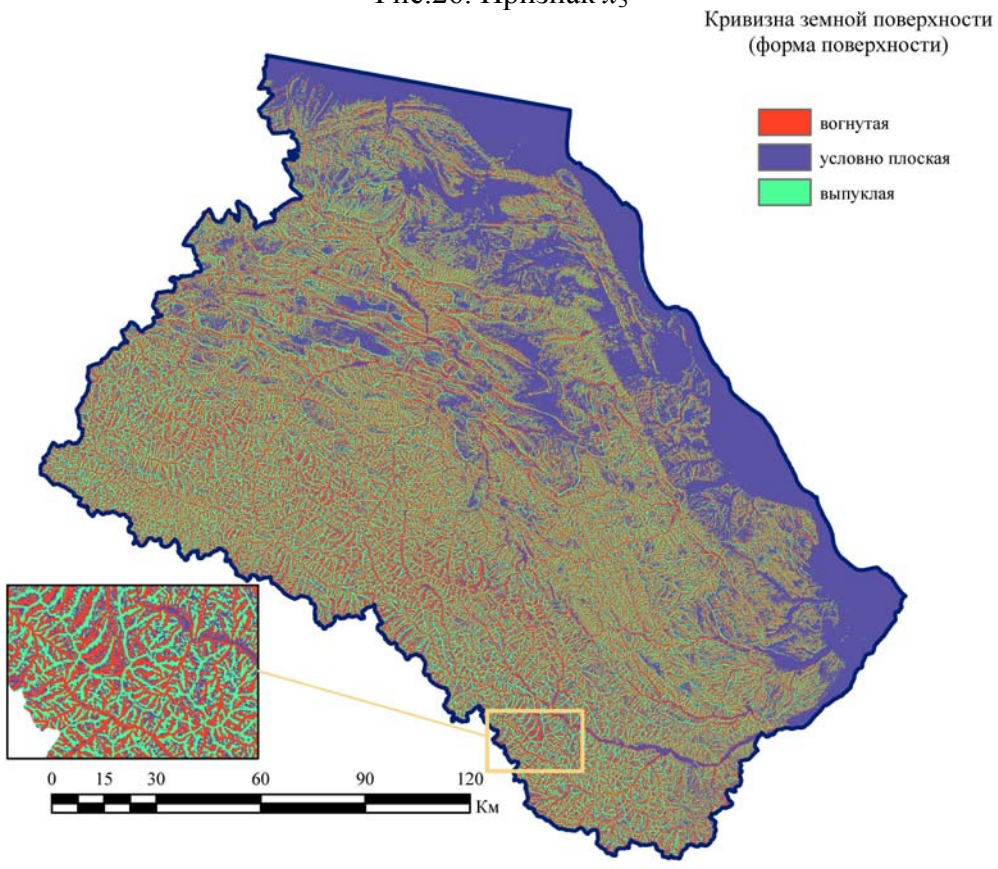


Рис.27. Признак x_4

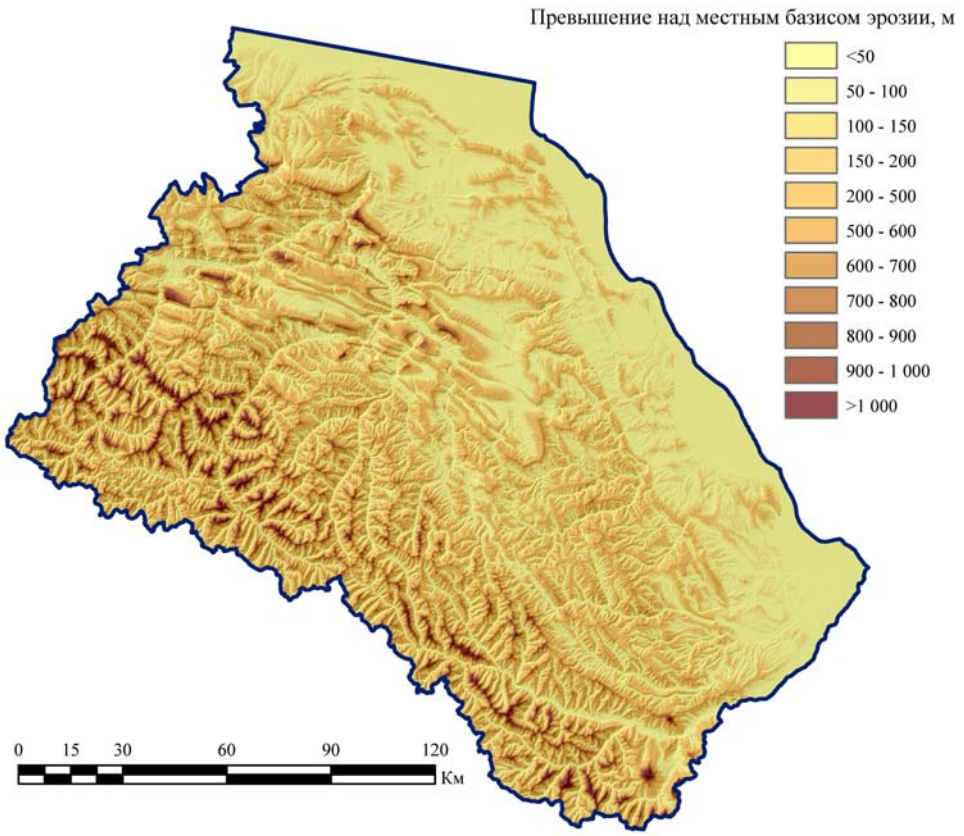


Рис.28. Признак x_5

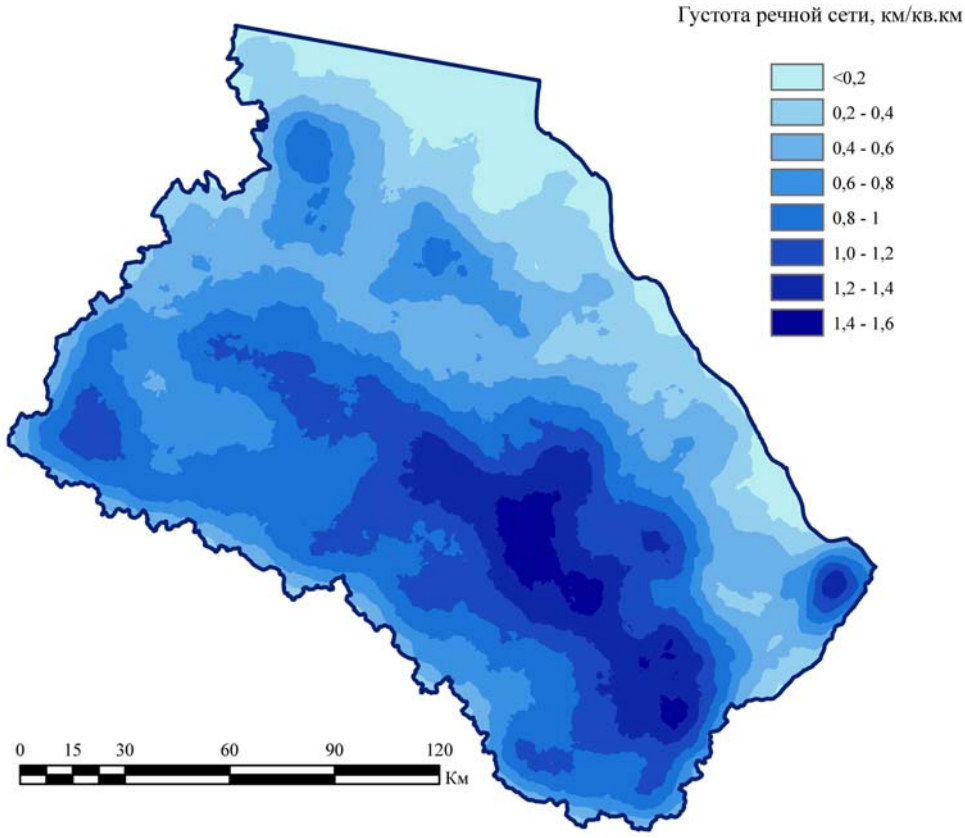


Рис.29. Признак x_6

Почвы (x_8) (см. рис.11). Показатель качественный. Получен по карте почв масштаба 1:300 000 [Схема…, Т.2, кн.1, 2007]. Характеризует тип почв, занимающий наибольшую площадь в каждом блоке сетки.

Растительность (x_9) (см. рис.12). Показатель качественный. Получен по топографической основе масштаба 1:200 000 [Схема…, Т.2, кн.1, 2007]. Характеризует тип растительности, занимающий наибольшую площадь в каждом блоке сетки.

Территории развития селевого процесса (x_{10}) (см. рис.17). Показатель качественный. Получен по «Карте фактического материала проявлений экзогенных геологических процессов масштаба 1:200 000» (на территории Горного Дагестана) [Тагиров, 1974]. Представляет собой характеристику территории по наличию/отсутствию селевых водотоков в каждом блоке сетки.

Территории развития обвально-осыпных процессов (x_{11}) (см. рис.21). Показатель качественный. Получен по топографической основе масштаба 1:200 000 [Схема…, Т.2, кн.1, 2007]. Представляет собой характеристику территории по наличию/отсутствию обвально-осыпных проявлений в каждом блоке сетки.

Гидрометеорологические показатели. В данной группе отражены показатели, влияющие на условия выветривания, в том числе определяющие характер увлажнения поверхностного слоя грунтов, тем самым влияющие на развитие и активизацию оползневого процесса.

Среди гидрометеорологических показателей были выбраны следующие.

Средняя годовая температура воздуха (x_{12}) (рис.30). Показатель количественный. Рассчитан путем интерполяции данных по метеостанциям республики и прилегающих территорий [Научно-прикладной справочник…, вып.13, вып.15, 1990]. Характеризует среднее значение среднегодовой температуры воздуха в каждом блоке сетки.

Средняя годовая температура поверхности почвы (x_{13}) (рис.31). Показатель количественный. Рассчитан путем интерполяции данных по метеостанциям республики и прилегающих территорий [Научно-прикладной справочник…, вып.13, вып.15, 1990]. Характеризует среднее значение среднегодовой температуры поверхности почвы в каждом блоке сетки.

Годовое количество осадков (x_{14}) (рис.32). Показатель количественный. Рассчитан путем интерполяции данных по метеостанциям республики и прилегающих территорий [Научно-прикладной справочник…, вып.13, вып.15, 1990]. Характеризует среднее значение годового количества осадков в каждом блоке сетки.

Среднее максимальное суточное количество осадков (x_{15}) (рис.33). Показатель количественный. Рассчитан путем интерполяции данных по метеостанциям республики и прилегающих территорий [Научно-прикладной справочник…, вып.13, вып.15, 1990]. Характеризует среднее значение максимального суточного количества осадков в каждом блоке сетки.

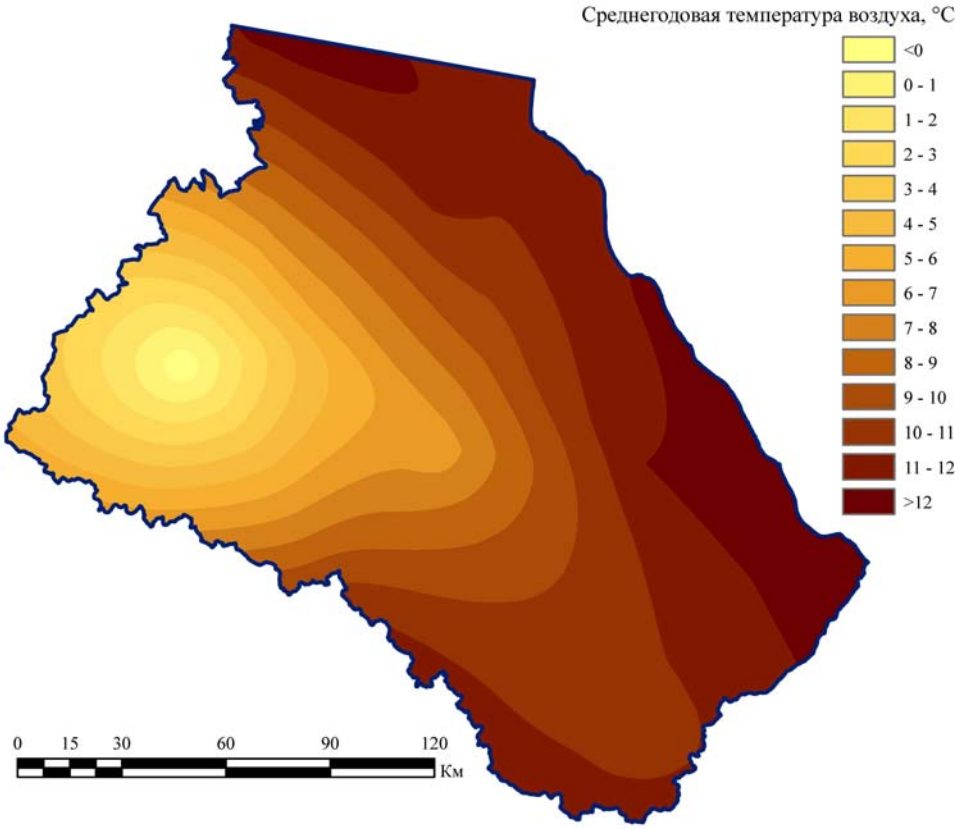


Рис.30. Признак x_{12}

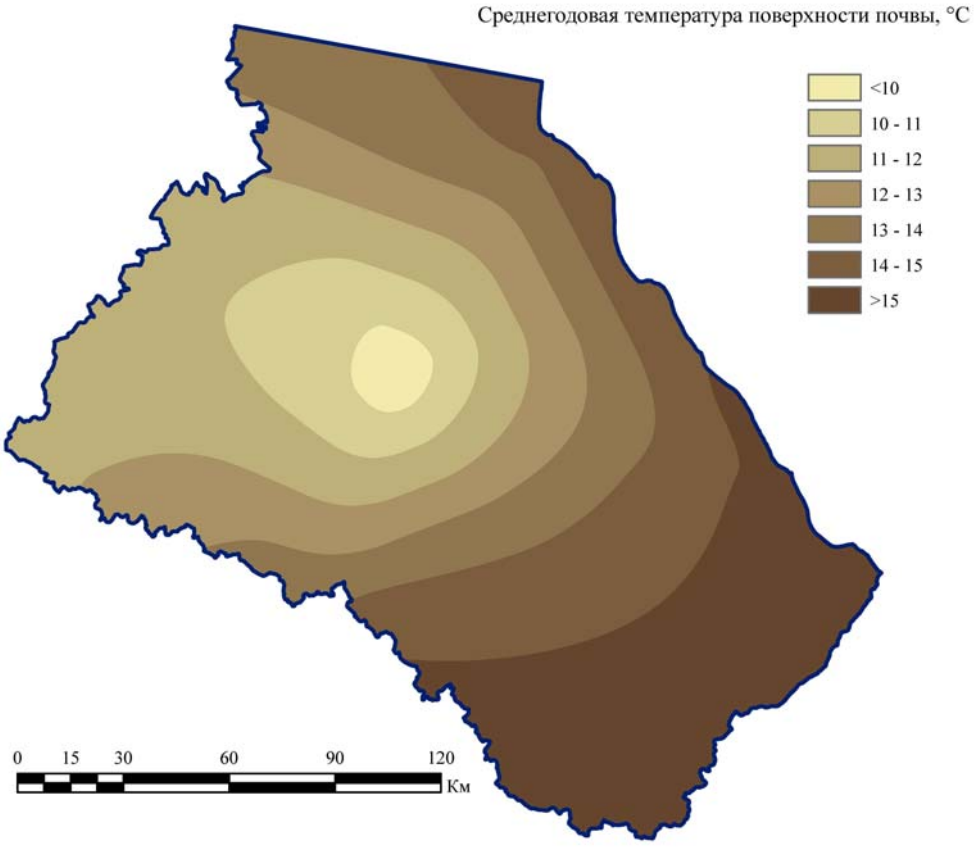


Рис.31. Признак x_{13}

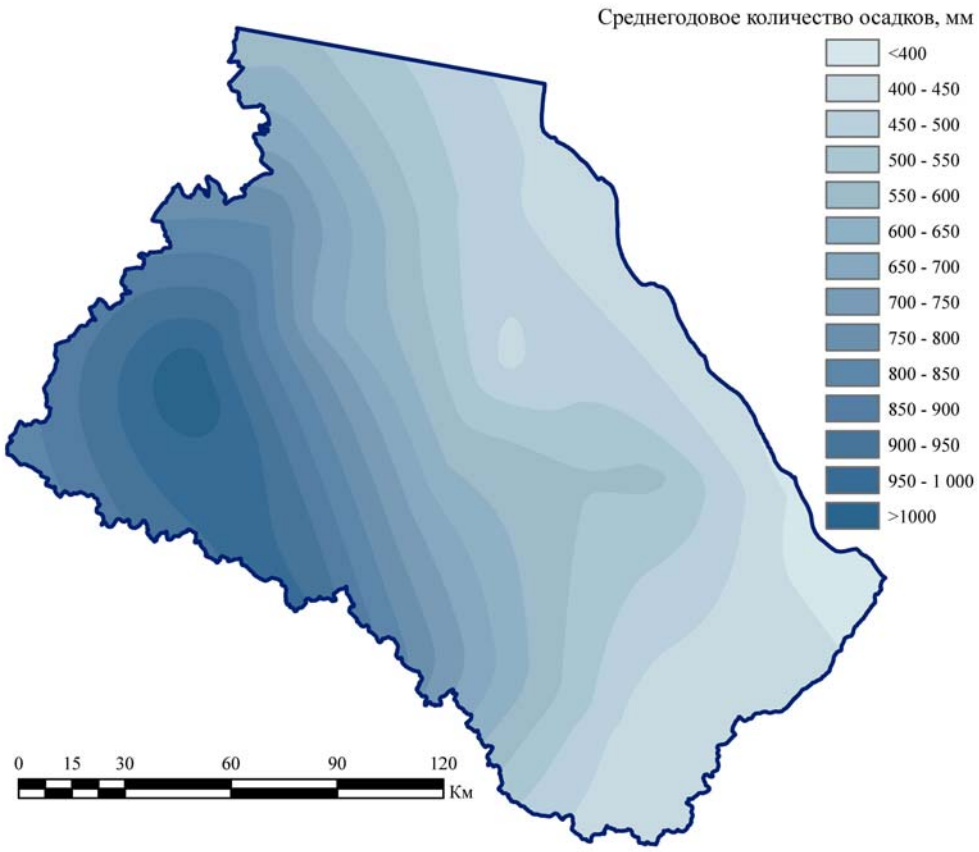


Рис.32. Признак x_{14}

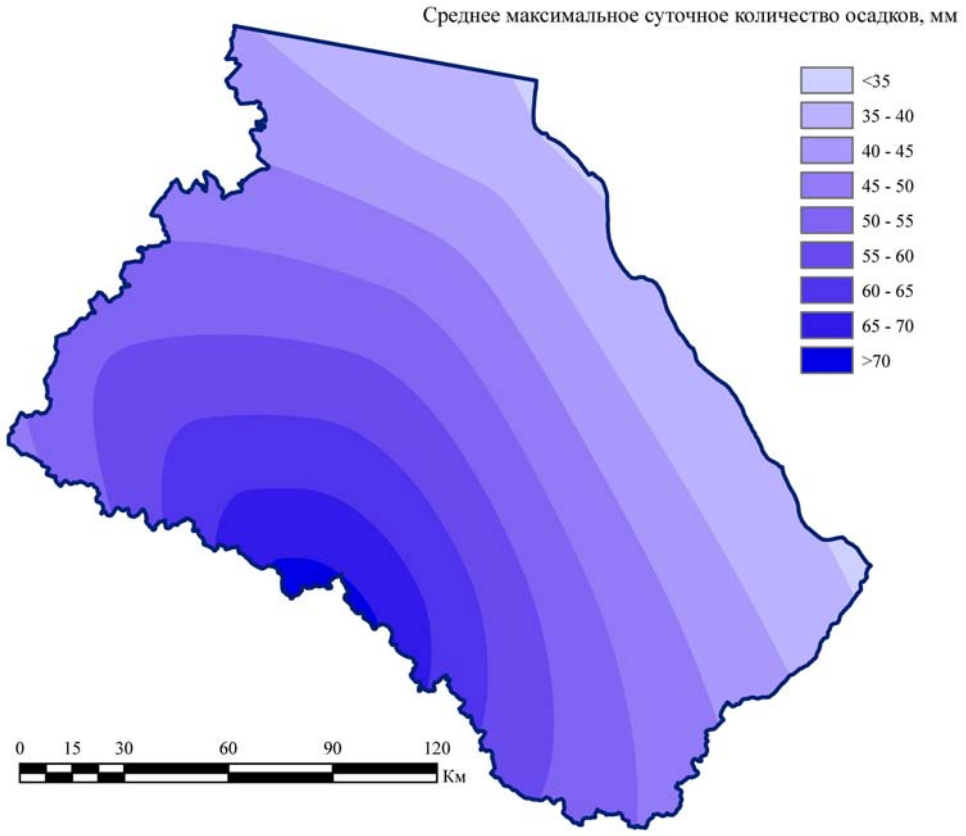


Рис.33. Признак x_{15}

Характеристика состава и состояния грунтов. Показатели данной группы определяют, какие именно ЭГП могут наблюдаться на рассматриваемой территории, а также характер их развития, поскольку они влияют на устойчивость грунтов к эрозионно-денудационным процессам, соответственно, на устойчивость склонов, которые слагают.

Среди показателей, характеризующих состав и состояние грунтов, были выбраны следующие.

Литологическая характеристика четвертичных отложений (x_{16}). Показатель качественный. Получен по геологической карте (плиоцен-четвертичных образований) масштаба 1:1 000 000 [Государственная геологическая карта…, 2009] (см. рис.14). Характеризует тип четвертичных отложений, занимающий наибольшую площадь в каждом блоке сетки.

Литологическая характеристика дочетвертичных отложений (x_{17}) (см. рис.13). Показатель качественный. Получен по геологической карте (дочетвертичных образований) масштаба 1:1 000 000 [Государственная геологическая карта…, 2009]. Характеризует тип дочетвертичных отложений, занимающий наибольшую площадь в каждом блоке сетки.

Литологическая характеристика отложений, дочетвертичные и четвертичные объединенные (x_{18}) (рис.34). Показатель качественный. Получен путем составления грунтовых толщ четвертичных и дочетвертичных отложений, объединенных, с использованием геологических карт соответствующих отложений для рассматриваемой территории. Характеризует тип грунтовых толщ, занимающий наибольшую площадь в каждом блоке сетки.

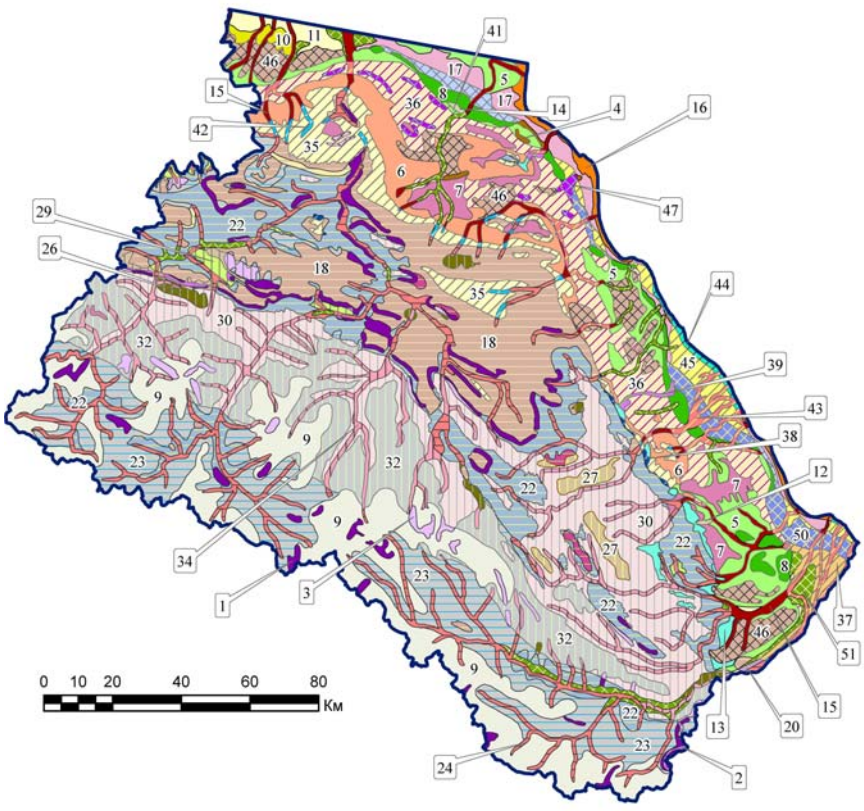


Рис.34. Признак x_{18}

Условные обозначения

Грунтовые толщи					
Сложенные грунтами одного класса	скальные	много-породные		1	Скальные.
				2	Скальные.*
				3	Скальные.*
	дисперсные	однопородные		4	Глинистые.
				5	Глинистые.*
				6	Глинистые.*
				7	Глинистые с включениями крупнообломочных.
				8	Крупнообломочные.
				9	Крупнообломочные с глинистым заполнителем.
		двухпородные		10	Лёссовые, подстилаемые глинистыми.
				11	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые глинистыми.
				12	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые глинистыми.
				13	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые глинистыми.
				14	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые глинистыми.
		много-породные		15	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые глинистыми.
				16	Песчаные с прослоями глинистых и крупнообломочных, подстилаемые глинистыми.
				17	Песчаные, крупнообломочные и глинистые переслаивающиеся, подстилаемые глинистыми.
Сложенные грунтами разных классов	дисперсные, подстилаемые скальными	двухпо-родные		18	Глинистые, подстилаемые скальными.
				19	Глинистые, подстилаемые скальными.
		многопородные		20	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые скальными.
				21	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые скальными.
				22	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые скальными.
				23	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые скальными.
				24	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые скальными.
	дисперсные, подстилаемые скальными с прослоями дисперсных	многопородные		25	Глинистые, подстилаемые скальными с прослоями глинистых.
				26	Глинистые, подстилаемые скальными с прослоями песчаных.
				27	Глинистые с включениями крупнообломочных, подстилаемые скальными с прослоями песчаных.

				28	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые скальными с прослоями песчаных.
				29	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые скальными с прослоями глинистых.
				30	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые скальными с прослоями песчаных.
				31	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые скальными с прослоями глинистых.
				32	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые скальными с прослоями песчаных.
				33	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые скальными с прослоями глинистых.
				34	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые скальными с прослоями песчаных.
	дисперсные, подстилаемые скальными и дисперсными переслаивающимися	многопородные		35	Глинистые, подстилаемые скальными и глинистыми с редкими прослоями песчаных.
				36	Глинистые, подстилаемые скальными, глинистыми и песчаными.
				37	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными.
				38	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые скальными и глинистыми с редкими прослоями песчаных.
				39	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными.
				40	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые скальными и глинистыми с редкими прослоями песчаных.
				41	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными.
				42	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые скальными и глинистыми с редкими прослоями песчаных.
				43	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными.
				44	Песчаные с прослоями глинистых и крупнообломочных, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными.
				45	Песчаные, крупнообломочные и глинистые, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными.
	скальные и дисперсные переслаивающиеся	многопородные		46	Глинистые, песчаные и скальные с прослоями крупнообломочных и скальных.
				47	Глинистые, песчаные и скальные.
				48	Скальные и глинистые с редкими прослоями песчаных.
				49	Крупнообломочные и скальные с прослоями песчаных, подстилаемые глинистыми с прослоями песчаных и скальных.
				50	Крупнообломочные и скальные с прослоями песчаных, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными.
				51	Преимущественно крупнообломочные, глинистые и скальные.

*Примечание: одноименные толщи, представленные разновидностями грунтов (подробное описание толщ см. в Приложении), цифрами обозначены номера толщ на карте.

Характеристика состояния грунтов, обусловленного фазовым состоянием воды в них (x_{19}) (рис.35). Показатель качественный. Получен по результатам дешифрирования космоснимков высокого разрешения. Характеризует тип территории по фазовому состоянию воды в грунтах: область распространения талых грунтов, область распространения

многолетнемерзлых грунтов (ММП). Для области распространения талых грунтов также указано значение уровня грунтовых вод (УГВ), характеризующее степень увлажненности грунтов, которое получено по «Инженерно-геологической карте Дагестана для целей детального сейсмического районирования» масштаба 1:500 000 [Цыпина и др., 1998].

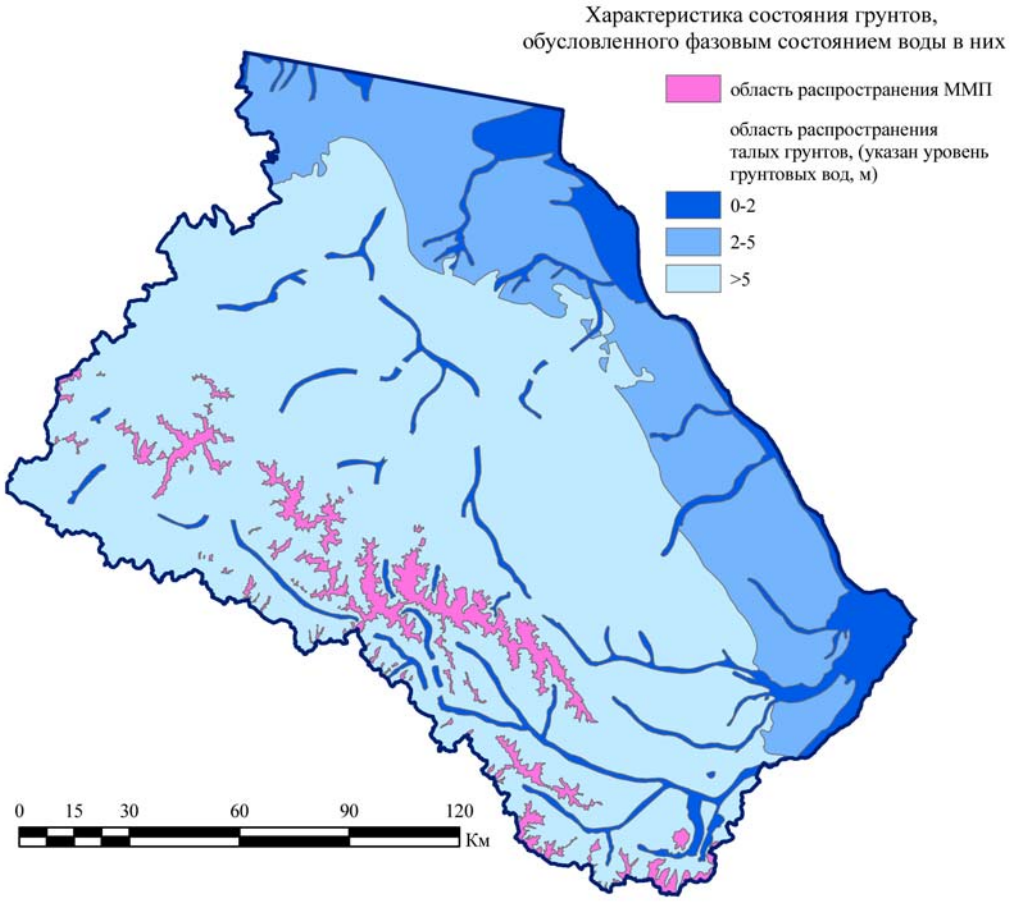


Рис.35. Признак x_{19}

Тектонические показатели. В этой группе собраны показатели, определяющие условия формирования и последующих изменений грунтов, тем самым влияющие на пространственные закономерности развития оползневого процесса, а также на интенсивность, в том числе катастрофичность, развития оползневого процесса.

Среди тектонических показателей были выбраны следующие.

Тектонические структуры (x_{20}) (см. рис.15). Показатель качественный. Получен по тектонической карте [Государственная геологическая карта…, 2009] с использованием «Схемы структурно-тектонического районирования мезо-кайнозойского осадочного чехла Дагестана и сопредельных районов масштаба 1:500 000». Характеризует тип тектонической структуры, занимающий наибольшую площадь в каждом блоке сетки.

Сейсмичность территории (x_{21}) (см. рис.16). Показатель качественный. Получен по «Карте макросейсмических деформаций (сотрясаемости) территории Дагестана при землетрясениях» масштаба 1:500 000 [Цыпина и др., 1998]. Характеризует тип территории,

который выделен по балльности и повторяемости землетрясений один раз в 1000 лет, занимающий наибольшую площадь в каждом блоке сетки.

Разрывные нарушения (x_{22}) (см. рис.13). Показатель качественный. Получен по тектонической карте [Государственная геологическая карта…, 2009]. Представляет собой характеристику территории по наличию/отсутствию и ориентировке разрывных нарушений в каждом блоке сетки.

Скорость современных тектонических движений (x_{23}) (см. рис.16). Показатель качественный. Получен по «Инженерно-геологической карте Дагестана для целей детального сейсмического районирования» масштаба 1:500 000 [Цыпина и др., 1998]. Представляет собой значение скорости современных тектонических движений, характеризующее область, занимающую наибольшую площадь в каждом блоке сетки.

Показатели техногенной нагрузки. Выбирались показатели, характеризующие основные источники техногенного воздействия на геологическую среду, в том числе на развитие оползневого процесса. Воздействие, характеризуемое данными показателями в целом по территории и каждый вид воздействия в отдельности, носит различный характер, что может определять различные особенности развития оползневого процесса в зависимости от вида воздействия либо их совокупности на разных участках территории.

Среди показателей техногенной нагрузки были выбраны следующие.

Транспортная освоенность (плотность дорожной сети) (x_{24}) (рис.36). Показатель количественный. Рассчитан с использованием ГИС как общая длина всех автодорог, полученных по топографической основе масштаба 1:200 000 [Схема…, Т.2, кн.3, 2007], приходящаяся на 1 км^2. Характеризует среднее значение плотности дорожной сети в каждом блоке сетки.

Сельскохозяйственная освоенность (удельная продуктивность) (x_{25}) (рис.37). Показатель качественный. Получен по справочным данным по административным районам республики [Схема…, Т.2, кн.1, 2007]. Представляет собой величину удельной продуктивности, характеризующую наибольшую площадь в каждом блоке сетки.

Демографическая освоенность (плотность населения) (x_{26}) (рис.38). Показатель качественный. Рассчитан по административным районам республики с использованием справочных данных [Численность населения…, 2010]. Представляет собой значение плотности населения, характеризующее наибольшую площадь в каждом блоке сетки.

Градостроительная освоенность (плотность населенных пунктов) (x_{27}) (рис.39). Показатель количественный. Рассчитан с использованием ГИС как общее количество населенных пунктов, полученное по справочным данным по административным районам республики [Численность населения…, 2010; Реестр…, 2014], приходящееся на 1 км^2.

Характеризует среднее значение плотности населенных пунктов в каждом блоке сетки. Другие виды техногенной нагрузки в настоящей работе не рассматривались.

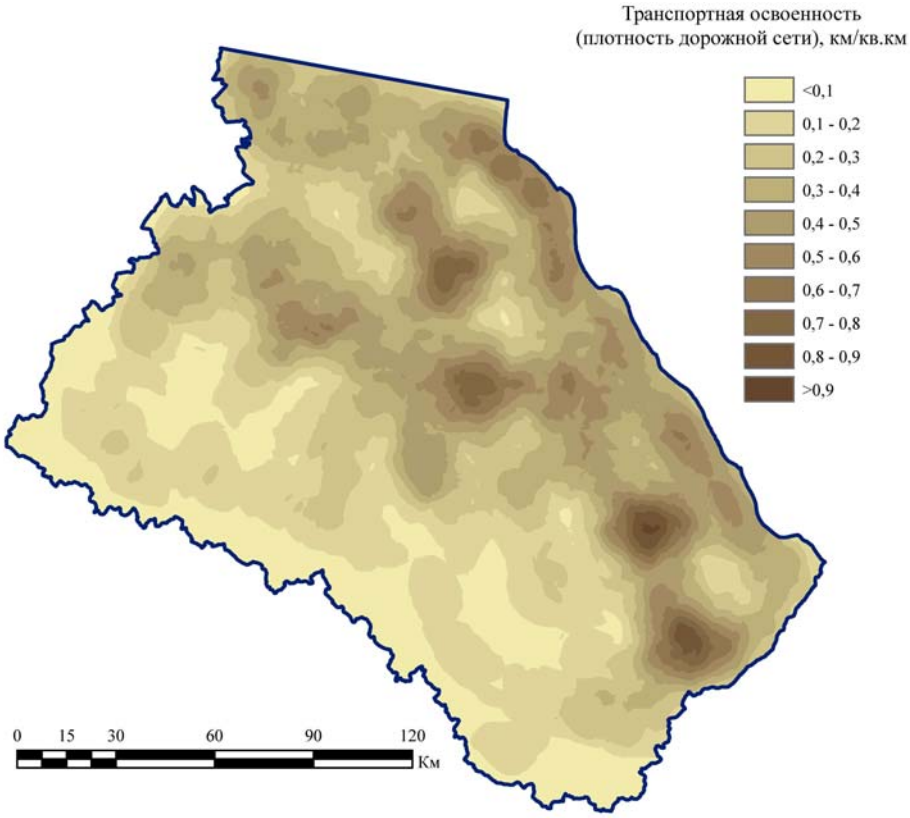


Рис.36. Признак x_{24}

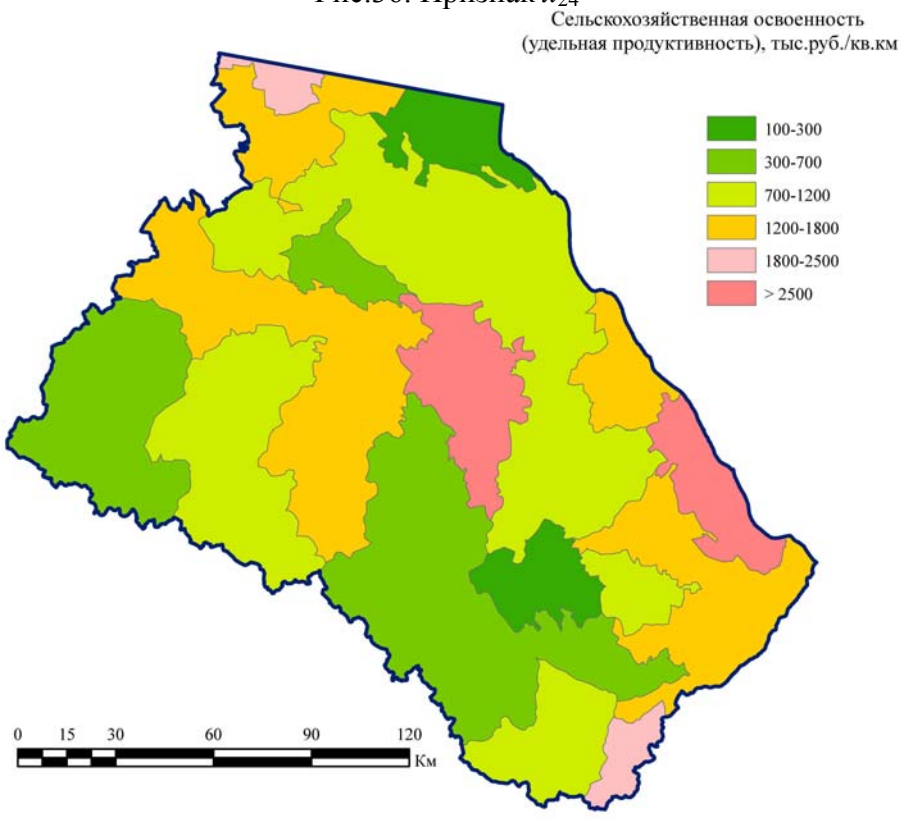


Рис.37. Признак x_{25}

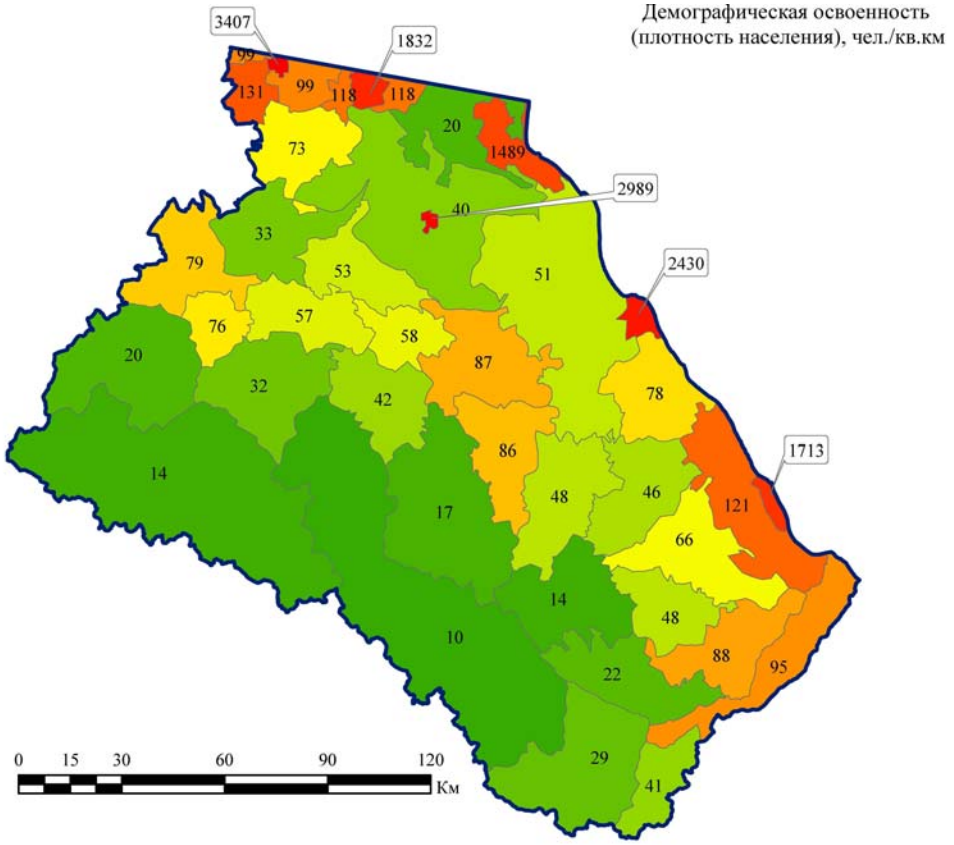


Рис.38. Признак x_{26}

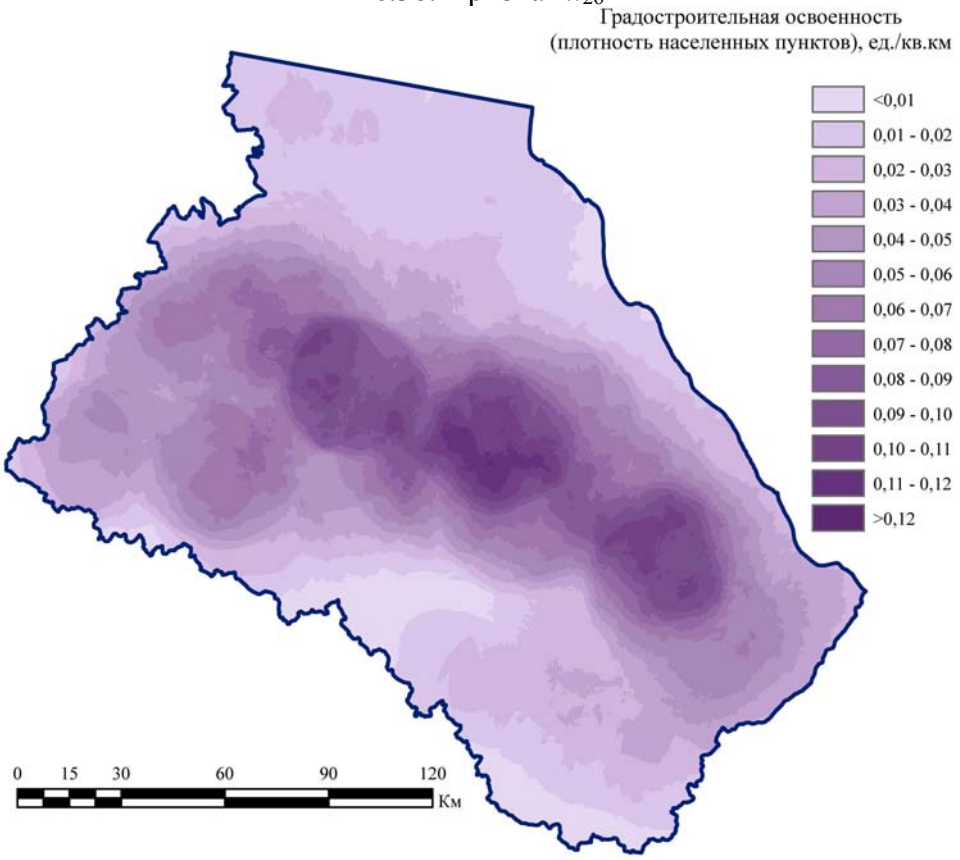
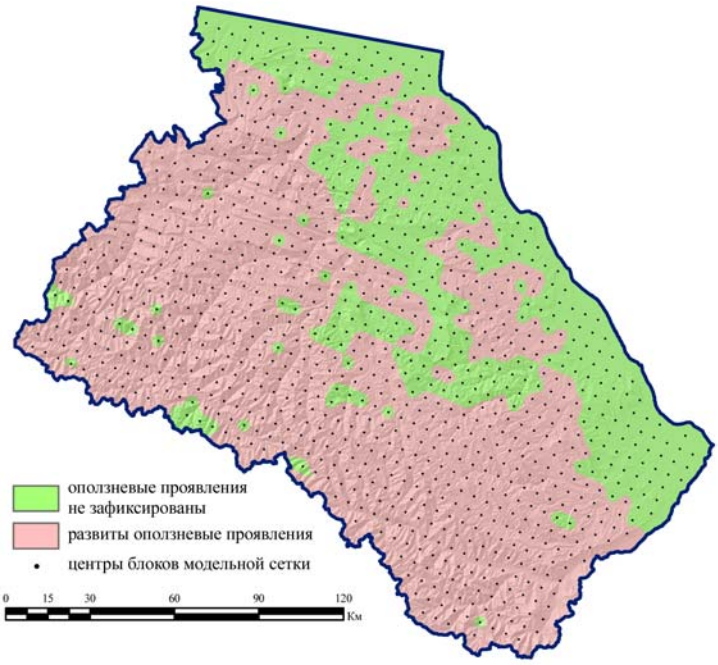
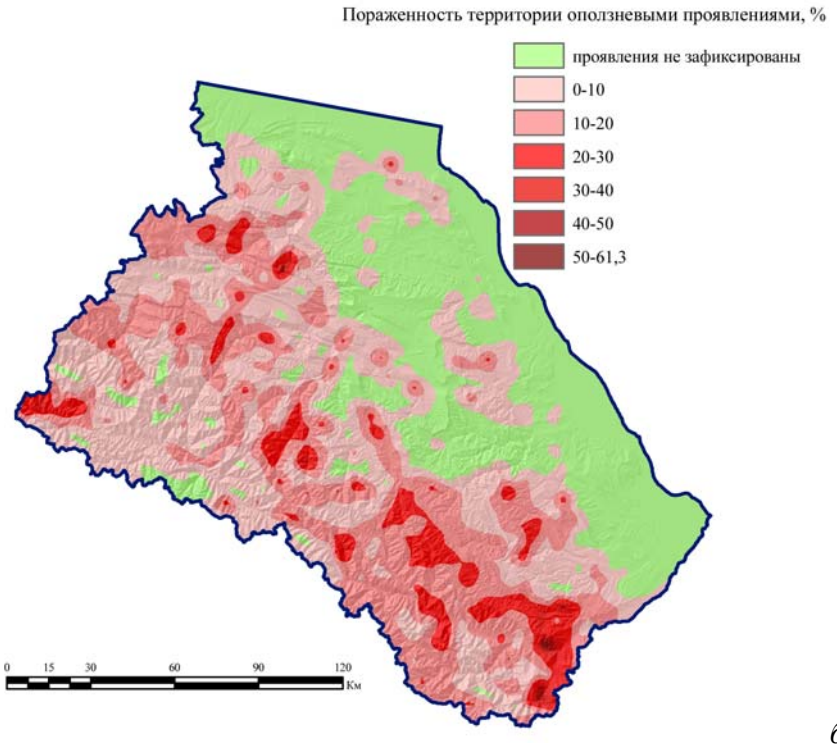


Рис.39. Признак x_{27}

Характеристика развития оползневого процесса (рис.40) получена по «Карте фактического материала проявлений экзогенных геологических процессов масштаба 1:200 000» (на территории Горного Дагестана) [Тагиров, 1974], а также «Карте регионального режима оползневого процесса масштаба 1:200 000» (на территории Горного Дагестана) [Шихрагимов и др., 1991].



а)



б)

Рис.40. Пораженность территории оползневым процессом, рассчитанная по сетке с размером блоков 5×5 км^2: а) характеризуется наличием/отсутствием оползней (Y_1), б) характеризуется количественной оценкой (0,0-61,325 %, Y_2)

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.

В итоге в сформированном перечне показателей для каждого показателя были определены границы классов, детальное описание которых приводится в Приложении.

После ранжирования формируются таблицы сопряженности показателей, на основе которых выполняется ***расчет информативности (I_0) простых признаков***. В результате выполненных расчетов были получены значения информативности простых признаков по всем моделям (рис.41).

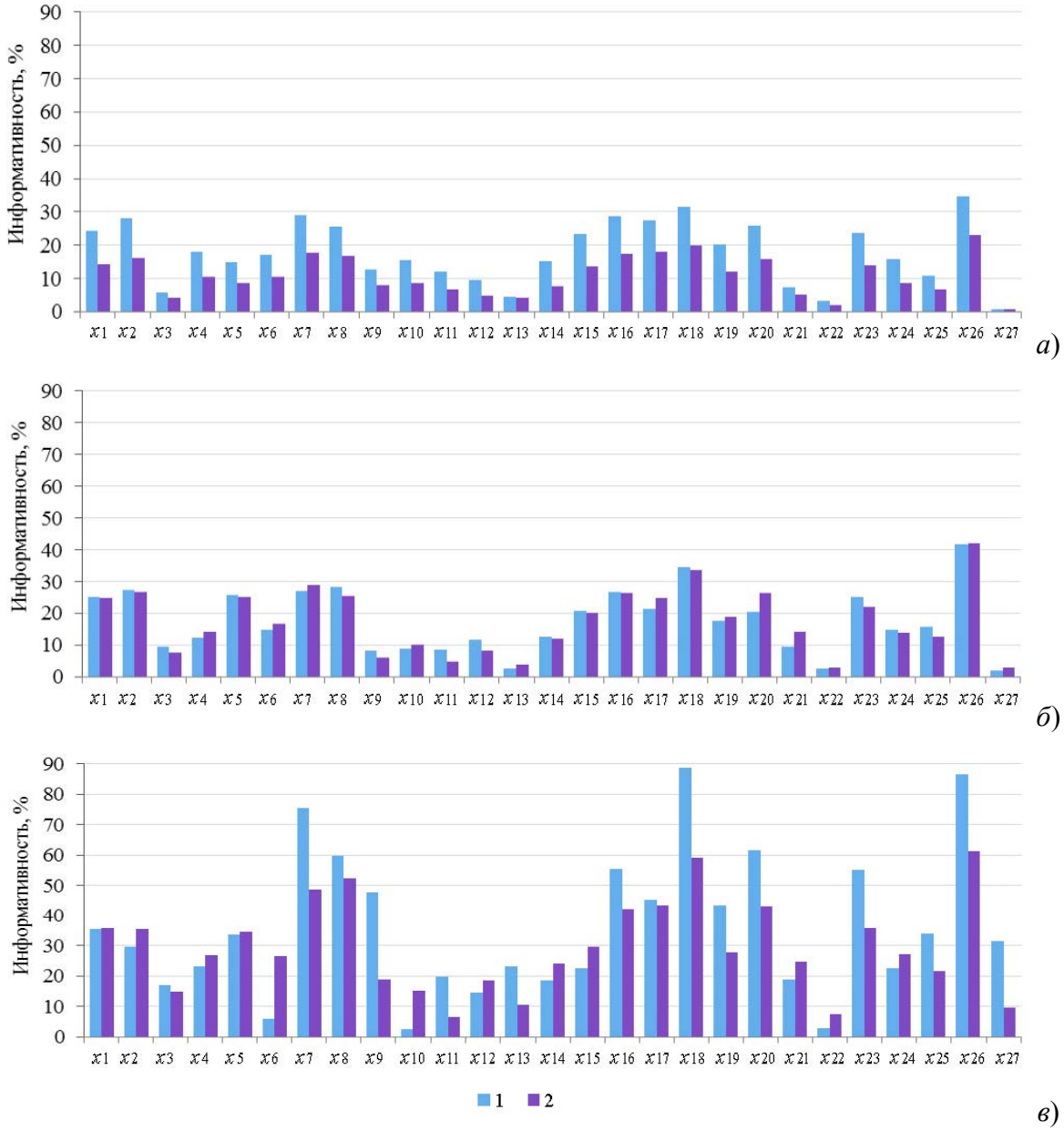


Рис.41. Информативность простых признаков (x_1-x_{27}) в моделях с размером блоков сетки 5×5 км^2 (*а*), 10×10 км^2 (*б*) и 15×15 км^2 (*в*): *1* – модели I, III, V; 2 – модели II, IV, VI

Как видно из полученных графиков, наиболее информативными простыми признаками являются признаки x_1, x_2, x_7, x_8, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{20}, x_{23}, x_{26}, характеризующие в основном особенности ландшафтов, отложений, слагающих рассматриваемую территорию, а также тектоническое строение.

Информативность в моделях, учитывающих фактическое значение пораженности территории оползневым процессом (Y_2), ниже значения, рассчитанного на основе качественной характеристики наличия/отсутствия оползневых проявлений (Y_1), что можно объяснить более грубой оценкой пораженности выходным показателем Y_1 по сравнению с Y_2. Хотя при сравнении моделей III и IV (размер блока модельной сетки – 10×10 км^2) информативность признаков имеет близкие значения.

Кроме того, наименьшие значения информативности характерны для самой подробной (II) модели, максимальные отмечаются для наиболее грубой (V) модели, то есть разный уровень детальности модельных сеток влияет на изменение значений информативности, что необходимо учитывать при выборе размера блока модельной сетки для решения конкретных задач.

Рассматривая вопрос влияния масштаба осреднения данных на получаемые результаты, нужно отметить, что между изменением информативности и детальности модельной сетки выявлена прямая зависимость: при уменьшении размера блока модельной сетки снижается информативность признаков. При этом графики информативности, как параметра, характеризующего используемые в анализе показатели, для моделей разной детальности подобны, т.е. для данной территории при осреднении значений показателей в сетках с размером блоков 5×5 км^2, 10×10 км^2, 15×15 км^2 соотношение вкладов (весов) показателей сохраняется.

Поскольку соотношение полученных значений информативности простых признаков для моделей разного масштаба сохраняется, что видно из графиков информативности простых признаков, наиболее подробно далее в работе были рассмотрены только наиболее детальные модели I и II.

Сложные признаки. В настоящей работе рассматривались сложные признаки, составленные из 2-х и 3-х простых признаков, из числа отобранных ранее при анализе таблиц сопряженности.

Код класса сложного признака (например, признака «$x_4 \otimes x_6 \otimes x_{16}$» для модели I) сформирован с учетом максимального значения разряда среди классов простых признаков для выбранной модели, равного 2 (в полученном коде каждый признак имеет двузначное обозначение), а также количества отобранных простых признаков, равного 17 (x_1, x_2, x_3, x_4, x_6, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{20}, x_{21}, x_{23}). Таким образом, получена 34-значная уникальная комбинация кода класса сложного признака, которая выглядит следующим образом:

000000**02**01000000000000000000**13**000000, где «02» – класс признака x_4, «01» – класс признака x_6, «13» – класс признака x_{16}.

Аналогично указанному выше примеру, была получена последовательность уникальных комбинаций классов сложных признаков, сформированных из всех возможных группировок 2-х (136 признаков) и 3-х признаков (680 признаков), в лексикографическом порядке [Липский, 1988]. Для сформированных сложных признаков также составлялись и анализировались таблицы сопряженности, выполнялся расчет информативности.

Информативность сложных признаков (табл.8) рассчитывалась аналогично информативности простых признаков.

Таблица 8.

Некоторые наиболее информативные сложные признаки

Двойные признаки	Информативность, %		Тройные признаки	Информативность, %	
	Модель I	Модель II		Модель I	Модель II
$x_1 \otimes x_8$	38,4	26,1	$x_1 \otimes x_3 \otimes x_8$	54,9	47,6
$x_2 \otimes x_8$	37,6	27,4	$x_1 \otimes x_3 \otimes x_{13}$	47,4	41,0
$x_2 \otimes x_{16}$	34,3	23,3	$x_1 \otimes x_8 \otimes x_{16}$	51,1	39,5
$x_3 \otimes x_8$	36,7	29,4	$x_1 \otimes x_8 \otimes x_{21}$	50,0	40,9
$x_3 \otimes x_{16}$	37,4	26,4	$x_2 \otimes x_3 \otimes x_8$	52,5	45,4
$x_3 \otimes x_{20}$	32,3	24,4	$x_2 \otimes x_8 \otimes x_{16}$	50,7	39,0
$x_6 \otimes x_8$	35,8	24,8	$x_2 \otimes x_8 \otimes x_{21}$	50,1	39,8
$x_8 \otimes x_9$	36,3	25,4	$x_3 \otimes x_6 \otimes x_8$	53,2	45,4
$x_8 \otimes x_{12}$	34,3	23,9	$x_3 \otimes x_8 \otimes x_9$	51,3	43,0
$x_8 \otimes x_{13}$	34,6	24,7	$x_3 \otimes x_8 \otimes x_{12}$	50,0	44,7
$x_8 \otimes x_{14}$	35,3	25,4	$x_3 \otimes x_8 \otimes x_{13}$	52,8	45,7
$x_8 \otimes x_{16}$	41,1	29,6	$x_3 \otimes x_8 \otimes x_{14}$	52,9	47,1
$x_8 \otimes x_{20}$	36,6	25,9	$x_3 \otimes x_8 \otimes x_{15}$	49,2	43,4
$x_8 \otimes x_{21}$	34,8	26,4	$x_3 \otimes x_8 \otimes x_{16}$	59,8	51,2
$x_9 \otimes x_{16}$	36,0	24,0	$x_3 \otimes x_8 \otimes x_{20}$	53,6	46,1
$x_{12} \otimes x_{16}$	34,5	23,4	$x_3 \otimes x_8 \otimes x_{21}$	55,4	47,4
$x_{13} \otimes x_{16}$	37,6	25,6	$x_3 \otimes x_{13} \otimes x_{16}$	53,0	43,1
$x_{14} \otimes x_{16}$	39,3	26,8	$x_3 \otimes x_{14} \otimes x_{16}$	53,7	44,7
$x_{14} \otimes x_{20}$	37,8	24,4	$x_3 \otimes x_{16} \otimes x_{21}$	51,6	43,2
$x_{16} \otimes x_{20}$	36,0	24,4	$x_8 \otimes x_{14} \otimes x_{16}$	53,1	41,8
$x_{16} \otimes x_{21}$	35,3	24,7	$x_8 \otimes x_{16} \otimes x_{21}$	53,7	43,0

Наиболее часто среди сложных признаков с высокой информативностью встречаются комбинации из простых признаков x_3, x_8, x_{16}. Некоторые сложные признаки, включающие указанные простые, более подробно рассмотрены после анализа таблиц сопряженности простых признаков.

Информативность сложных признаков, аналогично информативности простых, в модели I выше таковой для модели II, что также можно объяснить более грубой качественной оценкой пораженности территории оползнями показателем Y_1.

4.2. Интерпретация таблиц сопряженности простых и сложных признаков

Для выявления факторов, которые могут влиять на развитие оползневого процесса, был выполнен анализ составленных таблиц сопряженности для моделей I и II. Значения условной вероятности появления оползней в пределах классов данных признаков (P(Y|x), д.е.) с учетом рассчитанной информативности признаков (I, %), позволяют выявить, какие из информативных признаков влияют на развитие оползневого процесса, а также для каких классов наиболее информативных признаков характерно развитие оползней.

Интерпретация таблиц сопряженности простых признаков для моделей I и II

Признак № 1 («абсолютные отметки рельефа»). Наименьшая связь с выходным показателем отмечается для самых низких высот рельефа. С увеличением абсолютных отметок рельефа связь с выходным показателем увеличивается. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.9) фиксируется в интервале высот более 1700 м., то есть развитие оползней приурочено главным образом к высокогорной и частично к верхней части среднегорной области рассматриваемой территории, обладающим высокой энергией рельефа.

Таблица 9.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_1 «абсолютные отметки рельефа»

№ класса	Классы признака (м)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	≤565,4	0,76	0,24	24,23	0,77	0,01	0,05	0,15	0,02	14,18
2	565,4-1152,6	0,31	0,69		0,32	0,03	0,08	0,41	0,16	
3	1152,6-1739,8	0,27	0,73		0,27	0,01	0,03	0,34	0,36	
4	1739,8-2327,0	0,15	0,85		0,15	0,01	0,04	0,37	0,43	
5	2327,0-2914,2	0,07	0,93		0,08	0,02	0,06	0,40	0,44	
6	2914,2-3501,4	0,07	0,93		0,07	0,01	0,06	0,36	0,50	

Признак № 2 («уклон земной поверхности»). Наименьшая связь с выходным показателем характерна для территорий, где уклон земной поверхности минимален. С увеличением значений уклона земной поверхности наблюдается более тесная связь с выходным показателем. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.10) выявлена для территорий, где значения уклона являются максимальными (в среднем до 36°) для данной территории.

Таблица 10.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_2 «уклон земной поверхности»

№ класса	Классы признака (градусы)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	≤7	0,86	0,14	28,18	0,86	0,01	0,03	0,09	0,01	16,29
2	7-14	0,51	0,49		0,52	0,03	0,08	0,27	0,10	
3	14-22	0,21	0,79		0,21	0,02	0,04	0,38	0,35	
4	22-29	0,09	0,91		0,09	0	0,03	0,36	0,52	
5	29-36	0,07	0,93		0,09	0,02	0,09	0,48	0,32	

Здесь распространены преимущественно крупнообломочные отложения с глинистым и суглинистым заполнителем, что определяет устойчивость склона, от которой зависит уклон земной поверхности.

Признак № 3 («экспозиция склонов»). Связь с выходным показателем отсутствует для узкой прибрежной зоны Каспийского моря (плоскость), где оползневые проявления не отмечены. Наименьшая связь с выходным показателем наблюдается для склонов северо-восточной экспозиции. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.11) отмечается для склонов юго-восточной, южной, а также юго-западной экспозиции. Экспозиция склонов влияет на количество и характер распределения атмосферных осадков, солнечной радиации, а также видов растительности. Для склонов южной экспозиции, характерны большее количество солнечной радиации, меньшее количество осадков, преобладает луговая и степная растительность, что создает более благоприятные условия для развития здесь оползней по сравнению со склонами другой экспозиции.

Таблица 11.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу
в классах признака x_3 «экспозиция склонов»

№ класса	Классы признака (градусы)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	Плоскость	0	0		0	0	0	0	0	
2	С (0-22.5;337.5-360)	0,34	0,66		0,34	0	0,05	0,35	0,27	
3	СВ (22.5-67.5)	0,46	0,54		0,47	0,01	0,05	0,26	0,21	
4	В (67.5-112.5)	0,24	0,76		0,24	0,01	0,09	0,32	0,34	
5	ЮВ (112.5-157.5)	0,14	0,86	5,85	0,17	0	0,04	0,45	0,34	4,10
6	Ю (157.5-202.5)	0,15	0,85		0,15	0,06	0,01	0,40	0,38	
7	ЮЗ (202.5-247.5)	0,16	0,84		0,16	0,03	0,03	0,31	0,47	
8	З (247.5-292.5)	0,32	0,68		0,32	0	0,05	0,33	0,30	
9	СЗ (292.5-337.5)	0,24	0,76		0,26	0,01	0,07	0,40	0,26	

Признак № 4 («кривизна земной поверхности»). Наименьшая связь с выходным показателем отмечена для поверхностей, принятых условно плоскими, для которых не характерны гравитационные смещения грунтов, в том числе развитие оползней. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.12) характерна для поверхностей выпуклой формы, однако также выявлена тесная связь выходного показателя с территориями, характеризующимися вогнутыми поверхностями. Более тесная связь с выпуклыми поверхностями определяется меньшей устойчивостью таких потенциально оползневых склонов. Значительная связь, зафиксированная для вогнутых поверхностей, может объясняться тем, что распространение оползней тяготеет к водотокам, для которых характерна такая форма рельефа, как к постоянным, так и ко временным, эрозионная деятельность которых способствует развитию оползневого процесса.

Таблица 12.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_4 «кривизна земной поверхности»

№ класса	Классы признака (форма поверхности)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	вогнутая	0,13	0,87	18,10	0,14	0,01	0,03	0,39	0,44	10,44
2	условно плоская	0,59	0,41		0,60	0,02	0,06	0,23	0,10	
3	выпуклая	0,15	0,85		0,15	0,02	0,06	0,37	0,39	

Признак № 5 («превышение над местным базисом эрозии»). Для разных классов характерны близкие значения связи признака с развитием оползневого процесса (табл.13), что не позволяет говорить о четко выраженной связи каких-либо классов признака с выходным показателем. Однако, в виду тесной связи показателей, можно отметить, что собственно наличие превышения над местным базисом эрозии приводит к развитию оползневого процесса.

Таблица 13.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_5 «превышение над местным базисом эрозии»

№ класса	Классы признака (м)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	≤207,1	0,49	0,51	15,04	0,50	0,02	0,05	0,25	0,18	8,51
2	207,1-414,8	0,11	0,89		0,11	0	0,04	0,39	0,47	
3	414,8-622,4	0,10	0,90		0,10	0,02	0,06	0,49	0,33	
4	622,4-830,1	0,13	0,88		0,19	0,06	0,13	0,38	0,25	

Признак № 6 («густота речной сети»). Наименьшая связь с выходным показателем выявлена для территорий с наименьшей густотой речной сети. При увеличении значений густоты речной сети наблюдается закономерное увеличение тесноты связи с выходным показателем. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.14) зафиксирована для территорий, где значения признака составляют в среднем 1.24-1.54 км/км^2 и являются максимальными, то есть развитие оползневого процесса характерно для областей, где, как правило, отмечается наибольшая активность эрозионных процессов.

Таблица 14.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_6 «густота речной сети»

№ класса	Классы признака (км/км^2)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	≤0,32	0,78	0,22	17,26	0,78	0,01	0,03	0,14	0,03	10,38
2	0,32-0,63	0,45	0,55		0,46	0,01	0,05	0,35	0,14	
3	0,63-0,93	0,16	0,84		0,17	0,02	0,07	0,39	0,34	
4	0,93-1,24	0,16	0,84		0,16	0,01	0,05	0,32	0,46	
5	1,24-1,54	0,14	0,86		0,14	0,02	0,02	0,30	0,52	

Признак № 7 («ландшафт»). Связь признака с выходным показателем отсутствует для территорий с равнинными типами ландшафта, распространенных в северной и восточной (прибрежной) частях исследуемой территории. Наименьшая связь отмечается для горного ландшафта лесостепных и степных предгорий, а также для лесных низкогорий, что объясняется наличием лесной растительности, способствующей увеличению устойчивости склонов, а также меньшей энергией рельефа предгорий и низкогорий по сравнению со средне- и высокогорными районами.

Значительная связь признака с развитием оползней (табл.15) характерна примерно в равной степени для лугового высокогорного, лугово-степного среднегорного и степного среднегорного типов ландшафта. Это объясняется наиболее благоприятными для развития оползневого процесса характеристиками рельефа и типов растительности. Кроме того, следует отметить, что помимо тесной связи, то есть собственно наличия в этих областях оползней, эти типы ландшафта характеризуются высокими значениями пораженности территории оползневым процессом.

Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса зафиксирована для лесного среднегорного, а также нивального высокогорного ландшафта, что является некорректным результатом и может быть связано с недостаточной детальностью исходной информации. Кроме того, поскольку данный признак отражает характер рельефа (признак № 1), почвенно-растительные (признаки №№ 8, 9), а также гидрометеорологические особенности территории (признаки №№ 12-15), как сложный признак, он исключается из рассмотрения.

Таблица 15.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_7 «ландшафт»

№ класса	Классы признака (тип ландшафта)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Равнинный. Полупустынный. Ландшафт морских террас.	0,98	0,02		0,98	0	0,02	0	0	
2	Равнинный. Сухостепной. Ландшафт морских террас.	0,76	0,24		0,82	0	0	0,12	0,06	
3	Горный. Степной. Предгорный.	0,72	0,28		0,72	0	0,05	0,20	0,03	
4	Горный. Степной. Среднегорный.	0,18	0,82	28,97	0,18	0,01	0,03	0,36	0,42	17,66
5	Горный. Ксерофитный. Долинно-котловинный.	0,21	0,79		0,21	0	0,04	0,38	0,37	
6	Горный. Лугово-степной. Низкогорный.	0,28	0,72		0,30	0,03	0,10	0,35	0,22	
7	Горный. Лугово-степной. Среднегорный.	0,16	0,84		0,16	0,01	0,05	0,35	0,44	
8	Горный. Лесостепной. Предгорный.	0,71	0,29		0,72	0,03	0,04	0,20	0	
9	Горный. Лесной.	0,47	0,53		0,47	0,02	0,11	0,38	0,03	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Низкогорный.									
10	Горный. Лесной. Среднегорный.	0,03	0,97		0,03	0,03	0,11	0,49	0,35	
11	Горный. Луговой. Высокогорный.	0,10	0,90		0,11	0,02	0,05	0,39	0,45	
12	Горный. Нивальный. Высокогорный.	0,07	0,93		0,09	0,03	0,03	0,40	0,46	
13	Равнинный. Лугово-болотно-степной. Дельтовый, болотный.	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
14	Равнинный. Лугово-болотно-степной. Дельтовый, лугово-степной.	1,00	0		1,00	0	0	0	0	

Признаки №№ 8 и 9 целесообразно рассмотреть вместе.

Признак № 8 («почвы»). Наименьшая (практически отсутствует) связь с выходным показателем характерна, главным образом, для подтипов каштановых и луговых почв, а также болотных почв, распространенных, в основном, в пределах равниной части и частично в предгорьях исследуемой территории, где зафиксированные оползневые проявления единичны. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.16) зафиксирована для территорий, на которых распространены горно-долинные почвы, а также подтипы горно-луговых почв (горно-луговые примитивные, горно-луговые, горно-луговые черноземовидные).

Таблица 16.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_8 «почвы»

№ класса	Классы признака (тип почв)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	Аллювиально-луговые	0,76	0,24		0,76	0	0,12	0,12	0	
2	Болотные	0,57	0,43		0,57	0	0,14	0,29	0	
3	Бурые лесные остепнённые	0,26	0,74		0,26	0,01	0,05	0,40	0,27	
4	Бурые лесные	0,42	0,58		0,42	0,02	0,07	0,41	0,08	
5	Горно-долинные	0	1,00		0	0	0	0,24	0,76	
6	Горно-каштановые	0,39	0,61		0,39	0,03	0,05	0,27	0,27	
7	Горно-луговые	0,10	0,90		0,10	0,02	0,06	0,37	0,45	
8	Горно-луговые примитивные	0,08	0,92		0,08	0,03	0,03	0,45	0,42	
9	Горно-луговые черноземовидные	0,12	0,88		0,13	0	0,02	0,38	0,48	
10	Горные лугово-лесные	0,23	0,77		0,23	0,08	0	0,31	0,38	
11	Горные черноземы	0,12	0,88	25,64	0,12	0	0,04	0,42	0,42	16,96
12	Каштановые карбонатные	0,60	0,40		0,60	0	0,10	0,30	0	
13	Каштановые солонцеватые	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
14	Коричневые	0,63	0,38		0,63	0,03	0,04	0,25	0,05	
15	Лугово-каштановые	0,54	0,46		0,54	0	0	0,33	0,13	
16	Луговые карбонатные	0,90	0,10		0,93	0	0	0,02	0,05	
17	Луговые солончаковые	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
18	Светло-каштановые солонцеватые	0,68	0,32		0,68	0	0,21	0,11	0	
19	Светло-каштановые солончаковые	0,67	0,33		0,67	0	0	0,33	0	
20	Солончаки	0,33	0,67		0,33	0	0,33	0	0,33	
21	Темно-каштановые	0,60	0,40		0,60	0	0,20	0,20	0	

Признаки № 9 («растительность»). Развитие оползней не характерно для прибрежной зоны Каспийского моря, занятой песками, а также районов, занятых сельскохозяйственными растениями (сады и виноградники). Наименьшая связь с выходным показателем характерна для территории, занятой горной степной травянистой растительностью, а также кустарниками. Все перечисленные районы находятся в пределах равнинно-предгорной (северной и восточной) части рассматриваемой территории, характеризующейся единичными оползневыми проявлениями. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.17) зафиксирована для территорий, на которых распространена горная луговая растительность. Кроме того, здесь отмечаются наибольшие значения пораженности территории оползневым процессом.

Таблица 17.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_9 «растительность»

№ класса	Классы признака (наличие/отсутствие, тип растительности)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	Горная луговая растительность	0,22	0,78		0,23	0,01	0,05	0,35	0,36	
2	Леса густые высокие (обычные)	0,40	0,60		0,41	0,02	0,08	0,34	0,15	
3	Полукустарники	0	1,00		0	0	0	0,43	0,57	
4	Виноградники	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
5	Кустарники	0,71	0,29		0,71	0,14	0	0,14	0	
6	Пески	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
7	Поросль леса	0,30	0,70	12,78	0,30	0	0	0,70	0	8,06
8	Редколесье	0,42	0,58		0,42	0	0	0,50	0,08	
9	Фруктовые и цитрусовые сады	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
10	Растительность отсутствует	0,44	0,56		0,44	0,03	0,08	0,22	0,22	
11	Горная степная травянистая растительность	0,70	0,30		0,72	0	0,07	0,15	0,07	

В целом можно отметить, что незначительное по площади распространение лесных массивов, способствующих увеличению устойчивости склонов, и преобладание на рассматриваемой территории горных лугового и степного типов ландшафта с соответствующими видами растительности и почв способствует развитию оползневого процесса, поскольку устойчивость склонов на таких территориях ниже, они легче подвергаются воздействию эрозионных процессов.

Признак № 10 («территории развития селевого процесса»). Выявлена тесная связь выходного показателя (пораженность территории оползневым процессом) (табл.18) с территориями, на которых распространены селевые водотоки, эти территории характеризуются высокими значениями пораженности, что говорит о влиянии селевого процесса на развитие оползневого процесса. Селевой процесс может выступать фактором активизации оползневого

процесса, а также развиваться совместно с ним, что неоднократно фиксировалось специалистами в рамках ведения мониторинга ЭГП в горной части Дагестана.

Таблица 18.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{10} «территории развития селевого процесса»

№ класса	Классы признака (наличие селевых водотоков)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	Процесс не развит	0,58	0,42	15,61	0,59	0,02	0,05	0,23	0,11	8,63
2	Распространены селевые водотоки	0,16	0,84		0,16	0,01	0,05	0,38	0,40	

Признак № 11 («территории развития обвально-осыпных процессов»). Для областей, где обвально-осыпные процессы не развиты, отмечена наименьшая связь с развитием оползней. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.19) отмечена для областей распространения скал и обрывов. Данный класс признака характеризуется наибольшими значениями пораженности. Значительная связь также характерна для территорий, на которых развиты осыпи, что в целом говорит о взаимосвязи развития обвально-осыпных и оползневого процессов. Эти процессы совместно развиваются на территориях с высокой энергией рельефа, характеризующихся интенсивными подготовкой и накоплением рыхлообломочного материала, вовлекаемого в оползневой и обвально-осыпные процессы при их активизации. Нередко наблюдается комплексная активизация процессов с образованием таких форм, как оползни-обвалы и др.

Таблица 19.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{11} «территории развития обвально-осыпных процессов»

№ класса	Классы признака (наличие проявлений обвально-осыпных процессов)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	Процесс не развит	0,73	0,27	11,94	0,73	0,01	0,08	0,10	0,07	6,85
2	Распространены осыпи	0,27	0,73		0,27	0,03	0,03	0,29	0,39	
3	Распространены скалы и обрывы	0,22	0,78		0,23	0,01	0,05	0,38	0,33	

Признак № 12 («средняя годовая температура воздуха»). Для всех классов признака характерна достаточно высокая связь с выходным показателем. Наименьшая связь наблюдается для областей с наибольшими (положительными) значениями средней годовой температуры воздуха. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.20) отмечена для территорий с минимальными положительными среднегодовыми значениями температуры воздуха (до 4.9°С), характерными для высокогорных районов, а также для глубоких котловин за счет инверсии в горах. Это может объясняться колебаниями температуры около 0°С, которые

определяют низкие положительные значения температуры воздуха здесь в среднем за год. Поскольку данный признак является динамичным, его влияние на развитие ЭГП заключается именно в колебании температур как суточном, так и сезонном. Абсолютный перепад температур воздуха составляет здесь до 50°С и более, что способствует процессам выветривания горных пород и, как следствие, развитию оползневого процесса.

Таблица 20.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{12} «средняя годовая температура воздуха»

№ класса	Классы признака (°С)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	≤2,3	0,05	0,95	9,64	0,05	0	0,07	0,45	0,42	4,89
2	2,3-4,9	0,04	0,96		0,06	0	0,06	0,50	0,38	
3	4,9-7,5	0,16	0,84		0,16	0,01	0,05	0,40	0,39	
4	7,5-10,1	0,29	0,71		0,29	0,02	0,03	0,34	0,32	
5	10,1-12,7	0,43	0,57		0,44	0,02	0,05	0,25	0,24	

Признак № 13 («средняя годовая температура поверхности почвы»). Для всех классов признака характерна достаточно высокая связь с выходным показателем. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.21), аналогично признаку № 12, характерна для территорий с минимальными значениями (до 11.9°С) – высокогорных районов республики. Для этого признака также наблюдается влияние резко выраженной высотной поясности на распределение значений, выражающееся в уменьшении значений температур с увеличением абсолютных отметок. Территории с характерными низкими положительными температурами, занимают промежуточное положение между прибрежной равнинной и предгорной частями территории, где среднегодовые значения температур поверхности почвы наибольшие, и гляциально-нивальным поясом высокогорья, где температуры принимают отрицательные значения, что за счет перепада температур способствует выветриванию горных пород и развитию ЭГП, в том числе оползневого процесса.

Таблица 21.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{13} «средняя годовая температура поверхности почвы»

№ класса	Классы признака (°С)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	≤10,7	0,22	0,78	4,58	0,22	0	0,04	0,44	0,29	4,27
2	10,7-11,9	0,17	0,83		0,18	0	0,05	0,38	0,38	
3	11,9-13,2	0,34	0,66		0,34	0,02	0,08	0,38	0,18	
4	13,2-14,5	0,48	0,52		0,49	0,02	0,06	0,27	0,16	
5	14,5-15,7	0,29	0,71		0,30	0,01	0,03	0,24	0,42	

Следует отметить, что уровень детальности исходной информации не позволил выделить на построенной карте средней годовой температуры поверхности почвы области распространения ММП (t<0°С), что привело бы к изменению границ классов признака в

высокогорной части и позволило построить более достоверную карту рассматриваемого признака.

Признак № 14 («годовое количество осадков»). Наименьшая связь с развитием оползней выявлена для территорий, характеризующихся самыми низкими значениями годового количества осадков. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.22) характерна для областей, где значения признака составляют в среднем 600 мм и более и являются максимальными для данной территории. Это говорит о прямой зависимости развития оползневого процесса от годового количества атмосферных осадков, как фактора увлажнения грунтов оползневых и оползнеопасных склонов, в результате чего снижается их устойчивость.

Таблица 22.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{14} «годовое количество осадков»

№ класса	Классы признака (мм/год)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	≤508,5	0,51	0,49		0,52	0,02	0,04	0,23	0,19	
2	508,5-640,5	0,35	0,65		0,35	0,02	0,06	0,30	0,28	
3	640,5-772,5	0,10	0,90	15,29	0,10	0	0,04	0,41	0,45	7,84
4	772,5-904,5	0,05	0,95		0,05	0,01	0,04	0,43	0,47	
5	904,5-1036,5	0,07	0,93		0,08	0,01	0,07	0,48	0,35	

Признак № 15 («среднее максимальное суточное количество осадков»). Наименьшая связь с развитием оползней выявлена для территорий, характеризующихся самыми низкими значениями максимального суточного количества осадков. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.23) характерна для областей, где значения признака составляют более 60 мм/сут и являются максимальными, то есть увлажнение грунтов за счет атмосферных осадков в течение отдельно взятых суток, главным образом краткосрочных, но интенсивных ливневых дождей, приводит к активизации оползневого процесса. Выявлена прямая связь показателей: чем больше максимальное суточное количество осадков, тем более вероятно развитие оползней, то есть интенсивность атмосферных осадков оказывает непосредственное влияние на выходной показатель (пораженность территории оползневым процессом).

Таблица 23.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{15} «среднее максимальное суточное количество осадков»

№ класса	Классы признака (мм/сут)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	≤42,1	0,70	0,30		0,71	0,02	0,05	0,19	0,03	
2	42,1-49,2	0,33	0,67		0,33	0,01	0,06	0,33	0,28	
3	49,2-56,4	0,12	0,88	23,25	0,12	0,01	0,04	0,37	0,45	13,70
4	56,4-63,5	0,10	0,90		0,11	0	0,05	0,42	0,43	
5	63,5-70,7	0,08	0,92		0,08	0,04	0,04	0,41	0,42	

Признак № 16 («литологическая характеристика четвертичных отложений»). Связь признака с выходным показателем отсутствует для области распространения лессовых и морских отложений, аллювия (мощностью до 20 м) и лимноаллювия, развитых в равнинной части исследуемой территории и представленных, главным образом, валунно-галечными отложениями, гравийниками и галечниками, песками. Также оползни не характерны для области распространения отложений элювия и солифлюксия в предгорно-низкогорной области, представленных суглинками и супесями щебнисто-дресвяными мощностью до 10 м. Таким образом, можно отметить, что развитие оползней не характерно для территорий, где широко распространены отложения, в которых оползни, как правило, не развиваются, а также для территорий с отложениями, в которых развитие оползней возможно, но не имеющими широкого распространения по площади.

Наименьшая связь с выходным показателем характерна для делювия и деляпсия, представленных суглинками щебнисто-дресвяными с включениями глыб, широко распространенных в предгорно-низкогорной зоне, делювия и коллювия с участием солифлюксия, представленных мелкоземом плывунным с незначительной мощностью (до 6 м), распространенных в низко-среднегорной зоне, а также для элювиальных и элювиально-делювиальных отложений, представленных дресвяными суглинками с включениями щебня и менее развитых на исследуемой территории. Несмотря на наличие в их составе глинистых отложений, способствующих развитию оползневого процесса, они незначительно распространены по площади и не оказывают влияния на развитие оползневого процесса на данной территории.

Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.24) зафиксирована для территорий, на которых распространены: коллювий, десерпций, солифлюксий, представленные щебнем с глыбами, дресвой, суглинками и скальными отторженцами, мощность до 40 м; гляциальные валунно-галечные отложения с включениями глыб, дресвы, щебня, песка, глины мощностью до 450 м, а также аллювий, представленный валунно-галечными отложениями с песком и гравием, глинами, различной мощности. Таким образом, наиболее тесная связь с выходным показателем отмечается для территорий, благоприятных для развития оползневого процесса: здесь развиты разные по генезису отложения, представленные либо глинистыми грунтами, либо крупнообломочными с глинистым или суглинистым заполнителем, способствующими развитию оползневого процесса. Отложения широко распространены, при этом мощность отложений здесь составляет в основном до 30-50 м. Эти территории характеризуются наибольшими значениями пораженности оползнями.

Таблица 24.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу
в классах признака x_{16} «литологическая характеристика четвертичных отложений»

№ класса	Классы признака (комплексы отложений)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	*Выходы дочетвертичных образований*	0,13	0,88		0,13	0	0,13	0,50	0,25	
2	*Аллювий.* Глины песчанистые, супеси, гравийники, галечники (до 20 м)	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
3	*Коллювий.* Щебнистые глины и суглинки, дресва, отломники (до 30 м)	0	1,00		0	0	0	1,00	0	
4	*Элювий.* Дресвяные суглинки и глины с включениями щебня (до 5 м)	0,57	0,43		0,57	0	0	0,14	0,29	
5	*Элювий и делювий.* Суглинки и супеси с дресвой, щебнем и глыбняком (до 200 м)	0,69	0,31		0,69	0,06	0	0,19	0,06	
6	*Лимноаллювий.* Глины иловатые, суглинки, супеси (до 10 м)	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
7	*Делювий и коллювий с участием солифлюксия.* Мелкозем плывунный, щебнисто-глинистый и дресвяно-глинистый (до 6 м)	0,47	0,53		0,48	0,01	0,06	0,27	0,19	
8	*Элювий и солифлюксий.* Суглинки и супеси щебнисто-дресвяные (до 10 м)	0,67	0,33	28,88	0,67	0	0,33	0	0	17,29
9	*Делювий и деляпсий.* Суглинки щебнисто-дресвяные с включениями глыб (до 10 м)	0,61	0,39		0,61	0,02	0,08	0,27	0,02	
10	*Гляциалий, глациофлювиал и гляциолимний.* Валунно-галечные отложения с включениями глыб, дресвы, щебня, песка, глины (до 450 м)	0,10	0,90		0,10	0,01	0,06	0,36	0,48	
11	*Делювий и коллювий с участием солифлюксия.* Глыбово-щебнистые накопления с дресвой и глиной (до 50 м)	0,13	0,87		0,13	0,02	0,04	0,39	0,42	
12	*Коллювий, десерпций, солифлюксий.* Щебень с глыбами, дресвой, суглинками и скальными отторженцами (до 40 м)	0,06	0,94		0,07	0,01	0,04	0,41	0,46	
13	*Мариний.* Галечники и гравийники с редкими валунами и прослоями песков (до 150 м)	0,75	0,25		0,75	0	0	0,17	0,08	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
14	*Лессоид*. Лёссовидные суглинки с четырьмя горизонтами погребенных почв (до 61 м)	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
15	*Мариний*. Новокаспийские и черноморские отложения. Пески полимиктовые, детритусовые с прослоями галечников и иловатых глин (8-25 м)	0	0		0	0	0	0	0	
16	*Мариний*. Пески, галечники, глины с редкой ракушкой (до 40 м)	0,95	0,05		0,95	0	0,05	0	0	
17	*Аллювий русел, пойм, низких надпойменных террас*. Валунно-галечные отложения, гравийные пески, глины (до 30 м)	0,20	0,80		0,20	0	0	0,44	0,36	
18	*Мариний апшеронский*. Глины, песчаники, пески, прослои мергелей, галечников, ракушечников (до 600 м)	0,73	0,27		0,73	0,03	0,03	0,17	0,03	
19	*Мариний*. Валунно-галечные отложения и конгломераты с прослоями песков (до 12 м)	0,93	0,07		1,00	0	0	0	0	
20	*Аллювий*. Валунно-галечные отложения с песком и гравием, глины, илы, алевролиты (до 400 м)	0,57	0,43		0,57	0	0	0	0,43	

Признак № 17 («литологическая характеристика дочетвертичных отложений»).

Связь с выходным показателем отсутствует для отложений палеоген-неогенового возраста, представленных глинистыми, песчаными и карбонатными отложениями, широко распространенными в равнинной части на севере и в прибрежной зоне Каспийского моря, а также предгорно-низкогорной зоне, где зафиксированные оползневые проявления единичны. Юрские и меловые отложения, в области распространения которых связь с выходным показателем отсутствует, представлены карбонатными и глинисто-карбонатными отложениями, однако очень незначительно распространены по площади на отдельных участках среднегорно-высокогорной зоны. Наименьшая связь с выходным показателем характерна для палеогеновых отложений в низкогорной зоне, представленных карбонатными и глинистыми отложениями, а также для неогеновых отложений в равнинной и предгорной областях, представленных глинами, песками и песчаниками.

Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.25) зафиксирована для нижне-среднеюрских отложений, представленных переслаивающимися аргиллитами, алевролитами с прослоями песчаников, песков, угля, глин, мергелей, кремней, линзами

конгломератов, редко горизонтами дацитов, риолитов и их туфов; меловых отложений, представленных известняками, песчаниками, аргиллитами, олистостромами с прослоями мергелей, доломитов, брекчий, линзами гравелитов и конгломератов, гипсами. Продуктами выветривания перечисленных горных пород являются грунты преимущественно глинистого состава, обладающие пластическими свойствами, что способствует подготовке и накоплению материала, вовлекаемого в оползневой процесс в пределах распространения этих горных пород.

Таблица 25.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{17} «литологическая характеристика дочетвертичных отложений»

№ класса	Классы признака (комплексы отложений)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	*Гильярская толща*. Глины с прослоями песков, песчаников, конгломератов, галечников, реже известняков и пеплов (до 750 м).	0,71	0,29		0,73	0,02	0,04	0,12	0,10	
2	*Терско-Сулакская серия*. Глины, прослои песчаников, алевролитов, мергелей (до 1700 м).	0,60	0,40		0,60	0,04	0,08	0,29	0	
3	*Талгинская и артузенская серии объединенные*. Глины, пески, песчаники, прослои алевролитов, мергелей, линзы ракушечников (до 1130 м).	0,79	0,21		0,81	0	0,05	0,15	0	
4	*Кабардинская, сюнжинская и суворовская серии объединенные*. Мергели, известняки, глины мергельные, алевролиты, редко прослои песков (до 720 м).	0,58	0,42	27,49	0,58	0,03	0,13	0,21	0,05	18,18
5	*Цурибская, хельдихойская, квандринская, рубасчайская и курахчайская серии объединенные*. Аргиллиты, алевролиты, прослои песчаников, песков, угля, линзы конгломератов (до 13280 м).	0,13	0,87		0,14	0	0,04	0,33	0,48	
6	*Кионхохская серия*. Известняки, доломиты, алевролиты, песчаники, прослои глин, мергелей, кремней, в основании конгломераты, линзы гипса (до 3000 м).	0	1,00		0	0	0	0,71	0,29	
7	*Джурмутская, джурмутско-самурская, самурская, ахтынская серии и бежитинская*	0,04	0,96		0,05	0,02	0,04	0,46	0,43	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	свита объединенные. Аргиллиты, алевролиты, пролои песчаников, редко горизонты дацитов, риолитов и их туфов (до 1200 м).									
8	*Кутишская и чанты-аргунская серии объединенные*. Известняки, песчаники, аргиллиты, прослои мергелей, доломитов, брекчий, линзы гравелитов и конгломератов, гипсы (до 1300 м).	0,26	0,74		0,26	0	0,06	0,46	0,22	
9	*Алдыкская толща*. Пески, песчаники, глины, линзы галечников, прослои известняков (до 350 м).	0,89	0,11		0,91	0	0	0,06	0,03	
10	*Чуртовская серия*. Прослои ракушечников и оолитовых известняков, редко конгломератов, линзы бурого угля (до 700 м).	0	0		0	0	0	0	0	
11	*Брагунская серия*. Глины с редкими прослоями песков, мергелей, песчаников, известняков и ракушечников (до 1000 м).	0,71	0,29		0,71	0	0,12	0,18	0	
12	*Чакаурская толща*. Глины, песчаники, пески, прослои известняков (до 400 м).	0	1,00		0	0	0,50	0,50	0	
13	*Талгинская серия и черногорская свита*. Глины, песчаники, прослои мергелей, алевролитов (до1500 м).	0,64	0,36		0,64	0,02	0,02	0,28	0,04	
14	*Гергебильская серия*. Известняки, мергели, песчаники, олистостромы (до 1000 м).	0,35	0,65		0,35	0,01	0,07	0,33	0,24	
15	*Акушинская серия*. Аргиллиты, песчаники, мергели, известняки, алевролиты (до 650 м).	0	1,00		0	0	0	0,40	0,60	
16	*Закатало-ковдагская серия*. Флиш. Аргиллиты, алевролиты, мергели, песчаники, известняки (до 1100 м).	0	1,00		0	0	0	0,50	0,50	
17	*Агвали-хивская серия*. В основании-аргиллиты, алевролиты, реже песчаники (до 3100 м). В кровле-песчаники, аргиллиты, алевролиты, прослои известняков, мергелей, конгломератов.	0,19	0,81		0,19	0,06	0,02	0,32	0,41	
18	*Фиагдонская, джоахорская и аттагайская серии объединенные*. Глинистые сланцы, песчаники, алевролиты,	0	1,00		0	0	0	0,50	0,50	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	горизонты базальтов, лавобрекчий (более 3750 м).									
19	*Халахельская, аттагай-мулларчайская и куртатинская серии объединенные*. Песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, прослои известняков, туффитов, лавы кислого и среднего состава (более 10500 м).	0,20	0,80		0,20	0,03	0,13	0,33	0,30	
20	*Шароаргунская серия*. Аргиллиты, алевролиты, прослои песчаников, линзы конгломератов, конкреции глинистых сидеритов (более 5850 м).	0	1,00		0	0	0	0	1,00	
21	*Тарумовская толща*. Глины, пески, песчаники, конгломераты, прослои мергелей, ракушечников (до 360 м).	0	0		0	0	0	0	0	
22	*Доломитово-известняковая и терригенно-карбонатная толщи объединенные*. Известняки, доломиты, мергели, аргиллиты, алевролиты (до 700 м).	0	0		0	0	0	0	0	
23	*Бабадагская свита*. Песчаники, известняки, мергели, аргиллиты (до 220 м).	0	0		0	0	0	0	0	
24	*Шахдагская и судурская свиты объединенные*. Известняки, доломиты, прослои глин, песчаников, гипсов (до 800 м).	0	0		0	0	0	0	0	

Признак № 18 («литологическая характеристика отложений, дочетвертичные и четвертичные объединенные»). Развитие оползней не характерно (отмечается наименьшая связь с выходным показателем или полное ее отсутствие) для толщ в равнинной части на севере, слагаемых лёссовыми, глинистыми, глинистыми и крупнообломочными отложениями, для песчаных отложений в прибрежной зоне Каспийского моря, а также крупнообломочных или преимущественно крупнообломочных отложений, подстилаемых различными отложениями, распространенных по площади незначительно и главным образом в предгорной зоне.

Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.26) зафиксирована в области распространения отложений, представленных либо самостоятельными глинистыми толщами или крупнообломочными с глинистым или суглинистым заполнителем, либо их переслаивающимися разностями, в том числе подстилаемыми скальными грунтами. Отложения характерны для среднегорно-высокогорных территорий, где оползневой процесс развит очень широко.

Поскольку данный признак обладает характеристиками признаков № 16 и № 17, описанных выше, как сложный признак, он исключается из общего рассмотрения.

Таблица 26.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{18} «литологическая характеристика отложений, дочетвертичные и четвертичные объединенные»

№ класса	Классы признака (комплексы отложений)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Скальные*	0,14	0,86		0,14	0	0,14	0,43	0,29	
2	Скальные	0	0		0	0	0	0	0	
3	Скальные	0	1,00		0	0	0	0,50	0,50	
4	Глинистые*	0	0		0	0	0	0	0	
5	Глинистые	0,88	0,13		0,88	0	0,06	0,06	0	
6	Глинистые	0,53	0,47		0,53	0,03	0,16	0,24	0,05	
7	Глинистые с включениями крупнообломочных	0,60	0,40		0,60	0,05	0	0,25	0,10	
8	Крупнообломочные	0,69	0,31		0,69	0	0	0,23	0,08	
9	Крупнообломочные с глинистым заполнителем	0	1,00		0,25	0	0	0	0,75	
10	Лёссовые, подстилаемые глинистыми	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
11	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые глинистыми	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
12	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые глинистыми	0	0	31,52	0	0	0	0	0	19,98
13	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые глинистыми	0,25	0,75		0,25	0	0	0,25	0,50	
14	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые глинистыми	0	0		0	0	0	0	0	
15	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые глинистыми	0,75	0,25		0,75	0	0	0,25	0	
16	Песчаные с прослоями глинистых и крупнообломочных, подстилаемые глинистыми	0	0		0	0	0	0	0	
17	Песчаные, крупнообломочные и глинистые	0,89	0,11		0,89	0	0,11	0	0	

* Одноименные толщи, представленные разновидностями грунтов (описание толщ см. в Приложении)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	переслаивающиеся, подстилаемые глинистыми									
18	Глинистые, подстилаемые скальными	0,41	0,59		0,41	0,01	0,05	0,32	0,21	
19	Глинистые, подстилаемые скальными	0	1,00		0	0	0	1,00	0	
20	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые скальными	0	0		0	0	0	0	0	
21	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые скальными	0	1,00		0	0	0	0,50	0,50	
22	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые скальными	0,11	0,89		0,11	0,03	0,02	0,46	0,37	
23	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые скальными	0,03	0,97		0,04	0,03	0,05	0,47	0,41	
24	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые скальными	0,14	0,86		0,14	0	0	0,50	0,36	
25	Глинистые, подстилаемые скальными с прослоями глинистых	0,25	0,75		0,25	0	0	0,25	0,50	
26	Глинистые, подстилаемые скальными с прослоями песчаных	0,64	0,36		0,64	0,05	0,09	0,23	0	
27	Глинистые с включениями крупнообломочных, подстилаемые скальными с прослоями песчаных	0,50	0,50		0,50	0	0	0,17	0,33	
28	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые скальными с прослоями песчаных	0	0		0	0	0	0	0	
29	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые скальными с прослоями глинистых	0	1,00		0	0	0	0,33	0,67	
30	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые скальными с прослоями песчаных	0,16	0,84		0,16	0,01	0,06	0,35	0,42	
31	Крупнообломочные с суглинистым	0	1,00		0	0	0	0,67	0,33	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	заполнителем, подстилаемые скальными с прослоями глинистых									
32	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые скальными с прослоями песчаных	0,09	0,91		0,10	0	0,04	0,33	0,53	
33	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые скальными с прослоями глинистых	0	0		0	0	0	0	0	
34	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые скальными с прослоями песчаных	0	1,00		0	0	0	0,33	0,67	
35	Глинистые, подстилаемые скальными и глинистыми с редкими прослоями песчаных	0,63	0,37		0,64	0	0,04	0,30	0,01	
36	Глинистые, подстилаемые скальными, глинистыми и песчаными	0,10	0,90		0,10	0,01	0,06	0,36	0,48	
37	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
38	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые скальными и глинистыми с редкими прослоями песчаных	0	0		0	0	0	0	0	
39	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными	0	1,00		0	0	1,00	0	0	
40	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые скальными и глинистыми с редкими прослоями песчаных	0	0		0	0	0	0	0	
41	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными	0	0		0	0	0	0	0	
42	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые скальными и	0	0		0	0	0	0	0	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	глинистыми с редкими прослоями песчаных									
43	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
44	Песчаные с прослоями глинистых и крупнообломочных, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными	0	0		0	0	0	0	0	
45	Песчаные, крупнообломочные и глинистые, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
46	Глинистые, песчаные и скальные с прослоями крупнообломочных и скальных	0,68	0,32		0,68	0,03	0,06	0,18	0,06	
47	Глинистые, песчаные и скальные	0	0		0	0	0	0	0	
48	Скальные и глинистые с редкими прослоями песчаных	0	0		0	0	0	0	0	
49	Крупнообломочные и скальные с прослоями песчаных, подстилаемые глинистыми с прослоями песчаных и скальных	0,80	0,20		1,00	0	0	0	0	
50	Крупнообломочные и скальные с прослоями песчаных, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
51	Преимущественно крупнообломочные, глинистые и скальные	0,57	0,43		0,57	0	0	0	0,43	

Признак № 19 («характеристика состояния грунтов, обусловленного фазовым состоянием воды в них»). Наименьшая связь с выходным показателем характерна для областей распространения талых грунтов с глубиной залегания уровня грунтовых вод до 5 м. С одной стороны, эти области занимают незначительные площади, относящиеся к речным долинам, с другой стороны, полученные данные говорят об отсутствии связи развития оползней с увлажнением верхней части разреза (глубиной до 5 м) за счет подземных вод.

Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.27) приходится на область развития многолетнемерзлых пород в высокогорной зоне. Однако более детальное рассмотрение данного признака показало, что подавляющее большинство оползневых проявлений здесь, по имеющимся данным, являются древними, единичные современные оползни встречаются чаще всего на границе данной области с областью развития талых

грунтов, которая подвержена изменениям (перемещению) под влиянием климатических факторов.

Следует отметить, что кроме области распространения многолетнемерзлых пород, занимающей незначительную площадь в пределах рассматриваемой территории, высокое значение связи развития оползневого процесса выявлено для области распространения талых грунтов с глубиной залегания уровня грунтовых вод более 5 м. Исходя из этого, можно заключить, что в целом грунтовые воды не имеют влияния на развитие оползней на данной территории, то есть оползневой процесс развивается независимо от увлажнения грунтов за счет грунтовых вод.

Поскольку разделение оползневых проявлений по возрасту, также как и по механизму смещения, из-за недостатка такой информации для рассматриваемой территории, не выполнялось, данный признак исключается из общего рассмотрения в виду его некорректности.

Таблица 27.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{19} «характеристика состояния грунтов, обусловленного фазовым состоянием воды в них»

№ класса	Классы признака (мерзлые/талые грунты; уровень грунтовых вод (м) в области распространения талых грунтов)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	Область распространения талых грунтов: УГВ=0-2	0,73	0,27	20,14	0,76	0	0,02	0,12	0,10	12,18
2	Область распространения талых грунтов: УГВ=2-5	0,71	0,29		0,72	0,02	0,06	0,19	0,01	
3	Область распространения талых грунтов: УГВ>5	0,17	0,83		0,18	0,01	0,05	0,37	0,39	
4	Область распространения ММП	0,08	0,92		0,08	0	0,08	0,42	0,42	

Признак № 20 («тектонические структуры»). Наименьшая связь (отсутствие связи) с выходным показателем характерна для структур, составляющих Терско-Каспийский краевой прогиб, а также локальных положительных структур 3-го порядка, незначительных по площади и расположенных практически повсеместно в пределах исследуемой территории. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.28) зафиксирована в Бежитинской и Шаро-Аргунской тектонических зонах, Чиауро-Закатальской флишевой зоне, а также в Агвали-Хивской складчатой зоне и зоне Бокового хребта складчато-глыбового поднятия Восточного Кавказа. То есть развитие оползневого процесса отмечается главным образом в пределах складчато-глыбового сооружения Большого Кавказа, в состав которого входят все перечисленные структуры. Тектонические структуры отражают процессы, которым подверглись горные породы в результате своего формирования и последующих изменений. Различные деформации горных пород, вызванные эндогенными факторами, способствуют

естественному разрушению горных пород и последующему смещению продуктов их выветривания вниз по склонам, в том числе в виде оползневых смещений. Более интенсивно и ярко выражено влияние этих процессов на развитие ЭГП проявляется в горных районах, о чем свидетельствует высокие значения пораженности территории оползнями в пределах структур складчато-глыбового сооружения Большого Кавказа.

Таблица 28.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{20} «тектонические структуры»

№ класса	Классы признака (тип структур)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	Избербаш-Дербентская складчатая зона	0,79	0,21	26,02	0,80	0,01	0,06	0,13	0	16,00
2	Зона Известнякового Дагестана	0,33	0,67		0,33	0	0,06	0,38	0,22	
3	Зона Бокового хребта	0,04	0,96		0,04	0,02	0,04	0,45	0,45	
4	Агвали-Хивская складчатая зона	0,13	0,87		0,14	0,01	0,04	0,33	0,48	
5	Восточно-Дагестанская моноклиналь	0,24	0,76		0,28	0,04	0,08	0,40	0,20	
6	Шахдагская моноклиналь	0	0		0	0	0	0	0	
7	Казбегско-Лагодехская складчато-надвиговая зона	0,21	0,79		0,21	0,04	0,14	0,32	0,29	
8	Бежитинская тектоническая зона	0	1,00		0	0	0	0,60	0,40	
9	Чиауро-Закатальская флишевая зона	0	1,00		0	0	0	0,50	0,50	
10	Шаро-Аргунская тектоническая зона	0	1,00		0	0	0	0,50	0,50	
11	Предгорная зона локальных впадин	0,44	0,56		0,44	0	0,11	0,44	0	
12	Терско-Сунженская зона осевой складчатости	0,69	0,31		0,69	0,03	0,03	0,22	0,03	
13	Терско-Сулакская зона локальных впадин и поднятий	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
14	Кусаро-Дивичинский наложенный прогиб	0,65	0,35		0,65	0	0,05	0,15	0,15	
15	Локальные положительные структуры 3-го порядка, установленные геологической съемкой или бурением	0	0		0	0	0	0	0	
16	Локальные положительные структуры 3-го порядка, предполагаемые	0	0		0	0	0	0	0	

Признак № 21 («сейсмичность территории»). Наименьшая связь признака с развитием оползневого процесса наблюдается для территории с сейсмичностью менее 5 баллов, а также для зоны 7-8-балльной сейсмичности при повторяемости 9-балльных землетрясений 1 раз в 1000 лет. Наибольшая связь признака с выходным показателем (табл.29) приурочена к зоне 5-7-балльной сейсмичности с повторяемостью 8-балльных землетрясений 1 раз в 1000 лет. Эти

значения близки к максимальным. Кроме того, наиболее тесная связь с этой зоной сейсмичности может объясняться бóльшим количеством 5-7 балльных землетрясений среди зарегистрированных на данной территории, которые, несмотря на средние значения балльности, провоцируют развитие ЭГП, в том числе оползневого процесса.

Таблица 29.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{21} «сейсмичность территории»

№ класса	Классы признака (балльность; повторяемость)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	5-6; 8 – 1 раз в 1000 лет	0,18	0,82	7,39	0,18	0,01	0,04	0,33	0,43	5,15
2	6-7; 8 – 1 раз в 1000 лет	0,15	0,85		0,16	0	0,04	0,40	0,39	
3	7-8; 8 – 1 раз в 1000 лет	0,29	0,71		0,29	0,03	0,03	0,34	0,32	
4	<5; 8 – 1 раз в 1000 лет	0,23	0,77		0,23	0	0	0,33	0,43	
5	5-6; 9 – 1 раз в 1000 лет	0,30	0,70		0,30	0,01	0,04	0,40	0,25	
6	6-7; 9 – 1 раз в 1000 лет	0,43	0,57		0,44	0,02	0,07	0,24	0,23	
7	7-8; 9 – 1 раз в 1000 лет	0,58	0,42		0,59	0,01	0,05	0,23	0,11	
8	<5; 9 – 1 раз в 1000 лет	0,65	0,35		0,65	0	0,15	0,15	0,05	

Признак № 22 («разрывные нарушения»). Наибольшая связь признака с выходным показателем (табл.30) приурочена к территориям, характеризующимся распространением разломов юго-восточного простирания. Однако стоит отметить, связь признака с выходным показателем для разных классов в целом соизмерима. То есть оползневые проявления сравнительно одинаково распространены как на территориях с разрывными нарушениями, так и на территориях, где они отсутствуют, что говорит об отсутствии четкой связи данного признака с выходным показателем.

Таблица 30.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{22} «разрывные нарушения»

№ класса	Классы признака (наличие, азимут простирания)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	разломы отсутствуют	0,39	0,61	3,45	0,39	0,01	0,06	0,31	0,23	2,03
2	разломы ЮВ простирания	0,21	0,79		0,21	0,01	0,04	0,35	0,38	
3	разломы СВ простирания	0,46	0,54		0,46	0,04	0,05	0,29	0,16	

Признак № 23 («скорость современных тектонических движений»). Развитие оползней не характерно в области опускания (-2÷0 мм/год). Наименьшая связь признака с выходным показателем зафиксирована для области поднятия, характеризующейся минимальной скоростью поднятия (0÷ +2 мм/год). Наибольшая связь (табл.31) наблюдается для области поднятия, скорость поднятия в которой является максимальной – более 8 мм/год. Таким образом, наблюдается прямая взаимосвязь развития оползней с тектоническими движениями. Положительные тектонические движения приводят к активизации эрозионно-денудационных процессов, которые, в свою очередь, способствуют развитию оползневого процесса.

Таблица 31.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{23} «скорость современных тектонических движений»

№ класса	Классы признака (мм/год)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	-2-0	1,00	0	23,83	1,00	0	0	0	0	14,10
2	0-+2	0,93	0,07		0,94	0	0,02	0,03	0	
3	+2-+4	0,68	0,32		0,68	0,01	0,07	0,21	0,03	
4	+4-+6	0,44	0,56		0,46	0,04	0,10	0,34	0,06	
5	+6-+8	0,35	0,65		0,35	0,02	0,05	0,32	0,25	
6	>+8	0,15	0,85		0,15	0,01	0,04	0,38	0,42	

Рассмотрение компонентов освоенности территории (транспортная, сельскохозяйственная, демографическая, градостроительная), разделенных на региональном уровне на условно однородные по хозяйственной освоенности области, позволило рассмотреть характер связи этих признаков по классам с выходным показателем (пораженностью территории оползневым процессом).

Необходимо отметить, что для показателей техногенной нагрузки влияние на развитие оползневого процесса будет четко выражено только при прямой связи с выходным показателем. Поскольку прямая связь данных признаков с выходным показателем будет подтверждать развитие оползней с увеличением техногенной нагрузки. В остальных случаях влияние выбранных показателей на развитие оползней на исследуемой территории маловероятно.

Признак № 24 («транспортная освоенность»). Наименьшая связь с выходным показателем характерна для средних значений признака. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.32) зафиксирована для территорий с наименьшей плотностью дорожной сети (менее 0.22 пог.км/км^2), то есть наименьшей техногенной нагрузкой данного вида. Следовательно, рассматриваемый признак не влияет на выходной показатель (пораженность территории оползневым процессом), поскольку отмечается обратная связь показателей.

Таблица 32.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{24} «транспортная освоенность»

№ класса	Классы признака (плотность дорожной сети, пог.км/км^2)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	≤0,22	0,08	0,92	15,96	0,08	0,01	0,04	0,39	0,47	8,73
2	0,22-0,44	0,46	0,54		0,47	0,01	0,05	0,28	0,19	
3	0,44-0,66	0,50	0,50		0,50	0,01	0,06	0,28	0,14	
4	0,66-0,88	0,32	0,68		0,36	0,07	0,07	0,29	0,21	

Признак № 25 («сельскохозяйственная освоенность»). Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.33) зафиксирована на территориях, для которых значения признака близки к минимальным (300-700 тыс.руб./км^2). Классы, характеризующиеся более высокими значениями признака, что является косвенной характеристикой большей

антропогенной нагрузки на территорию, имеют менее тесную связь с выходным показателем: наименьшая связь с выходным показателем характерна для территорий, характеризующихся максимальными показателями сельскохозяйственной освоенности. Наблюдается обратная связь показателей, то есть наиболее поражены оползнями наименее освоенные в сельскохозяйственном отношении районы. Это говорит об отсутствии влияния рассматриваемого признака на развитие оползневого процесса в пределах исследуемой территории.

Таблица 33.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{25} «сельскохозяйственная освоенность»

№ класса	Классы признака (удельн. продуктивность, тыс.руб./км^2)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	100-300	0,29	0,71	10,68	0,31	0	0,03	0,36	0,31	6,90
2	300-700	0,09	0,91		0,09	0	0,05	0,36	0,50	
3	700-1200	0,33	0,67		0,33	0,03	0,05	0,34	0,24	
4	1200-1800	0,37	0,63		0,38	0,01	0,05	0,32	0,25	
5	1800-2500	0,50	0,50		0,50	0	0,06	0,13	0,31	
6	>2500	0,70	0,30		0,70	0,01	0,06	0,18	0,05	

Признак № 26 («демографическая освоенность»). Наименьшая связь (отсутствие связи) с выходным показателем характерна как для районов с низкой, так и высокой плотностью населения. Аналогично, наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.34) зафиксирована для территорий как с наименьшей плотностью населения (10-14 чел./км^2), так и с максимальными (2989 чел./км^2) ее значениями, что говорит об отсутствии четко выраженной связи между рассматриваемым признаком и выходным показателем (пораженность территории оползневым процессом).

Таблица 34.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{26} «демографическая освоенность»

№ класса	Классы признака (плотность населения, чел./км^2)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	10	0,03	0,97	34,72	0,03	0	0,03	0,32	0,61	23,08
2	14	0,07	0,93		0,08	0,02	0,06	0,53	0,31	
3	17	0,28	0,72		0,28	0	0,02	0,26	0,43	
4	20	0,25	0,75		0,27	0	0,07	0,33	0,33	
5	22	0	1,00		0	0	0	0,17	0,83	
6	29	0,03	0,97		0,03	0,03	0	0,42	0,53	
7	32	0	1,00		0	0	0,03	0,32	0,65	
8	33	0,04	0,96		0,04	0	0	0,48	0,48	
9	40	0,55	0,45		0,55	0,03	0,08	0,30	0,04	
10	41	0	1,00		0	0	0,13	0,25	0,63	
11	42	0,42	0,58		0,42	0	0,08	0,33	0,17	
12	46	0,41	0,59		0,41	0,04	0,15	0,30	0,11	
13	48	0,36	0,64		0,36	0,06	0,06	0,24	0,28	
14	51	0,63	0,37		0,63	0,03	0,04	0,24	0,07	
15	53	0,05	0,95		0,05	0	0,05	0,55	0,35	
16	57	0,04	0,96		0,04	0	0,04	0,57	0,35	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
17	58	0,43	0,57		0,43	0	0	0,29	0,29	
18	66	0,50	0,50		0,53	0,03	0,06	0,28	0,09	
19	73	0,33	0,67		0,33	0	0,10	0,48	0,10	
20	76	0	1,00		0	0	0	0,27	0,73	
21	78	0,73	0,27		0,77	0	0,14	0,09	0	
22	79	0	1,00		0	0	0,06	0,56	0,38	
23	86	0,52	0,48		0,52	0,04	0,09	0,26	0,09	
24	87	0,56	0,44		0,56	0	0,08	0,31	0,06	
25	88	0,50	0,50		0,50	0,04	0,04	0,27	0,15	
26	95	0,71	0,29		0,71	0	0	0,18	0,12	
27	99	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
28	118	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
29	121	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
30	131	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
31	1489	0,56	0,44		0,56	0	0,11	0,33	0	
32	1713	0	0		0	0	0	0	0	
33	1832	0,75	0,25		0,75	0	0	0,25	0	
34	2430	1,00	0		1,00	0	0	0	0	
35	2989	0	1,00		0	0	0	1,00	0	
36	3407	0	0		0	0	0	0	0	

Признак № 27 («градостроительная освоенность»). Связь признака с развитием оползневого процесса (табл.35) имеет близкие значения для всех классов признака, наибольшая связь зафиксирована для территорий со средними значениями признака (0.03-0.09 ед/км^2). Следовательно, рассматриваемый признак не влияет на выходной показатель (пораженность территории оползневым процессом), поскольку прямая их связь не выявлена.

Таблица 35.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{27} «градостроительная освоенность»

№ класса	Классы признака (плотность населенных пунктов, ед./км^2)	Модель I (Y_1)			Модель II (Y_2, пораженность, %)					
		Процесс не развит	Процесс развит	I, %	<0,045	0,045-0,276	0,276-1,675	1,675-10,137	10,137-61,325	I, %
		P(Y|x), д.е.			P(Y|x), д.е.					
1	≤0,03	0,34	0,66	0,77	0,34	0,01	0,04	0,29	0,31	0,68
2	0,03-0,06	0,29	0,71		0,29	0,01	0,06	0,34	0,30	
3	0,06-0,09	0,24	0,76		0,25	0,02	0,04	0,38	0,31	
4	0,09-0,12	0,39	0,61		0,40	0,03	0,07	0,28	0,22	

Помимо анализа таблиц сопряженности была оценена взаимосвязь признаков путем расчета их взаимной информативности. Наличие связи между признаками фиксировалось при взаимной информативности признаков, превышающей 50 %. Для этого значения взаимной информативности, рассчитанные в битах (табл.36), были нормированы относительно значения информативности каждого рассматриваемого признака (построчно) (табл.37).

В итоге признаки x_7 («ландшафт»), x_{17} («литологическая характеристика дочетвертичных отложений»), x_{18} («литологическая характеристика отложений, дочетвертичные и четвертичные объединенные»), x_{19} («фазовый состав грунтов») и x_{26} («демографическая освоенность») исключены из рассмотрения, так как была выявлена их связь с другими признаками. Кроме того, признаки x_7 и x_{18} являются сложными, отражающими комплексную характеристику признаков x_1, x_8, x_9, x_{12}-x_{15} (x_7) и x_{16}, x_{17} (x_{18}).

Таблица 36.

Взаимная информативность простых признаков (биты)

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	x_{27}
x_1	2716	843	141	487	566	625	1465	854	347	271	239	395	272	385	1067	1141	949	1337	773	1046	350	184	888	602	297	1132	196
x_2	843	2426	164	668	646	585	982	731	274	254	244	351	178	549	834	991	910	1156	612	948	314	174	672	515	300	990	117
x_3	141	164	2957	97	103	83	251	240	86	57	39	71	64	110	127	234	217	353	88	306	92	69	119	125	85	477	30
x_4	487	668	97	1703	257	364	544	398	147	169	144	152	56	211	427	595	559	660	369	574	152	104	382	301	198	532	19
x_5	566	646	103	257	1566	247	512	346	141	130	120	227	122	359	451	557	392	612	311	451	121	94	354	343	147	525	26
x_6	625	585	83	364	247	2368	687	632	214	231	169	239	241	326	569	722	765	890	459	955	244	144	583	271	269	1022	179
x_7	1465	982	251	544	512	687	3659	1174	542	304	316	533	536	562	1114	1295	1057	1516	790	1197	545	239	1033	571	466	1600	318
x_8	854	731	240	398	346	632	1174	3713	449	303	268	534	632	504	816	1059	953	1300	610	1109	582	242	891	473	497	1686	382
x_9	347	274	86	147	141	214	542	449	1749	89	130	169	146	158	249	387	252	491	185	361	165	43	327	156	158	638	90
x_{10}	271	254	57	169	130	231	304	303	89	1013	99	98	72	130	280	276	295	332	227	327	100	25	258	168	102	365	10
x_{11}	239	244	39	144	120	169	316	268	130	99	1285	123	83	129	241	280	293	351	206	300	67	46	262	121	85	368	34
x_{12}	395	351	71	152	227	239	533	534	169	98	123	2055	762	882	566	410	438	531	345	451	424	35	400	138	222	1154	241
x_{13}	272	178	64	56	122	241	536	632	146	72	83	762	2378	481	399	361	443	610	237	635	406	73	336	85	253	1262	286
x_{14}	385	549	110	211	359	326	562	504	158	130	129	882	481	2315	608	416	360	535	272	441	286	47	303	280	255	1325	169
x_{15}	1067	834	127	427	451	569	1114	816	249	280	241	566	399	608	2378	966	950	1137	680	1007	409	164	1007	406	283	1322	108
x_{16}	1141	991	234	595	557	722	1295	1059	387	276	280	410	361	416	966	3245	1125	2926	678	1272	497	275	860	579	485	1498	315
x_{17}	949	910	217	559	392	765	1057	953	252	295	293	438	443	360	950	1125	2742	2182	778	1800	579	275	871	455	450	1479	225
x_{18}	1337	1156	353	660	612	890	1516	1300	491	332	351	531	610	535	1137	2926	2182	4285	881	1873	799	330	1024	639	605	1946	437
x_{19}	773	612	88	369	311	459	790	610	185	227	206	345	237	272	680	678	778	881	1205	803	264	51	710	222	166	648	96
x_{20}	1046	948	306	574	451	955	1197	1109	361	327	300	451	635	441	1007	1272	1800	1873	803	2853	768	334	900	545	530	1805	416
x_{21}	350	314	92	152	121	244	545	582	165	100	67	424	406	286	409	497	579	799	264	768	2771	55	367	114	172	1068	297
x_{22}	184	174	69	104	94	144	239	242	43	25	46	35	73	47	164	275	275	330	51	334	55	1340	83	151	135	433	30
x_{23}	888	672	119	382	354	583	1033	891	327	258	262	400	336	303	1007	860	871	1024	710	900	367	83	1825	303	332	1051	116
x_{24}	602	515	125	301	343	271	571	473	156	168	121	138	85	280	406	579	455	639	222	545	114	151	303	1776	248	717	97
x_{25}	297	300	85	198	147	269	466	497	158	102	85	222	253	255	283	485	450	605	166	530	172	135	332	248	2311	1917	193
x_{26}	1132	990	477	532	525	1022	1600	1686	638	365	368	1154	1262	1325	1322	1498	1479	1946	648	1805	1068	433	1051	717	1917	4907	859
x_{27}	196	117	30	19	26	179	318	382	90	10	34	241	286	169	108	315	225	437	96	416	297	30	116	97	193	859	1980

Таблица 37.

Нормированные значения взаимной информативности простых признаков (%)

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	x_{27}
x_1	100	31,1	5,2	17,9	20,8	23,0	54,0	31,5	12,8	10,0	8,8	14,5	10,0	14,2	39,3	42,0	35,0	49,2	28,5	38,5	12,9	6,8	32,7	22,2	10,9	41,7	7,2
x_2	34,8	100	6,8	27,5	26,6	24,1	40,5	30,1	11,3	10,5	10,1	14,5	7,3	22,6	34,4	40,9	37,5	47,6	25,2	39,1	12,9	7,2	27,7	21,2	12,4	40,8	4,8
x_3	4,8	5,5	100	3,3	3,5	2,8	8,5	8,1	2,9	1,9	1,3	2,4	2,2	3,7	4,3	7,9	7,3	11,9	3,0	10,4	3,1	2,3	4,0	4,2	2,9	16,1	1,0
x_4	28,6	39,2	5,7	100	15,1	21,4	31,9	23,4	8,6	9,9	8,4	8,9	3,3	12,4	25,1	34,9	32,8	38,8	21,6	33,7	8,9	6,1	22,4	17,7	11,6	31,2	1,1
x_5	36,1	41,3	6,6	16,4	100	15,8	32,7	22,1	9,0	8,3	7,7	14,5	7,8	22,9	28,8	35,6	25,0	39,1	19,8	28,8	7,7	6,0	22,6	21,9	9,4	33,5	1,7
x_6	26,4	24,7	3,5	15,4	10,4	100	29,0	26,7	9,0	9,8	7,2	10,1	10,2	13,8	24,0	30,5	32,3	37,6	19,4	40,3	10,3	6,1	24,6	11,5	11,3	43,1	7,6
x_7	40,0	26,8	6,9	14,9	14,0	18,8	100	32,1	14,8	8,3	8,6	14,6	14,7	15,4	30,5	35,4	28,9	41,4	21,6	32,7	14,9	6,5	28,2	15,6	12,7	43,7	8,7
x_8	23,0	19,7	6,5	10,7	9,3	17,0	31,6	100	12,1	8,2	7,2	14,4	17,0	13,6	22,0	28,5	25,7	35,0	16,4	29,9	15,7	6,5	24,0	12,7	13,4	45,4	10,3
x_9	19,8	15,7	4,9	8,4	8,1	12,2	31,0	25,7	100	5,1	7,4	9,7	8,4	9,0	14,2	22,1	14,4	28,1	10,6	20,6	9,4	2,4	18,7	8,9	9,1	36,5	5,1
x_{10}	26,7	25,0	5,6	16,7	12,8	22,8	30,0	29,9	8,8	100	9,8	9,7	7,1	12,8	27,6	27,2	29,1	32,8	22,4	32,3	9,8	2,5	25,5	16,6	10,1	36,0	1,0
x_{11}	18,6	19,0	3,0	11,2	9,3	13,2	24,6	20,8	10,1	7,7	100	9,6	6,4	10,1	18,7	21,8	22,8	27,3	16,0	23,4	5,3	3,6	20,4	9,4	6,6	28,7	2,7
x_{12}	19,2	17,1	3,5	7,4	11,0	11,6	25,9	26,0	8,2	4,8	6,0	100	37,1	42,9	27,6	20,0	21,3	25,8	16,8	22,0	20,6	1,7	19,5	6,7	10,8	56,1	11,7
x_{13}	11,4	7,5	2,7	2,4	5,1	10,1	22,6	26,6	6,2	3,0	3,5	32,0	100	20,2	16,8	15,2	18,6	25,7	10,0	26,7	17,1	3,1	14,1	3,6	10,6	53,1	12,0
x_{14}	16,6	23,7	4,8	9,1	15,5	14,1	24,3	21,8	6,8	5,6	5,6	38,1	20,8	100	26,3	18,0	15,5	23,1	11,7	19,0	12,3	2,0	13,1	12,1	11,0	57,2	7,3
x_{15}	44,9	35,1	5,4	17,9	19,0	23,9	46,9	34,3	10,5	11,8	10,1	23,8	16,8	25,6	100	40,6	40,0	47,8	28,6	42,3	17,2	6,9	42,3	17,1	11,9	55,6	4,5
x_{16}	35,2	30,5	7,2	18,3	17,2	22,2	39,9	32,6	11,9	8,5	8,6	12,6	11,1	12,8	29,8	100	34,7	90,2	20,9	39,2	15,3	8,5	26,5	17,8	14,9	46,2	9,7
x_{17}	34,6	33,2	7,9	20,4	14,3	27,9	38,6	34,8	9,2	10,8	10,7	16,0	16,2	13,1	34,7	41,0	100	79,6	28,4	65,7	21,1	10,0	31,8	16,6	16,4	53,9	8,2
x_{18}	31,2	27,0	8,2	15,4	14,3	20,8	35,4	30,3	11,5	7,7	8,2	12,4	14,2	12,5	26,5	68,3	50,9	100	20,6	43,7	18,7	7,7	23,9	14,9	14,1	45,4	10,2
x_{19}	64,2	50,8	7,3	30,6	25,8	38,1	65,6	50,6	15,3	18,9	17,1	28,7	19,7	22,6	56,5	56,3	64,5	73,1	100	66,7	21,9	4,2	59,0	18,4	13,8	53,8	7,9
x_{20}	36,7	33,2	10,7	20,1	15,8	33,5	41,9	38,9	12,7	11,5	10,5	15,8	22,3	15,5	35,3	44,6	63,1	65,7	28,2	100	26,9	11,7	31,6	19,1	18,6	63,3	14,6
x_{21}	12,6	11,3	3,3	5,5	4,4	8,8	19,7	21,0	6,0	3,6	2,4	15,3	14,6	10,3	14,8	17,9	20,9	28,8	9,5	27,7	100	2,0	13,2	4,1	6,2	38,6	10,7
x_{22}	13,7	13,0	5,1	7,7	7,0	10,7	17,8	18,1	3,2	1,9	3,5	2,6	5,5	3,5	12,2	20,6	20,5	24,6	3,8	24,9	4,1	100	6,2	11,3	10,1	32,3	2,2
x_{23}	48,6	36,8	6,5	20,9	19,4	31,9	56,6	48,8	17,9	14,1	14,4	21,9	18,4	16,6	45,2	47,1	47,7	56,1	38,9	49,3	20,1	4,6	100	16,6	18,2	57,6	6,3
x_{24}	33,9	29,0	7,1	16,9	19,3	15,3	32,1	26,6	8,8	9,5	6,8	7,7	4,8	15,8	22,9	32,6	25,6	36,0	12,5	30,7	6,4	8,5	17,1	100	14,0	40,4	5,5
x_{25}	12,8	13,0	3,7	8,6	6,3	11,6	20,2	21,5	6,9	4,4	3,7	9,6	10,9	11,0	12,2	21,0	19,5	26,2	7,2	22,9	7,5	5,8	14,4	10,7	100	83,0	8,4
x_{26}	23,1	20,2	9,7	10,8	10,7	20,8	32,6	34,4	13,0	7,4	7,5	23,5	25,7	27,0	26,9	30,5	30,1	39,7	13,2	36,8	21,8	8,8	21,4	14,6	39,1	100	17,5
x_{27}	9,9	5,9	1,5	1,0	1,3	9,1	16,1	19,3	4,5	0,5	1,7	12,2	14,4	8,5	5,5	15,9	11,4	22,1	4,8	21,0	15,0	1,5	5,8	4,9	9,8	43	100

Анализ данных также показал, что показатели с низкой информативностью, по результатам интерпретации таблиц сопряженности, не влияют на развитие оползневого процесса на исследуемой территории. Так, признаки x_{22} («разрывные нарушения»), x_{24} («транспортная освоенность»), x_{25} («сельскохозяйственная освоенность»), x_{27} («градостроительная освоенность») исключены из рассмотрения, поскольку в процессе анализа их влияние на развитие оползневого процесса на рассматриваемой территории не было выявлено.

Отобранные признаки (x_1-x_4, x_6, x_8-x_{16}, x_{20}, x_{21} и x_{23}) участвовали в формировании и последующем анализе сложных признаков.

Интерпретация таблиц сопряженности сложных признаков для моделей I и II

Аналогично рассмотрению простых признаков для сложных можно провести детальный анализ их связи с развитием оползневого процесса, а также выявить отдельные классы сложных признаков, которые характеризуются максимально тесной связью с выходным показателем. Анализ таблиц сопряженности сложных признаков выполнялся после оценки их информативности для наиболее информативных признаков. Для примера были рассмотрены сложные признаки: $x_{14}\otimes x_{16}$, $x_8\otimes x_{16}$, $x_1\otimes x_3\otimes x_8$, $x_3\otimes x_8\otimes x_{21}$.

Рассмотрение таблицы сопряженности признака $x_{14}\otimes x_{16}$ (годовое количество осадков ⊗ литологическая характеристика четвертичных отложений) (табл.38) показало, что наиболее тесная связь признака наблюдается при близких к максимальным значениях осадков для территорий, на которых развиты склоновые крупнообломочные отложения с глинистым, суглинистым заполнителем. Из чего можно заключить, что осадки выполняют роль триггера при активизации оползневого процесса на участках, сложенных описанными выше отложениями.

Для признака $x_8\otimes x_{16}$ (почвы ⊗ литологическая характеристика четвертичных отложений) наиболее тесная связь с развитием оползневого процесса наблюдается на территориях, характеризующихся распространением горно-луговых почв, гляциальных валунно-галечных и делювиально-коллювиальных глыбово-щебнистых отложений.

Для признака $x_1\otimes x_3\otimes x_8$ (абсолютные отметки рельефа ⊗ экспозиция склонов ⊗ почвы) наиболее тесная связь с развитием оползневого процесса наблюдается в пределах областей, характеризующихся наибольшими отметками рельефа, восточной и северо-восточной экспозицией склонов, горно-луговыми почвами.

Следует отметить, что если для признаков x_1 и x_8 наиболее информативными классами, то есть имевшими наибольшую связь с развитием оползневого процесса, остались те же, что и при рассмотрении этих признаков отдельно в качестве простых,

Таблица 38.

Таблица сопряженности сложного признака $x_{14} \otimes x_{16}$

признак $x_{14} \otimes x_{16}$ (годовое количество осадков ⊗ литологическая характеристика четвертичных отложений), **классы**	**Модель I**				**Модель II**									
	Y_1 (наличие/отсутствие оползневых проявлений)				**Y_2 (пораженность, %)**									
	Процесс не развит	**Процесс развит**	**Процесс не развит**	**Процесс развит**	**<0,045**	**0,045-0,276**	**0,276-1,675**	**1,675-10,137**	**10,137-61,325**	**<0,045**	**0,045-0,276**	**0,276-1,675**	**1,675-10,137**	**10,137-61,325**
	Количество переходов		**P(Y|x), д.е.**		**Количество переходов**					**P(Y|x), д.е.**				
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
00000000000000000000000**01000**2000000	4	0	1,00	0	4	0	0	0	0	1,00	0	0	0	0
00000000000000000000000**01000**4000000	0	2	0	1,00	0	0	0	1	1	0	0	0	0,50	0,50
00000000000000000000000**01000**5000000	10	3	0,77	0,23	10	1	0	2	0	0,77	0,08	0	0,15	0
00000000000000000000000**01000**6000000	2	0	1,00	0	2	0	0	0	0	1,00	0	0	0	0
00000000000000000000000**01000**7000000	46	24	0,66	0,34	47	0	6	13	4	0,67	0	0,09	0,19	0,06
00000000000000000000000**01000**8000000	2	1	0,67	0,33	2	0	1	0	0	0,67	0	0,33	0	0
00000000000000000000000**01000**9000000	70	28	0,71	0,29	70	1	4	21	2	0,71	0,01	0,04	0,21	0,02
00000000000000000000000**01001**0000000	1	12	0,08	0,92	1	1	2	4	5	0,08	0,08	0,15	0,31	0,38
00000000000000000000000**01001**1000000	3	76	0,04	0,96	4	2	2	30	41	0,05	0,03	0,03	0,38	0,52
00000000000000000000000**01001**2000000	0	27	0	1,00	0	0	0	11	16	0	0	0	0,41	0,59
00000000000000000000000**01001**3000000	9	3	0,75	0,25	9	0	0	2	1	0,75	0	0	0,17	0,08
00000000000000000000000**01001**6000000	19	1	0,95	0,05	19	0	1	0	0	0,95	0	0,05	0	0
00000000000000000000000**01001**7000000	4	3	0,57	0,43	4	0	0	3	0	0,57	0	0	0,43	0
00000000000000000000000**01001**8000000	14	7	0,67	0,33	14	1	1	4	1	0,67	0,05	0,05	0,19	0,05
00000000000000000000000**01001**9000000	14	1	0,93	0,07	15	0	0	0	0	1,00	0	0	0	0
00000000000000000000000**01002**0000000	3	2	0,60	0,40	3	0	0	0	2	0,60	0	0	0	0,40
00000000000000000000000**02000**1000000	1	3	0,25	0,75	1	0	0	3	0	0,25	0	0	0,75	0
00000000000000000000000**02000**2000000	4	0	1,00	0	4	0	0	0	0	1,00	0	0	0	0
00000000000000000000000**02000**4000000	4	1	0,80	0,20	4	0	0	0	1	0,80	0	0	0	0,20
00000000000000000000000**02000**5000000	1	2	0,33	0,67	1	0	0	1	1	0,33	0	0	0,33	0,33
00000000000000000000000**02000**7000000	28	29	0,49	0,51	28	1	4	15	9	0,49	0,02	0,07	0,26	0,16
00000000000000000000000**02000**9000000	23	28	0,45	0,55	23	2	6	19	1	0,45	0,04	0,12	0,37	0,02

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
00000000000000000000000**02001**0000000	0	12	0	1,00	0	0	1	4	7	0	0	0,08	0,33	0,58
00000000000000000000000**02001**1000000	29	80	0,27	0,73	29	3	6	36	35	0,27	0,03	0,06	0,33	0,32
00000000000000000000000**02001**2000000	1	31	0,03	0,97	1	0	0	5	26	0,03	0	0	0,16	0,81
00000000000000000000000**02001**4000000	3	0	1,00	0	3	0	0	0	0	1,00	0	0	0	0
00000000000000000000000**02001**7000000	0	7	0	1,00	0	0	0	4	3	0	0	0	0,57	0,43
00000000000000000000000**02001**8000000	8	1	0,89	0,11	8	0	0	1	0	0,89	0	0	0,11	0
00000000000000000000000**02002**0000000	1	1	0,50	0,50	1	0	0	0	1	0,50	0	0	0	0,50
00000000000000000000000**03000**1000000	0	1	0	1,00	0	0	0	1	0	0	0	0	1,00	0
00000000000000000000000**03000**3000000	0	1	0	1,00	0	0	0	1	0	0	0	0	1,00	0
00000000000000000000000**03000**7000000	2	18	0,10	0,90	2	0	0	13	5	0,10	0	0	0,65	0,25
00000000000000000000000**03000**9000000	1	4	0,20	0,80	1	0	2	2	0	0,20	0	0,40	0,40	0
00000000000000000000000**03001**0000000	0	20	0	1,00	0	0	0	5	15	0	0	0	0,25	0,75
00000000000000000000000**03001**1000000	2	32	0,06	0,94	2	0	3	14	15	0,06	0	0,09	0,41	0,44
00000000000000000000000**03001**2000000	9	43	0,17	0,83	9	0	0	18	25	0,17	0	0	0,35	0,48
00000000000000000000000**03001**7000000	0	2	0	1,00	0	0	0	1	1	0	0	0	0,50	0,50
00000000000000000000000**04000**1000000	0	2	0	1,00	0	0	1	0	1	0	0	0,50	0	0,50
00000000000000000000000**04000**7000000	0	11	0	1,00	0	0	0	3	8	0	0	0	0,27	0,73
00000000000000000000000**04001**0000000	4	27	0,13	0,87	4	0	0	15	12	0,13	0	0	0,48	0,39
00000000000000000000000**04001**1000000	1	32	0,03	0,97	1	0	1	15	16	0,03	0	0,03	0,45	0,48
00000000000000000000000**04001**2000000	0	39	0	1,00	0	1	3	18	17	0	0,03	0,08	0,46	0,44
00000000000000000000000**04001**7000000	1	1	0,50	0,50	1	0	0	0	1	0,50	0	0	0	0,50
00000000000000000000000**05000**1000000	0	1	0	1,00	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1,00
00000000000000000000000**05000**7000000	0	4	0	1,00	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1,00
00000000000000000000000**05001**0000000	5	22	0,19	0,81	5	0	3	9	10	0,19	0	0,11	0,33	0,37
00000000000000000000000**05001**1000000	0	24	0	1,00	0	0	0	14	10	0	0	0	0,58	0,42
00000000000000000000000**05001**2000000	4	70	0,05	0,95	6	2	7	40	19	0,08	0,03	0,09	0,54	0,26
00000000000000000000000**05001**7000000	0	7	0	1,00	0	0	0	3	4	0	0	0	0,43	0,57

то для признака x_3 (экспозиция склонов) наиболее информативными являлись классы, характеризующие склоны южной экспозиции.

Увеличение информативности сложного признака $x_1 \otimes x_3 \otimes x_8$ в сравнении с информативностью отдельных простых признаков, которые его составляют, при постоянстве наиболее информативных классов признаков x_1 и x_8, говорит о незначительном вкладе признака x_3 в информативность сложного признака.

Для признака $x_3 \otimes x_8 \otimes x_{21}$ (экспозиция склонов ⊗ почвы ⊗ сейсмичность территории) наиболее тесная связь с развитием оползневого процесса наблюдается для территорий с различной экспозицией склонов, на которых развиты горно-луговые почвы и характеризующихся землетрясениями 5-7 баллов с повторяемостью 1 раз в 1000 лет 9-балльных землетрясений. Аналогично признаку $x_1 \otimes x_3 \otimes x_8$, в целом можно говорить о незначительном вкладе признака x_3 в информативность сложного признака.

Подробное рассмотрение отдельных сложных признаков подтверждает необходимость детального анализа показателей, в первую очередь, простых, для корректной оценки их влияния на оползневой процесс в Горном Дагестане.

Необходимо отметить, что удаление некорректных признаков (информативных, но не влияющих на развитие оползней) выполняется непосредственно исследователем по результатам интерпретации таблиц сопряженности признаков.

Для ***оценки влияния масштаба осреднения данных*** при использовании модельной сетки с размером блока 5×5 км^2 были проведены дополнительные расчеты. Расчет информативности простых признаков, а также анализ таблиц сопряженности простых признаков и пораженности территории оползневым процессом были также выполнены с использованием модельной сетки с размером блока 1×1 км^2 (29 000 блоков) – модель VII (рис.42).

Расчет информативности показал (рис.43), что высокую информативность имеют признаки: x_1 «абсолютные отметки рельефа», x_2 «уклон земной поверхности», x_6 «густота речной сети», x_7 «ландшафт», x_8 «почвы», x_{15} «среднее максимальное суточное количество осадков», x_{16} «литологическая характеристика четвертичных отложений», x_{17} «литологическая характеристика дочетвертичных отложений», x_{18} «литологическая характеристика отложений, дочетвертичные и четвертичные объединенные», x_{20} «тектонические структуры», x_{23} «скорость современных тектонических движений», x_{26} «демографическая освоенность»; низкой информативностью характеризуются признаки: x_3 «экспозиция склонов», x_5 «превышение над местным базисом эрозии», x_{11} «территории развития обвально-осыпных процессов», x_{12} «средняя годовая температура воздуха», x_{13} «средняя годовая температура поверхности почвы»,

x_{14} «годовое количество осадков», x_{21} «сейсмичность территории», x_{22} «разрывные нарушения», x_{27} «градостроительная освоенность».

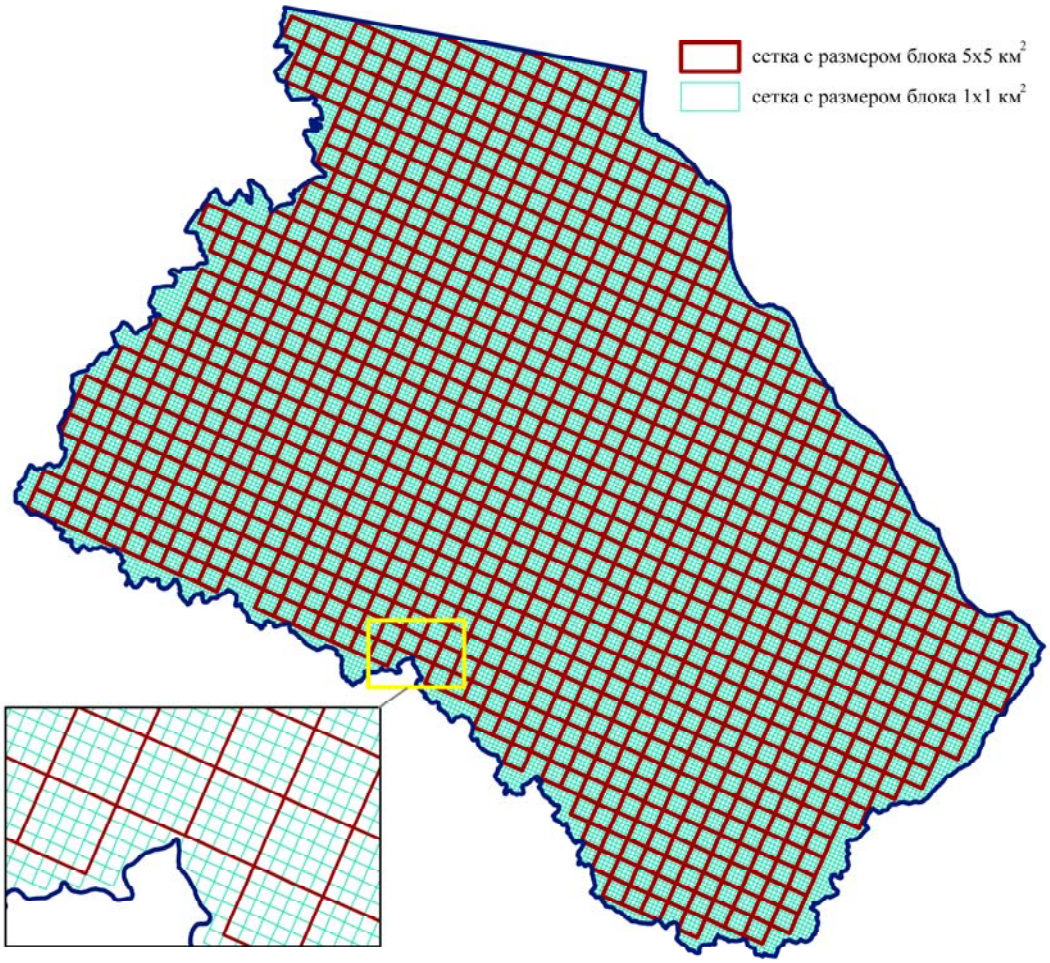


Рис.42. Модельная сетка с размером блоков 1×1 км^2

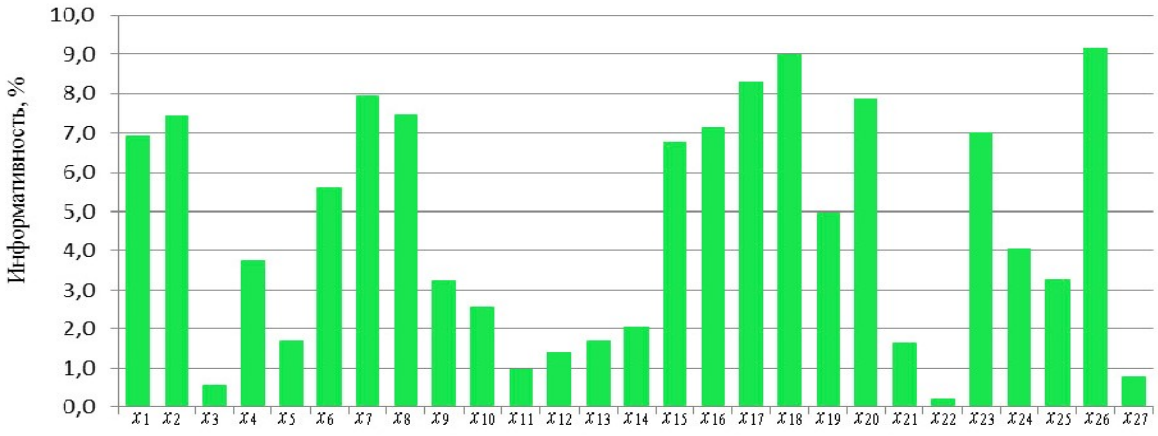


Рис.43. Информативность простых признаков для модели VII (блок сетки: 1×1 км^2)

Окончательный отбор значимых признаков выполняется с учетом анализа таблиц сопряженности всех признаков с пораженностью территории оползневым процессом.

Интерпретация таблиц сопряженности простых признаков для модели VII

Признак № 1 («абсолютные отметки рельефа»). Наименьшая связь с выходным показателем отмечается для самых низких высот рельефа, в предгорье (до 750 м), а также в нивально-высокогорной зоне (выше 3500 м). С увеличением абсолютных отметок рельефа связь с выходным показателем увеличивается. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.39) фиксируется в интервале высот 1900-3000 м., то есть развитие оползней приурочено, главным образом, к высокогорной и, частично, к верхней части среднегорной области рассматриваемой территории, обладающим высокой энергией рельефа. В верхних частях хребтов породы легко подвергаются выветриванию. Здесь на обрывистых склонах глубоких каньонов и у подножий гор наблюдаются мощные скопления обломочного материала, а продвижение отвершков каньонов вверх, к истокам рек, и их врезание в крутые склоны горных гряд и плато вызывают, как указывалось ранее, перестройку древнего профиля равновесия, что сопровождается развитием оползней.

Таблица 39.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_1 «абсолютные отметки рельефа»

№ класса	Классы признака (м)	Модель VII (Y_2, пораженность, %)				
		<0,075	0,075-0,452	0,452-2,732	2,732-16,530	16,530-100,000
		P(Y|x), д.е.				
1	< 358,9	0,98	0	0	0,01	0,01
2	358,9 - 746,7	0,90	0	0,01	0,03	0,05
3	746,7 - 1134,5	0,77	0,01	0,02	0,07	0,13
4	1134,5 - 1522,3	0,72	0,01	0,03	0,07	0,16
5	1522,3 - 1910,1	0,68	0,01	0,03	0,10	0,19
6	1910,1 - 2297,9	0,64	0,01	0,04	0,11	0,20
7	2297,9 - 2685,8	0,64	0,01	0,03	0,10	0,21
8	2685,8 - 3073,6	0,66	0,01	0,03	0,11	0,19
9	3073,6 - 3461,4	0,69	0,01	0,03	0,11	0,15
10	3461,4 - 3849,2	0,80	0,01	0,02	0,08	0,09

Признак № 2 («уклон земной поверхности»). Наименьшая связь с выходным показателем характерна для территорий, где уклон земной поверхности минимален (до 12°), а также имеет максимальные значения (более 40°). С одной стороны, минимальные значения уклона земной поверхности менее способствуют гравитационным, в том числе оползневым, смещениям рыхлообломочного материала, чем на территориях, характеризующихся более крутыми склонами. С другой стороны, на очень крутых склонах не происходит накопления продуктов выветривания горных пород, поскольку этому препятствуют собственно крутизна склонов, т.е. большие уклоны земной поверхности. С увеличением значений уклона земной поверхности, от минимальных к максимальным, наблюдается тесная связь с выходным показателем. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.40) выявлена для территорий, где значения уклона составляют 23-30°, т.е. среднегорной и нижней части высокогорной зоны, для которых характерно накопление продуктов выветривания горных

пород. Здесь распространены преимущественно крупнообломочные отложения с глинистым и суглинистым заполнителем, что определяет устойчивость склонов на данной территории, от которой зависит уклон земной поверхности, а также предрасположенность территории к развитию оползневых проявлений.

Таблица 40.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_2 «уклон земной поверхности»

№ класса	**Классы признака** (градусы)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	< 5,9	0,98	0	0,00	0,01	0,01
2	5,9 - 11,8	0,89	0	0,01	0,04	0,06
3	11,8 - 17,7	0,76	0,01	0,02	0,07	0,15
4	17,7 - 23,6	0,64	0,01	0,03	0,10	0,21
5	23,6 - 29,5	0,62	0,02	0,03	0,12	0,21
6	29,5 - 35,4	0,70	0,01	0,04	0,09	0,15
7	35,4 - 41,3	0,83	0,01	0,02	0,07	0,08
8	41,3 - 47,2	1,00	0	0	0	0

Признак № 3 («экспозиция склонов»). Связь с выходным показателем отсутствует для узкой прибрежной зоны Каспийского моря (равнинная территория), где оползневые проявления не отмечены. Наименьшая связь с выходным показателем наблюдается для склонов северной, северо-восточной, западной, северо-западной экспозиции. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.41) отмечается для склонов юго-восточной, южной, а также юго-западной экспозиции. Экспозиция склонов влияет на количество и характер распределения атмосферных осадков, солнечной радиации, а также видов растительности.

Таблица 41.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_3 «экспозиция склонов»

№ класса	**Классы признака** (градусы)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	Плоскость	0,94	0,01	0,01	0,02	0,03
2	С (0-22.5;337.5-360)	0,77	0,01	0,02	0,07	0,13
3	СВ (22.5-67.5)	0,81	0,01	0,02	0,05	0,11
4	В (67.5-112.5)	0,75	0,01	0,02	0,07	0,15
5	ЮВ (112.5-157.5)	0,72	0,01	0,03	0,08	0,16
6	Ю (157.5-202.5)	0,71	0,01	0,03	0,08	0,17
7	ЮЗ (202.5-247.5)	0,71	0,01	0,03	0,09	0,16
8	З (247.5-292.5)	0,75	0,01	0,03	0,09	0,13
9	СЗ (292.5-337.5)	0,76	0,01	0,02	0,08	0,12

Для склонов южной экспозиции, характерны большее количество солнечной радиации, меньшее количество осадков, преобладает луговая и степная растительность, что создает более благоприятные условия для развития здесь оползней по сравнению со склонами другой экспозиции. Кроме того, на рассматриваемой территории северные склоны хребтов являются более пологими, а южные, обращенные к Горному Дагестану, – крутыми и обрывистыми, у их

подножий отмечается накопление рыхлообломочного материала, что также способствует развитию оползневых процессов.

Признак № 4 («кривизна земной поверхности»). Наименьшая связь с выходным показателем отмечена для поверхностей, принятых условно плоскими, для которых не характерны гравитационные смещения грунтов, в том числе развитие оползней. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.42) характерна для поверхностей вогнутой формы, однако также выявлена тесная связь выходного показателя с территориями, характеризующимися выпуклыми поверхностями. Значительная связь, зафиксированная для вогнутых поверхностей, может объясняться тем, что распространение оползней, как правило, тяготеет к водотокам, для которых характерна такая форма рельефа, как к постоянным, так и ко временным, эрозионная деятельность которых способствует развитию оползневого процесса. Тесная связь с выпуклыми поверхностями, поскольку это, как правило, верхние части склонов, может определяться тем, что они являются областью зарождения гравитационных, в том числе оползневых, смещений, т.е. поставщиком рыхлообломочного материала, который из-за уклонов поверхности накапливается уже в вогнутых формах рельефа. Таким образом, близкие значения вероятности подверженности территории оползневому процессу для разных форм склонов могут говорить об их взаимосвязанности в развитии оползневых процессов.

Таблица 42.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_4 «кривизна земной поверхности»

№ класса	**Классы признака** (форма поверхности)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	вогнутая	0,66	0,01	0,03	0,10	0,19
2	условно плоская	0,89	0	0,01	0,03	0,07
3	выпуклая	0,71	0,01	0,03	0,09	0,15

Признак № 5 («превышение над местным базисом эрозии»). Наименьшая связь с выходным показателем отмечена для территорий, на которых превышение над местным базисом эрозии составляет более 1000 м. Низкая связь признака с развитием оползневого процесса характерна для территорий, где превышение над местным базисом эрозии составляет менее 100 м и более 880 м. Наибольшая связь (табл.43) отмечается для территорий, характеризующихся превышениями над местным базисом эрозии, составляющими 250-570 м, причем с увеличением этих значений, вероятность подверженности территории оползневому процессу чётко снижается.

Таким образом, можно отметить, что наблюдается снижение связи развития оползневого процесса с увеличением превышения над местным базисом эрозии, т.е. с увеличением абсолютных отметок рельефа. Такая закономерность может объясняться снижением влияния местного базиса эрозии на окружающую территорию при увеличении превышений, т.е. при

удалении от базиса. С другой стороны, низкая связь с развитием оползневого процесса для территорий, на которых превышение над местным базисом эрозии составляет менее 100 м, может объясняться тем, что такие низкие значения отмечаются, главным образом, для равнинной части в пределах рассматриваемой территории, для которой развитие оползней не характерно.

Таблица 43.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_5 «превышение над местным базисом эрозии»

№ класса	Классы признака (м)	Модель VII (Y_2, пораженность, %)				
		<0,075	0,075-0,452	0,452-2,732	2,732-16,530	16,530-100,000
		P(Y|x), д.е.				
1	< 107,0	0,83	0,01	0,01	0,05	0,09
2	107,0 - 261,5	0,70	0,01	0,03	0,08	0,18
3	261,5 - 415,9	0,69	0,01	0,03	0,09	0,18
4	415,9 - 570,4	0,70	0,01	0,03	0,10	0,15
5	570,4 - 724,8	0,74	0,01	0,04	0,09	0,12
6	724,8 - 879,3	0,79	0,01	0,02	0,08	0,09
7	879,3 - 1033,7	0,81	0,01	0,02	0,08	0,07
8	1033,7 - 1188,2	0,82	0,02	0,03	0,08	0,05
9	1188,2 - 1342,6	0,75	0	0	0,15	0,10
10	1342,6 - 1497,1	0,75	0	0	0,25	0

Признак № 6 («густота речной сети»). Наименьшая связь с выходным показателем выявлена для территорий с наименьшей густотой речной сети (не более 0.6 км/км^2). При увеличении значений густоты речной сети (от 0.6 до 1.58 км/км^2) наблюдается закономерное увеличение тесноты связи с выходным показателем. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.44) зафиксирована для территорий, где значения признака составляют до 1.58 км/км^2 и являются максимальными. Таким образом, выявлена прямая связь признака с развитием оползневого процесса: развитие оползней характерно для областей, где отмечается наибольшая активность эрозионных процессов, которые, в свою очередь, способствуют развитию оползневых процессов.

Таблица 44.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_6 «густота речной сети»

№ класса	Классы признака (км/км^2)	Модель VII (Y_2, пораженность, %)				
		<0,075	0,075-0,452	0,452-2,732	2,732-16,530	16,530-100,000
		P(Y|x), д.е.				
1	< 0,20	0,97	0	0	0,01	0,02
2	0,20 - 0,40	0,94	0	0,01	0,02	0,03
3	0,40 - 0,59	0,83	0,01	0,02	0,05	0,10
4	0,59 - 0,79	0,76	0,01	0,02	0,08	0,12
5	0,79 - 0,99	0,65	0,01	0,03	0,10	0,20
6	0,99 - 1,19	0,65	0,01	0,03	0,10	0,20
7	1,19 - 1,38	0,64	0,01	0,03	0,11	0,21
8	1,38 - 1,58	0,55	0,01	0,03	0,15	0,26

Признак № 7 («ландшафт»). Связь признака с выходным показателем отсутствует для территорий с равнинными типами ландшафта, распространенными в северной и восточной

(прибрежной) частях исследуемой территории. Наименьшая связь отмечается для горного ландшафта лесостепных и степных предгорий, а также для лесных низкогорий, что объясняется наличием лесной растительности, способствующей увеличению устойчивости склонов, а также меньшей энергией рельефа предгорно-низкогорной зоны по сравнению со средне- и высокогорными районами (табл.45).

Таблица 45.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_7 «ландшафт»

№ класса	Классы признака (тип ландшафта)	Модель VII (Y_2, пораженность, %)				
		<0,075	0,075-0,452	0,452-2,732	2,732-16,530	16,530-100,000
		P(Y|x), д.е.				
1	Равнинный. Полупустынный. Ландшафт морских террас.	1,00	0	0	0	0
2	Равнинный. Сухостепной. Ландшафт морских террас.	0,98	0	0	0,01	0,01
3	Горный. Степной. Предгорный.	0,97	0	0	0,01	0,02
4	Горный. Степной. Среднегорный.	0,68	0,01	0,03	0,10	0,19
5	Горный. Ксерофитный. Долинно-котловинный.	0,69	0,01	0,03	0,08	0,18
6	Горный. Лугово-степной. Низкогорный.	0,80	0,01	0,02	0,07	0,11
7	Горный. Лугово-степной. Среднегорный.	0,66	0,01	0,03	0,11	0,19
8	Горный. Лесостепной. Предгорный.	0,95	0	0,01	0,02	0,02
9	Горный. Лесной. Низкогорный.	0,90	0	0,01	0,03	0,05
10	Горный. Лесной. Среднегорный.	0,67	0,01	0,04	0,11	0,17
11	Горный. Луговой. Высокогорный.	0,64	0,01	0,03	0,11	0,20
12	Горный. Нивальный. Высокогорный.	0,66	0,01	0,03	0,10	0,19
13	Равнинный. Лугово-болотно-степной. Дельтовый, болотный.	1,00	0	0	0	0
14	Равнинный. Лугово-болотно-степной. Дельтовый, лугово-степной.	1,00	0	0	0	0

Значительная связь признака с развитием оползней характерна для лугово-степного низкогорного типа ландшафта, склоны с которым обладают меньшей устойчивостью. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса зафиксирована для лугового высокогорья, степного и лугово-степного среднегорий, ксерофитного долинно-котловинного типа ландшафта. Территории среднегорья и высокогорья характеризуются, как указывалось ранее, высокой энергией рельефа, что способствует развитию оползней. Типы развитой здесь растительности, по сравнению с лесной, также способствуют снижению устойчивости склонов. Тесная связь оползней с ксерофитным долинно-котловинным типом ландшафта объясняется приуроченностью этого типа ландшафта к среднегорным участкам речных долин крупных рек республики: Андийское Койсу, Аварское Койсу, Кара-Койсу, Сулак, Самур и др., являющихся местными базисами эрозии, к которым тяготеет развитие оползней.

Высокая вероятность подверженности территории оползневому процессу отмечена также для нивального высокогорного ландшафта, что является некорректным результатом, поскольку эти районы характеризуются менее благоприятными для развития оползней условиями, и может быть связано с недостаточной детальностью исходной информации.

Поскольку данный признак отражает характер рельефа (признак № 1), почвенно-растительные (признаки №№ 8, 9) и гидрометеорологические особенности территории

(признаки №№ 12-15), как сложный признак, а также в виду некорректности полученного результата, он исключается из общего рассмотрения.

Признаки №№ 8 и 9, аналогично анализу данных признаков при расчетах по сетке 5×5 км^2, рассматриваются вместе.

Признак № 8 («почвы»). Практически отсутствует связь с выходным показателем в пределах распространения аллювиально-луговых, болотных, каштановых солонцеватых, луговых карбонатных и солончаковых, светло-каштановых солонцеватых и солончаковых почв. Наименьшая связь с выходным показателем характерна для территорий с бурыми лесными, каштановыми карбонатными, коричневыми, лугово-каштановыми, темно-каштановыми почвами, распространенными, главным образом, в пределах равниной части и, частично, в предгорьях исследуемой территории, где зафиксированные оползневые проявления единичны. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.46) зафиксирована для территорий, на которых распространены подтипы горно-луговых почв (горно-луговые, горно-луговые черноземовидные, горно-луговые примитивные), а также горно-долинные почвы.

Таблица 46.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу
в классах признака x_8 «почвы»

№ класса	Классы признака (тип почв)	Модель VII (Y_2, пораженность, %)				
		<0,075	0,075-0,452	0,452-2,732	2,732-16,530	16,530-100,000
		P(Y|x), д.е.				
1	Аллювиально-луговые	0,96	0	0,01	0,01	0,01
2	Болотные	0,96	0	0	0,02	0,01
3	Бурые лесные остепнённые	0,76	0,01	0,02	0,07	0,13
4	Бурые лесные	0,88	0	0,02	0,04	0,06
5	Горно-долинные	0,38	0,02	0,04	0,17	0,39
6	Горно-каштановые	0,79	0,01	0,02	0,06	0,12
7	Горно-луговые	0,63	0,01	0,03	0,12	0,21
8	Горно-луговые примитивные	0,66	0,01	0,04	0,09	0,19
9	Горно-луговые черноземовидные	0,66	0,01	0,03	0,10	0,20
10	Горные лугово-лесные	0,71	0,02	0,03	0,10	0,14
11	Горные черноземы	0,76	0,01	0,02	0,06	0,15
12	Каштановые карбонатные	0,93	0	0,01	0,03	0,04
13	Каштановые солонцеватые	1,00	0	0	0	0
14	Коричневые	0,92	0	0,01	0,03	0,04
15	Лугово-каштановые	0,91	0	0,01	0,02	0,06
16	Луговые карбонатные	0,98	0	0	0,01	0,02
17	Луговые солончаковые	1,00	0	0	0	0
18	Светло-каштановые солонцеватые	0,96	0	0,01	0,01	0,02
19	Светло-каштановые солончаковые	0,97	0	0	0,01	0,02
20	Солончаки	0,82	0,01	0	0,05	0,12
21	Темно-каштановые	0,91	0	0,01	0,04	0,05

Признаки № 9 («растительность»). Развитие оползней не характерно для прибрежной зоны Каспийского моря, занятой песками, а также районов, занятых сельскохозяйственными растениями (сады и виноградники). Наименьшая связь с выходным показателем характерна для территории, занятой горной степной травянистой растительностью, а также порослью леса. Все перечисленные районы находятся в пределах равнинно-предгорной (северной и восточной)

части исследуемой территории, характеризующейся единичными оползневыми проявлениями. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.47) зафиксирована для территорий, на которых распространена горная луговая растительность и полукустарники. Кроме того, здесь отмечаются наибольшие значения пораженности территории оползневым процессом.

Таблица 47.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_9 «растительность»

№ класса	**Классы признака** (наличие/отсутствие, тип растительности)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	Горная луговая растительность	0,70	0,01	0,03	0,09	0,17
2	Леса густые высокие (обычные)	0,83	0,01	0,02	0,06	0,08
3	Полукустарники	0,64	0,01	0,04	0,09	0,22
4	Виноградники	1,00	0	0	0	0
5	Кустарники	0,85	0,01	0,02	0,04	0,08
6	Пески	0,97	0	0	0,01	0,02
7	Поросль леса	0,88	0,01	0,01	0,05	0,06
8	Редколесье	0,82	0,01	0,01	0,04	0,12
9	Фруктовые и цитрусовые сады	0,91	0,01	0,01	0,04	0,03
10	Растительность отсутствует	0,77	0,01	0,02	0,08	0,11
11	Горная степная травянистая растительность	0,92	0	0,01	0,02	0,04

В целом можно отметить, что наименьшая связь с выходным показателем характерна для классов обоих показателей, которые характеризуют районы, находящиеся в пределах равнинно-предгорной (северной и восточной) части исследуемой территории, где зафиксированные оползневые проявления единичны. Наибольшая связь для обоих показателей отмечена для классов, характеризующих среднегорную и высокогорную зоны. Для этих районов характерны: незначительное по площади распространение лесных массивов, способствующих увеличению устойчивости склонов, преобладание на рассматриваемой территории горных лугового и степного типов ландшафта с соответствующими видами растительности и почв. Это, в целом, снижает устойчивость склонов на таких территориях, они легче подвергаются воздействию эрозионных процессов, что, в свою очередь, способствует развитию оползневого процесса.

Признак № 10 («территории развития селевого процесса»). Связь выходного показателя (табл.48) с территориями, на которых распространены селевые водотоки выше, чем с территориями, где они отсутствуют. Однако, в целом, для большей части всей рассматриваемой территории зависимость развития оползневого процесса от наличия/отсутствия селевых водотоков не является четко выраженной: только 1/3 территорий, на которых распространены селевые водотоки, характеризуется также развитием в их пределах оползней. Вероятно, отсутствие четкой зависимости связано с влиянием селевого процесса на развитие оползней в комплексе с другими факторами, в частности, при уклонах земной поверхности, способствующих накоплению рыхлообломочного материала, вовлекаемого в селевой и оползневой процессы, при увлажнении отложений на склонах за счет интенсивных

ливневых осадков, приводящем к развитию оползней, и т.д. Тем не менее, стоит отметить, что селевой процесс может выступать фактором активизации оползневого процесса, а также развиваться совместно с ним, что неоднократно фиксировалось специалистами в рамках ведения мониторинга ЭГП в горной части Дагестана.

Таблица 48.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{10} «территории развития селевого процесса»

№ класса	**Классы признака** (наличие селевых водотоков)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	Процесс не развит	0,80	0,01	0,02	0,06	0,11
2	Распространены селевые водотоки	0,58	0,02	0,04	0,12	0,24

Признак № 11 («территории развития обвально-осыпных процессов»). Для областей, где обвально-осыпные процессы не развиты, отмечена наименьшая связь с развитием оползней. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.49) отмечена для территорий, на которых развиты осыпи. Это среднегорная и высокогорная зоны, обладающие высокой энергией рельефа, где активно протекают процессы выветривания и наблюдаются мощные скопления обломочного материала. Данные территории характеризуются наибольшими значениями пораженности. Значительная связь также характерна для районов распространения скал и обрывов. Они, как правило, обрамляют широко распространенные в среднегорье плато и характеризуются развитием обвально-осыпных процессов.

Полученные данные, в целом, говорят о тесной связи развития обвально-осыпных и оползневых процессов. Эти процессы совместно развиваются на территориях с высокой энергией рельефа, характеризующихся интенсивными подготовкой и накоплением рыхлообломочного материала, вовлекаемого в оползневой и обвально-осыпные процессы при их активизации. Нередко наблюдается комплексная активизация процессов с образованием таких форм, как оползни-обвалы и др.

Таблица 49.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{11} «территории развития обвально-осыпных процессов»

№ класса	**Классы признака** (наличие проявлений обвально-осыпных процессов)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	Процесс не развит	0,80	0,01	0,02	0,06	0,11
2	Распространены осыпи	0,66	0,01	0,03	0,10	0,20
3	Распространены скалы и обрывы	0,70	0,01	0,03	0,09	0,16

Признак № 12 («средняя годовая температура воздуха»). Для всех классов признака характерна достаточно высокая связь с выходным показателем. Наименьшая связь наблюдается для областей с наибольшими (положительными) значениями средней годовой температуры воздуха – равнинно-предгорной (в том числе прибрежной) части исследуемой территории, для

которой не характерно развитие оползней. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.50) отмечена для территорий с минимальными положительными среднегодовыми значениями температуры воздуха (до 3.8°С), характерными для высокогорных районов, а также для глубоких котловин за счет инверсии в горах. Это может объясняться колебаниями температуры около 0°С, которые определяют низкие положительные значения температуры воздуха здесь в среднем за год. Такие условия активизируют здесь процессы выветривания.

Поскольку данный признак является динамичным, его влияние на развитие ЭГП заключается именно в колебании температур, как суточном, так и сезонном. Абсолютный перепад температур воздуха составляет здесь до 50°С и более, что способствует процессам выветривания горных пород, накоплению рыхлообломочного материала и, как следствие, развитию оползневого процесса.

Таблица 50.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу
в классах признака x_{12} «средняя годовая температура воздуха»

№ класса	Классы признака (°С)	Модель VII (Y_2, пораженность, %)				
		<0,075	0,075-0,452	0,452-2,732	2,732-16,530	16,530-100,000
		P(Y|x), д.е.				
1	< 1,5	0,63	0,01	0,04	0,13	0,18
2	1,5 - 3,8	0,66	0,01	0,04	0,10	0,18
3	3,8 - 6,0	0,71	0,01	0,03	0,09	0,16
4	6,0 - 8,3	0,77	0,01	0,02	0,06	0,14
5	8,3 - 10,5	0,70	0,01	0,03	0,10	0,17
6	10,5 - 12,8	0,82	0,01	0,02	0,05	0,10

Признак № 13 («средняя годовая температура поверхности почвы»). Для этого признака также наблюдается влияние высотной поясности на распределение значений, выражающееся в уменьшении значений температур с увеличением абсолютных отметок, а также при удалении от побережья Каспийского моря, относительно которого происходит смена температурных зон, поскольку бассейн Каспийского моря является важным фактором формирования и изменений гидрометеорологических условий, к которым относится данный показатель.

Наименьшая связь с развитием оползневого процесса (табл.51) отмечена для средних значений показателя. Наибольшая связь признака с развитием оползней характерна для территорий с максимальными значениями (до 15.8°С, равнинная и прибрежная части территории, частично – высокогорье на юге республики) и территорий, где значения показателя близки к минимальным (до 11.8°С, верхняя часть высокогорья на западе республики).

Большая часть территорий, на которых отмечены средние значения температуры почв, относится к среднегорной зоне и нижней части высокогорной зоны, для которых, за счет сложных процессов атмосферной циркуляции в горах, характерны активные процессы выветривания горных пород, способствующие развитию различных ЭГП, в том числе

оползневого процесса. Несмотря на это, четкой взаимосвязи данного показателя с развитием оползней не наблюдается.

Полученные результаты, вероятно, объясняются уровнем детальности исходной информации, который не позволил выделить на построенной карте средней годовой температуры поверхности почвы области распространения ММП (t<0°C), что привело бы к изменению границ классов признака в высокогорной зоне и позволило построить более достоверную карту рассматриваемого признака.

Таблица 51.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{13} «средняя годовая температура поверхности почвы»

№ класса	**Классы признака** (°C)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	< 10,5	0,79	0,01	0,02	0,06	0,13
2	10,5 - 11,8	0,71	0,01	0,03	0,09	0,16
3	11,8 - 13,2	0,82	0,01	0,02	0,06	0,10
4	13,2 - 14,5	0,85	0	0,01	0,05	0,09
5	14,5 - 15,8	0,68	0,01	0,03	0,10	0,18

Признак № 14 («годовое количество осадков»). Наименьшая связь с развитием оползней выявлена для равнинной и прибрежной территорий, характеризующихся самыми низкими значениями годового количества осадков (до 570 мм). Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.52) характерна для районов, где значения признака являются высокими (770-910 мм), но не максимальными для данной территории: западная часть среднегорья и центральная часть высокогорья.

Таблица 52.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{14} «годовое количество осадков»

№ класса	**Классы признака** (мм/год)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	< 433,7	0,84	0,01	0,01	0,05	0,10
2	433,7 - 502,2	0,84	0,01	0,01	0,05	0,09
3	502,2 - 570,6	0,80	0,01	0,02	0,06	0,11
4	570,6 - 639,1	0,70	0,01	0,02	0,09	0,18
5	639,1 - 707,5	0,70	0,01	0,03	0,09	0,17
6	707,5 - 776,0	0,61	0,02	0,04	0,12	0,22
7	776,0 - 844,4	0,66	0,01	0,03	0,10	0,20
8	844,4 - 912,9	0,67	0,01	0,03	0,10	0,19
9	912,9 - 981,3	0,70	0,01	0,04	0,10	0,16
10	981,3 - 1049,8	0,70	0,01	0,04	0,11	0,13

Западная часть высокогорной зоны, для которой годовое количество осадков максимально, характеризуется менее тесной связью с выходным показателем, вероятно, потому, что ряд факторов, в том числе уже рассмотренных, не способствуют развитию оползней в этих районах: значительные уклоны земной поверхности, препятствующие

накоплению продуктов выветривания, удаленность от местного базиса эрозии, а также низкие среднегодовые температуры воздуха, предопределяющие выпадение твердых осадков большую часть года и их накопление в виде снежного покрова. В целом, полученные данные позволяют говорить о зависимости развития оползневого процесса от годового количества атмосферных осадков, как фактора увлажнения грунтов оползневых и оползнеопасных склонов, в результате чего снижается их устойчивость, и развиваются оползни.

Признак № 15 («среднее максимальное суточное количество осадков»). Наименьшая связь с развитием оползней выявлена для равнинной и прибрежной территорий, характеризующихся самыми низкими значениями (до 45 мм/сут) максимального суточного количества осадков. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.53) характерна для центральных высокогорных районов, где значения признака составляют 56-67 мм/сут и близки к максимальным, т.е. развитию здесь оползней способствуют краткосрочное интенсивное увлажнение грунтов оползневых и оползнеопасных склонов, которые, как правило, характеризуются в этой зоне мощными накоплениями рыхлообломочного материала, образующегося при выветривании горных пород. Верхняя часть высокогорной зоны (южная, приграничная), в которой максимальное суточное количество осадков имеет наибольшие значения, характеризуется менее тесной связью с выходным показателем. Для этой части территории характерны максимальные уклоны земной поверхности, что препятствует накоплению материала, развитие оползней здесь обычно приурочено к долинам горных рек.

Таким образом, выявлена тесная взаимосвязь рассматриваемого признака с выходным показателем: чем больше максимальное суточное количество осадков, тем более вероятно развитие оползней, то есть увлажнение грунтов в течение отдельно взятых суток за счет атмосферных осадков, главным образом краткосрочных, но интенсивных ливневых дождей, приводит к активизации оползневого процесса.

Таблица 53.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу
в классах признака x_{15} «среднее максимальное суточное количество осадков»

№ класса	Классы признака (мм/сут)	Модель VII (Y_2, пораженность, %)				
		<0,075	0,075-0,452	0,452-2,732	2,732-16,530	16,530-100,000
		P(Y|x), д.е.				
1	< 39,6	0,98	0	0	0,01	0,01
2	39,6 - 45,1	0,86	0,01	0,01	0,05	0,08
3	45,1 - 50,6	0,71	0,01	0,03	0,09	0,16
4	50,6 - 56,1	0,65	0,01	0,03	0,11	0,21
5	56,1 - 61,6	0,65	0,01	0,03	0,10	0,20
6	61,6 - 67,1	0,63	0,02	0,03	0,11	0,21
7	67,1 - 72,6	0,77	0,01	0,02	0,07	0,14

Признак № 16 («литологическая характеристика четвертичных отложений»). Связь признака с выходным показателем (табл.54) отсутствует для областей распространения лессовых и морских отложений, аллювия (мощностью до 20 м) и лимноаллювия, развитых в

равнинной части исследуемой территории и представленных, главным образом, валунно-галечными отложениями, гравийниками и галечниками, песками. Оползни не характерны для предгорно-низкогорной зоны в области распространения элювия и делювия, представленных суглинками и супесями с дресвой, щебнем и глыбняком (мощность – до 200 м), а также в пределах широко распространенных делювия и деляпсия, представленных суглинками щебнисто-дресвяными с включениями глыб (мощность – до 10 м). Таким образом, можно отметить, что развитие оползней, в целом, не характерно для территорий, где широко распространены отложения, в которых оползни, как правило, не развиваются.

Таблица 54.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу
в классах признака x_{16} «литологическая характеристика четвертичных отложений»

№ класса	**Классы признака** (комплексы отложений)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	*Выходы дочетвертичных образований*	0,82	0,01	0,02	0,06	0,10
2	*Аллювий.* Глины песчанистые, супеси, гравийники, галечники (до 20 м)	1,00	0	0	0	0
3	*Коллювий.* Щебнистые глины и суглинки, дресва, отломники (до 30 м)	0,62	0,01	0,04	0,16	0,16
4	*Элювий.* Дресвяные суглинки и глины с включениями щебня (до 5 м)	0,84	0	0,02	0,06	0,08
5	*Элювий и делювий.* Суглинки и супеси с дресвой, щебнем и глыбняком (до 200 м)	0,94	0	0	0,03	0,03
6	*Лимноаллювий.* Глины иловатые, суглинки, супеси (до 10 м)	1,00	0	0	0	0
7	*Делювий и коллювий с участием солифлюксия*. Мелкозем плывунный, щебнисто-глинистый и дресвяно-глинистый (до 6 м)	0,86	0,01	0,01	0,04	0,08
8	*Элювий и солифлюксий*. Суглинки и супеси щебнисто-дресвяные (до 10 м)	0,85	0,01	0,03	0,05	0,06
9	*Делювий и деляпсий*. Суглинки щебнисто-дресвяные с включениями глыб (до 10 м)	0,93	0	0,01	0,02	0,03
10	*Гляциалий, глациофлювиал и гляциолимний*. Валунно-галечные отложения с включениями глыб, дресвы, щебня, песка, глины (до 450 м)	0,66	0,01	0,03	0,10	0,20
11	*Делювий и коллювий с участием солифлюксия*. Глыбово-щебнистые накопления с дресвой и глиной (до 50 м)	0,67	0,01	0,03	0,10	0,19
12	*Коллювий, десерпций, солифлюксий*. Щебень с глыбами, дресвой, суглинками и скальными отторженцами (до 40 м)	0,63	0,01	0,04	0,11	0,21
13	*Мариний*. Галечники и гравийники с редкими валунами и прослоями песков (до 150 м)	1,00	0	0	0	0
14	*Лессоид*. Лёссовидные суглинки с четырьмя горизонтами погребенных почв (до 61 м)	1,00	0	0	0	0
15	*Мариний*. Новокаспийские и черноморские отложения. Пески полимиктовые, детритусовые с прослоями галечников и иловатых глин (8-25 м)	1,00	0	0	0	0
16	*Мариний*. Пески, галечники, глины с редкой ракушкой (до 40 м)	1,00	0	0	0	0
17	*Аллювий русел, пойм, низких надпойменных террас*. Валунно-галечные отложения, гравийные пески, глины (до 30 м)	0,67	0,01	0,03	0,09	0,19
18	*Мариний апшеронский*. Глины, песчаники, пески, прослои мергелей, галечников, ракушечников (до 600 м)	0,96	0,01	0	0,02	0,02
19	*Мариний*. Валунно-галечные отложения и конгломераты с прослоями песков (до 12 м)	1,00	0	0	0	0
20	*Аллювий*. Валунно-галечные отложения с песком и гравием, глины, илы, алевролиты (до 400 м)	0,82	0	0,02	0,05	0,11

Незначительная связь с выходным показателем характерна для областей распространения элювиальных дресвяных суглинков и глин с включениями щебня (мощность – до 5 м) в среднегорье; делювия и коллювия с участием солифлюксия в низко-среднегорной зоне, представленных мелкоземом плывунным, щебнисто-глинистым и дресвяно-глинистым (мощность – до 6 м); суглинков и супесей щебнисто-дресвяных (мощность – до 10 м) элювиального и солифлюкционного генезиса, незначительно развитых на отдельных участках в среднегорной зоне и в долинах рек в высокогорье, а также выходов дочетвертичных образований, распространенных на локальных участках по всей рассматриваемой территории. Незначительная связь с выходным показателем, помимо малой мощности отложений, вероятнее всего, объясняется распространением указанных отложений, главным образом, в среднегорной зоне, характеризующейся широким распространением здесь плато, геоморфологические особенности которых не способствует развитию оползневого процесса.

Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса зафиксирована для высокогорных территорий, на которых распространены: коллювий, десерпций, солифлюксий, представленные щебнем с глыбами, дресвой, суглинками и скальными отторженцами (мощность – до 40 м); гляциальные валунно-галечные отложения с включениями глыб, дресвы, щебня, песка, глины (мощность – до 450 м), делювий и коллювий с участием солифлюксия, представленные глыбово-щебнистыми накоплениями с дресвой и глиной (мощность – до 50 м); а также аллювиальные валунно-галечные отложения, гравийные пески и глины (мощность – до 30 м).

Таким образом, наиболее тесная связь с выходным показателем отмечается для территорий, благоприятных для развития оползневого процесса: здесь развиты разные по генезису отложения, представленные либо глинистыми грунтами, либо крупнообломочными с глинистым или суглинистым заполнителем, способствующими развитию оползневого процесса. Отложения широко распространены, при этом мощность отложений здесь составляет, в основном, до 30-50 м (в верхней части высокогорья – до 450 м). Кроме того, эти территории характеризуются наибольшими значениями пораженности оползнями.

Признак № 17 («литологическая характеристика дочетвертичных отложений»). Связь с выходным показателем отсутствует для области распространения отложений неогенового возраста, представленных глинистыми, песчаными и карбонатными отложениями, широко распространенными в равнинной части на севере и в северо-восточной части прибрежной зоны Каспийского моря в пределах рассматриваемой территории, где зафиксированные оползневые проявления единичны.

Наименьшая связь с выходным показателем характерна для палеогеновых отложений в низкогорной зоне, представленных карбонатными и глинистыми отложениями; палеоген-

неогеновых отложений в предгорно-низкогорной зоне, представленных глинами с прослоями песчаников, алевролитов и мергелей, а также неогеновых отложений в равнинной и предгорной зонах, представленных, в основном, глинами, песками и песчаниками. Для меловых отложений, широко развитых в низко-среднегорной зоне и представленных, главным образом, карбонатными породами, связь с выходным показателем характеризуется средними значениями.

Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.55) зафиксирована в средне-высокогорной зоне для области распространения юрских отложений, представленных переслаивающимися аргиллитами, алевролитами с прослоями песчаников, песков, угля, глин, мергелей, кремней, линзами конгломератов, редко горизонтами дацитов, риолитов и их туфов. Продуктами выветривания перечисленных горных пород являются грунты, преимущественно, глинистого состава, обладающие пластическими свойствами, что способствует подготовке и накоплению материала, вовлекаемого в оползневой процесс в пределах распространения этих горных пород.

Таким образом, можно отметить, что развитие оползневого процесса, независимо от состава отложений, не характерно для равнинно-предгорной части рассматриваемой территории, а также для среднегорной зоны, характеризующейся широким распространением плато. В высокогорье же состав отложений способствует развитию оползневого процесса в комплексе с влиянием других факторов.

Таблица 55.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу
в классах признака x_{17} «литологическая характеристика дочетвертичных отложений»

№ класса	**Классы признака** (комплексы отложений)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
1	*Гильярская толща*. Глины с прослоями песков, песчаников, конгломератов, галечников, реже известняков и пеплов (до 750 м).	0,93	0	0,01	0,03	0,03
2	*Терско-Сулакская серия*. Глины, прослои песчаников, алевролитов, мергелей (до 1700 м).	0,94	0	0	0,03	0,03
3	*Талгинская и артузенская серии объединенные*. Глины, пески, песчаники, прослои алевролитов, мергелей, линзы ракушечников (до 1130 м).	0,97	0	0,01	0,01	0,01
4	*Кабардинская, сюнжинская и суворовская серии объединенные*. Мергели, известняки, глины мергельные, алевролиты, редко прослои песков (до 720 м).	0,90	0	0,01	0,03	0,05
5	*Цурибская, хельдихойская, квандринская, рубасчайская и курахчайская серии объединенные*. Аргиллиты, алевролиты, прослои песчаников, песков, угля, линзы конгломератов (до 13280 м).	0,63	0,01	0,04	0,11	0,21
6	*Кионхохская серия*. Известняки, доломиты, алевролиты, песчаники, прослои глин, мергелей, кремней, в основании конгломераты, линзы гипса (до 3000 м).	0,79	0,01	0,02	0,05	0,14
7	*Джурмутская, джурмутско-самурская, самурская, ахтынская серии и бежитинская свита объединенные*. Аргиллиты, алевролиты, пролои песчаников, редко – горизонты дацитов, риолитов и их туфов (до 1200 м).	0,59	0,01	0,04	0,13	0,23

1	2	3	4	5	6	7
8	*Кутишская и чанты-аргунская серии объединенные*. Известняки, песчаники, аргиллиты, прослои мергелей, доломитов, брекчий, линзы гравелитов и конгломератов, гипсы (до 1300 м).	0,77	0,01	0,02	0,07	0,13
9	*Алдыкская толща*. Пески, песчаники, глины, линзы галечников, прослои известняков (до 350 м).	1,00	0	0	0	0
10	*Чуртовская серия*. Про-слои ракушечников и оолитовых известняков, редко конгломератов, линзы бурого угля (до 700 м).	1,00	0	0	0	0
11	*Брагунская серия*. Глины с редкими прослоями песков, мергелей, песчаников, известняков и ракушечников (до 1000 м).	0,98	0	0	0,01	0,01
12	*Чакаурская толща*. Глины, песчаники, пески, прослои известняков (до 400 м).	0,96	0	0,01	0,02	0,02
13	*Талгинская серия и черногорская свита*. Глины, песчаники, прослои мергелей, алевролитов (до1500 м).	0,93	0	0,01	0,02	0,04
14	*Гергебильская серия*. Известняки, мергели, песчаники, олисто-стромы (до 1000 м).	0,80	0,01	0,02	0,06	0,11
15	*Акушинская серия*. Аргиллиты, песчаники, мергели, известняки, алевролиты (до 650 м).	0,71	0,01	0,03	0,08	0,17
16	*Закатало-ковдагская серия*. Флиш. Аргиллиты, алевролиты, мергели, песчаники, известняки (до 1100 м).	0,55	0,01	0,04	0,10	0,30
17	*Агвали-хивская серия*. В основании – аргиллиты, алевролиты, реже песчаники (до 3100 м). В кровле -песчаники, аргиллиты, алевролиты, прослои известняков, мергелей, конгломератов.	0,76	0,01	0,02	0,07	0,14
18	*Фиагдонская, джоахорская и аттагайская серии объединенные*. Глинистые сланцы, песчаники, алевролиты, горизонты базальтов, лавобрекчий (более 3750 м).	0,72	0,01	0,02	0,08	0,18
19	*Халахельская, аттагай-мулларчайская и куртатинская серии объединенные*. Песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, прослои известняков, туффитов, лавы кислого и среднего состава (более 10500 м).	0,77	0,01	0,02	0,07	0,13
20	*Шароаргунская серия*. Аргиллиты, алевролиты, прослои песчаников, линзы конгломератов, конкреции глинистых сидеритов (более 5850 м).	0,59	0,01	0,09	0,06	0,25
21	*Тарумовская толща*. Глины, пески, песчаники, конгломераты, прослои мергелей, ракушечников (до 360 м).	1,00	0	0	0	0
22	*Доломитово-известняковая и терригенно-карбонатная толщи объединенные*. Известняки, доломиты, мергели, аргиллиты, алевролиты (до 700 м).	0,13	0	0,07	0,33	0,47
23	*Бабадагская свита*. Песчаники, известняки, мергели, аргиллиты (до 220 м).	1,00	0	0	0	0
24	*Шахдагская и судурская свиты объединенные*. Известняки, доломиты, прослои глин, песчаников, гипсов (до 800 м).	0,60	0	0	0,07	0,33

Признак № 18 («литологическая характеристика отложений, дочетвертичные и четвертичные объединенные»). Развитие оползней не характерно (отмечается наименьшая связь с выходным показателем или ее полное отсутствие) для равнинной части на севере рассматриваемой территории и в предгорной зоне для толщ, слагаемых лёссовыми, глинистыми, глинистыми и крупнообломочными отложениями; для песчаных и крупнообломочных отложений в прибрежной зоне Каспийского моря.

Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.56) зафиксирована в области распространения отложений, представленных либо крупнообломочными толщами с глинистым или суглинистым заполнителем, либо их переслаиванием с глинистыми толщами, в том числе подстилаемыми скальными грунтами. Отложения развиты в средне-высокогорных районах, в том числе в долинах горных рек, где целый ряд факторов также способствует широкому развитию оползней.

Поскольку данный признак обладает характеристиками признаков № 16 и № 17, описанных выше, как сложный признак, он исключается из общего рассмотрения.

Таблица 56.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{18} «литологическая характеристика отложений, дочетвертичные и четвертичные объединенные»

№ класса	**Классы признака** (комплексы отложений)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
1	Скальные*	0,86	0,01	0,01	0,05	0,08
2	Скальные	0,82	0	0	0	0,18
3	Скальные	0,65	0,02	0,04	0,16	0,14
4	Глинистые*	0,74	0	0	0,11	0,15
5	Глинистые	0,97	0	0	0,01	0,02
6	Глинистые	0,95	0	0,01	0,02	0,02
7	Глинистые с включениями крупнообломочных	0,94	0	0	0,03	0,03
8	Крупнообломочные	1,00	0	0	0	0
9	Крупнообломочные с глинистым заполнителем	0,66	0,01	0,03	0,10	0,20
10	Лёссовые, подстилаемые глинистыми	1,00	0	0	0	0
11	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые глинистыми	1,00	0	0	0	0
12	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые глинистыми	1,00	0	0	0	0
13	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые глинистыми	0,72	0	0,01	0,13	0,13
14	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые глинистыми	1,00	0	0	0	0
15	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые глинистыми	0,96	0,01	0	0,01	0,02
16	Песчаные с прослоями глинистых и крупнообломочных, подстилаемые глинистыми	1,00	0	0	0	0
17	Песчаные, крупнообломочные и глинистые переслаивающиеся, подстилаемые глинистыми	1,00	0	0	0	0
18	Глинистые, подстилаемые скальными	0,85	0,01	0,01	0,04	0,09
19	Глинистые, подстилаемые скальными	0,96	0	0	0,03	0,01
20	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые скальными	0,82	0	0,09	0,09	0
21	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые скальными	0,63	0,02	0,04	0,17	0,13
22	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые скальными	0,68	0,01	0,03	0,09	0,19
23	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые скальными	0,63	0,01	0,04	0,12	0,20
24	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые скальными	0,60	0,01	0,03	0,12	0,23
25	Глинистые, подстилаемые скальными с прослоями глинистых	0,89	0	0,04	0,02	0,04
26	Глинистые, подстилаемые скальными с прослоями песчаных	0,64	0,01	0,05	0,14	0,15
27	Глинистые с включениями крупнообломочных, подстилаемые скальными с прослоями песчаных	0,80	0,01	0,02	0,07	0,10
28	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые скальными с прослоями песчаных	0,50	0	0,06	0,17	0,28
29	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые скальными с прослоями глинистых	0,65	0	0,01	0,10	0,24
30	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые скальными с прослоями песчаных	0,65	0,01	0,03	0,11	0,20
31	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые скальными с прослоями глинистых	0,86	0,02	0	0,02	0,11
32	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем,	0,62	0,01	0,04	0,11	0,22

* Одноименные толщи, представленные разновидностями грунтов (описание толщ см. в Приложении)

1	2	3	4	5	6	7
	подстилаемые скальными с прослоями песчаных					
33	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые скальными с прослоями глинистых	0,78	0,03	0,03	0,03	0,14
34	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые скальными с прослоями песчаных	0,55	0,02	0,04	0,12	0,26
35	Глинистые, подстилаемые скальными и глинистыми с редкими прослоями песчаных	0,90	0,01	0,01	0,03	0,04
36	Глинистые, подстилаемые скальными, глинистыми и песчаными	0,93	0	0,01	0,02	0,04
37	Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными	1,00	0	0	0	0
38	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые скальными и глинистыми с редкими прослоями песчаных	0,95	0	0,05	0	0
39	Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными	0,97	0	0,03	0	0
40	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые скальными и глинистыми с редкими прослоями песчаных	1,00	0	0	0	0
41	Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными	1,00	0	0	0	0
42	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые скальными и глинистыми с редкими прослоями песчаных	0,92	0	0,02	0,03	0,03
43	Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными	0,97	0	0,01	0,01	0,01
44	Песчаные с прослоями глинистых и крупнообломочных, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными	1,00	0	0	0	0
45	Песчаные, крупнообломочные и глинистые, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными	1,00	0	0	0	0
46	Глинистые, песчаные и скальные с прослоями крупнообломочных и скальных	0,96	0,01	0	0,02	0,02
47	Глинистые, песчаные и скальные	0,90	0	0,01	0,02	0,06
48	Скальные и глинистые с редкими прослоями песчаных	0,71	0	0	0,06	0,24
49	Крупнообломочные и скальные с прослоями песчаных, подстилаемые глинистыми с прослоями песчаных и скальных	1,00	0	0	0	0
50	Крупнообломочные и скальные с прослоями песчаных, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными	1,00	0	0	0	0
51	Преимущественно крупнообломочные, глинистые и скальные	0,82	0	0,02	0,05	0,11

Признак № 19 («характеристика состояния грунтов, обусловленного фазовым состоянием воды в них»). Наименьшая связь с выходным показателем характерна для области распространения талых грунтов, где значения признака являются средними (глубина залегания уровня грунтовых вод – 2-5 м), т.е. для равнинной части на севере рассматриваемой территории и в прибрежной зоне Каспийского моря, для которых развитие оползней не характерно.

Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.57) характерна для области распространения талых грунтов с максимальной глубиной залегания уровня грунтовых вод (более 5 м), т.е. для средне-высокогорной зоны. Здесь, в связи со сложным геологическим строением территории, глубины залегания уровня грунтовых вод, превышая 5 м, могут достигать глубин в 20 м и более. Таким образом, можно говорить о том, что для среднегорной и высокогорной зон увлажнение отложений за счет подземных вод, приводящее к развитию оползневых процессов, не характерно.

Высокое значение связи развития оползневого процесса выявлено также для области распространения многолетнемерзлых пород, занимающей незначительную площадь в пределах

рассматриваемой территории. Более детальное рассмотрение данного признака показало, что подавляющее большинство оползневых проявлений здесь, по имеющимся данным, являются древними, единичные современные оползни встречаются, чаще всего, на границе данной области с областью развития талых грунтов, которая подвержена изменениям (перемещению) под влиянием климатических факторов, что может приводить к развитию геологических процессов, в том числе оползневого.

Исходя из полученных данных, можно заключить, что в целом грунтовые воды не оказывают влияния на развитие оползней на данной территории, то есть оползневой процесс развивается независимо от увлажнения грунтов за счет подземных вод.

Поскольку разделение оползневых проявлений по возрасту, также как и по механизму смещения, из-за недостатка такой информации для рассматриваемой территории, не выполнялось, данный признак исключается из общего рассмотрения в виду его некорректности.

Таблица 57.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{19} «характеристика состояния грунтов, обусловленного фазовым состоянием воды в них»

№ класса	**Классы признака** (мерзлые/талые грунты; уровень грунтовых вод (м) в области распространения талых грунтов)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	Область распространения талых грунтов: УГВ=0-2	0,82	0,01	0,02	0,05	0,11
2	Область распространения талых грунтов: УГВ=2-5	0,96	0	0,01	0,01	0,02
3	Область распространения талых грунтов: УГВ>5	0,69	0,01	0,03	0,09	0,18
4	Область распространения ММП	0,72	0,01	0,03	0,11	0,13

Признак № 20 («тектонические структуры»). Наименьшая связь (отсутствие связи) с выходным показателем характерна для структур, составляющих Терско-Каспийский краевой и Кусаро-Дивичинский наложенный прогибы.

Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.58) зафиксирована в Бежитинской и Шаро-Аргунской тектонических зонах, Чиауро-Закатальской флишевой зоне, в Агвали-Хивской складчатой зоне и зоне Бокового хребта складчато-глыбового поднятия Восточного Кавказа, а также в пределах Шахдагской моноклинали, входящей в состав Северо-Кавказской моноклинали. То есть развитие оползней характерно в пределах складчато-глыбового сооружения Большого Кавказа, в состав которого входят все перечисленные структуры.

Тектонические структуры отражают процессы, которым подверглись горные породы в результате своего формирования и последующих изменений. Различные деформации горных пород, вызванные эндогенными факторами, способствуют естественному разрушению горных пород и последующему смещению продуктов их выветривания вниз по склонам, в том числе в виде оползневых смещений. Более интенсивно и ярко выражено влияние этих процессов на

развитие ЭГП проявляется в горных районах, о чем свидетельствуют высокие значения пораженности территории оползнями в пределах структур складчато-глыбового сооружения Большого Кавказа.

Таблица 58.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{20} «тектонические структуры»

№ класса	**Классы признака** (тип структур)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	Избербаш-Дербентская складчатая зона	0,98	0	0	0,01	0,01
2	Зона Известнякового Дагестана	0,80	0,01	0,02	0,06	0,11
3	Зона Бокового хребта	0,59	0,01	0,04	0,13	0,23
4	Агвали-Хивская складчатая зона	0,64	0,01	0,03	0,11	0,20
5	Восточно-Дагестанская моноклиналь	0,76	0,01	0,03	0,06	0,14
6	Шахдагская моноклиналь	0,33	0	0,05	0,24	0,38
7	Казбегско-Лагодехская складчато-надвиговая зона	0,79	0,01	0,02	0,06	0,11
8	Бежитинская тектоническая зона	0,66	0,02	0,01	0,09	0,22
9	Чиауро-Закатальская флишевая зона	0,59	0,01	0,03	0,10	0,27
10	Шаро-Аргунская тектоническая зона	0,61	0,01	0,06	0,06	0,25
11	Предгорная зона локальных впадин	0,86	0	0,02	0,05	0,07
12	Терско-Сунженская зона осевой складчатости	0,96	0	0	0,01	0,02
13	Терско-Сулакская зона локальных впадин и поднятий	1,00	0	0	0	0
14	Кусаро-Дивичинский наложенный прогиб	0,90	0,01	0,01	0,03	0,05
15	Локальные положительные структуры 3-го порядка, установленные геологической съемкой или бурением	0,73	0,01	0,03	0,09	0,14
16	Локальные положительные структуры 3-го порядка, предполагаемые	0,64	0	0,14	0,05	0,18

Признак № 21 («сейсмичность территории»). Наименьшая связь признака с развитием оползневого процесса наблюдается для территории с сейсмичностью менее 5 баллов, а также для зоны 7-8-балльной сейсмичности при повторяемости 9-балльных землетрясений 1 раз в 1000 лет. Наибольшая связь признака с выходным показателем (табл.59) приурочена к зоне 5-7-балльной сейсмичности с повторяемостью 8-балльных землетрясений 1 раз в 1000 лет. Эти значения близки к максимальным.

Таблица 59.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{21} «сейсмичность территории»

№ класса	**Классы признака** (балльность; повторяемость)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	5-6; 8 – 1 раз в 1000 лет	0,70	0,01	0,03	0,09	0,18
2	6-7; 8 – 1 раз в 1000 лет	0,68	0,01	0,03	0,10	0,17
3	7-8; 8 – 1 раз в 1000 лет	0,73	0,02	0,03	0,08	0,14
4	<5; 8 – 1 раз в 1000 лет	0,82	0,01	0,01	0,05	0,12
5	5-6; 9 – 1 раз в 1000 лет	0,76	0,01	0,02	0,08	0,14
6	6-7; 9 – 1 раз в 1000 лет	0,80	0,01	0,02	0,06	0,11
7	7-8; 9 – 1 раз в 1000 лет	0,88	0	0,02	0,03	0,07
8	<5; 9 – 1 раз в 1000 лет	0,94	0	0,01	0,02	0,03

Кроме того, наиболее тесная связь с этой зоной сейсмичности может объясняться бóльшим количеством 5-7 балльных землетрясений среди зарегистрированных на данной территории, которые, несмотря на средние значения балльности, провоцируют широкое развитие ЭГП, в том числе оползней.

Признак № 22 («разрывные нарушения»). Наибольшая связь признака с выходным показателем (табл.60) приурочена к территориям, характеризующимся распространением разломов юго-восточного простирания. Однако стоит отметить, связь признака с выходным показателем для разных классов, в целом, соизмерима. То есть оползневые проявления сравнительно одинаково распространены как на территориях с разрывными нарушениями, так и на территориях, где они отсутствуют, что говорит об отсутствии четкой связи данного признака с выходным показателем.

Таблица 60.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{22} «разрывные нарушения»

№ класса	**Классы признака** (наличие, азимут простирания)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	разломы отсутствуют	0,77	0,01	0,02	0,07	0,13
2	разломы ЮВ простирания	0,69	0,01	0,03	0,10	0,17
3	разломы СВ простирания	0,75	0	0,02	0,07	0,15

Признак № 23 («скорость современных тектонических движений»). Развитие оползней не характерно в области опускания (-2÷0 мм/год) и в периферийной части зоны поднятия, характеризующейся минимальными значениями скорости поднятия (0÷+2 мм/год). Наименьшая связь признака с выходным показателем зафиксирована для области поднятия, характеризующейся средней скоростью поднятия (+2÷+6 мм/год). Наибольшая связь (табл.61) наблюдается для области поднятия, скорость современных тектонических движений в которой является максимальной – более 8 мм/год.

Таким образом, наблюдается прямая взаимосвязь развития оползней с современными тектоническими движениями. Положительные тектонические движения приводят к активизации эрозионно-денудационных процессов, которые, в свою очередь, способствуют развитию оползней.

Таблица 61.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{23} «скорость современных тектонических движений»

№ класса	**Классы признака** (мм/год)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	-2-0	1,00	0	0	0	0
2	0-+2	1,00	0	0	0	0
3	+2-+4	0,95	0	0,01	0,02	0,03
4	+4-+6	0,89	0,01	0,01	0,03	0,05
5	+6-+8	0,78	0,01	0,02	0,07	0,12
6	>+8	0,67	0,01	0,03	0,10	0,19

Признак № 24 («транспортная освоенность»). Наименьшая связь с выходным показателем характерна для средних значений признака. Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.62) зафиксирована для территорий с наименьшей

плотностью дорожной сети (менее 0.15 пог.км/км^2), то есть наименьшей техногенной нагрузкой данного вида. Следовательно, рассматриваемый признак не влияет на выходной показатель (пораженность территории оползневым процессом), поскольку отмечается обратная связь показателей.

Таблица 62.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{24} «транспортная освоенность»

№ класса	**Классы признака** (плотность дорожной сети, пог.км/км^2)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	< 0,15	0,62	0,01	0,04	0,12	0,21
2	0,15 - 0,31	0,72	0,01	0,03	0,09	0,16
3	0,31 - 0,46	0,87	0	0,01	0,04	0,07
4	0,46 - 0,61	0,88	0,01	0,01	0,03	0,07
5	0,61 - 0,77	0,87	0,01	0,01	0,05	0,07
6	0,77 - 0,92	0,76	0,01	0,02	0,06	0,15

Признак № 25 («сельскохозяйственная освоенность»). Наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.63) зафиксирована на территориях, для которых значения признака близки к минимальным (300-700 тыс.руб./км^2) и максимальным (1800-2500 тыс.руб./км^2). Наименьшая связь с выходным показателем характерна для территорий с максимальными значениями сельскохозяйственной освоенности.

Наблюдается обратная связь показателей, то есть наиболее поражены оползнями наименее освоенные в сельскохозяйственном отношении районы. Поскольку увеличение значений признака является косвенной характеристикой большей антропогенной нагрузки на территорию, выявленная связь говорит об отсутствии влияния рассматриваемого признака на развитие оползневого процесса в пределах исследуемой территории.

Таблица 63.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{25} «сельскохозяйственная освоенность»

№ класса	**Классы признака** (удельн. продуктивность, тыс.руб./км^2)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	100-300	0,74	0,01	0,02	0,10	0,14
2	300-700	0,61	0,01	0,04	0,11	0,22
3	700-1200	0,78	0,01	0,02	0,07	0,12
4	1200-1800	0,81	0,01	0,02	0,06	0,11
5	1800-2500	0,76	0	0,01	0,06	0,16
6	>2500	0,95	0	0,01	0,02	0,03

Признак № 26 («демографическая освоенность»). Развитие оползней не характерно (полное отсутствие связи) для территорий городов, характеризующихся максимальными значениями плотности населения. Исключением являются территории городов Буйнакск и Махачкала, для которых характерна подверженность оползневому процессу, отразившаяся в полученных результатах (поражено оползнями около 18 и 2% территории, соответственно). Здесь необходимо отметить, что все города республики расположены в равнинной части и на

побережье Каспийского моря, кроме Буйнакска и Махачкалы, территории которых частично захватывают предгорье, где зафиксированы оползневые проявления, оказывающие негативное воздействие на объекты городов и определяющие их подверженность оползневому процессу.

Наименьшая связь с выходным показателем характерна для районов, как с низкой, так и высокой плотностью населения. Аналогично, наибольшая связь признака с развитием оползневого процесса (табл.64) зафиксирована для территорий, как с наименьшей плотностью населения (10, 22 чел./км^2), так и более высокими значениями (41, 76 чел./км^2), что говорит об отсутствии четко выраженной связи между рассматриваемым признаком и выходным показателем (пораженность территории оползневым процессом).

Таблица 64.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{26} «демографическая освоенность»

№ класса	**Классы признака** (плотность населения, чел./км^2)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	10	0,54	0,02	0,04	0,13	0,27
2	14	0,68	0,01	0,03	0,11	0,16
3	17	0,72	0,01	0,02	0,07	0,17
4	20	0,75	0,01	0,03	0,07	0,13
5	22	0,47	0,03	0,06	0,16	0,29
6	29	0,55	0,01	0,03	0,13	0,27
7	32	0,62	0,01	0,04	0,11	0,21
8	33	0,58	0,01	0,05	0,12	0,24
9	40	0,92	0	0,01	0,03	0,04
10	41	0,58	0,01	0,02	0,11	0,28
11	42	0,87	0	0,01	0,04	0,08
12	46	0,87	0	0,02	0,04	0,06
13	48	0,74	0,01	0,03	0,07	0,16
14	51	0,92	0	0,01	0,02	0,05
15	53	0,70	0,01	0,03	0,10	0,16
16	57	0,78	0,01	0,01	0,06	0,14
17	58	0,81	0,01	0,01	0,05	0,12
18	66	0,89	0,01	0,01	0,05	0,05
19	73	0,87	0,01	0,02	0,04	0,07
20	76	0,49	0,01	0,06	0,17	0,28
21	78	0,96	0	0,01	0,01	0,01
22	79	0,70	0,01	0,03	0,10	0,16
23	86	0,92	0	0,01	0,02	0,04
24	87	0,92	0	0,01	0,03	0,04
25	88	0,85	0,01	0,01	0,05	0,07
26	95	0,85	0	0,01	0,04	0,09
27	99	1,00	0	0	0	0
28	118	1,00	0	0	0	0
29	121	1,00	0	0	0	0
30	131	1,00	0	0	0	0
31	1489	0,98	0	0	0,02	0
32	1713	1,00	0	0	0	0
33	1832	1,00	0	0	0	0
34	2430	1,00	0	0	0	0
35	2989	0,82	0,05	0	0,05	0,09
36	3407	1,00	0	0	0	0

Признак № 27 («градостроительная освоенность»). Наименьшая связь с выходным показателем характерна для территории, характеризующейся наибольшей плотностью населенных пунктов (12 на 100 км^2). Связь признака с развитием оползневого процесса для

остальных классов признака (табл.65) имеет близкие значения. Наибольшая связь зафиксирована для территорий со средними значениями признака (4-6 на 100 км^2). Следовательно, рассматриваемый признак не влияет развитие оползней на исследуемой территории, поскольку прямая их связь не выявлена.

Таблица 65.

Вероятность подверженности территории оползневому процессу в классах признака x_{27} «градостроительная освоенность»

№ класса	**Классы признака** (плотность населенных пунктов, ед./км^2)	**Модель VII (Y_2, пораженность, %)**				
		<0,075	**0,075-0,452**	**0,452-2,732**	**2,732-16,530**	**16,530-100,000**
		P(Y|x), д.е.				
1	< 0,02	0,79	0,01	0,02	0,07	0,12
2	0,02 - 0,04	0,71	0,01	0,03	0,09	0,16
3	0,04 - 0,06	0,72	0,01	0,03	0,09	0,15
4	0,06 - 0,08	0,75	0,01	0,03	0,08	0,14
5	0,08 - 0,10	0,82	0,01	0,02	0,05	0,11
6	0,10 - 0,12	0,90	0,01	0,01	0,03	0,05

Помимо анализа таблиц сопряженности признаков, аналогично рассмотрению признаков в модели II (размер блока модельной сетки – 5×5 км^2), в модели VII была оценена взаимосвязь признаков путем расчета их взаимной информативности. Наличие связи между признаками фиксировалось при взаимной информативности признаков, превышающей 50 %. Для этого значения взаимной информативности, рассчитанные в битах (табл.66), были нормированы относительно значения информативности каждого рассматриваемого признака (табл.67).

В итоге признаки x_7 («ландшафт»), x_{17} («литологическая характеристика дочетвертичных отложений»), x_{18} («литологическая характеристика отложений, дочетвертичные и четвертичные объединенные»), x_{19} («фазовый состав грунтов») и x_{26} («демографическая освоенность») исключены из рассмотрения, так как была выявлена их связь с другими признаками. Кроме того, признаки x_7 и x_{18} являются сложными, отражающими комплексную характеристику признаков x_1, x_8, x_9, x_{12}-x_{15} (x_7) и x_{16}, x_{17} (x_{18}).

Анализ данных также показал, что часть показателей с низкой информативностью, по результатам интерпретации таблиц сопряженности, не влияет на развитие оползневого процесса на исследуемой территории. Так, признаки x_{10} («территории развития селевого процесса»), x_{13} («средняя годовая температура поверхности почвы»), x_{22} («разрывные нарушения»), x_{24} («транспортная освоенность»), x_{25} («сельскохозяйственная освоенность»), x_{27} («градостроительная освоенность») исключены из рассмотрения, поскольку в процессе анализа их влияние на развитие оползневого процесса на рассматриваемой территории не было выявлено.

Удаление некорректных признаков (информативных, но не влияющих на развитие оползневого процесса), аналогично анализу результатов расчетов для моделей I и II (по сетке 5×5 км^2), выполнялось непосредственно исследователем по результатам интерпретации таблиц сопряженности признаков.

Таблица 66.

Взаимная информативность простых признаков (биты)

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	x_{27}
x_1	91470	19069	2133	9105	14768	15846	39284	22973	11035	2208	4271	11891	7561	11004	29659	28512	28886	35393	22985	27776	9622	925	24936	16485	8063	29047	6584
x_2	19069	76913	2546	16044	12410	11959	20970	14985	7405	1811	4506	8467	3673	11449	18322	19909	22338	23891	12766	19891	5291	946	15822	10996	6128	20471	2608
x_3	2133	2546	85573	1626	1048	1248	3242	2584	1862	158	657	887	636	1227	2132	3097	3285	4036	1045	2734	561	139	2084	1133	1002	3822	303
x_4	9105	16044	1626	45961	7174	5717	9656	7473	3981	1845	2647	3537	1180	4507	8199	9357	10680	11170	6209	9482	2159	489	7610	5391	2992	8518	531
x_5	14768	12410	1048	7174	63352	5423	10099	7326	4220	562	2204	4392	1999	5836	8593	11439	9862	13156	8678	8961	2195	312	7604	5644	2597	9066	729
x_6	15846	11959	1248	5717	5423	81746	18154	18544	6507	1847	2883	9502	7262	9882	16564	16708	26716	22822	12114	25936	6879	660	16772	7545	7605	28149	6501
x_7	39284	20970	3242	9656	10099	18154	99265	30988	13547	2632	4775	15703	15065	18993	32672	30703	34811	37884	20274	32436	14437	1164	28014	16447	12398	42200	10895
x_8	22973	14985	2584	7473	7326	18544	30988	101642	10683	2587	4026	15681	16179	18412	25574	23488	33598	30983	14856	29404	14609	1320	24269	13604	12941	44524	11638
x_9	11035	7405	1862	3981	4220	6507	13547	10683	57749	878	2338	5050	3869	5712	8622	9817	10711	12262	5903	10154	3551	321	8751	4557	4157	15487	2741
x_{10}	2208	1811	158	1845	562	1847	2632	2587	878	21627	361	527	738	529	2513	2482	2928	3168	1679	2901	633	191	2304	2037	1164	3147	117
x_{11}	4271	4506	657	2647	2204	2883	4775	4026	2338	361	37058	2204	1011	2047	4151	4178	5556	5278	3205	4455	1913	161	4133	1751	875	5531	535
x_{12}	11891	8467	887	3537	4392	9502	15703	15681	5050	527	2204	61695	20475	26724	18292	9979	15965	14873	9525	14577	10094	188	12295	5208	5931	31867	7520
x_{13}	7561	3673	636	1180	1999	7262	15065	16179	3869	738	1011	20475	62584	16480	13554	8130	17438	14195	5973	17269	10413	401	9252	2370	6156	33342	9659
x_{14}	11004	11449	1227	4507	5836	9882	18993	18412	5712	529	2047	26724	16480	89768	21567	12156	18222	17698	7705	16305	9020	276	10236	7685	10789	45161	7135
x_{15}	29659	18322	2132	8199	8593	16564	32672	25574	8622	2513	4151	18292	13554	21567	76448	23833	30521	30703	17059	28510	12051	1018	29718	12959	9957	41247	5885
x_{16}	28512	19909	3097	9357	11439	16708	30703	23488	9817	2482	4178	9979	8130	12156	23833	97591	34087	91649	16737	29324	11128	1461	20818	13895	11043	34653	9559
x_{17}	28886	22338	3285	10680	9862	26716	34811	33598	10711	2928	5556	15965	17438	18222	30521	34087	104051	67784	19896	62942	21499	2345	27777	16375	17426	52723	15140
x_{18}	35393	23891	4036	11170	13156	22822	37884	30983	12262	3168	5278	14873	14195	17698	30703	91649	67784	127978	22655	46582	18406	1871	26784	16271	14443	46666	12868
x_{19}	22985	12766	1045	6209	8678	12114	20274	14856	5903	1679	3205	9525	5973	7705	17059	16737	19896	22655	39581	19433	6044	301	17878	6191	3860	16255	3256
x_{20}	27776	19891	2734	9482	8961	25936	32436	29404	10154	2901	4455	14577	17269	16305	28510	29324	62942	46582	19433	83734	20038	2159	24812	15390	14638	49071	12571
x_{21}	9622	5291	561	2159	2195	6879	14437	14609	3551	633	1913	10094	10413	9020	12051	11128	21499	18406	6044	20038	74648	412	9450	3523	4258	28215	9995
x_{22}	925	946	139	489	312	660	1164	1320	321	191	161	188	401	276	1018	1461	2345	1871	301	2159	412	18532	580	1019	670	2472	233
x_{23}	24936	15822	2084	7610	7604	16772	28014	24269	8751	2304	4133	12295	9252	10236	29718	20818	27777	26784	17878	24812	9450	580	50337	8598	9002	28527	4882
x_{24}	16485	10996	1133	5391	5644	7545	16447	13604	4557	2037	1751	5208	2370	7685	12959	13895	16375	16271	6191	15390	3523	1019	8598	61810	6879	20169	3160
x_{25}	8063	6128	1002	2992	2597	7605	12398	12941	4157	1164	875	5931	6156	10789	9957	11043	17426	14443	3860	14638	4258	670	9002	6879	63045	52922	5088
x_{26}	29047	20471	3822	8518	9066	28149	42200	44524	15487	3147	5531	31867	33342	45161	41247	34653	52723	46666	16255	49071	28215	2472	28527	20169	52922	133351	25412
x_{27}	6584	2608	303	531	729	6501	10895	11638	2741	117	535	7520	9659	7135	5885	9559	15140	12868	3256	12571	9995	233	4882	3160	5088	25412	67942

Таблица 67.

Нормированные значения взаимной информативности простых признаков (%)

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	x_{27}
x_1	100	20,8	2,3	10,0	16,1	17,3	42,9	25,1	12,1	2,4	4,7	13,0	8,3	12,0	32,4	31,2	31,6	38,7	25,1	30,4	10,5	1,0	27,3	18,0	8,8	31,8	7,2
x_2	24,8	100	3,3	20,9	16,1	15,5	27,3	19,5	9,6	2,4	5,9	11,0	4,8	14,9	23,8	25,9	29,0	31,1	16,6	25,9	6,9	1,2	20,6	14,3	8,0	26,6	3,4
x_3	2,5	3,0	100	1,9	1,2	1,5	3,8	3,0	2,2	0,2	0,8	1,0	0,7	1,4	2,5	3,6	3,8	4,7	1,2	3,2	0,7	0,2	2,4	1,3	1,2	4,5	0,4
x_4	19,8	34,9	3,5	100	15,6	12,4	21,0	16,3	8,7	4,0	5,8	7,7	2,6	9,8	17,8	20,4	23,2	24,3	13,5	20,6	4,7	1,1	16,6	11,7	6,5	18,5	1,2
x_5	23,3	19,6	1,7	11,3	100	8,6	15,9	11,6	6,7	0,9	3,5	6,9	3,2	9,2	13,6	18,1	15,6	20,8	13,7	14,1	3,5	0,5	12,0	8,9	4,1	14,3	1,2
x_6	19,4	14,6	1,5	7,0	6,6	100	22,2	22,7	8,0	2,3	3,5	11,6	8,9	12,1	20,3	20,4	32,7	27,9	14,8	31,7	8,4	0,8	20,5	9,2	9,3	34,4	8,0
x_7	39,6	21,1	3,3	9,7	10,2	18,3	100	31,2	13,6	2,7	4,8	15,8	15,2	19,1	32,9	30,9	35,1	38,2	20,4	32,7	14,5	1,2	28,2	16,6	12,5	42,5	11,0
x_8	22,6	14,7	2,5	7,4	7,2	18,2	30,5	100	10,5	2,5	4,0	15,4	15,9	18,1	25,2	23,1	33,1	30,5	14,6	28,9	14,4	1,3	23,9	13,4	12,7	43,8	11,4
x_9	19,1	12,8	3,2	6,9	7,3	11,3	23,5	18,5	100	1,5	4,0	8,7	6,7	9,9	14,9	17,0	18,5	21,2	10,2	17,6	6,1	0,6	15,2	7,9	7,2	26,8	4,7
x_{10}	10,2	8,4	0,7	8,5	2,6	8,5	12,2	12,0	4,1	100	1,7	2,4	3,4	2,4	11,6	11,5	13,5	14,7	7,8	13,4	2,9	0,9	10,7	9,4	5,4	14,6	0,5
x_{11}	11,5	12,2	1,8	7,1	5,9	7,8	12,9	10,9	6,3	1,0	100	5,9	2,7	5,5	11,2	11,3	15,0	14,2	8,6	12,0	5,2	0,4	11,2	4,7	2,4	14,9	1,4
x_{12}	19,3	13,7	1,4	5,7	7,1	15,4	25,5	25,4	8,2	0,9	3,6	100	33,2	43,3	29,6	16,2	25,9	24,1	15,4	23,6	16,4	0,3	19,9	8,4	9,6	51,7	12,2
x_{13}	12,1	5,9	1,0	1,9	3,2	11,6	24,1	25,9	6,2	1,2	1,6	32,7	100	26,3	21,7	13,0	27,9	22,7	9,5	27,6	16,6	0,6	14,8	3,8	9,8	53,3	15,4
x_{14}	12,3	12,8	1,4	5,0	6,5	11,0	21,2	20,5	6,4	0,6	2,3	29,8	18,4	100	24,0	13,5	20,3	19,7	8,6	18,2	10,0	0,3	11,4	8,6	12,0	50,3	7,9
x_{15}	38,8	24,0	2,8	10,7	11,2	21,7	42,7	33,5	11,3	3,3	5,4	23,9	17,7	28,2	100	31,2	39,9	40,2	22,3	37,3	15,8	1,3	38,9	17,0	13,0	54,0	7,7
x_{16}	29,2	20,4	3,2	9,6	11,7	17,1	31,5	24,1	10,1	2,5	4,3	10,2	8,3	12,5	24,4	100	34,9	93,9	17,1	30,0	11,4	1,5	21,3	14,2	11,3	35,5	9,8
x_{17}	27,8	21,5	3,2	10,3	9,5	25,7	33,5	32,3	10,3	2,8	5,3	15,3	16,8	17,5	29,3	32,8	100	65,1	19,1	60,5	20,7	2,3	26,7	15,7	16,7	50,7	14,6
x_{18}	27,7	18,7	3,2	8,7	10,3	17,8	29,6	24,2	9,6	2,5	4,1	11,6	11,1	13,8	24,0	71,6	53,0	100	17,7	36,4	14,4	1,5	20,9	12,7	11,3	36,5	10,1
x_{19}	58,1	32,3	2,6	15,7	21,9	30,6	51,2	37,5	14,9	4,2	8,1	24,1	15,1	19,5	43,1	42,3	50,3	57,2	100	49,1	15,3	0,8	45,2	15,6	9,8	41,1	8,2
x_{20}	33,2	23,8	3,3	11,3	10,7	31,0	38,7	35,1	12,1	3,5	5,3	17,4	20,6	19,5	34,0	35,0	75,2	55,6	23,2	100	23,9	2,6	29,6	18,4	17,5	58,6	15,0
x_{21}	12,9	7,1	0,8	2,9	2,9	9,2	19,3	19,6	4,8	0,8	2,6	13,5	14,0	12,1	16,1	14,9	28,8	24,7	8,1	26,8	100	0,6	12,7	4,7	5,7	37,8	13,4
x_{22}	5,0	5,1	0,8	2,6	1,7	3,6	6,3	7,1	1,7	1,0	0,9	1,0	2,2	1,5	5,5	7,9	12,7	10,1	1,6	11,6	2,2	100	3,1	5,5	3,6	13,3	1,3
x_{23}	49,5	31,4	4,1	15,1	15,1	33,3	55,7	48,2	17,4	4,6	8,2	24,4	18,4	20,3	49,0	41,4	55,2	53,2	35,5	49,3	18,8	1,2	100	17,1	17,9	56,7	9,7
x_{24}	26,7	17,8	1,8	8,7	9,1	12,2	26,6	22,0	7,4	3,3	2,8	8,4	3,8	12,4	21,0	22,5	26,5	26,3	10,0	24,9	5,7	1,6	13,9	100	11,1	32,6	5,1
x_{25}	12,8	9,7	1,6	4,7	4,1	12,1	19,7	20,5	6,6	1,8	1,4	9,4	9,8	17,1	15,8	17,5	27,6	22,9	6,1	23,2	6,8	1,1	14,3	10,9	100	83,9	8,1
x_{26}	21,8	15,4	2,9	6,4	6,8	21,1	31,6	33,4	11,6	2,4	4,1	23,9	25,0	33,9	30,9	26,0	39,5	35,0	12,2	36,8	21,2	1,9	21,4	15,1	39,7	100	19,1
x_{27}	9,7	3,8	0,4	0,8	1,1	9,6	16,0	17,1	4,0	0,2	0,8	11,1	14,2	10,5	8,7	14,1	22,3	18,9	4,8	18,5	14,7	0,3	7,2	4,7	7,5	37,4	100

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

Показатели, влияние которых на развитие оползневого процесса было выявлено в результате проведенного информационного анализа моделей I, II и VII, были использованы в качестве признаков при районировании горной части Республики Дагестан по степени подверженности территории оползневому процессу.

Районирование позволяет установить закономерности пространственной изменчивости компонента инженерно-геологических условий в связи с осуществляемой или планируемой инженерно-хозяйственной деятельностью [Бондарик, 1981], что является одной из главных задач региональных исследований. В данном случае будут установлены пространственные закономерности развития оползневого процесса как компонента инженерно-геологический условий, знание которых необходимо в связи с планируемой реализацией утвержденной схемы территориального планирования Республики Дагестан, а также может быть использовано при дальнейших, более детальных, исследованиях закономерностей развития оползней.

4.3. Районирование горной части Республики Дагестан по степени подверженности оползневому процессу

Составление карты районирования территории по степени подверженности оползневому процессу, выполненное в настоящей работе, основано на количественном учете влияния различных факторов на развитие и распространение оползневого процесса на рассматриваемой территории посредством совместной оценки вероятности развития оползневого процесса в пределах классов каждого признака и информативности отобранных признаков.

Рассчитываемый показатель (k_p) характеризует вероятность развития оползневого процесса с учетом влияния (вклада) условий (x_i) изучаемой территории.

Границы интервалов значений вероятностного показателя (k) были определены с помощью гистограммы распределения значений (рис.44). Вертикальная ось графика отражает количество значений выходного показателя, горизонтальная – собственно значение выходного показателя. Поскольку значение, которое характеризует подверженность территории оползневому процессу, имеет каждый пиксель полученного растрового изображения построенной карты, общее количество значений выходного показателя определено общим количеством пикселей растра.

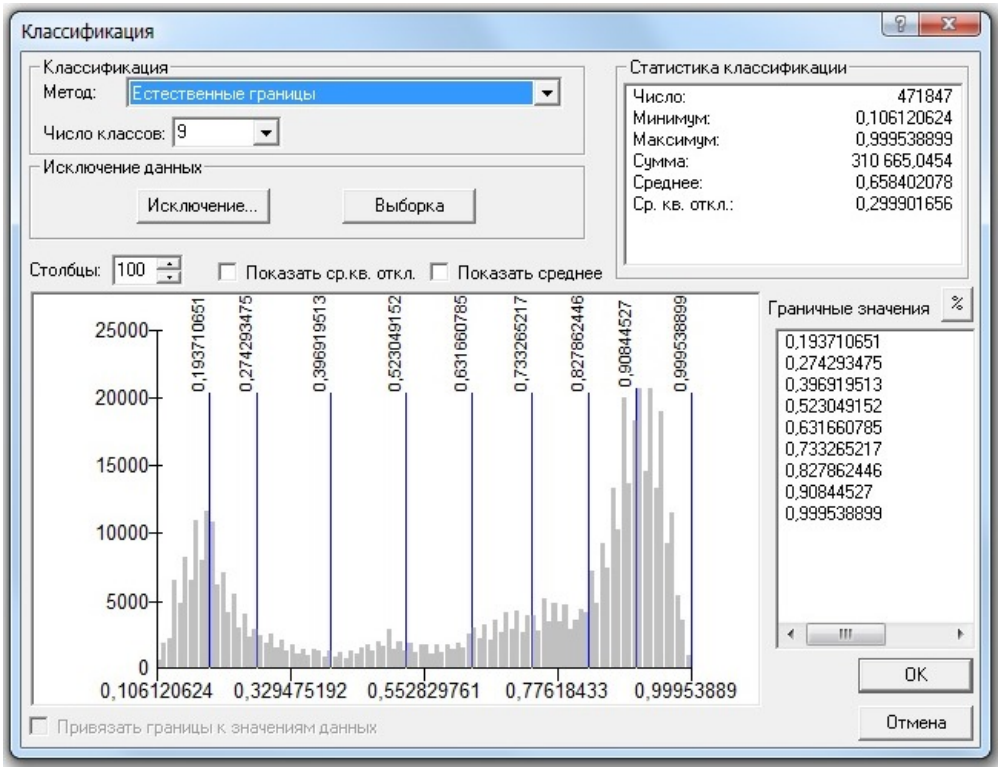


Рис.44. Гистограмма распределения значений показателя k

Согласно построенной гистограмме распределения значений вероятностного показателя (k), наибольшие количества значений k попадают в интервалы самых низких и самых высоких значений, при этом количество высоких значений k преобладает. На карте это находит отражение в значительно большей площади территории с высокой степенью подверженности оползневому процессу в сравнении с территориями, характеризующимися наименьшей подверженностью.

Гистограмма, рассчитанная при помощи метода естественных границ интервалов, отражает разбиение значений k на интервалы, близкие к равным, что позволяет использовать одинаковые интервалы при дальнейшем построении карт без существенных изменений картины подверженности территории оползневому процессу.

Поскольку в качестве основы для расчета коэффициентов (k) использовались нормированные вероятности развития оползней в классах признаков отдельно для каждой модели, они не сопоставимы и не подлежат сравнению. Для построения карт подверженности территории оползневому процессу для разных моделей (модели I, II: размер блока сетки – 5×5 км^2; модель VII: размер блока сетки – 1×1 км^2) и их последующего сравнения выполнялось нормирование рассчитанных показателей (k) по фактической пораженности их классов оползнями.

Рассчитанный показатель k_p характеризует подверженность территории оползневому процессу в каждой точке карты: по мере увеличения количества наиболее информативных классов признаков, обусловливающих развитие оползневого процесса в пределах конкретного

участка территории, наблюдается увеличение значений рассчитанного показателя, то есть увеличивается вероятность развития оползневого процесса на рассматриваемой территории.

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

Модель I. Значения рассчитанного вероятностного показателя (k_p) для модели I (пораженность характеризовалась наличием/отсутствием оползней) (рис.45) находятся в интервале 0-10,6 %. Развитие оползневого процесса наиболее вероятно на территории:

- занимающей гипсометрически высокое положение (1600 м и более), с высокими значениями уклонов (от 25° и более), разновидностями горно-луговых и каштановых почв, высокими значениями густоты речной сети (0.6 км/км^2 и более);

- сложенной, в основном, склоновыми, главным образом делювиально-коллювиальными, а также гляциальными, глинистыми и крупнообломочными отложениями четвертичного возраста, подстилаемыми преимущественно аргиллитами, алевролитами с прослоями песчаников, а также карбонатными отложениями ранне-среднеюрского возраста;

- тектонически представленной структурами складчато-глыбового сооружения Большого Кавказа (Северо-Кавказской моноклиналью и складчато-глыбовым поднятием Восточного Кавказа);

- сейсмически активной (интенсивность землетрясений, в основном, – 5-7 баллов; 8-9 баллов – 1 раз в 1000 лет) и характеризующейся высокой (+8 и более мм/год) скоростью положительных новейших тектонических движений.

Модель II. Значения вероятностного показателя (k_p), рассчитанного при комплексной оценке модели II (пораженность оползневым процессом составляет 0,0-61,325 %), находятся в интервале 0-10,9 %. Развитие оползневого процесса с максимальной подверженностью, согласно построенной карте (рис.46), наиболее вероятно на территории:

- с самыми высокими отметками рельефа (2200 м и более), большими уклонами (25-35°), разновидностями горно-луговых почв и высокими значениями густоты речной сети (0.6 км/км^2 и более);

- сложенной, в основном, склоновыми (делювий, коллювий, деляпсий, десерпций, солифлюксий 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 мм/год и более) скоростью положительных новейших тектонических движений.

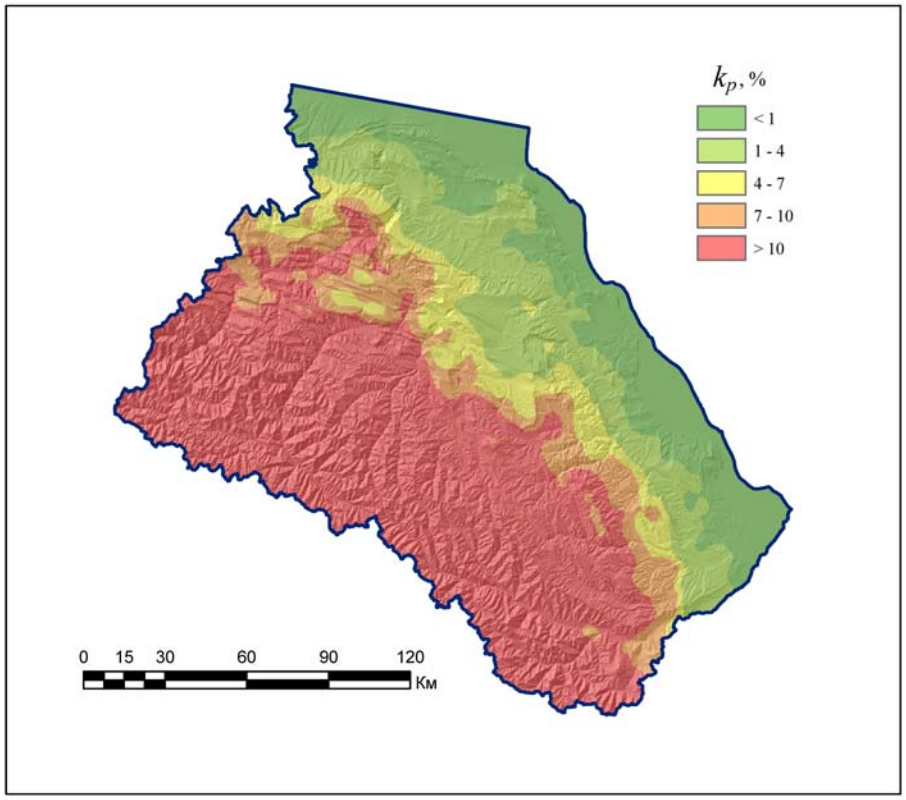


Рис.45. Карта подверженности территории оползневому процессу
для модели I (пораженность характеризовалась наличием/отсутствием оползней)

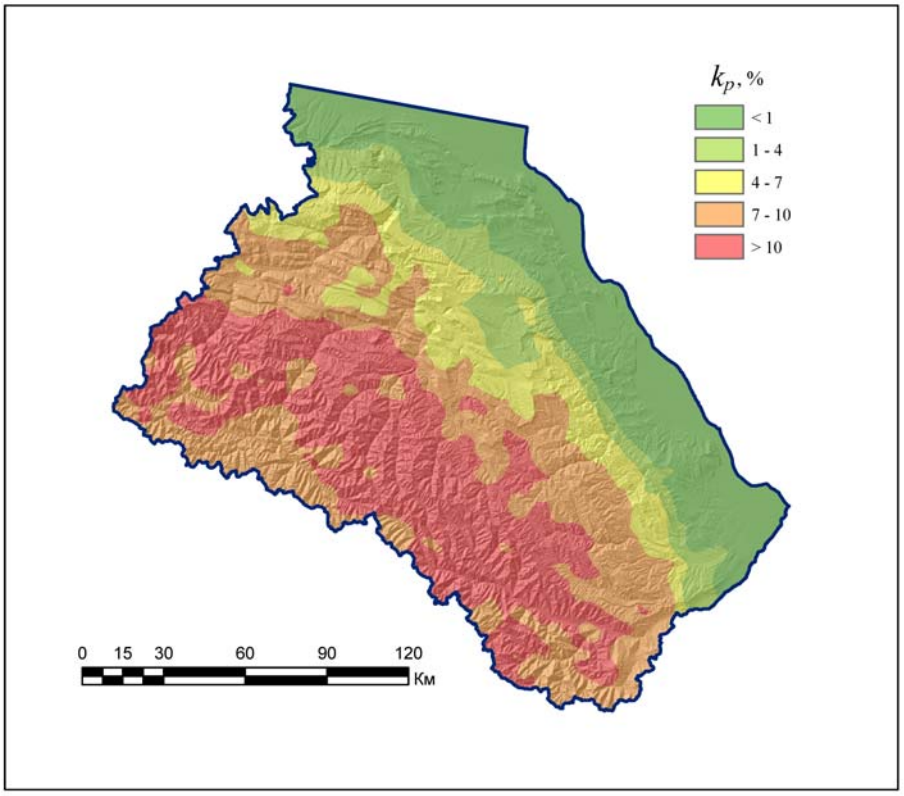


Рис.46. Карта подверженности территории оползневому процессу
для модели II (пораженность оползнями: 0,0-61,325 %)

Анализируя карту подверженности территории оползневому процессу для модели II, в целом можно заключить, что увеличение значений рассчитанного вероятностного показателя, учитывая значение пораженности территории оползневым процессом, наблюдается в

направлении от равнинной территории к горной, где целый ряд признаков (см. выше) способствует развитию и активизации оползневого процесса. Максимальных значений показатель достигает в среднегорно-высокогорной зоне, при этом приграничные участки высокогорья характеризуются меньшими значениями полученного показателя, поскольку здесь наблюдаются менее благоприятные условия для развития оползней.

При сравнении карт подверженности территории оползневому процессу для моделей I и II (размер блока модельной сетки: 5×5 км^2) наблюдается увеличение степени подверженности территории оползневому процессу в направлении от равнинной территории к высокогорной для обеих моделей. При этом наибольшая подверженность по модели I и II установлена в среднегорно-высокогорной зоне. Однако расположение зоны с наибольшими значениями подверженности оползневому процессу на карте модели II отличается от аналогичной зоны на карте модели I.

На карте модели II в пределах зоны наибольшей подверженности оползням (на приграничных участках высокогорья, а также на локальных участках внутри высокогорной области) выделяются участки, характеризующиеся менее высокой подверженностью территории оползневому процессу, чего не наблюдается на карте модели I. Различие контуров зон одинаковой степени подверженности территории оползневому процессу на картах разных моделей обусловлено большей детальностью модели II, т.к. она учитывает количественную характеристику пораженности территории оползнями.

Следует отметить, что значение нижней границы показателя k для модели I (0,26) является более высоким (модель II – 0,15), что также говорит о более грубом расчете при использовании параметра «наличие/отсутствие оползневых проявлений» в расчете для модели I, чем при использовании непосредственно количественной характеристики пораженности территории оползнями в расчете для модели II. При этом значения нормированного показателя (k_p) для разных моделей практически одинаковы (модель I – до 10.6 %, модель II – до 10.9 %).

В целом, сравнение моделей I и II показало, что результат, полученный на основе качественной характеристики (данных только о наличии/отсутствии проявлений процесса), 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**.**

Модель VII. Значения вероятностного показателя (k_p), рассчитанного при оценке модели VII (пораженность оползневым процессом: 0,0-100,0 %), находятся в интервале 0-13,8 %. Развитие оползневого процесса с максимальной подверженностью, согласно построенной карте (рис.47), наиболее вероятно на территории:

- с самыми высокими отметками рельефа (2000 м и более), большими уклонами (~25-35°), разновидностями горно-луговых почв 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 мм/год и более) скоростью положительных новейших тектонических движений.

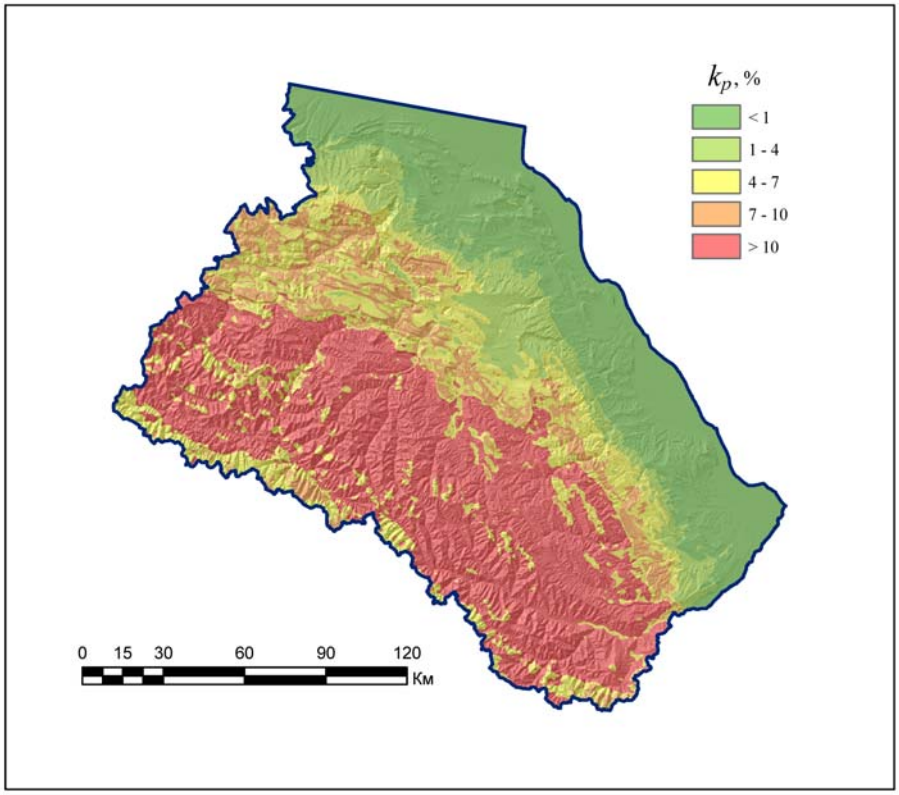


Рис.47. Карта подверженности территории оползневому процессу для модели VII (пораженность оползнями: 0,0-100,0 %)

Анализ карты подверженности территории оползневому процессу для модели VII, показал увеличение значений рассчитанного показателя (k_p) в направлении от равнинной территории к горной. Максимальные значения k_p отмечаются в среднегорно-высокогорной зоне, при этом выделяется ряд локальных участков в пределах зоны наибольшей подверженности оползням, в том числе приграничных, для которых характерны более низкие значения полученного показателя. Следует также отметить меньшую подверженность оползневому процессу области Известнякового Дагестана в сравнении с другими высокогорными районами.

Поскольку модель VII была рассмотрена в работе дополнительно, сравнение разных моделей, а именно модели II и модели VII, как имеющих одинаковый выходной показатель (количественную характеристику пораженности территории оползнями), но разную детальность (размеры блоков сеток: 5×5 км^2 и 1×1 км^2, соответственно), а также сравнение результатов, полученных по расчётам для данных моделей, выполнено отдельно.

Сравнение моделей II и VII. Для сравнения результатов, полученных по расчетам с использованием разных модельных сеток, будут сравниваться результаты основных этапов проведенного анализа: полученные значения информативности признаков; набор признаков, влияющих на развитие оползневого процесса; карты подверженности территории оползневому процессу, построенные на основе отобранных признаков.

1. Сравнение значений информативности признаков. Для наглядности сравнения значений информативности признаков в моделях II и VII сравнивались графики информативности признаков для этих моделей (рис.48).

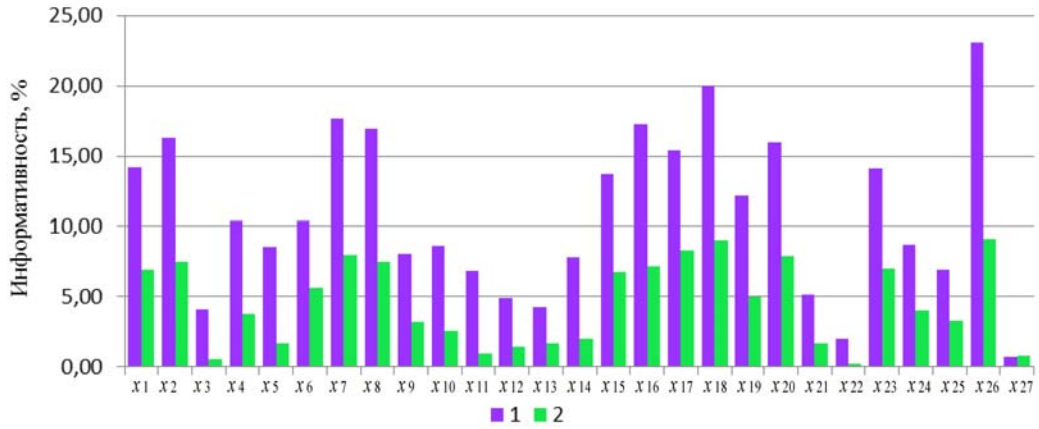


Рис.48. Информативность простых признаков (x_1-x_{27}) для: 1) модели II (блок сетки: 5×5 км^2), 2) модели VII (блок сетки: 1×1 км^2)

Аналогично полученным ранее значениям информативности простых признаков, рассчитанным для признаков в моделях V, VI (размер блока сетки – 15×15 км^2), в моделях III, IV (размер блока сетки – 10×10 км^2) и моделях I, II (размер блока сетки – 5×5 км^2), наблюдается снижение информативности признаков для модели VII (размер блока модельной сетки – 1×1 км^2) относительно данных, полученных по сеткам с более крупными блоками. При этом необходимо отметить, что график информативности простых признаков для модели VII повторяет полученные ранее графики, т.е. соотношение информативностей признаков при использовании сетки с блоком 1×1 км^2 сохраняется: признаки, имеющие высокую информативность, как и признаки с низкой информативностью, снизив, в целом, свои значения, сохранили относительные значения: высокие и низкие, соответственно.

Таким образом, можно утверждать, что размер блока модельной сетки, т.е. масштаб осреднения данных не повлиял на полученный результат, характеризующий вклад (влияние) признака в развитие оползневого процесса.

2. Сравнение значимых признаков. Набор признаков, влияющих на развитие оползневого процесса, формировался по результатам интерпретации таблиц сопряженности всех рассмотренных признаков (табл.68).

Таблица 68.

Характер взаимосвязи признаков с развитием оползней на территории Горного Дагестана по результатам, полученным при расчетах по сеткам 5×5 км^2 и 1×1 км^2

Группа признака	№ признака	Признак	Отбор признаков при расчетах по сетке с блоком	
			5×5 км^2	1×1 км^2
1	2	3	4	5
Орографические и ландшафтные	x_1	Абсолютные отметки рельефа (м)		
	x_2	Уклон земной поверхности (градусы)		
	x_3	Экспозиция склонов (градусы)		
	x_4	Кривизна земной поверхности (форма поверхности)		
	x_5	Превышение над местным базисом эрозии (м)		
	x_6	Густота речной сети (км/км^2)		
	x_7	Ландшафт (тип)		
	x_8	Почвы (тип)		
	x_9	Растительность (тип)		
	x_{10}	Территории развития селевого процесса (наличие селевых водотоков)		
	x_{11}	Территории развития обвально-осыпных процессов (наличие проявлений обвально-осыпных процессов)		
Гидро-метео-рологи-ческие	x_{12}	Средняя годовая температура воздуха (°С)		
	x_{13}	Средняя годовая температура поверхности почвы (°С)		
	x_{14}	Годовое количество осадков (мм/год)		
	x_{15}	Среднее максимальное суточное количество осадков (мм/сут)		
Характеристика состава и состояния грунтов	x_{16}	Литологическая характеристика четвертичных отложений (комплексы отложений)		
	x_{17}	Литологическая характеристика дочетвертичных отложений (комплексы отложений)		
	x_{18}	Литологическая характеристика отложений, дочетвертичные и четвертичные объединенные (комплексы отложений)		
	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)		
Тектони-ческие	x_{20}	Тектонические структуры (тип)		
	x_{21}	Сейсмичность территории (балльность, повторяемость)		
	x_{22}	Разрывные нарушения (наличие, азимут простирания)		
	x_{23}	Скорость современных тектонических движений (мм/год)		
Показатели техногенной нагрузки	x_{24}	Транспортная освоенность (плотность дорожной сети, км/км^2)		
	x_{25}	Сельскохозяйственная освоенность (удельная продуктивность, тыс.руб./км^2)		
	x_{26}	Демографическая освоенность (плотность населения, чел./км^2)		
	x_{27}	Градостроительная освоенность (плотность населенных пунктов, ед./км^2)		

Обозначения:

влияние простого признака (x_i) на выходной показатель (Y) не выявлено

признак (x_i), исключенный из рассмотрения (по результатам анализа)

По итогам выполненной интерпретации для дальнейшего анализа для моделей II и VII были получены практически одинаковые наборы признаков. Для отдельных признаков (x_5 «превышение над местным базисом эрозии», x_{10} «территории развития селевого процесса», x_{13} «средняя годовая температура поверхности почвы») была выявлена различная взаимосвязь с выходным показателем при использовании разных моделей. В соответствии с полученными для данных признаков значениями информативности, их вклад в развитие оползневого процесса на рассматриваемой территории незначителен, что позволяет пренебречь несущественными различиями результатов при их учете либо исключении из дальнейшего анализа.

Для подавляющего большинства рассмотренных признаков характер взаимосвязи признака с развитием оползневого процесса, согласно данным проведенной интерпретации таблиц сопряженности, был одинаковым при использовании моделей II и VII.

Основными признаками, влияющими на развитие оползневого процесса при исследовании моделей II и VII, 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. Сравнение построенных карт подверженности территории оползневому процессу. При сравнении карт подверженности территории оползневому процессу, построенных для моделей II и VII, выявлены следующие сходства:

- последовательная смена зон с различной степенью подверженности в направлении от равнинной территории (в т.ч. прибрежной) к высокогорной для обеих моделей;

- соотношение зон одинаковой подверженности территории оползневому процессу сопоставимо для обеих моделей;

- увеличение значений рассчитанного показателя (k_p), т.е. увеличение степени подверженности территории оползневому процессу, наблюдается в направлении от равнинной территории к высокогорной для обеих моделей;

- максимальных значений (наибольшая подверженность) рассчитанный показатель достигает в среднегорно-высокогорной зоне, при этом отдельные, локальные, участки высокогорья характеризуются меньшими значениями k_p в обеих моделях.

Различия построенных карт заключаются в следующем:

- карта, построенная для модели VII (блок сетки – 1×1 км^2), отличается большей детальностью по сравнению с картой для модели II (блок сетки – 5×5 км^2);

- на карте модели VII в пределах Известнякового Дагестана (западная часть территории) зоны различной степени подверженности оползневому процессу не сменяют друг друга последовательно, аналогично данным зонам на карте модели II, здесь отмечается чередование

участков различной степени подверженности, что, наиболее вероятно, является результатом различной детальности моделей II и VII;

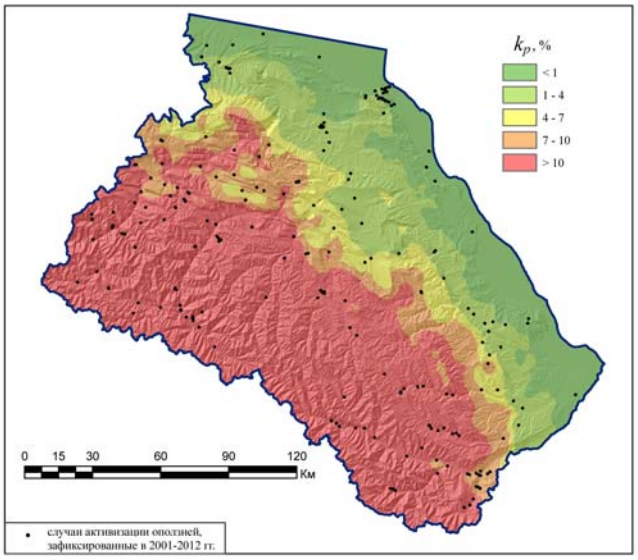
- на карте модели VII в высокогорной зоне (приграничные участки) степень подверженности территории оползневому процессу ниже значений подверженности, полученных для этой территории при построении аналогичной карты для модели II, кроме того, сами участки имеют меньшие размеры, что также может объясняться большей детальностью модели VII.

Несмотря на указанные различия в детальности построенных автором карт, они отражают выявленные в ходе анализа закономерности развития оползней, обусловленные влиянием на них целого комплекса различных факторов, отдельные характеристики которых (признаки) были рассмотрены в настоящей работе.

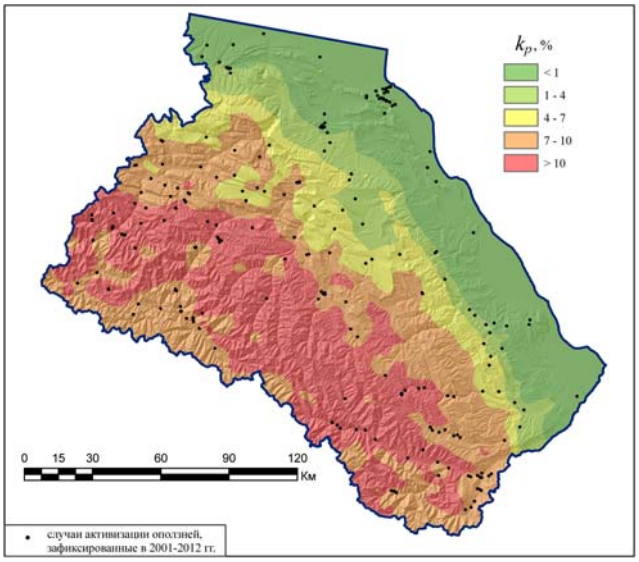
Более детальное изучение процесса предполагает бóльшую полноту и точность исходной информации, используемой в расчетах.

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) (рис.49), а также имеющимися картами пораженности территории оползневым 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.

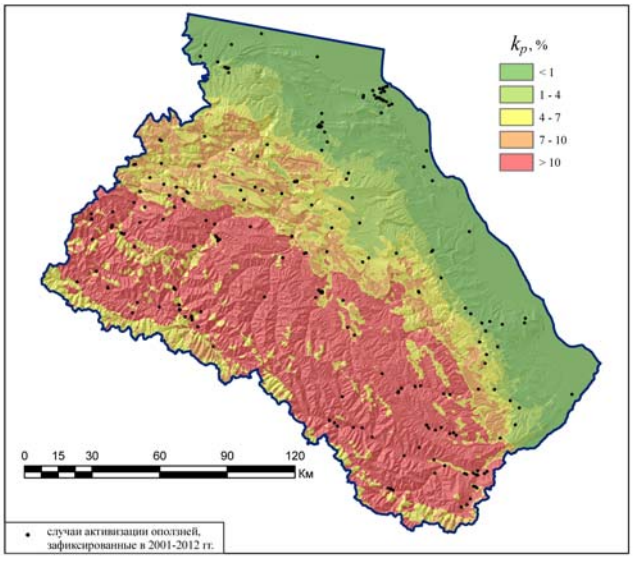
По данным мониторинга оползневого процесса за 2001-2012 гг. на рассматриваемой территории зафиксировано около 300 случаев активизации оползней. Оползневые проявления в последние годы фиксируются в районах, в которых ранее развитие процесса не отмечалось. Примером такого развития оползневого процесса являются территории гг. Махачкала и Буйнакск. Несмотря на их расположение в пределах области, характеризующейся низкой степенью подверженности территории оползневому процессу, в эти городах ежегодно отмечаются случаи активизации оползней, в том числе катастрофической. Высокая активность оползневого процесса здесь определяется значительной техногенной нагрузкой (подрезка склонов при строительстве, переувлажнение грунтов оползневых склонов за счет неконтролируемого полива участков и утечек из водопроводных сетей и др.), а также несоблюдением рекомендаций специалистов относительно строительства, землепользования на оползневых и оползнеопасных участках и т.д. Остальные случаи развития оползневого процесса, зафиксированные в этой области, единичны, для них не характерна регулярная активизация.



а)



б)



в)

Рис.49. Данные ГМСН, нанесенные на карты подверженности территории оползневому процессу для: а) модели I, б) модели II, в) модели VII

Подавляющее большинство зафиксированных в 2001-2012 гг. случаев активизации оползней приходится на области наибольшей подверженности территории оползневому процессу (среднегорная, высокогорная).

Необходимо отметить, что в рамках мониторинга, как правило, фиксируются случаи, сопровождающиеся ущербом объектам народного хозяйства, что не отражает всей полноты информации о развитии оползневого процесса на исследуемой территории. Полнота данных государственного мониторинга состояния недр обусловлена особенностями ведения мониторинга оползневого процесса на территории республики, которые подробно рассмотрены в следующей главе.

Далее приводится сопоставление карт (рис.50, 51).

Карта пораженности территории Республики Дагестан оползневым процессом, используемая при мониторинге в настоящее время, составлена на основе схемы инженерно-геологического районирования с учетом особенностей геоморфологического и геологического строения, а также высотно-климатической зональности.

При сравнении построенных карт с картой пораженности территории Республики Дагестан оползневым процессом, используемой в рамках мониторинга оползневого процесса в настоящее время, наблюдается практически полное совмещение области низкой пораженности оползнями с областью низкой подверженности оползням на построенных автором картах. Однако области средней и высокой пораженности на карте, используемой при мониторинге, не совпадают с областями средней и высокой подверженности на картах, построенных автором. Это отчетливо прослеживается в среднегорной и высокогорной зонах республики. Согласно карте (см.рис.50), наибольшей пораженностью характеризуется вся территория среднегорной области. Аналогично среднегорной, единая характеристика пораженности оползневым процессом дана другим областям Горного Дагестана, занимающим значительные по площади территории: средняя пораженность – в высокогорной области, слабая пораженность – в предгорной. При этом наибольшая подверженность оползневому процессу, согласно построенным автором картам, отмечается в высокогорной зоне и верхней части среднегорной зоны.

С одной стороны, различия сравниваемых карт можно объяснить недостаточно детальной оценкой пораженности, использованной на карте пораженности территории Республики Дагестан оползневым процессом. С другой стороны, такое несовпадение областей говорит о том, что подверженность территории оползневому процессу зависит не только от пораженности, но и от факторов, приводящих к развитию оползневого процесса. Следует отметить, что используемая в рамках мониторинга карта пораженности оползневым процессом отражает фактическую оценку интенсивности развития оползней, тогда как составленные

автором карты характеризуют предрасположенность территории к развитию оползней с учетом пораженности территории оползнями и влияния рассмотренных выше факторов их развития.

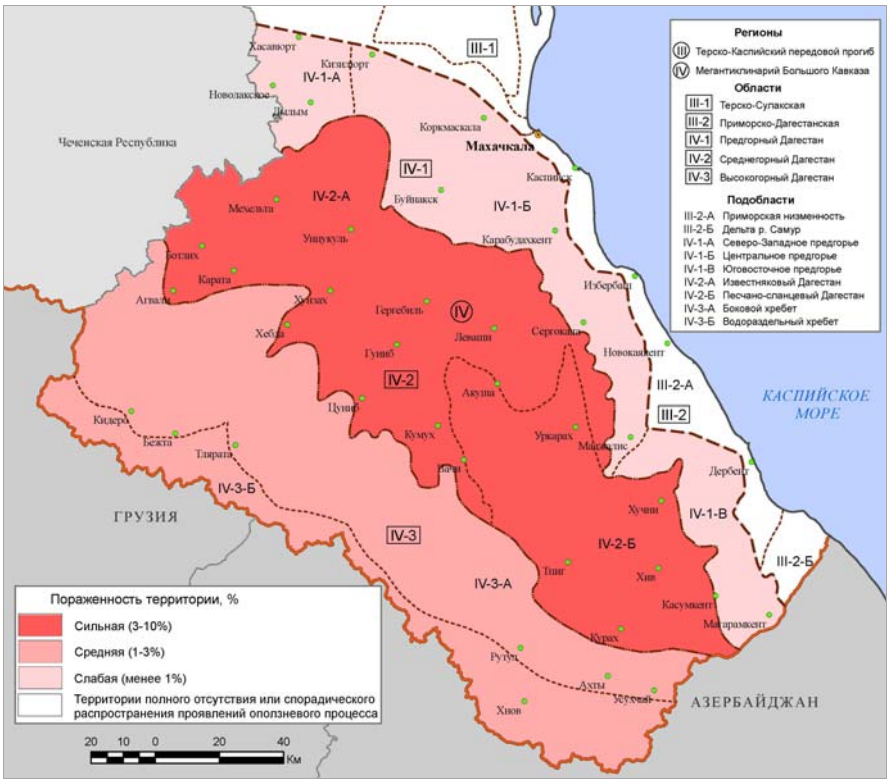


Рис.50. Уменьшенная копия карты пораженности территории Республики Дагестан оползневыми процессами, м-б 1:500 000 [Информационный бюллетень…, 2013]

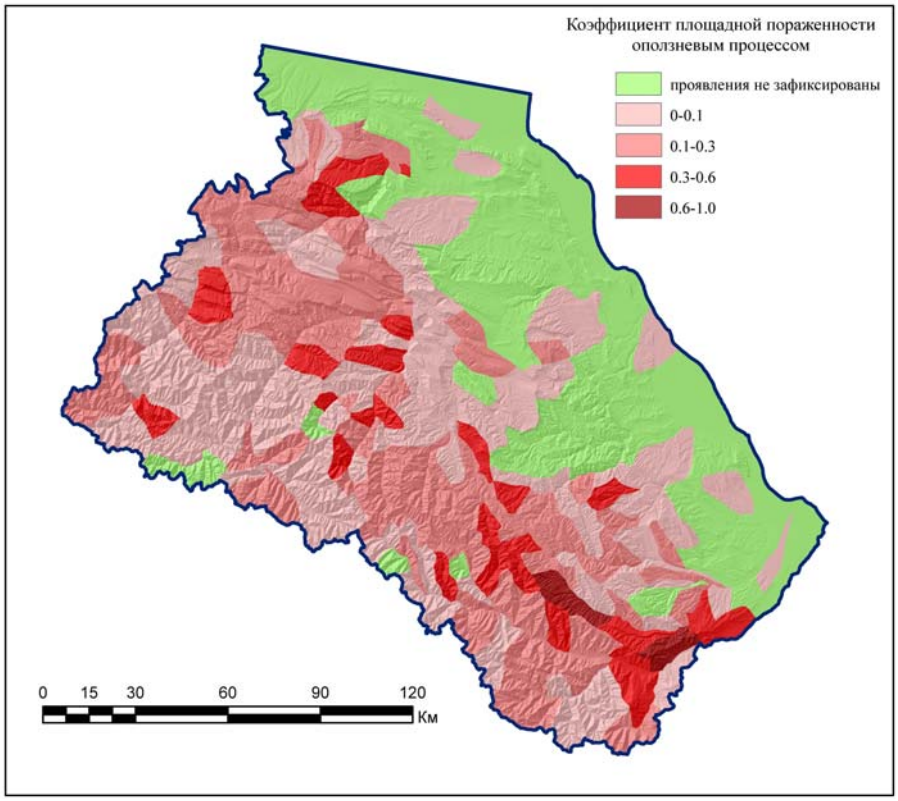


Рис.51. Уменьшенная копия карты районирования Горного Дагестана по интенсивности проявлений оползней, м-б 1:200 000 [Тагиров, 1974]

Поэтому при совместном учете пораженности территории и факторов, влияющих на развитие оползневого процесса, области наибольшей подверженности оползням не имеют полного совпадения с областями наибольшей пораженности оползнями, изменяя свои границы в зависимости от характера влияния на оползневой процесс различных факторов.

Карта районирования Горного Дагестана по интенсивности проявлений оползней (см.рис.51) составлена по итогам инженерно-геологического обследования горной части республики. Оценка интенсивности проявления оползневого процесса давалась для бассейнов третьего и четвертого порядков, для которых подсчитывались коэффициенты пораженности. Затем бассейны, согласно принятой градации интенсивности, объединялись в участки.

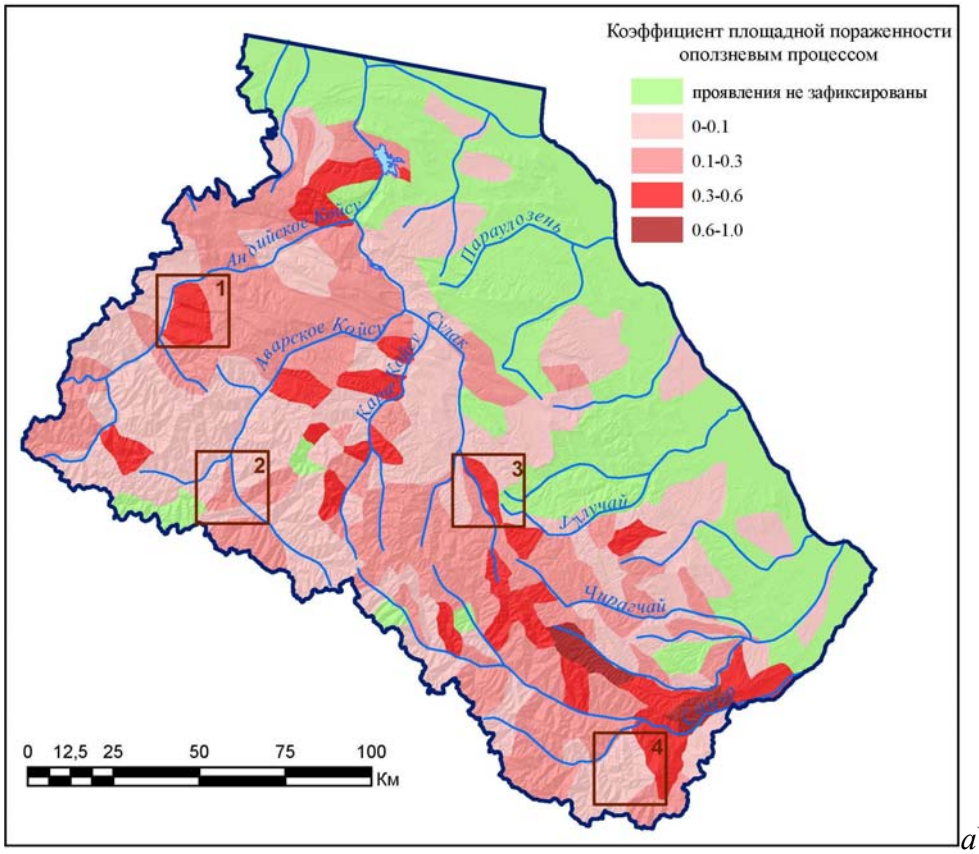
Следует отметить, что несмотря на разные методы построения, карта пораженности, составленная при выполнении настоящей работы на основе данных инженерно-геологического обследования оползневых участков 1972-74 гг., дополненных результатами обследований 1984-1990 гг. (см.рис.40 б), сопоставима с представленной картой (см.рис.51), это говорит о корректном составлении и возможности использования составленной автором карты в настоящей работе при оценке подверженности территории оползневому процессу.

Карта районирования Горного Дагестана по интенсивности проявлений оползней, аналогично карте пораженности территории Республики Дагестан оползневым процессом, отражает пораженность территории оползнями, однако выполнена более детально и дает более подробную оценку пораженности по сравнению с картой пораженности территории Республики Дагестан оползневым процессом, используемой при мониторинге в настоящее время (см.рис.50). При сравнении построенных автором карт с картой районирования Горного Дагестана по интенсивности проявлений оползней наблюдается большее сходство в расположении областей одинаковых (высоких, низких) значений, соответственно, подверженности и пораженности. Различие в их расположении обусловлено пополнением данных об оползневых проявлениях при расчете пораженности для построенных автором карт, а также учетом факторов, влияющих на развитие оползневого процесса, анализ вклада каждого из которых выполнен ранее.

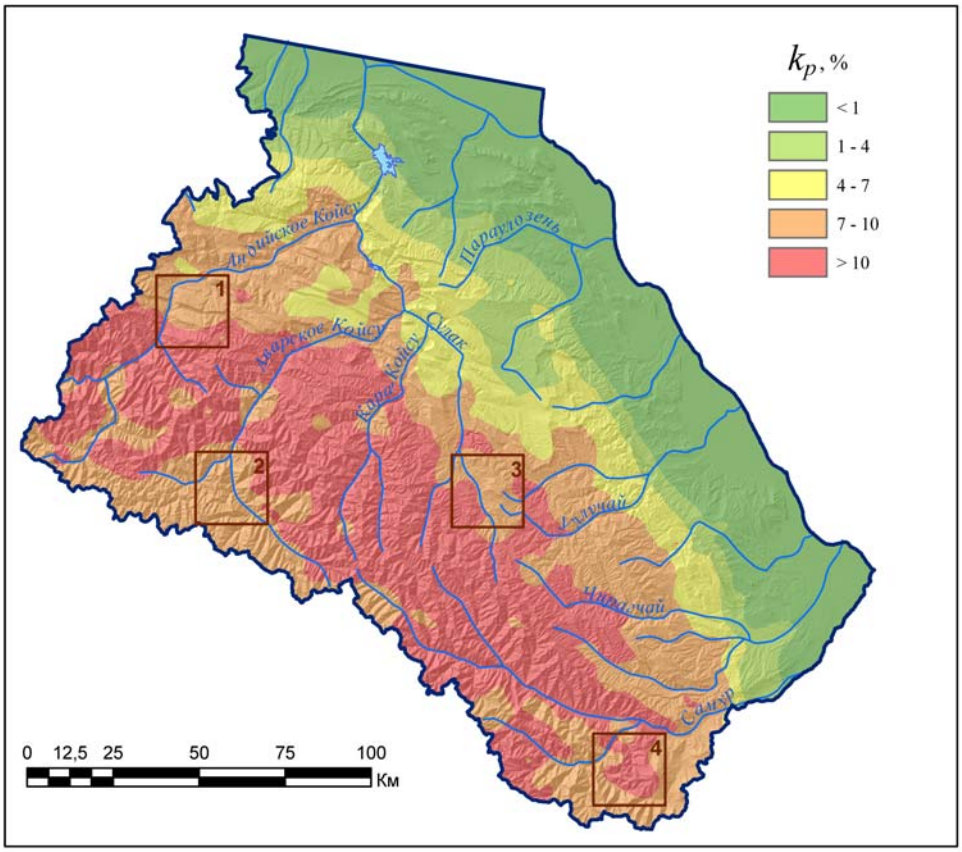
При большем общем сходстве указанных карт выделяются области, характеристики которых по пораженности и подверженности различны (рис.52).

В данном случае, можно говорить, что различия обусловлены непосредственно влиянием факторов развития оползней, которые при комплексном учете при построении карты определяют местоположение и границы областей с различной степенью подверженности оползневому процессу. Так, при высокой пораженности и низкой подверженности участка оползневому процессу учет влияния факторов развития оползневого процесса позволяет

говорить о незначительном их влиянии, за счет этого – более низкой вероятности развития оползней на рассматриваемом участке, несмотря на высокую пораженность.



а)



б)

Рис.52. Сравнение областей исследуемой территории по пораженности (а) и подверженности (б) оползневому процессу

С другой стороны, при низкой пораженности и высокой подверженности участка оползневому процессу учет влияния факторов развития оползневого процесса говорит о более высокой вероятности развития оползней на рассматриваемом участке за счет именно учтенных факторов, провоцирующих развитие и активизацию процесса.

Анализ и сравнение полученных результатов с материалами ранее выполненных работ позволяет считать их достоверными и изучать рассматриваемую территорию, используя модели различной детальности, а также различные характеристики развития оползневого процесса: качественную (наличие/отсутствие оползневых проявлений) и количественную характеристику пораженности территории оползневым процессом, что осуществлено автором при составлении моделей I, II и VII и построении соответствующих карт.

Результаты настоящей работы с учетом рассмотрения данных об условиях развитии оползней на исследуемой территории, полученных при выполненных ранее исследованиях, позволяют говорить о том, что анализ данных с комплексным использованием теории информации и теории вероятности дает корректные результаты и может применяться при изучении ЭГП, в том числе при ведении мониторинга оползней.

Выводы.

1. Информативность признаков в разных моделях увеличивается с увеличением размера блока модельной сетки: от подробной (модель VII) к наиболее грубой (модель V).

2. Информативность показателей в моделях, имеющих качественную характеристику пораженности (наличие/отсутствие оползневых проявлений, Y_1) территории оползневым процессом, 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 выходного показателя Y_1, что приводит к получению более высоких значений данного показателя.

3. Выявлена прямая зависимость между изменением информативности при осреднении значений показателей в сетках с размером блоков 1×1 км^2, 5×5 км^2, 10×10 км^2, 15×15 км^2 и изменением шага модельной сетки: при уменьшении размера блока модельной сетки происходит уменьшение информативности признаков. Соотношение вкладов (весов) показателей при этом сохраняется, то есть использование одного из примененных масштабов осреднения позволяет получить корректные результаты для данной территории, указанные масштабы исследования могут использоваться при решении подобных задач.

4. 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}). Однако по результатам анализа таблиц сопряжённости признаков были исключены признаки, для которых выявлена связь с другими признаками (x_7, x_{17}, x_{18}, x_{19}, x_{26}), а также признаки, влияние которых на развитие оползневого процесса не было выявлено (x_5, x_{10}, x_{13}, x_{22}, x_{24}, x_{25}, x_{27}). Определен набор показателей, которые влияют на условия развития оползневого процесса непосредственно на рассматриваемой территории и были использованы при районировании территории по степени подверженности оползневому процессу. Основными признаками, влияющими на развитие оползневого 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}). Наиболее информативными сложными признаками оказались те, в которых присутствуют простые признаки: экспозиция склонов (x_3), литологическая характеристика четвертичных отложений (x_{16}).

5. Для исследуемой территории рассчитан показатель (k_p), который характеризует вероятность развития оползней с учетом влияния (вклада) природных условий территории в каждой точке карт, построенных для моделей разной детальности (I, II, VII), и изменяется в зависимости от сочетания классов признаков, характеризующих определенный участок территории.

6. Результат, полученный на основе использования качественной характеристики пораженности территории оползнями (данных только о наличии/отсутствии проявлений процесса), позволяет выполнять подобные расчеты и получать при данном масштабе исследований близкую к истинной количественную характеристику развития оползневого процесса на рассматриваемой территории при отсутствии более подробной информации.

7. Сравнение моделей разной детальности (модели II, VII) показало, что при увеличении размера блока модельной сетки уменьшается детальность карты, однако региональные закономерности, характеризующие вероятность развития оползней, сохраняются, что говорит о возможности использования при исследовании рассматриваемой территории обеих моделей, учитывая при выборе масштаба исследований детальность исходных данных.

8. Результаты настоящей работы позволяют говорить о том, что информационный анализ, применяемый в комплексе с другими математическими методами, может применяться при региональном изучении ЭГП, в частности, оползней.

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

Предложенные автором мероприятия учитывают особенности мониторинга оползневого процесса, ведущегося территориальным центром государственного мониторинга состояния недр по Республике Дагестан, а также возможные изменения геологической среды, к которым может привести реализация схемы территориального планирования Республики Дагестан.

5.1. Деятельность территориального центра Государственного мониторинга состояния недр по Республике Дагестан

Мониторинг ЭГП. Действующая наблюдательная сеть по ведению мониторинга экзогенных геологических процессов ориентирована главным образом на изучение оползневого процесса (на берегах водохранилищ Сулакского каскада ГЭС, на склонах г. Тарки-Тау в г. Махачкала), абразионного процесса и подтопления (в береговой зоне Каспийского моря). Другие ЭГП на участках наблюдательной сети изучаются в комплексе при проведении специализированных инженерно-геологических обследований (м-б 1:25 000), а на остальной территории – при их активном проявлении и воздействии на населенные пункты и объекты экономики в рамках региональных маршрутных обследований (м-б 1:200 000) и оперативных обследований.

Существующая *объектная сеть* мониторинга ЭГП представлена тремя постами комплексного геолого-экологического мониторинга, включающего наблюдения за эрозионными процессами на участках пересечения нефтепроводом Баку – Тихорецк рек Самур, Гюльгерычай и Уллучай [Информационный бюллетень…, 2009]. Территориальные сети по мониторингу ЭГП в Дагестане отсутствуют.

По данным территориального центра мониторинга, воздействию опасных геологических процессов подвержен каждый третий населённый пункт республики. Однако мониторингом ЭГП, в том числе оползневого процесса, охвачена незначительная часть территории Предгорного и Горного Дагестана (табл.69). В рамках мониторинга ЭГП, проводимого в настоящее время на территории Предгорного и Горного Дагестана, специалистами выполняются:

- ежегодное инженерно-геологическое маршрутное обследование в объеме 700-800 км (в том числе по долинам рек Самур, Сулак, Гюльгерычай, Казикумухское Койсу, Кара-Койсу, Аварское Койсу и Андийское Койсу) масштаба 1:200 000 в Горном и Предгорном Дагестане;

- инженерно-геодезические измерения и специализированные инженерно-геологические маршрутные наблюдения за оползневым процессом по берегам Ирганайского, Чиркейского и Миатлинского водохранилищ и на склонах г. Тарки-Тау;

- оперативные инженерно-геологические обследования населенных пунктов и хозяйственных объектов, подвергшихся воздействию ЭГП, в том числе оползневого процесса.

Таблица 69.

Наблюдательная сеть мониторинга ЭГП на территории Республики Дагестан по состоянию на 01.01.2013 г. [Информационный бюллетень…, 2013]

№№ п/п	Масштаб инженерно-геологического обследования	Наименование пункта наблюдательной сети	Наблюдаемый тип ЭГП	Вид пункта наблюдательной сети
1	1:25 000	Буйнакский	Оп	участок наблюдений
2	1:25 000	Мискинджинский	Оп	участок наблюдений
3	1:25 000	Дарвагский	Оп	участок наблюдений
4	1:200 000	Сулакская	Оп	площадь обследования
5	1:200 000	Миатлинский	Оп	участок наблюдений
6	1:200 000	Чиркейский	Оп	участок наблюдений
7	1:200 000	Ирганайский	Оп	участок наблюдений
8	1:200 000	Махачкалинская	Оп	площадь обследования
9	1:25 000	Агачаульский	Оп	участок наблюдений

Специалисты центра мониторинга принимают непосредственное участие в решении вопросов оперативной оценки масштабов проявления опасных ЭГП и определения степени угрозы их воздействия на населенные пункты и объекты экономики (выполняют инженерно-геологические обследования территорий развития опасных ЭГП), в обосновании неотложных и первоочередных мероприятий по защите населения и снижению ущерба от последствий активизации ЭГП (даются рекомендации по разработке мероприятий защиты населения и хозяйственных объектов, по проведению профилактических и неотложных мероприятий, строительству инженерных противообвальных, противоселевых и противоэрозионных сооружений), в выявлении и предварительной оценке участков компенсационного строительства для переноса разрушенного жилого фонда [Информационный бюллетень…, 2008].

Поскольку снижение уровня техногенного воздействия на геологическую среду в условиях республики является актуальным, особое внимание требуется уделять обеспечению безопасности населения и объектов инфраструктуры. С этой целью Специалисты центра мониторинга проводят постоянную работу с различными государственными структурами (отделом Государственной экологической экспертизы Ростехнадзора, СЧС Дагестана (Республиканская государственная служба по обеспечению мероприятий гражданской обороны, предупреждению и ликвидации ЧС и пожарной безопасности), Росприроднадзором, Республиканскими и Федеральными службами МЧС) и недропользователями по вопросам инженерно-геологического обоснования отводов земель под размещение опасных отходов и иное освоение в сложных условиях геологической среды Дагестана, по вопросам регулярного обмена информацией об угрозе возникновения ЧС природного и техногенного характера и

предложениям по их предотвращению, вопросам взаимодействия в области мониторинга, прогнозирования ЧС природного и техногенного характера, обследования совместно организованной комиссией населенных пунктов и хозяйственных объектов, подвергшихся воздействию ЭГП, и по другим вопросам [Информационный бюллетень…, 2008, 2009].

Необходимо отметить, что в последние годы рекомендуемые специалистами мероприятия по защите объектов от опасных ЭГП, вследствие различных причин или не проводятся, или проводятся в недостаточном объеме. Ликвидация последствий воздействия опасных и катастрофических ЭГП осуществляется, как правило, путем выплаты материальных компенсаций пострадавшим хозяйствам, которые используются на восстановление деформированных и строительство новых домов на тех же опасных участках, без учета изменяющихся инженерно-геологических условий и строительства защитных сооружений [Информационный бюллетень…, 2008].

Предложения территориального центра государственного мониторинга состояния недр по Республике Дагестан ***по организации и развитию мониторинга ЭГП*** с целью предотвращения рисков, связанных с негативным воздействием ЭГП на населенные пункты и хозяйственные объекты [Информационный бюллетень…, 2009, 2012], включают, главным образом, периодическое проведение уже выполняемых работ:

1) проведение маршрутных обследований масштаба 1:25 000 и 1:200 000 по долинам рек в Горном Дагестане для оценки пораженности территории;

2) продолжение инструментальных геодезических наблюдений за грунтовыми реперами на участках мониторинга ЭГП (не менее 2 раз/год);

3) дальнейшее ежегодное пополнение и расширение имеющихся баз данных, анализ которых позволяет выполнять оперативную оценку современного состояния, а также прогнозировать изменения геологической среды на территории республики с учетом техногенного воздействия;

4) дальнейшее ведение дежурных карт по мониторингу ЭГП на основе пополняемых баз данных;

5) организацию объектного мониторинга на объектах, где существует реальный риск поражения ЭГП, и в настоящее время отсутствует экономическая возможность осуществления защитных мероприятий, что обеспечило бы предупреждение и снижение ущерба от негативного воздействия ЭГП.

Несмотря на значительную работу, которая проводится, стоит отметить, что данные мониторинга имеют довольно условный характер, так как детальность и объемы работ по обследованию территорий, населенных пунктов и объектов экономики на предмет их подверженности воздействию ЭГП с 1991 г. зависели от многих субъективных факторов

(недостаточное финансирование и т.п.) и выполнялись выборочно и нерегулярно. В отдельные годы (1991-1994 гг., 1997 г.) эти работы не проводились вообще, в другие – обследованием были охвачены не все территории, подверженные воздействию ЭГП, и информация о количественном и масштабном их проявлении является не полной. На достоверность приводимых данных существенное влияние оказывает информация об ЭГП, получаемая из сторонних источников, которая не всегда является полной и объективной [Информационный бюллетень…, 2008].

В 2013 г. в рамках работ по оптимизации системы наблюдений государственного мониторинга состояния недр на территории РФ специалистами территориального центра мониторинга в пределах республики были выделены 8 новых участков, на которых необходимо вести постоянное наблюдение за развитием ЭГП. Это территории населенных пунктов: Унцукуль и Аракани Унцукульского района; Эчеда и Хвайни Цумадинского района; Датуна и Ратлуб Шамильского района; Дылым и Уркарах Дахадаевского района (табл.70, рис.53).

Таблица 70.

Пункты наблюдательной сети на территории Республики Дагестан, предлагаемые для включения в наблюдательную сеть мониторинга ЭГП

№ на карте	Наименование пункта наблюдательной сети	Наблюдаемый тип ЭГП	Вид пункта наблюдательной сети
1	Унцукуль	Оп	участок детальных наблюдений
2	Аракани	Оп, Об-Ос, Эо	участок детальных наблюдений
3	Эчеда	Оп, Об-Ос	участок детальных наблюдений
4	Хвайни	Оп	участок детальных наблюдений
5	Датуна	Оп	участок детальных наблюдений
6	Ратлуб	Оп, Се	участок детальных наблюдений
7	Дылым	Оп, Эо, Пт	участок детальных наблюдений
8	Уркарах	Оп, Эо	участок детальных наблюдений

Территория указанных населенных пунктов подвержена воздействию различных ЭГП (оползни, сели, эрозионные процессы, суффозия и просадки грунтов, обвалы). При этом развитие оползневого процесса представляет серьезную опасность для значительной части их территории. В результате активизации оползневых процессов, как правило, отмечается массовая деформация домостроений, практически полное разрушение отдельных домов, многие находятся в аварийном состоянии и опасны для проживания. Также отмечается разрушение автодорог на отдельных участках, повреждения ЛЭП, газопроводов и других объектов. Кроме того, активизация оползневого процесса на отдельных участках (с. Датуна), не оказывая непосредственного влияния на объекты, может привести к активизации других ЭГП (перекрытие русла вследствие активизации оползневого процесса может вызвать затопление селения).

Условные обозначения

Пункты наблюдательной сети ГМСН ЭГП

По состоянию

△ существующие

○ предлагаемые

По типу ЭГП

▲ ● оползневой процесс

● оползневой, обвально-осыпные процессы

● оползневой, обвально-осыпные процессы, овражная эрозия

● оползневой процесс, овражная эрозия

● оползневой процесс, овражная эрозия, подтопление

границы изучаемой территории

Название пункта наблюдательной сети

Площади обследования

1. Махачкалинская
2. Сулакская

Участки наблюдений

3. Буйнакский
4. Мискинджинский
5. Дарвагский
6. Миатлинский
7. Чиркейский
8. Ирганайский
9. Агачаульский

Участки детальных наблюдений

10. Уркарах
11. Унцукуль
12. Аракани
13. Эчеда
14. Хвайни
15. Датуна
16. Ратлуб
17. Дылым

Рис.53. Наблюдательная сеть подсистемы ЭГП государственного мониторинга состояния недр на территории Республики Дагестан

Учитывая риск возникновения ЧС от опасных ЭГП, вышеописанные участки специалистами предложено включить в наблюдательную сеть мониторинга ЭГП с проведением в их пределах ежегодного инженерно-геологического обследования масштаба 1:25 000-1:50 000.

Также специалистами территориального центра мониторинга 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.

По результатам предложенных работ планируется актуализировать базу данных опасных проявлений ЭГП и их воздействий на различные объекты; составить базу данных условий развития ЭГП по результатам 20-летнего цикла региональных режимных наблюдений в горной части Дагестана с учетом основных факторов, обусловливающих активизацию процессов; составить ряд карт (условий развития ЭГП масштаба 1:200 000, специализированные карты условий развития ЭГП и режима их проявления на наиболее опасных участках, карту опасных проявлений ЭГП, карту интенсивности современных ЭГП и геологических опасностей освоения территории республики масштаба 1:200 000, схематические карты подверженности ЭГП населенных пунктов масштаба 1:200 000); дать оценку степени подверженности населенных пунктов, крупных хозяйственных объектов и сельскохозяйственных угодий ЭГП для обоснования схемы инженерной защиты территорий от опасных проявлений, а также составить рекомендации по размещению наблюдательной сети государственного мониторинга состояния недр на территории республики.

Учитывая, что последнее специализированное инженерно-геологическое обследование территории республики с целью оценки воздействия ЭГП, в том числе оползневого процесса, на населенные пункты и хозяйственные объекты проводилось в 1984-90 гг., а информация о подверженности различных объектов воздействию ЭГП за прошедший период времени устарела и не отражает современной ситуации, предложенные мероприятия и работы по изучению ЭГП на территории республики в настоящее время являются не только актуальными, но и необходимыми. Они позволят актуализировать данные о развитии ЭГП на рассматриваемой территории, а результаты указанных работ и мероприятий использовать при ведении мониторинга ЭГП, а также при корректировке существующей градостроительной документации (генпланы, схемы застройки и проекты детальной планировки), разработке и обосновании схем инженерной защиты территорий, населенных пунктов и объектов экономики Дагестана в районах интенсивного развития опасных ЭГП, в том числе оползневого процесса.

5.2. Рекомендации по рациональному освоению и использованию территории Горного Дагестана, подверженной оползневому процессу

В связи с изложенным выше в дополнение к рекомендациям, мероприятиям и соответствующим инженерно-геологическим работам, предложенным специалистами территориального центра мониторинга 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;
3) обобщить данные о сооружениях инженерной защиты на территории республики.

Расширение наблюдательной сети. Сравнение полученных в настоящей работе результатов оценки подверженности территории оползневому процессу с материалами ранее проведенных работ говорит об увеличении площади и интенсивности развития оползневого процесса в Горном Дагестане. Также необходимо отметить, что работа по основным направлениям дальнейшего территориального развития горных районов республики (строительство туристско-рекреационных объектов, дорожное строительство, гидротехническое строительство, разработка месторождений полезных ископаемых и др.), согласно утвержденной схеме территориального планирования, предполагает увеличение техногенного воздействия на геологическую среду, которое может привести к активизации ЭГП, в том числе оползневого процесса. Указанные изменения требуют расширения сети пунктов наблюдений за оползневым процессом на данной территории.

Для более достоверной и своевременной оценки воздействия опасных ЭГП, в частности, оползневого процесса, на населенные пункты и хозяйственные объекты и разработки мероприятий по предотвращению таких воздействий и снижению их последствий на территории Республики Дагестан, в первую очередь, помимо проведения плановых регулярных инженерно-геологических обследований территории, в рамках расширения наблюдательной сети необходима организация постоянного мониторинга потенциально опасных природных и техногенных объектов, в том числе выявленных при обследованиях.

Необходимость организации объектного мониторинга развития оползневого процесса, помимо предложенных в 2013 г. участков, отмечалась специалистами [Информационный бюллетень…, 2005, 2006, 2008, 2011], прежде всего, в г. Буйнакск (Приреченский район), пос. Тарки (г. Махачкала), с. Н. Алак (Ботлихский район), сс. Дарваг и Ерси (Табасаранский район), с.с. Килятль, Кунзах (Гумбетовский район), с.с. Хваршини (Цумадинский район), с. Гдынк (Ахтынский район), с. Нижний Катрух (Рутульский район), с.с. Урада, Хотода и Тлянуб (Шамильский район), а также на участках автодорог в горной части республики. Здесь

активизация оползневого процесса имеет угрожающий характер и приводит к катастрофическим последствиям.

Система наблюдений мониторинга опасных ЭГП должна учитывать генетические и режимообразующие факторы развития этих процессов, а также особенности их режима [Королев, 2007]. Расширение наблюдательной сети, в том числе на территориальном уровне, с обоснованием ее пространственной и временной структуры [СП 116.13330.2012], посредством организации пунктов наблюдений на указанных участках, должно обеспечить получение репрезентативных достоверных показателей активности оползневого процесса с необходимой точностью и детальностью без сплошных площадных обследований территории.

Перечисленные условия расширения наблюдательной сети требуют оценки инженерно-геологических условий территории, в частности, условий развития оползней, для обоснования выбора участков наблюдений, в том числе в пределах населенных пунктов, где уже отмечалась необходимость организации подобных наблюдений.

При оценке инженерно-геологических условий рассматриваемой территории в качестве основы для изучения особенностей развития оползневого процесса могут быть использованы результаты настоящей работы, которые, с одной стороны, учитывают влияние различных факторов на развитие оползней, с другой стороны, отражают вероятность дальнейшего развития оползневого процесса на данной территории, что, как указывалось ранее, выражается в увеличении площади и интенсивности развития оползневого процесса в Горном Дагестане.

Существующую наблюдательную сеть с учетом предлагаемого расширения на оползнеопасных участках необходимо объединять с системами оповещения населения о ЧС природного и техногенного характера, которые разрабатываются сегодня в рамках различных программ [Постановление Правительства… от 13.12.2013 г. № 663], реализуемых в республике с целью минимизация социального и экономического ущерба.

Работы по созданию *региональной автоматизированной системы централизованного оповещения* населения Республики Дагестан [Закон Республики Дагестан от 24.12.2007 г. № 72], начатые 2008-2010 гг., в настоящее время продолжаются и должны завершиться к 2018 г. Общий охват населения оповещением техническими средствами указанной системы оповещения, составляющий 8 %, в результате реализации Программы прогнозируется увеличить на 38,5 % [Постановление Правительства… от 13.12.2013 г. № 663].

Кроме того, при общей координации МЧС России, ведется работа по созданию на территориях, подверженных воздействию опасных быстроразвивающихся природных явлений и техногенных процессов, *комплексных систем экстренного оповещения населения об угрозе возникновения или о возникновении ЧС* (КСЭОН). Особую актуальность этот вопрос приобрел

после трагедии в г. Крымске, где в июле 2012 г. в результате разрушительного наводнения погибли около 170 человек.

Комплексная система экстренного оповещения населения об угрозе возникновения или о возникновении чрезвычайных ситуаций – это элемент системы оповещения населения о ЧС, представляющий собой комплекс программно-технических средств систем оповещения и мониторинга опасных природных явлений и техногенных процессов, обеспечивающий доведение сигналов оповещения и экстренной информации до органов управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС и до населения в автоматическом и (или) автоматизированном режиме [Федеральный закон от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ].

С учётом особенностей региона для создания пилотного варианта комплексной системы экстренного оповещения населения об угрозе возникновения или о возникновении ЧС была выбрана территория Республики Дагестан. Для этого был сформирован и утвержден перечень зон (23 зоны) в пределах республики [Распоряжение Правительства Республики Дагестан от 23.07.2013 г. № 215-р], на которых планируется создание системы, также сформированы базы данных по указанным зонам.

Зоной экстренного оповещения населения является территория, подверженная риску возникновения быстроразвивающихся опасных природных явлений и техногенных процессов, представляющих непосредственную угрозу жизни и здоровью находящихся на ней людей [Федеральный закон от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ]. В качестве пилотных были определены три зоны: Тарнаирские очистные сооружения (г. Махачкала, химически опасный объект), Каскад Сулакских ГЭС (г. Кизилюрт, гидродинамический опасный объект), селеопасный участок у федеральной автодороги «Кавказ» (г. Дербент).

Все предпринимаемые перечисленные выше меры, безусловно, направлены на снижение негативных последствий ЧС различного характера, то есть должны учитывать в том числе и активизации ЭГП, в частности, оползневого процесса. Однако следует отметить, перечень зон для создания комплексной системы экстренного оповещения населения об угрозе возникновения или о возникновении ЧС, который должен формироваться, исходя из существующих угроз природного и техногенного характера, несмотря на широкое развитие ЭГП на территории республики, включает всего 10 зон, в пределах которых угрозой природного характера являются ЭГП (8 зон подтопления, 2 селеопасные зоны). Указанный перечень не включает участки развития гравитационных процессов, в частности, оползневого, как одного из наиболее ущербообразующих в пределах республики.

В данном случае, в рамках создаваемой на территории республики комплексной системы экстренного оповещения населения об угрозе возникновения или о возникновении ЧС, целесообразно учесть необходимость выделения зон на ряде участков, описанных выше, где

ранее фиксировалась значительная активизация оползневого процесса, в том числе катастрофическая, то есть там, где развитие оползневого процесса является угрозой природного характера, как для нормальной эксплуатации различных объектов, так и для безопасности жизнедеятельности населения. При выделении таких зон также возможно использование построенных автором карт, на которых отражены участки разной степени подверженности территории оползневому процессу.

Кроме того, целесообразно интегрирование разрабатываемых сегодня систем с существующими системами мониторинга и предупреждения, а также сотрудничество с организациями, уже ведущими мониторинг на рассматриваемой территории, которые повысят их эффективность: позволят избежать дублирования работ, облегчат обработку и анализ поступающей информации, в том числе по мониторингу ЭГП.

Использование данных дистанционного зондирования. Среди дистанционных методов, давно применяемых специалистами, выделяются наземные виды съемок (фототеодолитная, специальные съемки), аэросъемка (съемка с воздушных носителей), космическая съемка (съемка со спутника с высоты более 150 км). В данном случае рассматривается использование материалов, полученных аэрокосмическими методами, под которыми принято понимать совокупность методов исследований атмосферы, земной поверхности, океанов, верхнего слоя земной коры с воздушных и космических носителей путем дистанционной регистрации и последующего анализа идущего от Земли электромагнитного излучения.

Применение дистанционных методов во многом упрощает анализ изменений рельефа во времени и пространстве, в том числе под воздействием ЭГП, которые учитываются при любом хозяйственном освоении территории: промышленном, транспортном, сельскохозяйственном, мелиоративном, рекреационном, а также при решении вопросов охраны и прогноза изменений геологической среды.

Ведущее место в аэрокосмических исследованиях занимает изучение объекта по снимкам, которые являются двумерным изображением реальных объектов и предназначены для исследования видимых и скрытых объектов, явлений и процессов окружающего мира, а также для определения их пространственного положения. Аэрокосмическое зондирование базируется на 2 группах снимков: получаемых с авиационных носителей – аэроснимков (воздушных) и с космических носителей – космических (орбитальных). Диапазон масштабов современных аэрокосмических снимков может меняться от 1:1 000 до 1:100 000 000, при этом наиболее распространенные масштабы аэрофотоснимков лежат в пределах 1:10 000-1:50 000, а космических – 1:200 000-1:10 000 000 [Книжников и др., 2004].

С внедрением аэрокосмических методов круг вопросов динамического анализа рельефа значительно расширился.

Принцип множественности аэрокосмических исследований предусматривает использование серий снимков, различающихся по масштабу, обзорности и разрешению, ракурсу и времени съемки, спектральному диапазону и поляризации регистрируемого излучения. Благодаря этому обеспечивается наиболее разностороннее и глубокое исследование изучаемого объекта или явления [Книжников и др., 2004]. Применительно к изучению ЭГП это позволяет проводить сравнительный анализ территории и давать приблизительную оценку, а при наличии крупномасштабных материалов повторной съемки – количественную оценку параметров развития процесса на конкретном участке, то есть оценивать динамику развития процесса.

Материалы аэрофотосъемки успешно используются при крупномасштабных исследованиях. При переходе к средне- и мелкомасштабным исследованиям регионального характера, когда аэрофотосъемка теряет свою эффективность, используются космоснимки среднего и крупного масштабов, которые успешно моделируют как внутреннюю, так и внешнюю структуру ландшафтов при достаточно высоких качестве съемки и разрешении (табл.71).

Таблица 71.

Требования к пространственному разрешению при дистанционном изучении некоторых геоморфологических явлений [Кондратьев и др., 1975]

Объект изучения	**Пространственное разрешение, м**	
	детальная съемка	**обзорная съемка**
Эоловые формы	30-60	60-150
Оползни	10-20	50-80
Делювиально-пролювиальные конусы выноса, шлейфы	15-60	60-90
Плайи, такыры	30	60-90
Колебания береговой линии	5-10	30-50
Селевые потоки	60-90	90-150
Дельты	15-30	30-90
Ледниковые формы	60-90	90-120
Вулканические формы	10-50	50-100
Речные долины	30-70	100-300

Снимки масштаба 1:1 000 000 и мельче позволяют получить сведения, касающиеся общих закономерностей распространения ЭГП, их связи с морфоструктурами и ландшафтами. Снимки более крупных масштабов (1:100 000-1:200 000) дают конкретную информацию о критериях инженерной оценки рельефа – расчленении, уклонах, ландшафтных особенностях, поверхностных отложениях. На них видны признаки развития процессов, позволяющие проводить не только площадной, но и точечный анализ [Верещака и др., 1990]. Таким образом, мелкомасштабные снимки, обладающие большой обзорностью и генерализацией, позволяют детально интерпретировать особенности рельефа как фактор региональных закономерностей распределения ЭГП и формирования их комплексов, а снимки более крупных масштабов – как

фактор локализации и активизации процессов на небольших площадях.

Сопоставление разновременных данных аэрокосмических исследований с материалами топографических карт и их комплексная интерпретация при инженерной оценке динамики рельефа позволяет не только оценивать факторы развития процессов (закономерности эрозионной сети, растительный покров и др.), но и проводить их направленное изучение с точки зрения влияния на развитие процесса. Топографические карты содержат количественные характеристики рельефа, а снимки дают дополнительную информацию о расчленении склонов, характере развития селей и лавин, обвально-осыпных форм, мерзлотном рельефе, антропогенных изменениях геологической среды. Анализ снимков разных лет и разных сезонов одного года, а также сравнение разновременных материалов топографических и космических съемок используется для изучения многолетней и внутригодовой динамики проявлений процессов.

Особого внимания при анализе заслуживает информация снимков, указывающая на зарождение или начальные стадии развития ЭГП, на потенциальную опасность разрушительных проявлений процессов. Подобные признаки обычно не распознаются на топографических картах и являются оригинальным материалом, получаемым в результате дешифрирования аэрокосмических материалов [Верещака и др., 1990].

Среди используемых показателей, количественно оценивающих параметры рельефа, важную роль играют характеристики, отражающие плановые закономерности рельефа, которые можно получить при обработке космической информации. Изучение спектральной яркости грунтов, к примеру, позволяет проследить зависимость этого показателя от влажности, что важно для оценки увлажнения грунтов как фактора развития ЭГП: дистанционными методами фиксируется появление в грунтах пластичности и текучести. Смена одного состояния другим указывает на переход от медленных смещений грунта (медленная солифлюкция) к быстрым (течение, оплывание).

При анализе динамики рельефа важна не только вертикальная составляющая, связанная с перемещением материала, но и смещения границ элементов рельефа в плане, определяющие динамику площадей с различным ресурсным потенциалом. Использование снимков позволяет объективнее и точнее определять площади развития процессов, разделять области сноса, транзита и накопления материала, то есть характеризовать площадные закономерности развития экзогенных процессов.

Использование аэрокосмических снимков упрощает изучение труднодоступных для наземных исследований территорий, давая возможность расшифровать их пространственную структуру и временную изменчивость преимущественно камеральными методами, что ведет к существенному сокращению объема полевых натурных изысканий [Баборыкин, 2013;

Николаев, 1993], а также обеспечивает специалиста дистанционной геопространственной информацией, необходимой для решения вопросов регионального и глобального уровней, которую другими способами получить не удается. Кроме того, аэрокосмические исследования позволяют получать данные, которые затем используются при прогнозировании развития различных процессов, в том числе, землетрясений и оползней [Гарбук, Гершензон, 1997].

Активный характер развития ЭГП, в частности, в горных районах, что особенно актуально для исследуемой территории, часто приводит к достаточно быстрой смене картины проявлений процессов, внешние признаки которых могут легко уничтожаться. В таких случаях, когда даже материалы дистанционного зондирования не могут дать четкое представление о развитии ЭГП, оптимальные результаты в отношении точности и детальности получаемых данных могут быть достигнуты разумным сочетанием полевых наблюдений и аэрокосмических исследований (к примеру, совместным проведением традиционных инструментальных наблюдений и воздушного лазерного сканирования). При необходимости должны проводиться автомобильные и пешие маршруты, позволяющие выполнить весь комплекс работ, свойственный маршрутам инженерно-геологической съемки, а также оценить антропогенное влияние на развитие ЭГП.

Космоснимки представляют собой прекрасную основу для экстраполяции результатов наземных наблюдений (точечных, маршрутных, ключевых, стационарных) на смежные аналогичные территории, а также наряду с материалами аэрофотосъемки могут использоваться в качестве наиболее надежной модели точечной территориальной привязки и переноса на местность предложенных рекомендаций по охране природы и рациональному природопользованию.

Оперативность получения информации, ее актуальность и четкая временная привязка, цифровая форма представления данных, получаемых при аэрокосмических исследованиях, позволяют использовать их в ГИС, а также формировать банки данных, содержащие совместно со статистическими и картографическими материалами информацию об изменениях на поверхности Земли в заданном районе, связанных с особенностями землепользования и другими факторами антропогенного и естественного характера в многолетнем разрезе.

Использование дистанционных методов с последующей обработкой данных и их анализом с применением специализированных программных продуктов, позволяет вести мониторинг объектов значительной площади и протяженности (в том числе в районах, где продолжительность полевых исследований ограничена климатическими условиями), сократить сроки проведения соответствующих работ и обработки данных, увеличить их информативность, что также является актуальным для территории Горного Дагестана.

Следует отметить еще одну причину целесообразности использования данных ДЗЗ непосредственно для исследуемой территории: горные районы республики являются приграничной территорией России, что в силу ряда причин также затрудняет их обследование. Использование данных ДЗЗ может снять необходимость регулярных наземных обследований этой территории специалистами с целью получения актуальных данных о развитии ЭГП.

Помимо указанных выше преимуществ данные дистанционного зондирования имеют также недостатки: необходимость высокой квалификации и большого практического опыта для обработки и анализа космоснимков; высокая стоимость программного обеспечения для обработки цифровых снимков; невозможность использования космоснимков для создания планов в инженерных целях, отсутствие экономической эффективности при единичных исследованиях небольших территорий, необходимость подтверждения результатов дешифрирования материалов дистанционного зондирования полевыми исследованиями [Чандра, Гош, 2008]. Подобные вопросы разрешимы при ведении наблюдений в рамках единой государственной системы наземного и аэрокосмического мониторинга опасностей природного и техногенного характера и их негативных последствий [Владимиров, Черных, 2013; Марданов, 2013; Осипов, 2012; Осипов, Рагозин, 2013], основой которой должны быть существующие сети мониторинга отдельных опасностей, который ведется сегодня разобщенно различными ведомствами.

Несмотря на указанные недостатки, многоплановый характер информации, получаемой при аэрокосмических исследованиях, делает ее незаменимым материалом для изучения динамики природных процессов, в том числе экзогенных, и приводит ко все более масштабному использованию этих данных при комплексной оценке ЭГП. В данном случае, данные дистанционного зондирования Земли с учетом их постоянного обновления, наряду с результатами оценки подверженности территории оползневому процессу, полученными в настоящей работе на основе уже систематизированной информации, собранной в единую базу данных, могут использоваться в качестве новой информации для прогнозов развития оползневого процесса на исследуемой территории.

Обобщение данных о сооружениях инженерной защиты. Активное развитие оползней вызывает не только необходимость расширения наблюдательной сети в рамках проводимого мониторинга ЭГП, но и необходимость защиты и укрепления уже застроенных оползневых и оползнеопасных склонов в пределах населённых пунктов и других объектов, а также необходимость инженерной подготовки вновь осваиваемых территорий в соответствие с действующими нормативными документами [Закон Республики Дагестан от 05.05.2006 г. № 26; Закон Республики Дагестан от 16.12.2010 г. № 72; Постановление Правительства Республики Дагестан от 22.01.2010 г. № 14; СНиП 2.06.15-85; СНиП II-7-81; СП 116.13330.2012].

При увеличении существующей техногенной нагрузки на территорию могут быть использованы составленные автором при выполнении настоящей работы карты подверженности территории оползневому процессу с целью определения районов размещения инженерных объектов; с целью уточнения состава и объема работ, включающих оценку опасности и риска от природных и техноприродных процессов [СП 47.13330.2012] в рамках инженерных изысканий для строительства.

Данные, полученные автором при выполнении настоящей работы, также могут быть использованы при планировании и реализации инженерной (противооползневой) защиты территории и сооружений. Результаты оценки степени подверженности территории Горного Дагестана оползневому процессу позволяют использовать дифференцированный подход, который предполагает осуществление различного по полноте и сложности комплекса мероприятий (административно-правовых, профилактических, конструктивных) с учетом характера развития оползневого процесса на разных участках исследуемой территории. Кроме того, такой подход позволяет выполнить экономическое, социальное и экологическое обоснование [СП 116.13330.2012] планируемых мероприятий и схем инженерной защиты.

Комплекс противооползневых мероприятий должен быть минимально необходимым и достаточным для того, чтобы обеспечить запас коэффициента устойчивости склона, не менее заданного на заданный период времени с заданной вероятностью. Все противооползневые мероприятия должны отвечать следующим общим требованиям: 1) эффективности, 2) легкости содержания и эксплуатации, 3) долговечности, 4) надежности в работе, 5) экономичности.

К основным видам сооружений и мероприятий инженерной защиты территорий городов, сельских населенных пунктов и объектов вне поселений на оползневых и потенциально оползневых склонах относятся: удерживающие сооружения, дренажи, изменение рельефа склона и засыпка оврагов, регулирование поверхностного стока, агролесомелиорация, регулирование русел рек и укрепления берегов, профилактические мероприятия.

Одним из главных вопросов противооползневой защиты должно быть устранение либо сведение к минимуму техногенного воздействия на склоны. Здесь можно выделить следующие мероприятия [Ананьев, Потапов, 2005]: по зеленому поясу (запрещение рубки леса, разработки участков под огороды, уничтожение кустарников, травяного покрова); по строительству (установление границ застройки, типа и веса сооружений, перенос существующих сооружений, замедление темпов строительства); по земляным работам (запрещение любых разработок у подножия склона, пригрузки склона у бровки, увеличения крутизны откоса); в области водного хозяйства (регулирование стока поверхностных вод и поливов, контроль состояния водоотводящих устройств, водопроводно-канализационных систем); по динамическим

воздействиям (запрещение применения взрывных работ, забивки свай, работы транспортных средств).

Разрабатывая мероприятия защиты, необходимо также учитывать ограничения по применению, которые имеют многие из них (к примеру, подпорные стены эффективны на сравнительно неглубоких оползнях: с максимальной мощностью оползневых отложений до 7-10 м). Долговременная устойчивость оползневого склона и сооружений на нем достигается только при применении комплекса противооползневых мероприятий, который стабилизирует оползневой склон, обеспечивая запас устойчивости на заданные величину и время при минимальных затратах средств [Гребнев, 2008].

Несмотря на возросшую подверженность воздействию ЭГП населенных пунктов и других объектов республики, реализация профилактических мероприятий и строительство защитных сооружений осуществляется в недостаточных объёмах. Кроме того, эффективность уже осуществленных мероприятий часто невысока из-за недооценки масштабов развития процессов, а также ошибок при проектировании.

Результаты настоящей работы, как указывалось ранее, могут быть использованы при выборе комплекса мер инженерной защиты территории и сооружений, однако выбору такого комплекса мер должен предшествовать полный анализ информации об уже существующих сооружениях и выполняемых (планируемых) мероприятиях инженерной защиты.

Для минимизации негативных последствий развития ЭГП, в том числе оползней, на территории республики, прежде всего, необходимо:

1) систематизировать информацию о сооружениях инженерной защиты, находящихся в эксплуатации, проектируемых и строящихся сооружениях, информацию об опасных зонах, не имеющих сооружений инженерной защиты;
2) выполнить оценку состояния и эффективности имеющихся сооружений инженерной защиты (противооползневых, противоэрозионных и водоотводящих коммуникаций);
3) вести систематические наблюдения (мониторинг) за состоянием и работой сооружений инженерной защиты в период строительства и эксплуатации.

1. *Систематизация информации о сооружениях инженерной защиты*. Сбор информации об имеющихся сооружениях инженерной защиты предполагает актуализацию на настоящий момент информации о типах (назначение, конструкция, рабочий режим сооружения), информации об особенностях работы конкретного комплекса инженерной защиты, содержании сооружения и контроле работы сооружений, составу наблюдений и срокам их выполнения, количестве и расположении сооружений на территории республики.

Инженерные сооружения, границы полосы отвода инженерной защиты, а также опасные зоны, не имеющие сооружений инженерной защиты, должны быть отражены на генпланах

населенных пунктов, в пределах территорий, подверженных воздействию опасных геологических процессов.

Под *полосой отвода* понимается часть территории и акватории, прилегающей к защитным сооружениям, размеры которой должны быть достаточны для производства работ по содержанию и ремонту сооружения, в пределах которой не допускается строительство зданий и сооружений, не имеющих отношения к инженерной защите, а также организация садовых и огородных участков. Пересечения полосы отвода транспортными, другими линейными сооружениями и коммуникациями допускается только по согласованию с организацией, занимающейся инженерной защитой.

Необходимость инженерной защиты определяется с учетом оценки риска опасных геологических процессов [СП 116.13330.2012]. Информация о проектируемых и строящихся сооружениях должна отражать данные о планировочных решениях и вариантной проработке решений, принятых в схемах (проектах) инженерной защиты; об особенностях использования территорий, зданий и сооружений как существующих, так и проектируемых, с прогнозом изменения этих особенностей и с учетом установленного режима природопользования (заповедники, сельскохозяйственные земли и т.п.) и санитарно-гигиенических норм; данные о технико-экономическом сравнении возможных вариантов проектных решений инженерной защиты (при ее одинаковых функциональных свойствах) с оценкой предотвращенных потерь (ущерба и социальных потерь), а также данные об учете градо- и объектоформирующего значения инженерной защиты, местных условий и имеющегося опыта проектирования, строительства и эксплуатации сооружений инженерной защиты в аналогичных природных условиях.

Строительство зданий и сооружений в опасной зоне допускается после полного завершения всех предусмотренных проектом противооползневых, противообвальных и других защитных мероприятий [Приказ Минстроя РФ от 29.12.1995 г. № 17-139]. *Опасной зоной* является часть территории, на которой действуют или могут действовать геологические процессы, которые оказывают отрицательное воздействие на территории, народнохозяйственные объекты и жизнедеятельность людей, в границах которой устанавливается особый режим строительства и эксплуатации зданий, сооружений и городских земель с целью профилактики и предотвращения активизации природных процессов из-за техногенного воздействия. Информация о количестве и расположении таких зон в пределах республики также является важной.

Зона, опасная в оползневом отношении, должна включать оползневые, потенциально оползневые и обвалоопасные склоны с оползневыми террасами, способными участвовать в оползневом процессе или на него влияющие [Приказ Минстроя РФ от 29.12.1995 г. № 17-139].

Полученные данные, обобщенные для территории всего субъекта, целесообразно отражать на мелкомасштабной обзорной карте.

2. *Оценка состояния и эффективности имеющихся сооружений инженерной защиты*. Систематизированная информация о находящихся в эксплуатации сооружениях инженерной защиты позволит выполнить оценку их состояния, которая должна содержать информацию о технической эксплуатации всех сооружений инженерной защиты: об исправности, наличии признаков износа сооружения и признаков наступления аварийного состояния, текущих ремонтах, необходимости проведения капитального ремонта и реконструкции сооружений. Источником такой информации могут служить обобщенные результаты технических осмотров, которые должны проводиться периодически, а также различные перечни, включающие информацию о сооружениях инженерной защиты от процессов, которые могут быть причиной активизации оползневого процесса, например, информация о берегоукрепительных сооружениях [Постановление Правительства Республики Дагестан от 26.09.2012 г. № 322].

Поскольку техническая эксплуатация противооползневых сооружений в обязательном порядке должна осуществляться в комплексе с постоянным надзором и содержанием опасной зоны, примыкающей к сооружениям [Приказ Минстроя РФ от 29.12.1995 г. № 17-139], необходимо также иметь информацию, характеризующую опасные зоны. Информация об ожидаемой аварийной ситуации в какой-либо части защищаемой территории или опасной зоне заблаговременно сообщается местной администрации, а также местным органам функциональной подсистемы ЗГЧС (защита городов и населенных пунктов от опасных природных и техногенных процессов), с которыми должен быть организован постоянный взаимный обмен информацией по опасным природно-техногенным процессам и явлениям [Приказ Минстроя РФ от 29.12.1995 г. № 17-139].

Так как исследуемая территория характеризуется высокой сейсмичностью, необходимо также учитывать сейсмическое воздействие на сооружения инженерной защиты и на удерживаемый массив грунта [СНиП II-7-81].

Помимо оценки состояния сооружений инженерной защиты должна быть выполнена оценка их эффективности. Эффективность инженерной защиты следует определять на основании оценки риска опасных геологических процессов с учетом предотвращенных социальных потерь и материального ущерба [СП 116.13330.2012].

По результатам оценки состояния и эффективности находящихся в эксплуатации сооружений инженерной защиты должны формироваться предложения о разработке дополнительных мероприятий по обеспечению надежности сооружений и эффективности инженерной защиты; рекомендации по усилению инженерной защиты, совершенствованию конструкций сооружений; конструктивные решения и мероприятия, обеспечивающие

возможность изменения функционального назначения сооружений в процессе эксплуатации; возможные изменения в указаниях по эксплуатации сооружений в экстремальных условиях (с началом оползневых деформаций, при максимальных уровнях воды и др.).

Должна быть обобщена информация о необходимости выполнения работ по капитальному ремонту для восстановления важнейших элементов и частей защитных сооружений, поврежденных при аварии или изношенных за межремонтный период, о реконструкции существующих защитных сооружений на тех участках, где требуется повышение эффективности объектов инженерной защиты в связи с изменениями инженерно-геологических условий, норм осушения либо необходимо повысить надежность сооружений (их класс), например, в связи с изменением использования защищаемой территории.

Должны быть сформулированы предложения по строительству новых защитных сооружений с учетом целесообразности применения всех указанных мероприятий и сооружений для предотвращения развития и стабилизации ЭГП.

3. *Мониторинг сооружений инженерной защиты*. Режимные наблюдения за состоянием и работой сооружений на защищаемой территории должны выполняться в процессе строительства и после сдачи сооружений в постоянную эксплуатацию. При сложных природных условиях, определяющих нагрузки на защитные сооружения, для территорий, подверженных оползневым процессам, регулярные режимные наблюдения ведутся в рамках мониторинга, программа которого разрабатывается специализированными организациями. Как правило, программа режимных наблюдений на территориях, подверженных оползневым процессам, позволяет прогнозировать изменения инженерно-геологических условий и работу сооружений инженерной защиты.

Регулярные контрольные наблюдения за состоянием и работой сооружений, состоянием опасных зон должны вестись систематически в соответствии с проектом размещения контрольно-измерительной аппаратуры для наблюдений за работой сооружений инженерной защиты, положением уровня подземных вод, оползневыми деформациями и пр. Все виды наблюдений должны быть привязаны к опорной сети.

Общий состав контрольных наблюдений должен включать: наблюдения на водомерном и волномерном постах за колебаниями уровня воды и за высотой волн в водотоках и водоемах, в том числе внутренних водоемах в контуре инженерной защиты; пьезометрические наблюдения за колебаниями уровня подземных вод на дренированных территориях и в опасных зонах; наблюдения за химическим составом и температурой подземных и дренажных вод; наблюдения за деформациями сооружений по контрольным реперам и маркам; пьезометрические наблюдения за колебаниями уровня фильтрационных вод в теле грунтовых сооружений; наблюдения за деформациями на оползневых и потенциально оползневых участках.

Наблюдения за горизонтальными и вертикальными деформациями удерживающих сооружений должны вестись с использованием высотных и прицельных марок, конструкции и места расположения которых предусматриваются проектом сооружения.

При осуществлении постоянного надзора за состоянием оползневых склонов и за работой противооползневых сооружений ответственные организации обязаны [Приказ Минстроя РФ от 29.12.1995 г. № 17-139]: следить за общим состоянием оползневых склонов на своих участках; следить за появлением трещин и иных деформаций зданий, сооружений, находящихся на оползневых склонах и в прибровочной части территории населенного пункта; вести надзор за соблюдением особого режима хозяйственной деятельности в оползневой зоне; выполнять работы по содержанию в исправном состоянии каждого сооружения, входящего в комплекс противооползневых сооружений. Кроме того, в ряде случаев, а именно: в конце зимы, после окончания весеннего снеготаяния, перед началом образования снегового покрова, после сильных ливней и во всех случаях возникновения подвижек грунта на оползневых склонах, а также при приемке сооружений после ремонта, необходимо проводить периодические технические осмотры оползневых склонов и защитных сооружений.

Систематизация и актуализация информации о сооружениях инженерной защиты, как действующих, так и проектируемых, необходимы, поскольку эти данные используются при разработке новых мероприятий и схем инженерной защиты территорий населенных пунктов и других объектов республики, при составлении и корректировке градостроительной документации и др., т.е. при планировании и выполнении мероприятий, которые влияют на развитие ЭГП и могут приводить не только к затуханию процессов, но и к их активизации. При этом обработку информации о сооружениях инженерной защиты, аналогично данным мониторинга ЭГП, целесообразно выполнять в рамках ведения соответствующих баз данных, что облегчает использование и анализ значительного объема информации.

Все предложенные выше мероприятия и рекомендации по рациональному освоению и использованию территории горной части Дагестана, подверженной оползневому процессу, можно обобщить в рамках рассмотрения схемы мониторинга оползневого процесса, которая составлена на основе *постоянно действующей модели* (ПДМ) *геологической среды* (рис.54), являющейся системой упорядоченно-взаимосвязанных, постоянно уточняющихся в ходе мониторинга условий и факторов, отражающих состояние части геологического пространства, трансформированного в его логическое, картографическое или математическое изображение с целью прогнозирования и управления [Королев, 1995]. Применение ПДМ обеспечивает упорядочение технологии сбора и обработки поступающей инженерно-геологической информации на основе компьютеров [Королев, 2007].

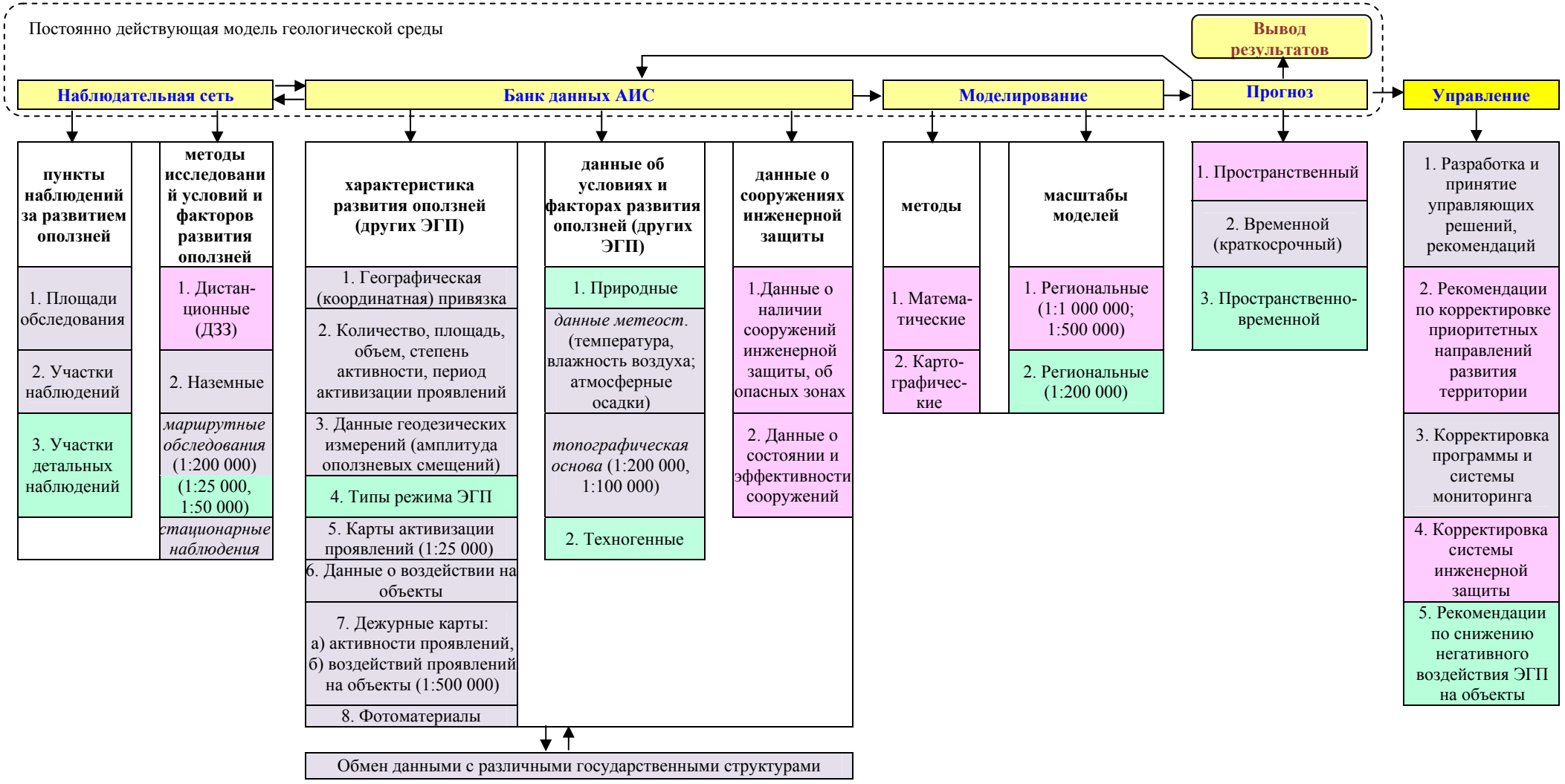


Рис.54. Схема мониторинга оползневого процесса в горной части Дагестана (составлена Шамурзаевой Д.А.)

В данном случае имеется в виду региональная модель. В качестве региональных постоянно действующих моделей выступают обычно картографические ПДМ крупных регионов в масштабе 1:100 000 или 1:500 000 [Королев, 2007]. Такие модели не направлены на решение какой-либо разовой, вре́менной задачи, а «работают» постоянно [Природные опасности…, Т.1, 2002]. В такой модели учитываются данные мониторинга, полученные на пунктах наблюдений, а также результаты стационарных наблюдений, плановых и оперативных инженерно-геологических обследований, дистанционных исследований, то есть результаты применения комплекса методов, используемых для получения и анализа информации, оценки состояния исследуемой территории. При составлении модели используются картографические материалы, характеризующие факторы и условия, а также особенности развития оползневого процесса на исследуемой территории (см. табл.7). При условии постоянного пополнения модели новой информацией (корректировки модели), как данными о развитии самого оползневого процесса, так и изменяющихся характеристик условий развития процесса, она становится эффективным звеном в системе прогнозирования процесса.

Прогнозирование предполагает составление прогнозных карт развития оползневого процесса, а также математическое моделирование для оценки степени подверженности территории оползням. Такой прогноз может осуществляться в рамках мониторинга опасных ЭГП, аналогично выполненному в настоящей работе. При этом вся поступающая информация, пополняющая модель, как указывалось ранее, аккумулируется и систематизируется в базе данных. На основе этих данных моделируется возможный вариант дальнейшего развития процесса. Таким образом, использование модели, с учетом постоянной корректировки пространственно-временных закономерностей развития оползней, дает возможность составлять прогнозы развития оползневого процесса.

Использование модели позволит также разрабатывать рекомендации и обосновывать выбор управляющих решений, которые будут корректировать схему территориального планирования Республики Дагестан, а также определять особенности разработки, реализации и корректировку схем инженерной защиты, то есть формулировать решения, направленные на рациональное использование территории, а также минимизацию ущерба от оползней на исследуемой территории. Представленная схема может корректироваться в процессе выполнения работ по мониторингу оползневого процесса в горной части Дагестана.

Необходимо также отметить, что в настоящее время освоение потенциально опасных площадей должно определяться, прежде всего, экономической целесообразностью. В связи с этим предварительная оценка оползневой опасности участков перспективного строительства и других видов работ, планируемых в соответствии с основными направлениями дальнейшего территориального развития горных районов республики, а также оценка необходимой

инженерной защиты объектов должны выполняться в обязательном порядке с использованием современных методов и технических средств. Примером такого подхода может служить оценка степени подверженности горной территории Дагестана оползневому процессу, выполненная в настоящей работе с использованием оптимального набора исходных данных.

Обобщая изложенное выше, можно отметить, что предлагаемые специалистами в рамках мониторинга оползневого процесса и дополненные автором предложения и рекомендации по рациональному освоению и использованию территории Горного Дагестана, подверженной оползневому процессу, необходимо учитывать и использовать при решении ряда важных задач, таких как: оценка сложности и неоднородности инженерно-геологических условий территории и прогноз их изменений; выбор районов размещения инженерных объектов, в том числе повышенной опасности; выбор комплекса мер инженерной защиты территории и сооружений.

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 при выполнении настоящей работы 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, либо использованы в качестве самостоятельного решения наряду с другими, альтернативными, вариантами решений.

Осуществление предложенных мероприятий даст возможность свести к минимуму существующие и возможные в будущем негативные последствия развития оползней, 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 настоящей работы состоят в следующем.

1. Составлены пространственные информационные модели горной части Дагестана:

   1) сформирован перечень показателей, характеризующих природные и техногенные условия горной части Дагестана, объединенных в группы: орографические и ландшафтные; гидрометеорологические; показатели, характеризующие состав и состояние грунтов; показатели, характеризующие тектонические условия; показатели техногенной нагрузки на территорию; приведена характеристика развития оползневого процесса на исследуемой территории;

   2) систематизированные исходные данные подготовлены и обработаны с помощью ГИС, что позволило составить и проанализировать электронные карты всех выбранных показателей, характеризующих природные и техногенные условия, которые могут влиять на развитие оползневого процесса в Горном Дагестане;

   3) на основе подготовленных электронных карт показателей, характеризующих природные и техногенные условия территории, построены разномасштабные пространственные информационные модели с размером блока модельной сетки 5×5 км^2 (модели I, II), 10×10 км^2 (модели III, IV), 15×15 км^2 (модели V, VI), 1×1 км^2 (модель VII) и двумя выходными показателями – качественной и количественной характеристикой развития оползневого процесса (пораженности территории).

2. На основе комплексного математического аппарата, включающего информационный анализ и элементы теории вероятности, выполнена оценка влияния масштаба осреднения данных на получаемые результаты, выявлены наиболее важные характеристики условий горной части Дагестана, определяющие развитие оползневого процесса:

   1) выявлена прямая зависимость между изменением информативности при осреднении значений показателей в сетках с размером блоков 1×1 км^2, 5×5 км^2, 10×10 км^2, 15×15 км^2 и изменением шага модельной сетки: при уменьшении размера блока модельной сетки происходит уменьшение информативности 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 и VII;

2) по итогам проверки взаимосвязей показателей и исключения из расчетов зависимых показателей, а также проведенных интерпретации и анализа полученных значений информативности показателей выделены те из них, которые влияют на развитие оползневого процесса в Горном Дагестане: орографические и ландшафтные показатели, характеризующие абсолютные отметки рельефа, уклон и кривизну земной поверхности, экспозицию склонов (x_1-x_4), превышение над местным базисом эрозии, густоту речной сети (x_5, x_6), почвы, растительность (x_8, x_9), особенности развития обвально-осыпных процессов (x_{11}); группа гидрометеорологических показателей (x_{12}, x_{14}, x_{15}); показатель, характеризующий литологический состав четвертичных отложений (x_{16}); типы тектонических структур, сейсмичность и скорость современных тектонических движений (x_{20}, x_{21}, x_{23}). Основными признаками, влияющими на развитие оползневого 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}).

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

1) используя отобранные, информативные, показатели, на основе комплексного математического аппарата для трех моделей (I, II, VII) выполнены расчеты показателя, характеризующего подверженность территории оползневому процессу с учетом влияния (вклада) выделенных показателей на развитие оползней, построены соответствующие карты. 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°) 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 мм/год и более) скоростью положительных новейших тектонических движений. В целом, увеличение значений рассчитанного показателя наблюдается в направлении от равнинной территории к горной, где целый ряд признаков способствует развитию и

активизации оползневого процесса. 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 I и II, имеющим одинаковую детальность, но разную характеристику пораженности территории оползневым процессом, 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 II и VII, имеющих разную детальность, но одинаковую (количественную) характеристику пораженности территории оползневым процессом, 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 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.

Литература

Опубликованная

1. *Агамирзоев Р.А., Ананьин И.В., Быстрицкая Ю.В. и др.* Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. Разрушительные последствия // Инженерная сейсмология. Вопросы сейсмостойкого строительства. – М.: Наука, 1981. – 260 с.

2. *Ананьев В.П., Потапов А.Д.* Инженерная геология: Учеб. для строит. спец. вузов. 3-е изд., перераб. и испр. – М.: Высш. шк., 2005. – 575 с.

3. *Ананьин И.В., Кулиев Ф.Т., Зыбина И.А. и др.* Дагестанское землетрясение 20 апреля 1966 г. //Изв. АН АзССР. Сер. наук о Земле. – 1970. – №2. – С.40-42.

4. *Ананьин И.В., Арефьев С.С., Асманов О.А. и др.* Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. // Сейсмология. Геология. Геофизика. – М.: Наука, 1980. – 219 с.

5. *Антыпко А.И.* Дистанционный тепловой мониторинг геологической среды городских агломераций / Сов. Геология, 1989. № 3. – с. 117-124.

6. *Арзуманян А.П.* Роль геологического фактора в развитии процессов эрозии. – В сб.: Основные проблемы охраны почв. М.: Изд-во МГУ, 1975. – с. 34-36.

7. *Арманд А.Д.* Информационные модели природных комплексов. М.: Наука, 1975. – 120 с.

8. *Асаян Д.С.* Дистанционные методы изучения экзодинамики рельефа Известнякового Дагестана как фактора экологического состояния // Геоморфология. 1993. № 4. – с. 26-35.

9. *Ахмедханов К.Э.* Горный Дагестан. Очерки природы. Махачкала, 1998. – 208 с.

10. *Баборыкин М.Ю.* Мониторинг опасных геологических процессов на линейных объектах // Инженерные изыскания. – 2013. - № 10-11. – с. 44-55.

11. *Байдин С.С.* Современные процессы дельтообразования в устье Терека. – «Тр. Гос. океаногр. ин-та», 1970, вып. 98. – с. 49-59.

12. *Балаев Л.Г., Царёв П.В.* Лёссовые породы Центрального и Восточного Предкавказья. Лабор. гидрогеол. проблем им. Ф.П. Саваренского. Изд-во Наука, М., 1964. – 248 с.

13. *Белоусова А.П.*, *Гавич И.К.*, *Лисенков А.Б.*, *Попов Е.В.* Экологическая гидрогеология. Учебник для вузов. М.: ИКЦ “Академкнига”, 2006. – 397 с.

14. *Берлянт А.М., Капралов Е.Г. и др.* Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. – М.: ГИС-Ассоциация, 1999. – 204 с.

15. *Боголюбова И.В.* Селевые потоки и их распространение на территории СССР. Под ред. Б.Д. Зайкова. ГИМИЗ Л., 1957. – 152 с.

16. *Бондаренко А.А.* Об одном классе моделей оценки инженерно-геологических условий территории // В сб.: Оценка инженерно-геологических условий и расчет устойчивости склонов и откосов при проектировании земляного полотна в сильнопересеченной местности. Труды СоюздорНИИ. М., 1980. – с. 28-33.

17. *Бондаренко А.А., Постоев Г. П. и др.* Прогноз инженерно-геологических условий территории на основе автоматической классификации данных комплексных съемок // Тезисы докл. Всесоюзн. конференции «Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды». Тема VII. Теоретические и практические аспекты прогноза инженерно-геол. условий территорий. Тема VIII. Особеннности инж.-геол. исслед. для проектир. меропр. по охране геол. среды, территорий и сооружений. Л., 1976. – с. 23-25.

18. *Бондарик Г.К.* Классификация инженерно-геологических прогнозов и перспектива развития методов прогнозирования. Тр. ВСЕГИНГЕО, вып. 57, 1972. – с. 5-18.

19. *Бондарик Г.К.* Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981. – 256 с.

20. *Бондарик Г.К.* Методика инженерно-геологических исследований. М.: Недра. 1986. – 333 с.

21. *Бондарик Г.К., Пендин В.В*. Методика количественной оценки инженерно-геологических условий и специального инженерно-геологического районирования // Инж. геология, 1982. № 4. – с. 82-89.

22. *Верещака Т.В*, *Зверев А.Т.*, *Сладкопевцев С.А.*, *Судакова С.С.* Визуальные методы дешифрирования. М.: Недра, 1990. – 341 с.

23. *Виноградов Б.В.* Аэрокосмический мониторинг экосистем. М.: Наука, 1984. – 320 с.

24. *Владимиров В.А., Черных Г.С.* Анализ опасностей и угроз природного характера на современном этапе // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. Вып.№ 1, Т.3., 2013. – с. 24-38.

25. *Высокоостровская Е.Б., Зеленецкий Д.С.* О количественной оценке перспектив территории при поисках месторождений рудных полезных ископаемых, 1968, №8. – с.58-71.

26. *Габриелян Г.К.* Интенсивность денудации на Кавказе. – Геоморфология, 1971, №1. – с. 22-27.

27. *Гарбук С.В., Гершензон В.Е.* Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Изд-во «А и Б», 1997. – 296 с.

28. *Гарелик И.С.* Географические информационные системы и дистанционное зондирование // Исследование Земли из космоса: Итоги науки и техники, Т.3, ВИНИТИ АН СССР. М., 1989. – с. 3-80.

29. *Геокриология* СССР. Т. V. Горные страны юга СССР /Под ред. Э.Д. Ершова. М., Недра, 1989. – 358 с.

30. *Герасимов В.А.* Условия процессов селеобразования в центральной части Горного Дагестана. – Тр./ Высокогорн. геофиз. ин-т, 1974, вып. 26. – с. 138-156.

31. *Гидрогеология* СССР. Северный Кавказ. Том 9. М.: Недра, 1968. – 488 с.

32. *Гитис В.Г.* Основы геоинформационного прогноза полезных ископаемых и анализа геологических процессов. Учебно-методическое пособие / Под ред. Ю.М. Арского. М.: ВИНИТИ РАН. 2012. – 160 с.

33. *Голубятников В.Д.* Геологическая карта горной части Дагестанской АССР масштаба 1:200 000. Объяснительная записка. М., 1959. – 60 с.

34. *Гоппа В.Д.* Введение в алгебраическую теорию информации. М.: Наука. Физматлит, 1995. – 112 с.

35. *Горбунова И.В., Шаторная Н.В.* О точности определения гипоцентра и протяженности очага сильного землетрясения на примере Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 г. // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1977. – №2. – С.18-31.

36. *Государственная* геологическая карта РФ. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Скифская, листы К-37 (Сочи), К-38 (Махачкала), К-39. Объяснительная записка. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2009. – 300 с.

37. *Гребнев Ю.С.* Инженерная защита от опасных геологических процессов. Руководство по расчету и проектированию противооползневых мероприятий. М.: ГЕОС, 2008. – 274 с.

38. *Губерман Ш.А.* Неформальный анализ данных в геологии и геофизике. М.: Недра, 1987. – 261 с.

39. *Гудилин И.С., Комаров И.С.* Применение аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. М.: Недра, 1978. – 319 с.

40. *Гулакян К.А., Кюнтцель В.В., Постоев Г.П.* Прогнозирование оползневых процессов. М.: Недра, 1977. – 135 с.

41. *Гюль К.К., Власова С.В., Тертеров А.А.* Физическая география Дагестанской АССР. Махачкала: Дагестанское кн. изд-во, 1959. – 250 с.

42. *Димаксян А.М., Почтарев В.И.* Применение некоторых методов теории информации при изучении гидрометеорологических процессов // Метеорология и гидрология, 1963, №12. – с.152-161.

43. *Дэвис Дж.* Статистика и анализ геологических данных. М.: Мир, 1977. – 572 с.

44. *Дэвис Дж. С.* Статистический анализ данных в геологии: Пер. с англ. В 2кн./Пер. В.А. Голубевой; Под ред. Д.А. Родионова. Кн.1. – М.: Недра, 1990. – 319 с.

45. *Дэвис Дж. С.* Статистический анализ данных в геологии: Пер. с англ. В 2кн./Пер. В.А. Голубевой; Под ред. Д.А. Родионова. Кн.2. – М.: Недра, 1990. – 427 с.

46. *Егоров Д.Г.* Информационные меры для анализа геологических самоорганизующихся систем. М.: Наука, 1997. – 63 с.

47. *Емгушев П.Н.* Особенности горных рек Северного Кавказа. – Сб. науч. тр/ ДагНИОЭ, 1971, вып. 2. – с. 65-70.

48. *Емельянова Е.П.* Количественные показатели развития и активности геологических процессов. Справочник по инженерной геологии / Под ред. М.В. Чуринова. М.: Недра, 1966. – 172 с.

49. *Емельянова Е.П.* Сравнительный метод оценки устойчивости склонов и прогноза оползней. М.: Недра, 1971. – 115 с.

50. *Емельянова Е.П.* Основные закономерности оползневых процессов. М.: Недра, 1972. – 310 с.

51. *Епишин В.К., Экзарьян В.Н.* Прогноз процесса формирования берегов водохранилищ. М.: Энергия, 1979. – 113 с.

52. *Ефремов Ю.В., Панов В.Д. и др*. Орография, оледенение, климат Большого Кавказа: опыт комплексной характеристики и взаимосвязей. Краснодар: Кубан. гос. ун-т, 2007. – 338 с.

53. *Забадаев И.С., Пяткин В.П.* База видеоданных геоинформационной системы // В сб.: Автоматизированная обработка визуальной информации. Новосибирск. 1989. – с. 3-11.

54. *Закон* Республики Дагестан от 05.05.2006 г. № 26 (ред. от 30.12.2013) «О градостроительной деятельности в Республике Дагестан» // Дагестанская правда, 07.05.2006. – № 110-112.

55. *Закон* Республики Дагестан от 24.12.2007 г. № 72 «Об утверждении республиканской целевой программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Республике Дагестан до 2010 года» // Собрание законодательства Республики Дагестан, 29.12.2007, № 20, ст. 955.

56. *Закон* Республики Дагестан от 16.12.2010 г. № 72 «О горных территориях Республики Дагестан» // Дагестанская правда, 18.12.2010. – № 441.

57. *Закон* Российской Федерации от 21.02.1992 г. № 2395-1 (ред. от 28.12.2013, с изм. от 23.06.2014) «О недрах» // Собрание законодательства РФ, 06.03.1995, № 10, ст. 823;
Собрание законодательства РФ, 30.12.2013, № 52 (часть I), ст. 6973.

58. *Зеркаль О.В., Королёв И.Б.* Влияние глобального изменения климата на активность опасных экзогенных геологических процессов на территории Северо-Кавказского региона // Гориск. 2008, №3. – с. 16-20.

59. *Золотарев Г.С*. Инженерная геодинамика. М.: Изд-во МГУ, 1983. – 328 с.

60. *Золотарев Г.С*. Методика инженерно-геологических исследований. М.: Изд-во МГУ, 1990. – 384 с.

61. *Информационный* бюллетень о состоянии геологической среды территории Республики Дагестан за 2004 г. Махачкала, 2005. – Вып. 8. – 179 с.

62. *Информационный* бюллетень о состоянии геологической среды территории Республики Дагестан за 2005 г. Махачкала, 2006. – Вып. 9. – 178 с.

63. *Информационный* бюллетень о состоянии геологической среды на территории Республики Дагестан за 2006 г. Махачкала, 2007. – Выпуск 10. – 225 с.

64. *Информационный* бюллетень о состоянии геологической среды территории Республики Дагестан за 2007 г. Махачкала, 2008. – Вып. 11. – 204 с.

65. *Информационный* бюллетень о состоянии недр территории Республики Дагестан за 2008 г. Махачкала, 2009. – Вып. 12. – 197 с.

66. *Информационный* бюллетень о состоянии недр территории Республики Дагестан за 2010 г. Махачкала, 2011. – Вып. 14. – 235 с.

67. *Информационный* бюллетень о состоянии недр территории Республики Дагестан за 2011 г. Махачкала, 2012. – Вып. 15. – 187 с.

68. *Информационный* бюллетень о состоянии недр территории Республики Дагестан за 2012 г. Махачкала, 2013. – Вып. 16. – 164 с.

69. *Каган А.А*. Инженерно-геологическое прогнозирование. М.: Недра, 1984. – 196 с.

70. *Каждан А.Б., Гуськов О.И*. Математические методы в геологии: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1990. – 251 с.

71. *Казанбиев М.К*. Гипсовый и соляной карст Дагестана и Чечено-Ингушетии. – В сб.: Гидрогеология и карстоведение. Пермь, 1975, вып. 7. – с. 197-198.

72. *Казанбиев М.К*. Значение карстовых процессов в образовании серных залежей Дагестана. (Автореф. докл., прочит. 20/V 1974 г.) – Бюл. МОИП. Отд. геол., 1975, №2. – с. 156-157.

73. *Казанбиев М.К*. Карст бассейна р. Сулак (Дагестан). – В сб. Гидрогеология и карстоведение. Пермь, 1975, вып. 7. – с. 186-187.

74. *Казанбиев М.К., Малюк В.И*. О некоторых особенностях развития оползневых явлений на территории Дагестана. – В сб.: М-лы науч. конф. Даг. филиала Геогр. об-ва СССР, Махачкала, 1975, вып. 6. – с. 14-16.

75. *Казанбиев М.К., Саидов К.С*. Новое о карсте Дагестана. – Тр. Даг. филиала Геогр. об-ва СССР, 1972, вып. 4. – с. 20-22.

76. *Каменова Ю.А., Максимов С.Н., Попов И.В*. Опыт моделирования напряженного состояния массивов пород в инженерно-геологических целях. В сб.: Вопр. инж. геологии и грунтоведения, - М., изд-во МГУ, 1963. – с. 152-159.

77. *Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С. и др.* Геоинформатика: Учеб. для студ. вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 480 с.

78. *Каталог* материалов космических съемок Геологической службы США [Электронный ресурс]. Дата обновления: 11.03.2014. URL: http://**earthexplorer**.usgs.gov (дата обращения: 02.04.2013).

79. *Клименко А.И.* Природно-антропогенные и антропогенные геологические процессы и явления в предгорьях Северного Кавказа. – В сб.: Среда обитания и человек. Л., 1975. – с. 27-29.

80. *Клюкин А.А., Толстых Е.А*. Методика и первые результаты стационарных наблюдений за скоростью денудации известняковых обрывов в Горном Крыму. – Геоморфология. 1973, №4. – с. 43-50.

81. *Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В*. Аэрокосмические методы географических исследований: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 336 с.

82. *Коломенский Н.В*. Основные задачи геоморфологических исследований при инженерно-геологической оценке местности // Разведка и охрана недр. – 1959. – № 7.

83. *Коломенский Н.В*. Общая методика инженерно-геологических исследований. М.: Недра, 1968. – 342 с.

84. *Коломенский Н.В., Комаров И.С.* Инженерная геология. М.: Высш. школа, 1964. – 480 с.

85. *Комаров И.С*. Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях. М., Недра, 1972. – 295 с.

86. *Комаров И.С., Хайме Н.М*. Применение понятий и мер теории информации в инженерной геологии при оценке неоднородности // Изв. Вузов. Геология и разведка. М., 1968, №5. – с. 64-71.

87. *Комаров И.С., Хайме Н.М., Бабенышев А.П.* Многомерный статистический анализ в инженерной геологии. М.: Недра, 1976. – 199 с.

88. *Кондратьев К.Я., Григорьев А.А, Покровский О.М*. Информационное содержание данных космической дистанционной индикации параметров окружающей среды и природных ресурсов. – Л.: Изд. ЛГУ, 1975. – 146 с.

89. *Королев Б.И., Грохольский Н.С., Лисёнков А.Б.* Диагностика и прогноз состояния экологогидрогеологических систем на основе анализа ландшафтной и геоэкологической информации // Разведка и охрана недр.– 2012.– № 10.– с. 14-17.

90. *Королев В.А*. Мониторинг геологической среды. / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1995. – 272 с.

91. *Королев В.А*. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем: учебное пособие / Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: КДУ, 2007. – 416 с.

92. *Коротаев М.В., Правикова Н.В., Аплеталин А.В.* Информационные технологии в геологии: учеб. пособие. М.: КДУ. 2012. – 298 с.

93. *Косарев А.Н*. Особенности температурной аномалии у восточного побережья Среднего Каспия. – В кн.: комплексные исследования Каспийского моря. МГУ, 1970, вып. 1. – с. 197-211.

94. *Кронберг П.* Дистанционное изучение Земли: основы и методы дистанционных исследований в геологии: Пер. с нем. – М.: Мир, 1988. – 343с.

95. *Круковский Г.Л.* Вероятностное прогнозирование склоновых процессов (на примере оползней верховьев р. Чирчика) // В кн.: Динамика горных склонов Чаткало-Кураминской зоны. Ташкент, ФАН, 1977. – с. 136-157.

96. *Круподеров В.С.* Экзогенные геологические процессы // Инженерная геология. – 2007, №12. – с. 13-16.

97. *Кучай В.К., Аминов А.У., Скрынников К.Н.* К корреляционной методике оползневого прогноза в условиях Центрального Таджикистана // Матер. Научно-технического совещания по вопросам методики и прогноза селей, обвалов и оползней (тезисы докладов). Душанбе, 1970. – с. 154-189.

98. *Кучай В.К., Чугадеев Д.Н., Ким А.Н.* Вероятностный геологический прогноз по косвенным изображениям. М.: Недра. 1986. – 207 с.

99. *Левкович Р.А., Тагиров Б.Д., Гусейнов З.Т.* Учет сейсмического воздействия на формирование экзогенных геологических процессов в Горном Дагестане. // Бюллетень по инженерной сейсмологии. №10. Ереван, 1979. – с.141-144.

100. *Летов Б.И.* Карстопроявления в верховьях р. Сулака. – Тр./ Всес. проект.-изыскат. НИИ Гидропроект, 1974, №37. – с. 46-52.

101. *Лидовский В.В*. Теория информации: Учебное пособие. – М.: Компания Спутник+, 2004. – 111 с.

102. *Лилиенберг Д.А*. О селевых явлениях в Дагестане. Сб. «Геогр. сообщ.» Ин-т географии АН СССР, М., 1959 а. – с. 53-56.

103. *Лилиенберг Д.А*. Карстовые районы и пещеры Дагестана. Сб. «Спелеология и карстоведение». М., 1959 б. – с. 135-146.

104. *Лилиенберг Д.А*. Пещеры и некоторые особенности карстовых явлений в Дагестане (автореф. Докл., прочит. 12/XII 1958 г.). Бюлл. МОИП, отд. Геол. Изд-во МГУ, 1959 в, т. 34, вып. 2. – 147 с.

105. *Лиманцева О.А., Алексеева Н.В.* Оценка условий формирования химического состава подземных вод Талаканского нефтегазового месторождения // Разведка и охрана недр.– 2009.– № 4.– с. 62-67.

106. *Липский В*. Комбинаторика для программистов: Пер. с польск. – М.: Мир, 1988. – 213 с.

107. *Лисенков А.Б.* Научно-методические основы диагностирования эколого-гидрогеологических систем. /Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.г.-м.н. М.: МГУ, 1995. – 44 с.

108. *Лисёнков А.Б., Королёв Б.И., Лиманцева О.А.* Изучение условий формирования углекислых минеральных вод Северного Кавказа на основе информационного анализа // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.– 2012.– № 2.– с. 5-11.

109. *Лисенков А.Б., Корчуганова Н.И., Попов Е.В*. Информационный анализ при поисках россыпных месторождений. // Геологическое изучение и использование недр. Вып. 4. М.: Геоинформмарк, 1996. – с. 54-64.

110. *Лисенков А.Б., Королев Б.И., Попов Е.В., Грушин Р.В*. Прогнозирование зон повышенной минерализации подземных вод и участков скопления углекислоты на Ессентукском месторождении минеральных вод. // Разведка и охрана недр. М.: 2008 №.10. – с. 55-59.

111. *Ломтадзе В.Д*. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л.: Недра, 1977. – 479 с.

112. *Ломтадзе В.Д*. Физико-механические свойства горных пород (методы лабораторных исследований). Л., Недра, 1990. – 327 с.

113. *Лукнер Л., Шестаков В.М*. Моделирование миграции подземных вод. М.: Недра. 1986. – 208 с.

114. *Макунина А.А*. Физическая география СССР. М., Изд-во Моск. ун-та, 1985 г. – 296 с.

115. *Марданов И.И*. Исследование ландшафтной структуры высокогорной части междуречья Гарасу и Гурмухчай // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 367. – с. 177-182.

116. *Маслов Н.Н*. Условия устойчивости склонов и откосов в гидроэнергетическом строительстве. М.-Л., Госэнергоиздат, 1955. – 467 с.

117. *Математические* методы в инженерно-геологических исследованиях. М.: Стройиздат, 1983. – 101 с.

118. *Методика* изучения и прогноза экзогенных геологических процессов / Мин-во геол. СССР, ВСЕГИНГЕО / Под ред. А. И. Шеко, С. Е. Гречищева. – М.: Недра, 1988. – 216 с.

119. *Методическое* пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. В 2-х томах / Т.1. Полевые методы / Под ред. Е.М.Сергеева. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 423 с.

120. *Методическое* пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. В 2-х томах / Т.2. Лабораторные методы / Под ред. Е.М.Сергеева. - М., Недра , 1984. – 438 с.

121. *Мильков Ф.Н., Гвоздецкий Н.А.* Физическая география СССР. Общий обзор. Европейская часть СССР. Кавказ. Изд.4-е, испр. и доп. Учебник для студентов геогр. фак. ун-тов. М., «Мысль», 1976. – 448 с.

122. *Мирзазаде У.Р., Исаев В.И., Мамедов Н.М., Агаев Т.Б.* Ирригационная эрозия и селевые потоки // Гидротехника и мелиорация, 1974, № 9. – с. 108-109.

123. *Мироненко В.А., Шестаков В.М*. Основы гидрогеомеханики. М.: Недра, 1974. – 296 с.

124. *Мусин А.Г.* Скорость карстовой денудации в карбонатных отложениях бассейна р. Андийское Койсу (Дагестанская АССР) – В сб.: Гидрогеология и карстоведение. Пермь, 1974, вып. 5. – с. 156-158.

125. *Научно-прикладной* справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные: Ч. 1-6. Вып. 13. Волгоградская, Ростовская, Астраханская области, Краснодарский, Ставропольский края, Калмыцкая, Кабардино-Балкарская, Чечено-Ингушская, Северо-Осетинская АССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 724 с.

126. *Научно-прикладной* справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1-6. Вып. 15. Дагестанская АССР, Азербайджанская ССР, Нахичеванская АССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 264 с.

127. *Николаев В.А.* Космическое ландшафтоведение: Учебное пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. – 81 с.

128. *Николаев Ю.В*. Классификация гидрометеорологических процессов с помощью ЭВМ. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 36 с.

129. *Общие* сведения о гидроэлектростанциях, эксплуатируемых Дагестанским филиалом ОАО «РусГидро» [Электронный ресурс]. Дата создания ресурса: 2009-2014. URL: http://www.dagestan.**rushydro**.ru/hpp/general (дата обращения: 21.07.2014).

130. *Опыт* оценки устойчивости склонов сложного геологического строения методом конечных элементов и экспериментами на моделях / Под ред. Проф. Г.С. Золотарева. М.: Изд-во МГУ, 1973. – 277 с.

131. *Осипов В.И*. Природные опасности и риски на пороге XXI века // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. Вып. 2, Т.2., 2012. – с. 836-846.

132. *Осипов В.И., Рагозин А.Л.* Идентификация и прогнозная оценка стратегических природных рисков России // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. Вып.№ 2, Т.3., 2013. – с. 163-178.

133. *Островский Э.Я., Кремнев И.Г*. Аэрогеофизические методы при поисках рудных месторождений // Разведка и охрана недр, № 9, 1980.

134. *Островский Э.Я., Прокопчук Б.И., Урусов А.Н*. Целевой прогноз при поисках кимберлитовых объектов. ДАН СССР, т. 280, № 3, 1985.

135. *Панов В.Д*. Эволюция современного оледенения Кавказа. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. – 429 с.

136. *Парамонов Б.А., Петросов В.В*. Опыт составления карт оценки степени селевой опасности на примере Дагестанской АССР. – В сб.: М-лы науч.-техн. совещ. по вопр. методики картирования селей: (Тез. докл.). Тбилиси, 1974. – 14 с.

137. *Пендин В.В*. Комплексный и количественный анализ информации в инженерной геологии (теория, методология, приложения): автореферат дис. … доктора геолого-минералогических наук. М.: 1992. – 44 с.

138. *Пендин В.В.* Комплексный количественный анализ информации в инженерной геологии: учеб. пособие. М.: КДУ. 2009. – 350 с.

139. *Полевые* методы гидрогеологических, инженерно-геологических, мерзлотных и инженерно-геофизических исследований / Под ред. В.И.Осипова и др. - М., Изд-во МГУ, 1982. – 272 с.

140. *Попов Е.В.* Применение информационного анализа к поискам россыпных месторождений алмазов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.– 2005.– № 4.– с. 69-70.

141. *Постановление* Правительства Республики Дагестан от 22.01.2010 г. № 14 «Об утверждении республиканских нормативов градостроительного проектирования» // Собрание законодательства Республики Дагестан, 15.03.2010. – № 5, ст. 196.

142. *Постановление* Правительства Республики Дагестан от 26.09.2012 г. № 322 (ред. от 31.12.2013) «Об утверждении республиканской целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Республики Дагестан в 2012-2020 годах» // Собрание законодательства Республики Дагестан, 28.09.2012. – № 18, ст. 757.

143. *Постановление* Правительства Республики Дагестан от 13.12.2013 г. № 663 «Об утверждении государственной программы Республики Дагестан «Защита населения и территории от чрезвычайных ситуаций, обеспечение пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах в Республике Дагестан на 2014-2018 годы». Документ опубликован не был. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

144. *Постоев Г.П.* Ранжирование факторов при прогнозном картировании оползнеопасных территорий. Вопросы инженерной геодинамики. - М.: ВСЕГИНГЕО. 1976, вып.105. – с. 37-47.

145. *Приказ* Минстроя РФ от 29.12.1995 г. № 17-139 «Об утверждении «Правил технической эксплуатации сооружений инженерной защиты населенных пунктов» // Документ опубликован не был. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

146. *Природные* опасности России. Т.1. Природные опасности и общество / Под ред. В.А. Владимирова, Ю.Л. Воробьева, В.И. Осипова. М.: Изд-во «КРУК», 2002. – 248 с.

147. *Природные* опасности России. Т.3. Экзогенные геологические опасности / Под ред. В.М. Кутепова, А.И. Шеко. М.: Изд-во «КРУК», 2002. – 345 с.

148. *Природные* опасности России. Т.6. Оценка и управление природными рисками / Под ред. А.Л. Рагозина. М.: Изд-во «КРУК», 2003. – 320 с.

149. *Распоряжение* Правительства Республики Дагестан от 23.07.2013 г. № 215-р «Об утверждении Перечня зон, на которых планируется создание комплексной системы экстренного оповещения населения, и Плана мероприятий по реализации Указа Президента Российской Федерации от 13 ноября 2012 г. № 1522 «О создании комплексной системы экстренного оповещения населения об угрозе возникновения или о возникновении чрезвычайных ситуаций» на территории Республики Дагестан в 2013 году» // Собрание законодательства Республики Дагестан, 31.07.2013. – № 14, ст. 980.

150. *Рац М.В*. Структурные модели в инженерной геологии. М., Недра, 1973. – 216 с.

151. *Математические* методы идентификации моделей в геологии. Под ред. Раца М.В. М.: Наука, 1983. – 145 с.

152. *Ревелис И.Л., Тагиров Б.Д.* Физико-механические свойства грунтов Мочохского оползня. – В кн.: Инж. геол. и строит. материалы. Махачкала, 1966. – с. 53-63.

153. *Ревзон А.Л.* Индикационный анализ космических фотоснимков в инженерной геоморфологии // Геоморфология, № 2, 1987. – с. 35-42.

154. *Ревзон А.Л.* Картографирование состояний геотехнических систем. - М.: Недра, 1992. – 223 с.

155. *Реестр* зарегистрированных в АГКГН географических названий объектов. Республика Дагестан по состоянию на 22/04/2014 // Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии [Электронный ресурс]. Дата обновления: 23.04.2014. URL: https://**rosreestr.ru**/wps/portal/cc_ib_data_catalog_place_names (дата обращения: 27.05.2014).

156. *Ресурсы* поверхностных вод СССР. Т. 9, вып. 3. Дагестан / Под ред. Алюшинской Н.М., Кузина П.С., Куприянова В.В. Л.: Гидрометеоиздат, 1966.

157. *Розовский Л.Б*. Введение в теорию геологического подобия и моделирования. М.: Недра, 1969. – 126 с.

158. *Розовский Л.Б., Зелинский И.П.* Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Одесса, 1975. – 115 с.

159. *Рычагов Г.И.* Верхнехазарские террасы Дагестана. В кн.: комплексные исследования Каспийского моря. МГУ, 1970, вып. 1. – с. 49-59.

160. *Садов А.В.* Аэрогеологические методы в инженерной геодинамике. М.: Недра, 1988. – 207 с.

161. *Самарин Е.Н., Бершов А.В., Фоменко И.К*. Курс лекций по методам статистической обработки инженерно-геологической информации: Уч. Пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 196 с.

162. *Сафронов И.Н., Хрисанов В.А.* О некоторых закономерностях проявления гравитационных процессов на Северном Кавказе. – Изв. СевКавНЦВШ. Серия естеств. н., 1974, №1. – с. 68-71.

163. *Симонян Г.С.* Анализ состояния нафтидных систем в свете синергетической теории информации // Современные наукоемкие технологии.– 2014.– № 4.– с. 108-112.

164. *Сиротенко Л.В.* Выявление зон развития трещиноватости в нетрадиционных сложнопостроенных коллекторах осадочных комплексов орогенных областей на основе теории информации // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений.– 2005.– № 3-4.– с. 35-41.

165. *СНиП* 2.06.15-85. Инженерная защита территорий от затопления и подтопления. М., 1985.

166. *СНиП* II-7-81. Строительство в сейсмических районах (Актуализированная редакция, (пересмотр)). М., 2014.

167. *Современные* геологические процессы на Черноморском побережье СССР / Под ред. А.И. Шеко. М.: Недра, 1976. – 184 с.

168. *Соловьев И.Г., Румянцева А.В., Веселова С.В.* Геологические явления в долинах рек Андийское Койсу, Аварское Койсу и Сулак. – Тр. Всес. проект.-изыскат. НИИ «Гидропроект», 1974, №37. – с. 31-45.

169. *СП* 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. (Актуализированная редакция СНиП 11-02-96). М., 2012.

170. *СП* 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. (Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003). М., 2012.

171. *Справочник* по климату СССР. Вып. 15. Дагестанская АССР, Азербайджанская ССР и Нахичеванская АССР. Метеорол. данные за отдельные годы Ч.2. Атмосферные осадки. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 366 с.

172. *Стратонович Р.Л.* Теория информации. М., «Сов. радио», 1975. – 424 с.

173. *Схема* территориального планирования Республики Дагестан. Т.1. Положения о территориальном планировании Республики Дагестан. Москва, 2007. – 30 с. [Электронный ресурс]. Дата обновления: 22.05.2013. URL: http://**минстройрд.рф**/content/стп-республики-дагестан-обновленный. (дата обращения: 18.06.2013).

174. *Схема* территориального планирования Республики Дагестан. Т.2. Материалы по обоснованию схемы территориального планирования. Кн.1. Москва, 2007. – 138 с. [Электронный ресурс]. Дата обновления: 22.05.2013. URL: http://**минстройрд.рф**/content/стп-республики-дагестан-обновленный. (дата обращения: 18.06.2013).

175. *Схема* территориального планирования Республики Дагестан. Т.2. Материалы по обоснованию схемы территориального планирования. Кн.2. Москва, 2007. – 164 с. [Электронный ресурс]. Дата обновления: 22.05.2013. URL: http://**минстройрд.рф**/content/стп-республики-дагестан-обновленный. (дата обращения: 18.06.2013).

176. *Схема* территориального планирования Республики Дагестан. Т.2. Материалы по обоснованию схемы территориального планирования. Кн.3. Москва, 2007. – 256 с. [Электронный ресурс]. Дата обновления: 22.05.2013. URL: http://**минстройрд.рф**/content/стп-республики-дагестан-обновленный. (дата обращения: 18.06.2013).

177. *Тагиров Б.Д., Гусейнов З.Т.* Об эффективности применения аэрометодов при оценке интенсивности проявления геодинамических процессов для инженерно-геологического районирования (на примере Горного Дагестана). – В сб.: Тез. докл. IV конф. по геологии и пол.иск. Сев. Кавказа (19-23 ноября). Ессентуки, 1974. – с. 298-299.

178. *Теоретические* основы инженерной геологии. Геологические основы / Под ред. акад. Сергеева Е.М. – М.: Недра, 1985. – 332 с.

179. *Теоретические* основы инженерной геологии. Механико-математические основы / Под ред. акад. Е.М. Сергеева. – М.: Недра, 1986. – 254 с.

180. *Тертеров А.А.* Селевые потоки в Южном Дагестане. «Даг. Правда», 1957. – 173 с.

181. *Толмачев В.В.* Вероятностный подход при оценке устойчивости закарстованных территорий и проектировании противокарстовых мероприятий //Инженерная геология. № 3, 1980. – с. 98-107.

182. *Толмачев В.В., Троицкий Г.М., Хоменко В.П.* Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий. Стройиздат. М., 1986. – 176 с.

183. *Толстых Е.А., Клюкин А.А.* Методика измерения количественных параметров экзогенных геологических процессов. – М., Недра, 1984. – 117 с.

184. *Трофимов В.Т.* Теоретические вопросы инженерно-геологического районирования // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 1979. – № 1. – с. 64-76.

185. *Трофимов В.Т.* Региональные геологические и зональные факторы формирования инженерно-геологических условий. В кн.: Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы. М.: Недра, 1985. – с. 242-244.

186. *Трофимов В.Т.* О содержании ряда фундаментальных понятий региональной инженерной геологии // Инженерная геология. 1986. № 5. – с. 10-21.

187. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г.* О роли подхода при инженерно-геологическом районировании // Геоэкология. – 1995. – № 1. – с. 86-95.

188. *Трушковский А.А.* История формирования Терско-Кумских песков и некоторые закономерности их зарастания. Ботанический ж-л, АН СССР ,1958, т. 43, №10. – с. 1418-1433.

189. *Трушковский А.А.* Стадии зарастания Терско-Кумских песков. Ботан. ж-л, М.-Л., 1959, т. 44, №5. – с. 672-681.

190. *Урсул А.Д.* Информационный критерий развития в природе. Философские науки, 1966, №2. – с. 57-63.

191. *Федеральный* закон от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ (ред. от 28.12.2013) «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» // Российская газета, 1994, № 250; Собрание законодательства РФ, 2013, № 52, ст. 6969.

192. *Федоренко В.С., Емельянов С.Н., Липилин В.И. и др.* Влияние режима обводнения и землетрясений на устойчивость горных оползневых склонов. – В сб.: Вопр. инж. геологии и грунтоведения. Вып. 4. – М., Изд-во МГУ, 1978. – с. 81-94.

193. *Физико-географическое* районирование СССР. Характеристика региональных единиц / Под ред. Н.А. Гвоздецкого. - М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1968. – 575 с.

194. *Царёв П.В., Балаев Л.Г.* Генезис лёссовых пород Центрального и Восточного Предкавказья. Сб. «Просадочные деформации лессовых пород Центр. Предкавказья». АН СССР, М., 1963. – с. 60-105.

195. *Цветков В.К.* Расчёт устойчивости откосов и склонов. Волгоград: Нижне-Волжское кн. изд-во, 1979. – 238 с.

196. *Чандра А.М., Гош С.К.* Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М.: Техносфера, 2008. – 312 с.

197. *Численность* населения России, федеральных округов, субъектов Российской Федерации, городских округов, муниципальных районов, городских и сельских поселений // Итоги Всероссийской переписи населения 2010 г. Т.1. Численность и размещение населения. Раздел II. Численность населения субъектов РФ по муниципальным образованиям. Табл. 11 [Электронный ресурс]. Дата создания ресурса: 2001-2013. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/**perepis2010**/croc/perepis_itogi1612.htm (дата обращения: 03.07.12).

198. *Чуринов М.В*. Справочник по инженерной геологии. М.: Недра, 1974. – 408 с.

199. *Чуринов М.В., Цыпина И.М*. К вопросу о роли новейших тектонических движений в развитии оползневых процессов на Южном берегу Крыма // Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии. Сб. 18. – М.: Госгеолтехиздат, 1959. – с. 83-92.

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

201. *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.

202. *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.

203. *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.

204. *Шарков В.В.* Геоморфологические исследования мелководий Кавказского побережья с применением аэрометодов. АН СССР, Отд. геолого-геогр. наук. Геоморфол. комиссия. М., 1960. – с. 1-16.

205. *Швец В.М., Лисенков А.Б., Попов Е.В.* Родники Москвы. – М.: Научный мир, 2002. – 160 с.

206. *Шеко А.И.* Закономерности формирования и прогноз селей. - М.: Недра, 1980. – 296 с.

207. *Шеко А.И.* Исследования механизма развития экзогенных геологических процессов и факторов, их обуславливающих: (Сб. науч. тр.). М. ВСЕГИНГЕО, 1985. – 119 с.

208. *Шеко А.И., Тарасова Г.И.* Методы изучения и прогноза экзогенных геологических процессов. М. ВСЕГИНГЕО, 1983. – 100 с.

209. *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд-во иностранной литературы. 1963. – 832 с.

210. *Шешеня Н.Л.* Основы инженерно-геологического прогнозирования. - М.: Наука, 1986. – 111 с.

211. *Шмырин В.А., Тагиров Б.Д.* Некоторые предпосылки возникновения оползней на территории Дагестанского нагорья. – «Сб. науч. сообщ. по строительству и архитектуре». ДГУ, 1969, №4. – с. 142-145.

212. *Штейнберг В.В., Левшин А.Л., Аптекман Ж.Я, Грудева Н.П.* Механизм и динамические параметры очага Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 г. // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1974. – №2. – с. 3-14.

213. *Эльдаров М.М.* География Дагестанской АССР. Махачкала: Дагучпедгиз, 1980.

214. *Althuwaynee O.F., Pradhan B., Park H.J., Lee J.H.* A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping // Catena, 2014. – № 114. – p. 21-36.

215. *Althuwaynee O.F., Pradhan B., Lee S.* Application of an evidential belief function model in landslide susceptibility mapping // Computers & Geosciences, 2012. – № 44. – p. 120-135.

216. *Caniani D., Pascale S., Sdao F., Sole A*. Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza // Natural Hazards, Springer (Ed.), 2008. – vol. 45. – p. 55-72.

217. *Chacón J., Irigaray C., Fernandez T., El Hamdouni R.* Engineering geology maps: landslides and geographical information systems // Bulletin of Engineering Geology and The Environment, 2006. – vol. 65. – p. 341-411.

218. *Choi J., Oh H.-J., Lee H.-J., Lee C., Lee S.* Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models using ASTER images and GIS // Engineering Geology, 2012. – № 124. – p. 12-23.

219. *Chu C.-M., Tsai B.-W., Chang K.-T.* Integrating Decision Tree and Spatial Cluster Analysis for Landslide Susceptibility Zonation // World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009. – vol.35. – p. 406-410.

220. *Chung C.F., Fabbri A.G.* Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1999. – vol. 65. – № 12. – p. 1389-1399.

221. *Domínguez-Cuesta M.J., Jiménez-Sánchez M., Berrezueta E.* Landslides in the Central Coalfield (Cantabrian Mountains, NW Spain): Geomorphological features, conditioning factors and methodological implications in susceptibility assessment // Geomorphology, 2007. – № 89. – p. 358-369.

222. *Dong J.-J., Tung Y.-H., Chen C.-C., Liao J.-J., Pan Y.-W.* Logistic regression model for predicting the failure probability of a landslide dam // Engineering Geology, 2011. – № 117. – p. 52-61.

223. *Duman T.Y., Can T., Gokceoglu C., Nefeslioglu H.A.* Landslide susceptibility mapping of Cekmece area (Istanbul, Turkey) by conditional probability // Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 2005. – № 2. – p. 155-208.

224. *Fabbri A.G., Chung C.F., Napolitano P., Remondo J., Zêzere J.L.* Prediction rate functions of landslide susceptibility applied in the Iberian Peninsula / Ed. Brebbia C.A.: Risk Analysis III, Series: Management Information Systems. WIT Press, Southampton, Boston, 2002. – vol.5. – p. 703-718.

225. *Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M., Reichenbach P.* Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy // Geomorphology, 1999. – № 31. – p. 181-216.

226. *Jadda M., Shafri H.Z.M., Mansor B.S., Sharifikia M., Pirateh S.* Landslide Susceptibility Evaluation and Factor Effect Analysis Using Probabilistic-Frequency Ratio Model // European Journal of Scientific Research, 2009. – vol. 33. – № 4. – p. 654-668.

227. *Kamp U., Growley B.J., Khattak G.A, Owen L.A.* GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region // Geomorphology, 2008. – № 101. – p. 631-642.

228. *Kessarkar P.M., Srinivas K., Suprit K., Chaubey A.K.* Proposed landslide mapping method for Canacona region / National Institute of Oceanography (Council of Scientific & Industrial Research), Dona Paula, Goa, 2011. – 42 p.

229. *Landslide* Science and Practice: vol. 1: Landslide Inventory and Susceptibility and Hazard Zoning / Eds. Margottini C. et al. Springer Berlin Heidelberg, 2013. – XVIII, 607 p.

230. *Landslide* Science and Practice: vol. 2: Early Warning, Instrumentation and Monitoring / Eds. Margottini C. et al. Springer Berlin Heidelberg, 2013. – XIX, 685 p.

231. *Landslide* Science and Practice: vol. 3: Spatial Analysis and Modelling / Eds. Margottini C. et al. Springer Berlin Heidelberg, 2013. – XVII, 440 p.

232. *Landslide* Science and Practice: vol. 4: Global Environmental Change / Eds. Margottini C. et al. Springer Berlin Heidelberg, 2013. – XVII, 431 p.

233. *Landslide* Science and Practice: vol. 5: Complex Environment / Eds. Margottini C. et al. Springer Berlin Heidelberg, 2013. – XVI, 354 p.

234. *Landslide* Science and Practice: vol. 6: Risk Assessment, Management and Mitigation / Eds. Margottini C. et al. Springer Berlin Heidelberg, 2013. – XX, 789 p.

235. *Landslide* Science and Practice: vol. 7: Social and Economic Impact and Policies / Eds. Margottini C. et al. Springer Berlin Heidelberg, 2013. – XVI, 333 p.

236. *Lebourg T., Hernandez M., Zerathe S., El Bedoui S., Jomard H., Fresia B.* Landslides triggered factors analysed by time lapse electrical survey and multidimensional statistical approach // Engineering Geology, 2010. – № 114. – p. 238-250.

237. *Lee S., Pradhan B.* Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia // Earth System Science, 2006. – № 115(6). – p. 661-672.

238. *Lei Z., Jing-Feng H.* GIS-based logistic regression method for landslide susceptibility mapping in regional scale // Journal of Zhejiang University (SCIENCE A), 2006. – № 7(12). – p. 2007-2017.

239. *Lévy S., Jaboyedoff M., Locat J., Demers D.* Erosion and channel change as factors of landslides and valley formation in Champlain Sea Clays: The Chacoura River, Quebec, Canada // Geomorphology, 2012. – № 145/146. – p. 12-18.

240. *Malet J.-P., Thiery Y., Hervás J., Günther A., Puissant A., Grandjean G.* Landslide susceptibility mapping at 1:1 M scale over France: exploratory results with a heuristic model / Proc. Int. Conf. on Landslide Processes: from Geomorphologic Mapping to Dynamic Modelling, 6-7 February 2009, Strasbourg, France. CERG Editions, Strasbourg, 2009. – p. 315-320.

241. *Pareta K., Pareta U.* Landslide Modeling and Susceptibility Mapping of Giri River Watershed, Himachal Pradesh (India) // International Journal of Science and Technology, 2012. – vol.1. – № 2. – p. 91-104.

242. *Pradhan B., Lee S.* Landslide risk analysis using artificial neural network model focusing on different training sites // International Journal of Physical Sciences, 2009. – vol. 4(1). – p. 001-015.

243. *Pradhan B., Mansor S., Pirasteh S.* Landslide Susceptibility Mapping: an Assessment of the Use of an Advanced Neural Network Model with Five Different Training Strategies / Artificial Neural Networks – Application (Ed. by C.-L. Hui). Publisher: InTech, 2011. – p. 361-388.

244. *Sarkar S., Kanungo D.P., Patra A.K., Kumar P.* GIS based landslide susceptibility mapping – A Case Study in Indian Himalaya / Universal Academy Press, Inc. Tokyo, Japan, 2006. – p. 617-624.

245. *Tassetti N., Bernardini A., Malinverni E.S.* Use of Remote Sensing Data and GIS Technology for Assessment of Landslide Hazards in Susa Valley, Italy / EARSeL Proceedings, 2008. – № 7. – p. 59-67.

246. *Van Den Eeckhaut M., Hervás J.* Landslide inventories in Europe and policy recommendations for their interoperability and harmonisation – A JRC contribution to the EU-FP7 SafeLand project. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2012. – 202 p.

247. *Vorpahl P., Elsenbeer H., Märker M., Schröder B.* How can statistical models help to determine driving factors of landslides // Ecological Modelling, 2012. – № 239. – p. 27-39.

248. *Weng M.-C., Wu M.-H., Ning S.-K., Jou Y.-W.* Evaluating triggering and causative factors of landslides in Lawnon River Basin, Taiwan // Engineering Geology, 2011. – № 123. – p. 72-82.

249. *Yang M.-D., Lin J.-Y., Yao C.-Y., Chen J.-Y., Su T.-C., Jan C.-D.* Landslide-induced levee failure by high concentrated sediment flow – A case of Shan-An levee at Chenyulan River, Taiwan // Engineering Geology, 2011. – № 123. – p. 91-99.

250. *Zêzere J.L., Ferreira A.B., Rodrigues M.L.* Landslides in the North of Lisbon Region (Portugal): Conditioning and Triggering Factors // Phys. Chem. Earth (A) (Elsevier Science Ltd.), 1999. – vol.24. – № 10. – p. 925-934.

251. *Zhou C.H., Lee C.F., Li J., Xu Z.W.* On the spatial relationship between landslides and causative factors on Lantau Island, Hong Kong // Geomorphology, 2002. – № 43. – p. 197-207.

Фондовая

252. *Геологическое* строение и гидрогеологическая характеристика Дагестанской АССР. Т.1. Геологическое строение. Отчет по III этапу темы № 505/69. Г. Грозный, 1972. – 274 с. (Северо-Кавказский филиал ФГБУ «Росгеолфонд»).

253. *Кулаев И.Г. и др*. Изучение условий развития и активизации ЭГП на участках их проявлений в горной части СОССР и ЧИССР. Специализированные работы по составлению карты м-ба 1:200 000 подверженности населенных пунктов и др. НХО СОССР воздействию ЭГП. Отчет отряда ЭГП службы «Прогноз» по работам 1986-91 г.г. в 3-х книгах. Кн.1. Текст отчета. Владикавказ, 1992 г. – 337 с. (Северо-Кавказский филиал ФГБУ «Росгеолфонд»).

254. *Лосев Е.И., Магомедов К.К., Шмырин В.А.* Отчет по изысканиям местных строительных материалов и инженерно-геологическому обследованию в р-нах ДАССР, пострадавших от землетрясения 14 мая 1970 г. Махачкала, 1971. – 57 с. (ФГБУ «Росгеолфонд»).

255. *Тагиров Б.Д.* Отчет по инженерно-геологическому обследованию Горного Дагестана с целью специального инженерно-геологического районирования в м-бе 1:200 000, за 1972-74 гг. Махачкала, 1974. – 267 с. (ФГБУ «Росгеолфонд»).

256. *Тагиров Б.Д.* Отчет по инженерно-геологическому обследованию оползневых и обвальных участков и гидрогеологическому обследованию с целью улучшения условий водоснабжения населенных пунктов на территории ДАССР за 1974-76 гг. Махачкала, 1976. – 99 с. (ФГБУ «Росгеолфонд»).

257. *Тагиров Б.Д., Руденко С.П., Роженцев В.П. и др*. Отчет о работах по изучению условий развития и режима активизации экзогенных геологических процессов на территории горной части ДАССР за 1979-1984 гг. Махачкала, 1984. – 572 с. (ФГБУ «Росгеолфонд»).

258. *Цыпина И.М., Царев П.В., Кузьмина Л.Н. и др*. Разработать методику и составить карту детального сейсмического районирования Северного Кавказа в масштабе 1:500 000 с учетом инженерно-геологических условий. П. Зеленый, 1998. – 77 с. (ФГБУ «Росгеолфонд»).

259. *Шихрагимов И.М., Шваров Н.С., Абдулкеримов Ш.Г. и др*. Изучение условий развития и режима ЭГП на территории Республики Дагестан за 1984-1990 гг. Махачкала, 1991. – 266 с. (Северо-Кавказский филиал ФГБУ «Росгеолфонд»).

260. *Шмырин В.А., Выстрочил В.В., Вирченко В.Ф*. Промежуточный отчет по инженерно-геологической съемке м-ба 1:2000 на Мочохском оползне и инженерно-геологическому обследованию м-ба 1:200 000 участков развития оползневых процессов в Горном Дагестане за 1964-66 гг. 1966. – 142 с. (ФГБУ «Росгеолфонд»).

261. *Шмырин В.А., Ключников В.И., Гусейнов З.Т.* Отчет по детальному инженерно-геологическому обследованию Курахского оползня в Курахском р-не Дагестанской АССР в 1967-71 гг. Махачкала, 1971. – 75 с. (ФГБУ «Росгеолфонд»).

262. *Шмырин В.А., Тагиров Б.Д., Фокин В.Д.* Отчет по детальному обследованию Мочохского оползня в Хунзахском р-не Дагестанской АССР в 1964-69 гг. Махачкала, 1969. – 103 с. (ФГБУ «Росгеолфонд»).

263. *Шмырин В.А., Тумков В.Ф., Тагиров Б.Д*. Промежуточный отчет по проведенным инженерно-геологическим работам в пределах Горного Дагестана на участках развития оползневых процессов за 1967-68 гг. Махачкала, 1968. – 58 с. (ФГБУ «Росгеолфонд»).

264. *Шмырин В.А., Фокин В.Д.* Отчет по детальному инженерно-геологическому обследованию Араканского оползневого участка в Унцукульском р-не Дагестанской АССР в 1967-69 гг. Махачкала, 1970. – 86 с. (ФГБУ «Росгеолфонд»).

Приложение

Таблица фактического материала

Группа признаков	Признак	№ признака	Параметр разбиения на классы	Тип признака	Классы признаков								Источник информации (в списке литературы)
					1×1 км²		5×5 км²		10×10 км²		15×15 км²		
					№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	
орографические и ландшафтные	Абсолютные отметки рельефа	x_1	м	колич.	1	< 358,9	1	< 565,4	1	< 554,0	1	< 837,6	составлено Шамурзаевой Д.А. [по данным Схемы…, Т.2, кн.1, 2007]
					2	358,9 - 746,7	2	565,4 - 1152,6	2	554,0 - 1102,7	2	837,6 - 1617,9	
					3	746,7 - 1134,5	3	1152,6 - 1739,8	3	1102,7 - 1651,4	3	1617,9 - 2398,3	
					4	1134,5 - 1522,3	4	1739,8 - 2327,0	4	1651,4 - 2200,1	4	2398,3 - 3178,6	
					5	1522,3 - 1910,1	5	2327,0 - 2914,2	5	2200,1 - 2748,8			
					6	1910,1 - 2297,9	6	2914,2 - 3501,4	6	2748,8 - 3297,5			
					7	2297,9 - 2685,8							
					8	2685,8 - 3073,6							
					9	3073,6 - 3461,4							
					10	3461,4 - 3849,2							
	Уклон земной поверхности	x_2	градусы	колич.	1	< 5,9	1	< 7	1	< 7	1	< 9	
					2	5,9 - 11,8	2	7 - 14	2	7 - 14	2	9 - 17	
					3	11,8 - 17,7	3	14 - 22	3	14 - 20	3	17 - 24	
					4	17,7 - 23,6	4	22 - 29	4	20 - 27	4	24 - 32	
					5	23,6 - 29,5	5	29 - 36	5	27 - 34			
					6	29,5 - 35,4							
					7	35,4 - 41,3							
					8	41,3 - 47,2							
	Экспозиция склонов	x_3	градусы	качеств.	1	Плоскость							
					2	С (0-22.5;337.5-360)							
					3	СВ (22.5-67.5)							
					4	В (67.5-112.5)							
					5	ЮВ (112.5-157.5)							
					6	Ю (157.5-202.5)							
					7	ЮЗ (202.5-247.5)							
					8	З (247.5-292.5)							
					9	СЗ (292.5-337.5)							
	Кривизна земной поверхности	x_4	форма поверхности	качеств.	1	вогнутая							
					2	условно плоская							
					3	выпуклая							
	Превышение над местным базисом эрозии	x_5	м	колич.	1	< 107,0	1	<207,1	1	<115,6	1	<132,5	
					2	107,0 - 261,5	2	207,1 - 414,8	2	115,6 - 230,1	2	132,5 - 254,5	
					3	261,5 - 415,9	3	414,8 - 622,4	3	230,1 - 344,6	3	254,5 - 376,5	
					4	415,9 - 570,4	4	622,4 - 830,1	4	344,6 - 459,1	4	376,5 - 498,4	

Группа признаков	Признак	№ признака	Параметр разбиения на классы	Тип признака	Классы признаков								Источник информации (в списке литературы)
					1×1 км^2		5×5 км^2		10×10 км^2		15×15 км^2		
					№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	
					5	570,4 - 724,8			5	459,1 - 573,6			
					6	724,8 - 879,3							
					7	879,3 - 1033,7							
					8	1033,7 - 1188,2							
					9	1188,2 - 1342,6							
					10	1342,6 - 1497,1							
	Густота речной сети	x_6	км/км^2	колич.	1	< 0,20	1	< 0,32	1	< 0,33	1	< 0,43	
					2	0,20 - 0,40	2	0,32 - 0,63	2	0,33 - 0,62	2	0,43 - 0,77	
					3	0,40 - 0,59	3	0,63 - 0,93	3	0,62 - 0,91	3	0,77 - 1,11	
					4	0,59 - 0,79	4	0,93 - 1,24	4	0,91 - 1,20	4	1,11 - 1,45	
					5	0,79 - 0,99	5	1,24 - 1,54	5	1,20 - 1,49			
					6	0,99 - 1,19							
					7	1,19 - 1,38							
					8	1,38 - 1,58							
	Ландшафт	x_7	тип	качеств.	1	Равнинный. Полупустынный. Ландшафт морских террас.							[Схема…, Т.2, кн.1, 2007]
					2	Равнинный. Сухостепной. Ландшафт морских террас.							
					3	Горный. Степной. Предгорный.							
					4	Горный. Степной. Среднегорный.							
					5	Горный. Ксерофитный. Долинно-котловинный.							
					6	Горный. Лугово-степной. Низкогорный.							
					7	Горный. Лугово-степной. Среднегорный.							
					8	Горный. Лесостепной. Предгорный.							
					9	Горный. Лесной. Низкогорный.							
					10	Горный. Лесной. Среднегорный.							
					11	Горный. Луговой. Высокогорный.							
					12	Горный. Нивальный. Высокогорный.							
					13	Равнинный. Лугово-болотно-степной. Дельтовый, болотный.							
					14	Равнинный. Лугово-болотно-степной. Дельтовый, лугово-степной.							
	Почвы	x_8	тип	качеств.	1	Аллювиально-луговые							[Схема…, Т.2, кн.1, 2007]
					2	Болотные							
					3	Бурые лесные остепнённые							
					4	Бурые лесные							
					5	Горно-долинные							
					6	Горно-каштановые							
					7	Горно-луговые							
					8	Горно-луговые примитивные							
					9	Горно-луговые черноземовидные							

Группа признаков	Признак	№ признака	Параметр разбиения на классы	Тип признака	Классы признаков								Источник информации (в списке литературы)
					1×1 км^2		5×5 км^2		10×10 км^2		15×15 км^2		
					№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	
					10	Горные лугово-лесные							
					11	Горные черноземы							
					12	Каштановые карбонатные							
					13	Каштановые солонцеватые							
					14	Коричневые							
					15	Лугово-каштановые							
					16	Луговые карбонатные							
					17	Луговые солончаковые							
					18	Светло-каштановые солонцеватые							
					19	Светло-каштановые солончаковые							
					20	Солончаки							
					21	Темно-каштановые							
	Растительность	x_9	тип	качеств.	1	Горная луговая растительность							[Схема…, Т.2, кн.1, 2007]
					2	Леса густые высокие (обычные)							
					3	Полукустарники							
					4	Виноградники							
					5	Кустарники							
					6	Пески							
					7	Поросль леса							
					8	Редколесье							
					9	Фруктовые и цитрусовые сады							
					10	Растительность отсутствует							
					11	Горная степная травянистая растительность							
	Территории развития селевого процесса	x_{10}	Наличие селевых водотоков	качеств.	1	Процесс не развит							[Тагиров, 1974]
					2	Распространены селевые водотоки							
	Территории развития обвально-осыпных процессов	x_{11}	Наличие проявлений обвально-осыпных процессов	качеств.	1	Процесс не развит							[Схема…, Т.2, кн.1, 2007]
					2	Распространены осыпи							
					3	Распространены скалы и обрывы							
гидрометеорологические	Средняя годовая температура воздуха	x_{12}	°С	колич.	1	< 1,5	1	< 2,3	1	< 3,2	1	< 3,3	составлено Шамурзаевой Д.А. [по данным Научно-прикладного
					2	1,5 - 3,8	2	2,3 - 4,9	2	3,2 - 6,3	2	3,3 - 6,3	
					3	3,8 - 6,0	3	4,9 - 7,5	3	6,3 - 9,5	3	6,3 - 9,3	
					4	6,0 - 8,3	4	7,5 - 10,1	4	9,5 - 12,6	4	9,3 - 12,4	
					5	8,3 - 10,5	5	10,1 - 12,7					
					6	10,5 - 12,8							

Группа признаков	Признак	№ признака	Параметр разбиения на классы	Тип признака	Классы признаков								Источник информации (в списке литературы)
					1×1 км^2		5×5 км^2		10×10 км^2		15×15 км^2		
					№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	
	Средняя годовая температура поверхности почвы	x_{13}	°С	колич.	1	< 10,5	1	< 10,7	1	< 11,6	1	< 11,6	справочника …, вып.13, вып.15, 1990]
					2	10,5 - 11,8	2	11,9	2	13,6	2	13,6	
					3	11,8 - 13,2	3	13,2	3	15,6	3	15,5	
					4	13,2 - 14,5	4	14,5					
					5	14,5 - 15,8	5	15,7					
	Годовое количество осадков	x_{14}	мм/год	колич.	1	< 433,7	1	< 508,5	1	< 594,9	1	< 551,0	
					2	433,7 - 502,2	2	508,5 - 640,5	2	594,9 - 807,1	2	551,0 - 707,2	
					3	502,2 - 570,6	3	640,5 - 772,5	3	807,1 - 1019,2	3	707,2 - 863,4	
					4	570,6 - 639,1	4	772,5 - 904,5			4	863,4 - 1019,6	
					5	639,1 - 707,5	5	904,5 - 1036,5					
					6	707,5 - 776,0							
					7	776,0 - 844,4							
					8	844,4 - 912,9							
					9	912,9 - 981,3							
					10	981,3 - 1049,8							
	Среднее максимальное суточное количество осадков	x_{15}	мм/сут	колич.	1	< 39,6	1	< 42,1	1	< 42,1	1	< 47,1	
					2	39,6 - 45,1	2	42,1 - 49,2	2	42,1 - 48,7	2	47,1 - 57,6	
					3	45,1 - 50,6	3	49,2 - 56,4	3	48,7 - 55,4	3	57,6 - 68,1	
					4	50,6 - 56,1	4	56,4 - 63,5	4	55,4 - 62,0			
					5	56,1 - 61,6	5	63,5 - 70,7	5	62,0 - 68,6			
					6	61,6 - 67,1							
					7	67,1 - 72,6							
характеристика состава и состояния грунтов	Литологическая характеристика четвертичных отложений	x_{16}	Комплексы отложений (генезис, состав)	качеств.	1	[R] *Выходы дочетвертичных образований*							[Государственная геологическая карта…, 2009]
					17	[aH] *Аллювий русел, пойм, низких надпойменных террас*. Валунно-галечные отложения, гравийные пески, глины (до 30 м)							
					7	[d,cH] *Делювий и коллювий с участием солифлюксия*. Мелкозем плывунный, щебнисто-глинистый и дресвяно-глинистый (до 6 м)							
					6	[laH] *Лимноаллювий*. Глины иловатые, суглинки, супеси (до 10 м)							
					15	[mH] *Мариний*. Новокаспийские и черноморские отложения. Пески полимиктовые, детритусовые с прослоями галечников и иловатых глин (8-25 м)							
					8	[e,sH] *Элювий и солифлюксий*. Суглинки и супеси щебнисто-дресвяные (до 10 м)							
					10	[gIII^4-H] *Гляциалий, глациофлювиал и гляциолимний*. Валунно-галечные отложения с включениями глыб, дресвы, щебня, песка, глины (до 450 м)							
					12	[DIII^4-H] *Коллювий, десерпций, солифлюксий*. Щебень с глыбами, дресвой, суглинками и скальными отторженцами (до 40 м)							
					4	[eIII^4-H] *Элювий*. Дресвяные суглинки и глины с включениями щебня (до 5 м)							
					9	[d,dpIII-H] *Делювий и деляпсий*. Суглинки щебнисто-дресвяные с включениями глыб (до							

Группа признаков	Признак	№ признака	Параметр разбиения на классы	Тип признака	Классы признаков								Источник информации (в списке литературы)
					1×1 км^2		5×5 км^2		10×10 км^2		15×15 км^2		
					№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	
						10 м)							
					11	[d,cIII-H] *Делювий и коллювий с участием солифлюксия*. Глыбово-щебнистые накопления с дресвой и глиной (до 50 м)							
					3	[cIII-H] *Коллювий.* Щебнистые глины и суглинки, дресва, отломники (до 30 м)							
					5	[e,dIII-H] *Элювий и делювий.* Суглинки и супеси с дресвой, щебнем и глыбняком (до 200 м)							
					20	[aIII] *Аллювий*. Валунно-галечные отложения с песком и гравием, глины, илы, алевролиты (до 400 м)							
					16	[mIII] *Мариний*. Пески, галечники, глины с редкой ракушкой (до 40 м)							
					2	[aII-III] *Аллювий.* Глины песчанистые, супеси, гравийники, галечники (до 20 м)							
					14	[LII-III] *Лессоид*. Лёссовидные суглинки с четырьмя горизонтами погребенных почв (до 61 м)							
					19	[mII] *Мариний*. Валунно-галечные отложения и конгломераты с прослоями песков (до 12 м)							
					13	[mI] *Мариний*. Галечники и гравийники с редкими валунами и прослоями песков (до 150 м)							
					18	[mEap] *Мариний апшеронский*. Глины, песчаники, пески, прослои мергелей, галечников, ракушечников (до 600 м)							
	Литологическая характеристика дочетвертичных отложений	x_{17}	Комплексы отложений (возраст, состав)	качеств.	1	[N_2gl] *Гильярская толща*. Глины с прослоями песков, песчаников, конгломератов, галечников, реже известняков и пеплов (до 750 м).							[Государственная геологическая карта…, 2009]
					9	[N_2ad] *Алдыкская толща*. Пески, песчаники, глины, линзы галечников, прослои известняков (до 350 м).							
					21	[N_2tr] *Тарумовская толща*. Глины, пески, песчаники, конгломераты, прослои мергелей, ракушечников (до 360 м).							
					10	[N_1čt] *Чуртовская серия*. Глины, прослои ракушечников и оолитовых известняков, редко конгломератов, линзы бурого угля (до 700 м).							
					11	[N_1bg] *Брагунская серия*. Глины с редкими прослоями песков, мергелей, песчаников, известняков и ракушечников (до 1000 м).							
					12	[N_1čk] *Чакаурская толща*. Глины, песчаники, пески, прослои известняков (до 400 м).							
					13	[N_1tl+čg] *Талгинская серия и черногорская свита*. Глины, песчаники, прослои мергелей, алевролитов (до 1500 м).							
					3	[N_1tl+ar] *Талгинская и артузенская серии объединенные*. Глины, пески, песчаники, прослои алевролитов, мергелей, линзы ракушечников (до 1130 м).							
					2	[~~P~~$_3$-N_1ts] *Терско-Сулакская серия*. Глины, прослои песчаников, алевролитов, мергелей (до 1700 м).							
					4	[~~P~~$_{1\text{-}2}$kb-sv] *Кабардинская, сюжинская и суворовская серии объединенные*. Мергели, известняки, глины мергельные, алевролиты, редко прослои песков (до 720 м).							
					14	[K_2gr] *Гергебильская серия*. Известняки, мергели, песчаники, олистостромы (до 1000 м).							
					15	[K_1ak] *Акушинская серия*. Аргиллиты, песчаники, мергели, известняки, алевролиты (до 650 м).							

Группа признаков	Признак	№ признака	Параметр разбиения на классы	Тип признака	Классы признаков								Источник информации (в списке литературы)
					1×1 км^2		5×5 км^2		10×10 км^2		15×15 км^2		
					№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	
					8	[K_1kt+ča] *Кутишская и чанты-аргунская серии объединенные*. Известняки, песчаники, аргиллиты, прослои мергелей, доломитов, брекчий, линзы гравелитов и конгломератов, гипсы (до 1300 м).							
					22	[K_1di-tk] *Доломитово-известняковая и терригенно-карбонатная толщи объединенные*. Известняки, доломиты, мергели, аргиллиты, алевролиты (до 700 м).							
					23	[K_1bb] *Бабадагская свита*. Песчаники, известняки, мергели, аргиллиты (до 220 м).							
					24	[J_3šh+sd] *Шахдагская и судурская свиты объединенные*. Известняки, доломиты, прослои глин, песчаников, гипсов (до 800 м).							
					16	[J_{2-3}zk] *Закатало-ковдагская серия*. Флиш. Аргиллиты, алевролиты, мергели, песчаники, известняки (до 1100 м).							
					6	[J_{2-3}kh] *Кионхохская серия*. Известняки, доломиты, алевролиты, песчаники, прослои глин, мергелей, кремней, в основании конгломераты, линзы гипса (до 3000 м).							
					17	[J_2ah] *Агвали-хивская серия*. В основании – аргиллиты, алевролиты, реже песчаники (до 3100 м). В кровле – песчаники, аргиллиты, алевролиты, прослои известняков, мергелей, конгломератов.							
					18	[J_{1-2}fg-at] *Фиагдонская, джоахорская и аттагайская серии объединенные*. Глинистые сланцы, песчаники, алевролиты, горизонты базальтов, лавобрекчий (более 3750 м).							
					19	[J_{1-2}hl-krt] *Халахельская, аттагай-мулларчайская и куртатинская серии объединенные*. Песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, прослои известняков, туффитов, лавы кислого и среднего состава (более 10500 м).							
					5	[J_{1-2}cr-kr] *Цурибская, хельдихойская, квандринская, рубасчайская и курахчайская серии объединенные*. Аргиллиты, алевролиты, прослои песчаников, песков, угля, линзы конгломератов (до 13280 м).							
					7	[J_{1-2}dm-bž] *Джурмутская, джурмутско-самурская, самурская, ахтынская серии и бежитинская свита объединенные*. Аргиллиты, алевролиты, прослои песчаников, редко горизонты дацитов, риолитов и их туфов (до 1200 м).							
					20	[J_1ša] *Шароаргунская серия*. Аргиллиты, алевролиты, прослои песчаников, линзы конгломератов, конкреции глинистых сидеритов (более 5850 м).							
	Литологическая характеристика отложений, дочетвертичные и четвертичные объединенные	x_{18}	Комплексы отложений (грунтовые толщи)	качеств.	1	**Скальные.** Аргиллиты, алевролиты, песчаники, мергели, известняки, глинистые сланцы, прослои конгломератов, туффитов, лавы кислого и среднего состава, горизонты базальтов, лавобрекчий, дацитов, риолитов и их туфов.							составлено Шамурзаевой Д.А. [по данным Государственной геологической карты…, 2009]
					2	**Скальные с прослоями глинистых.** Известняки, доломиты, алевролиты, песчаники, прослои глин, линзы гипса.							
					3	**Скальные с прослоями песчаных.** Аргиллиты, алевролиты, песчаники, линзы конгломератов, прослои песков и угля.							
					4	**Глинистые.** Глины с прослоями песков, песчаников, конгломератов, галечников, известняков, мергелей, линзами бурого угля.							

Группа признаков	Признак	№ признака	Параметр разбиения на классы	Тип признака	Классы признаков								Источник информации (в списке литературы)
					1×1 км^2		5×5 км^2		10×10 км^2		15×15 км^2		
					№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	
					5	**Глинистые[1].** Мелкозем плывунный, щебнисто-глинистый и дресвяно-глинистый, подстилаемый глинами с прослоями песков, песчаников, конгломератов, галечников, известняков, мергелей, линзами бурого угля.							
					6	**Глинистые.** Суглинки щебнисто-дресвяные с включениями глыб, подстилаемые глинами с прослоями песчаников, алевролитов, мергелей.							
					7	**Глинистые с включениями крупнообломочных**. Суглинки и супеси с дресвой, щебнем и глыбняком.							
					8	**Крупнообломочные**. Галечники и гравийники с редкими валунами и прослоями песков.							
					9	**Крупнообломочные с глинистым заполнителем.** Валунно-галечные отложения с включениями глыб, дресвы, щебня, песка, глины.							
					10	**Лёссовые, подстилаемые глинистыми.** Лессовидные суглинки с 4 горизонтами погребенных почв, подстилаемые глинами с прослоями песков, песчаников, конгломератов, галечников, известняков, мергелей, линзами бурого угля.							
					11	**Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые глинистыми.** Глины песчанистые, супеси, гравийники, галечники, подстилаемые глинами с прослоями песков, песчаников, конгломератов, галечников, известняков, мергелей, линзами бурого угля.							
					12	**Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые глинистыми.** Щебнистые глины и суглинки, дресва, отломники, подстилаемые глинами с прослоями песков, песчаников, конгломератов, галечников, известняков, мергелей, линзами бурого угля.							
					13	**Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые глинистыми.** Глыбово-щебнистые накопления с дресвой и глиной, подстилаемые глинами с прослоями песков, песчаников, конгломератов, галечников, известняков, мергелей, линзами бурого угля.							
					14	**Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые глинистыми.** Щебень с глыбами, дресвой и скальными отторженцами**,** подстилаемый глинами с прослоями песков, песчаников, конгломератов, галечников, известняков, мергелей, линзами бурого угля.							
					15	**Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые глинистыми.** Валунно-галечные отложения, гравийные пески, глины, подстилаемые глинами с прослоями песков, песчаников, конгломератов, галечников, известняков, мергелей, линзами бурого угля.							
					16	**Песчаные с прослоями глинистых и крупнообломочных, подстилаемые глинистыми.** Пески полимиктовые, детритусовые с прослоями галечников и иловатых глин**,** подстилаемые глинами с прослоями песков, песчаников, конгломератов, галечников,							

[1] Одноименные толщи, представленные разновидностями грунтов.

Группа признаков	Признак	№ признака	Параметр разбиения на классы	Тип признака	Классы признаков								Источник информации (в списке литературы)
					1×1 км^2		5×5 км^2		10×10 км^2		15×15 км^2		
					№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	
						известняков, мергелей, линзами бурого угля.							
					17	**Песчаные, крупнообломочные и глинистые переслаивающиеся, подстилаемые глинистыми.** Пески, галечники, глины с редкой ракушкой, подстилаемые глинами с прослоями песков, песчаников, конгломератов, галечников, известняков, мергелей, линзами бурого угля.							
					18	**Глинистые, подстилаемые скальными.** Мелкозем плывунный, щебнисто-глинистый и дресвяно-глинистый, подстилаемый известняками, мергелями, доломитами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами, олистостромами с прослоями брекчий, линзами гравелитов и конгломератов, гипсами.							
					19	**Глинистые, подстилаемые скальными.** Дресвяные суглинки и глины с включениями щебня, подстилаемые аргиллитами, алевролитами, песчаниками, мергелями, известняками, глинистыми сланцами с прослоями конгломератов, туффитов, лавами кислого и среднего состава, горизонтами базальтов, лавобрекчий, дацитов, риолитов и их туфов.							
					20	**Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые скальными.** Глины песчанистые, супеси, гравийники, галечники, подстилаемые известняками, мергелями, доломитами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами, олистостромами с прослоями брекчий, линзами гравелитов и конгломератов, гипсами.							
					21	**Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые скальными.** Щебнистые глины и суглинки, дресва, отломники, подстилаемые известняками, мергелями, доломитами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами, олистостромами с прослоями брекчий, линзами гравелитов и конгломератов, гипсами.							
					22	**Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые скальными.** Глыбово-щебнистые накопления с дресвой и глиной, подстилаемые аргиллитами, алевролитами, песчаниками, мергелями, известняками, глинистыми сланцами с прослоями конгломератов, туффитов, лавами кислого и среднего состава, горизонтами базальтов, лавобрекчий, дацитов, риолитов и их туфов.							
					23	**Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые скальными.** Щебень с глыбами, дресвой и скальными отторженцами, подстилаемый аргиллитами, алевролитами, песчаниками, мергелями, известняками, глинистыми сланцами с прослоями конгломератов, туффитов, лавами кислого и среднего состава, горизонтами базальтов, лавобрекчий, дацитов, риолитов и их туфов.							
					24	**Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые скальными.** Валунно-галечные отложения, гравийные пески, глины, подстилаемые аргиллитами, алевролитами, песчаниками, мергелями, известняками, глинистыми сланцами с прослоями конгломератов, туффитов, лавами кислого и среднего состава, горизонтами базальтов, лавобрекчий, дацитов, риолитов и их туфов.							
					25	**Глинистые, подстилаемые скальными с прослоями глинистых.** Мелкозем плывунный, щебнисто-глинистый и дресвяно-глинистый, подстилаемый известняками, доломитами,							

Группа признаков	Признак	№ признака	Параметр разбиения на классы	Тип признака	Классы признаков								Источник информации (в списке литературы)
					1×1 км^2		5×5 км^2		10×10 км^2		15×15 км^2		
					№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	
						алевролитами, песчаниками с прослоями глин, линзами гипса.							
					26	**Глинистые, подстилаемые скальными с прослоями песчаных.** Мелкозем плывунный, щебнисто-глинистый и дресвяно-глинистый, подстилаемый аргиллитами, алевролитами, песчаниками с линзами конгломератов, прослоями песков и угля.							
					27	**Глинистые с включениями крупнообломочных, подстилаемые скальными с прослоями песчаных.** Дресвяные суглинки и глины с включениями щебня, подстилаемые аргиллитами, алевролитами, песчаниками с линзами конгломератов, прослоями песков и угля.							
					28	**Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые скальными с прослоями песчаных.** Щебнистые глины и суглинки, дресва, отломники, подстилаемые аргиллитами, алевролитами, песчаниками с линзами конгломератов, прослоями песков и угля.							
					29	**Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые скальными с прослоями глинистых.** Глыбово-щебнистые накопления с дресвой и глиной, подстилаемые известняками, доломитами, алевролитами, песчаниками с прослоями глин, линзами гипса.							
					30	**Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые скальными с прослоями песчаных.** Глыбово-щебнистые накопления с дресвой и глиной, подстилаемые аргиллитами, алевролитами, песчаниками с линзами конгломератов, прослоями песков и угля.							
					31	**Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые скальными с прослоями глинистых.** Щебень с глыбами, дресвой и скальными отторженцами, подстилаемый известняками, доломитами, алевролитами, песчаниками с прослоями глин, линзами гипса.							
					32	**Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые скальными с прослоями песчаных.** Щебень с глыбами, дресвой и скальными отторженцами, подстилаемый аргиллитами, алевролитами, песчаниками с линзами конгломератов, прослоями песков и угля.							
					33	**Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые скальными с прослоями глинистых.** Валунно-галечные отложения, гравийные пески, глины, подстилаемые известняками, доломитами, алевролитами, песчаниками с прослоями глин, линзами гипса.							
					34	**Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые скальными с прослоями песчаных.** Валунно-галечные отложения, гравийные пески, глины, подстилаемые аргиллитами, алевролитами, песчаниками с линзами конгломератов, прослоями песков и угля.							
					35	**Глинистые, подстилаемые скальными и глинистыми с редкими прослоями песчаных.** Суглинки щебнисто-дресвяные с включениями глыб, подстилаемые мергелями,							

Группа признаков	Признак	№ признака	Параметр разбиения на классы	Тип признака	Классы признаков								Источник информации (в списке литературы)
					1×1 км^2		5×5 км^2		10×10 км^2		15×15 км^2		
					№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	
						известняками, алевролитами, глинами мергельными с редкими прослоями песков.							
					36	**Глинистые, подстилаемые скальными, глинистыми и песчаными.** Суглинки щебнисто-дресвяные с включениями глыб, подстилаемые глинами, песками, песчаниками с прослоями алевролитов, мергелей, линзами ракушечников.							
					37	**Глинистые и крупнообломочные переслаивающиеся, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными.** Глины песчанистые, супеси, гравийники, галечники, подстилаемые глинами, песками, песчаниками с прослоями алевролитов, мергелей, линзами ракушечников.							
					38	**Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые скальными и глинистыми с редкими прослоями песчаных.** Глыбово-щебнистые накопления с дресвой и глиной, подстилаемые мергелями, известняками, алевролитами, глинами мергельными с редкими прослоями песков.							
					39	**Крупнообломочные с глинистым заполнителем, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными.** Глыбово-щебнистые накопления с дресвой и глиной, подстилаемые глинами, песками, песчаниками с прослоями алевролитов, мергелей, линзами ракушечников.							
					40	**Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые скальными и глинистыми с редкими прослоями песчаных.** Щебень с глыбами, дресвой и скальными отторженцами, подстилаемый мергелями, известняками, алевролитами, глинами мергельными с редкими прослоями песков**.**							
					41	**Крупнообломочные с суглинистым заполнителем, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными.** Щебень с глыбами, дресвой и скальными отторженцами, подстилаемый глинами, песками, песчаниками с прослоями алевролитов, мергелей, линзами ракушечников.							
					42	**Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые скальными и глинистыми с редкими прослоями песчаных.** Валунно-галечные отложения, гравийные пески, глины, подстилаемые мергелями, известняками, алевролитами, глинами мергельными с редкими прослоями песков.							
					43	**Преимущественно крупнообломочные и глинистые, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными.** Валунно-галечные отложения, гравийные пески, глины, подстилаемые глинами, песками, песчаниками с прослоями алевролитов, мергелей, линзами ракушечников.							
					44	**Песчаные с прослоями глинистых и крупнообломочных, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными.** Пески полимиктовые, детритусовые с прослоями галечников и иловатых глин, подстилаемые глинами, песками, песчаниками с прослоями алевролитов, мергелей, линзами ракушечников.							
					45	**Песчаные, крупнообломочные и глинистые, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными.** Пески, галечники, глины с редкой ракушкой, подстилаемые глинами,							

Группа признаков	Признак	№ признака	Параметр разбиения на классы	Тип признака	Классы признаков								Источник информации (в списке литературы)
					1×1 км^2		5×5 км^2		10×10 км^2		15×15 км^2		
					№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	
						песками, песчаниками с прослоями алевролитов, мергелей, линзами ракушечников.							
					46	**Глинистые, песчаные и скальные с прослоями крупнообломочных и скальных.** Глины, песчаники, пески, прослои мергелей, галечников, ракушечников.							
					47	**Глинистые, песчаные и скальные.** Глины, пески, песчаники, прослои алевролитов, мергелей, линзы ракушечников.							
					48	**Скальные и глинистые с редкими прослоями песчаных.** Мергели, известняки, алевролиты, глины мергельные, редкие прослои песков.							
					49	**Крупнообломочные и скальные с прослоями песчаных, подстилаемые глинистыми с прослоями песчаных и скальных.** Валунно-галечные отложения и конгломераты с прослоями песков, подстилаемые глинами с прослоями песков, песчаников, конгломератов, галечников, известняков, мергелей, линзами бурого угля.							
					50	**Крупнообломочные и скальные с прослоями песчаных, подстилаемые глинистыми, песчаными и скальными.** Валунно-галечные отложения и конгломераты с прослоями песков, подстилаемые глинами, песками, песчаниками с прослоями алевролитов, мергелей, линзами ракушечников.							
					51	**Преимущественно крупнообломочные, глинистые и скальные.** Валунно-галечные отложения с песком и гравием, глины, илы, алевролиты**,** песчаники.							
	Характеристика состояния грунтов обусловленного фазовым состоянием воды в них	x_{19}	1.мерзлые/талые грунты; 2.уровень грунтовых вод (УГВ, м) в области распространения талых грунтов	качеств.	1	Область распространения талых грунтов: УГВ=0-2							составлено Шамурзаевой Д.А. [по данным Цыпиной и др., 1998], по итогам дешифрирования КФС
					2	Область распространения талых грунтов: УГВ=2-5							
					3	Область распространения талых грунтов: УГВ>5							
					4	Область распространения ММП							
тектонические	Тектонические структуры	x_{20}	тип	качеств.	1	Избербаш-Дербентская складчатая зона							[Государственная геологическая карта…, 2009]
					2	Зона Известнякового Дагестана							
					3	Зона Бокового хребта							
					4	Агвали-Хивская складчатая зона							
					5	Восточно-Дагестанская моноклиналь							
					6	Шахдагская моноклиналь							
					7	Казбегско-Лагодехская складчато-надвиговая зона							
					8	Бежитинская тектоническая зона							
					9	Чиауро-Закатальская флишевая зона							
					10	Шаро-Аргунская тектоническая зона							
					11	Предгорная зона локальных впадин							
					12	Терско-Сунженская зона осевой складчатости							
					13	Терско-Сулакская зона локальных впадин и поднятий							

Группа признаков	Признак	№ признака	Параметр разбиения на классы	Тип признака	Классы признаков								Источник информации (в списке литературы)
					1×1 км^2		5×5 км^2		10×10 км^2		15×15 км^2		
					№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	
					14	Кусаро-Дивичинский наложенный прогиб							
					15	Локальные положительные структуры 3-го порядка, установленные геологической съемкой или бурением							
					16	Локальные положительные структуры 3-го порядка, предполагаемые							
	Сейсмичность территории	x_{21}	балльность, повторяемость	качеств.	1	5-6; 8 – 1 раз в 1000 лет							[Цыпина и др., 1998]
					2	6-7; 8 – 1 раз в 1000 лет							
					3	7-8; 8 – 1 раз в 1000 лет							
					4	<5; 8 – 1 раз в 1000 лет							
					5	5-6; 9 – 1 раз в 1000 лет							
					6	6-7; 9 – 1 раз в 1000 лет							
					7	7-8; 9 – 1 раз в 1000 лет							
					8	<5; 9 – 1 раз в 1000 лет							
	Разрывные нарушения	x_{22}	наличие, азимут простирания	качеств.	1	разломы отсутствуют							[Государственная геологическая карта…, 2009]
					2	разломы ЮВ простирания							
					3	разломы СВ простирания							
	Скорость современных тектонических движений	x_{23}	мм/год	качеств.	1	-2-0							[Цыпина и др., 1998]
					2	0-+2							
					3	+2-+4							
					4	+4-+6							
					5	+6-+8							
					6	>+8							
техногенной нагрузки	Транспортная освоенность (плотность дорожной сети)	x_{24}	км/км^2	колич.	1	< 0,15	1	< 0,22	1	< 0,21	1	< 0,20	составлено Шамурзаевой Д.А. [по данным Схемы…, Т.2, кн.3, 2007]
					2	0,15 - 0,31	2	0,22 - 0,44	2	0,21 - 0,40	2	0,20 - 0,33	
					3	0,31 - 0,46	3	0,44 - 0,66	3	0,40 - 0,60	3	0,33 - 0,46	
					4	0,46 - 0,61	4	0,66 - 0,88	4	0,60 - 0,80	4	0,46 - 0,59	
					5	0,61 - 0,77					5	0,59 - 0,72	
					6	0,77 - 0,92							
	Сельскохозяйственная освоенность (удельная продуктивность)	x_{25}	тыс.руб./км^2	качеств.	1	100-300							[Схема…, Т.2, кн.1, 2007]
					2	300-700							
					3	700-1200							
					4	1200-1800							
					5	1800-2500							
					6	>2500							
	Демографическая освоенность (плотность	x_{26}	чел./км^2	качеств.	1	10							составлено Шамурзаевой Д.А. [по
					2	14							
					3	17							

Группа признаков	Признак	№ признака	Параметр разбиения на классы	Тип признака	Классы признаков								Источник информации (в списке литературы)
					1×1 км^2		5×5 км^2		10×10 км^2		15×15 км^2		
					№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	
	населения)				4	20							данным Численности населения…, 2010]
					5	22							
					6	29							
					7	32							
					8	33							
					9	40							
					10	41							
					11	42							
					12	46							
					13	48							
					14	51							
					15	53							
					16	57							
					17	58							
					18	66							
					19	73							
					20	76							
					21	78							
					22	79							
					23	86							
					24	87							
					25	88							
					26	95							
					27	99							
					28	118							
					29	121							
					30	131							
					31	1489							
					32	1713							
					33	1832							
					34	2430							
					35	2989							
					36	3407							
	Градостроительная освоенность (плотность населенных	x_{27}	ед./км^2	колич.	1	< 0,02	1	< 0,03	1	< 0,03	1	< 0,03	составлено Шамурзаевой Д.А. [по данным
					2	0,02 - 0,04	2	0,03 - 0,06	2	0,03 - 0,06	2	0,03 - 0,06	
					3	0,04 - 0,06	3	0,06 - 0,09	3	0,06 - 0,08	3	0,06 - 0,08	
					4	0,06 - 0,08	4	0,09 - 0,12	4	0,08 - 0,11	4	0,08 - 0,11	

Группа признаков	Признак	№ признака	Параметр разбиения на классы	Тип признака	Классы признаков								Источник информации (в списке литературы)
					1×1 км^2		5×5 км^2		10×10 км^2		15×15 км^2		
					№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	№ класса	классы	
	пунктов)				5	0,08 - 0,10							Численности населения…, 2010; Реестра…, 2014]
					6	0,10 - 0,12							
	Территории развития оползневого процесса	Y_1	наличие проявлений оползневого процесса	качеств.	1	Процесс не развит							составлено Шамурзаевой Д.А. [по данным Тагирова, 1974; Шихрагимова и др., 1991]
					2	Распространены оползневые проявления							
		Y_2	пораженность территории оползневым процессом, %	колич.	1	0,074659	1	0,045785	1	0,020484	1	0,019493	
					2	0,451658	2	0,276981	2	0,123924	2	0,117927	
					3	2,732372	3	1,675637	3	0,749694	3	0,713415	
					4	16,52989	4	10,13701	4	4,535385	4	4,315910	
					5	100, 0	5	61,32534	5	27,43748	5	26,10973	