

ОЦЕНКА ПОДВЕРЖЕННОСТИ ОПОЛЗНЕВЫМ ПРОЦЕССАМ ГОРНОЙ ЧАСТИ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН, ВЫПОЛНЕННАЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT IN THE MOUNTAIN REGION OF DAGESTAN BASED ON THE COMPLEX MATHEMATICAL TOOL

УДК 551.3/519.72

DOI 10.25296/1993-5056-2017-4-40-48

**ШАМУРЗАЕВА Д.А.**

Ведущий специалист Центра государственного мониторинга состояния недр и региональных работ ФГБУ «Гидроспецгеология», г. Москва, info@geomonitoring.ru

SHAMURZAEVA D.A.

Leading specialist of the Center of the state monitoring of subsurface and regional works, Federal state budgetary institution «Hydrospetzgeologiya», Moscow, info@geomonitoring.ru

НОВИКОВ К.В.

Главный геофизик Центра государственного мониторинга состояния недр и региональных работ ФГБУ «Гидроспецгеология», к.г.-м.н., г. Москва, info@geomonitoring.ru

NOVIKOV K.V.

Chief geophysicist of the Center of the state monitoring of subsurface and regional works, Federal state budgetary institution «Hydrospetzgeologiya», PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, info@geomonitoring.ru

КОРОЛЕВ Б.И.

Начальник информационно-аналитического отдела Центра государственного мониторинга состояния недр и региональных работ ФГБУ «Гидроспецгеология», к.г.-м.н., г. Москва, info@geomonitoring.ru

KOROLEV B.I.

Head of information and analytical department of the Center of the state monitoring of subsurface and regional works, Federal state budgetary institution «Hydrospetzgeologiya», PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, info@geomonitoring.ru

Ключевые слова:

подверженность оползневым процессам; факторы развития процесса; информационный анализ; информативность признака; ГИС; Дагестан.

Key words:

landslide susceptibility; factors of process development; information analysis; informational content of a sign; GIS; Dagestan.

Аннотация

В статье приводится оценка условий развития оползней в горной части Дагестана, основанная на анализе природных и техногенных особенностей территории. Выделены наиболее информативные признаки, характеризующие условия развития оползней в горной части Дагестана, что позволило построить карты подверженности территории оползням. Также в работе рассмотрены вопросы влияния масштаба осреднения информации на изменение информативности признаков по отношению к выходным показателям.

Abstract

The paper provides an assessment of natural and anthropogenic setting for landslide development in the mountain part of Dagestan. The assessment is based on the analysis of the environmental conditions of the investigated territory. This analysis allows to identify the most informative indicators that characterize the setting for landslide development in the mountain part of Dagestan. Based on these indicators, landslide susceptibility maps were created. In paper the problem of influence of the information averaging level on the variability of the indicator informativeness in relation to the output parameters are also discussed.

Введение

Оценка подверженности территории какому-либо экзогенному геологическому процессу (ЭГП) должна основываться на всестороннем изучении факторов и особенностей развития данного процесса в рассматриваемом регионе. Горная часть Республики Дагестан (рис. 1), являясь достаточно интенсивно освоенной в хозяйственном отношении, характеризуется высокой степенью пораженности оползневыми процессами.

Для выявления особенностей развития оползневых процессов в горной части Республики Дагестан был рассмотрен ряд показателей, которые могут оказывать влияние на развитие оползневых процессов. При выборе показателей были учтены следующие основные особенности природных и техногенных условий территории Горного Дагестана: 1) территория является горной частью республики и обладает значительной энергией рельефа; 2) климатические условия, влияющие на интенсивность развития ЭГП, достаточно разнообразны, что обусловлено особенностями горной местности (высотной поясностью, экспозицией склонов и т.д.); 3) для территории характерны интенсивные неотектонические движения и высокая сейсмическая активность, приводящие к нарушению целостности и устойчивости массивов; 4) развитие и активизация оползневых процессов в настоящее время нередко являются следствием техногенного воздействия на территорию при различных видах ее освоения (в том числе и строительного). На основе этих данных особенности условий оползнеобразования в Горном Дагестане были охарактеризованы признаками, перечень которых приведен ниже (табл. 1).

Для характеристики оползневых процессов в анализе используются данные о площадях оползневых проявлений, исследованных ранее [3, 5]. На изучаемой территории развиваются блоковые оползни, оползни-потоки, а также блоковые, переходящие в потоки. Блоковые оползни связаны с чрезмерной крутизной склонов, их подрезкой (особенно при прокладке автодорог), увлажнением подошвы, смачиванием плоскостей напластования подземными или инфильтрационными водами. Эти оползни отмечаются в высокогорной и среднегорной областях по долинам рек Андийское Койсу, Аварское Койсу, Самур, Курахчай, развиваются в районах, где отмечается густая сеть тектонических разломов, и характерны для Известнякового Дагестана и западной части Сланцевого Дагестана. Оползни-потоки связаны с пригрузкой и подрезкой склонов, интенсивным выветриванием горных пород, увлажнением грунтов атмосферными осадками, а также увлажнением и снижением прочностных свойств грунтов при промерзании и оттаивании. Эти оползни отмечаются в верховьях Андийского и Аварского Койсу и их притоков, на склонах и в верховьях рек Кара-Самур, Чирагчай, широко распространены в Сланцевом Дагестане. Наконец, блоковые оползни, переходящие в потоки, наблюдаются в Сланцевом Дагестане. 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.

Методика исследования

Оценка подверженности территории оползневым процессам выполняется путем построения, анализа и сравнения карт подверженности, составленных по разным моделям с учетом исследованных факторов развития про-



Рис. 1. Изучаемая территория в пределах Республики Дагестан

цессов. Анализ проводился с помощью комплексного математического аппарата, основанного на алгебраической теории информации и теории вероятности.

В работе были рассмотрены пространственные информационные модели исследуемой территории. Пространственная информационная модель представляет собой формализованное отображение реального объекта с помощью набора показателей, характеризующих наиболее существенные свойства объекта и определенных в пространстве. Фактическим материалом для их построения послужили фондовые и опубликованные материалы, собранные в единую базу данных в ГИС, на основе которой были сформированы векторные тематические слои всех показателей (рис. 2). Слои получили картографическую привязку и использовались далее для составления *пространственных информационных моделей* исследуемой территории. Это позволило рассмотреть их одновременно и выполнить сопряженный анализ данных.

Поскольку используемые показатели разномасштабные, разнородные, они были приведены к единой пространственной модели. Для этого, учитывая детальность исходных данных, выполнялось разбиение исследуемой территории с помощью модельной сетки на блоки размером $1 \times 1 \text{ км}^2$, $5 \times 5 \text{ км}^2$ (рис. 3), $10 \times 10 \text{ км}^2$, $15 \times 15 \text{ км}^2$, внутри которых признак считается однородным. Это позволило получить фактические значения показателей. Далее выполнялось их ранжирование. Для качественных показателей x_i (см. табл. 1) вычислялась площадь каждого класса в каждом блоке сетки с последующим присвоением блоку значения класса, занимающего в нем наибольшую площадь; для количественных показателей x_i выполнялось осреднение фактических значений в блоках модельной сетки. Ранжирование количественных показателей проводится графическим методом с использованием гистограмм распределения частот по классам показателя (признака). Разбиение на классы производилось с линей-

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

*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.

ным шагом. Количество классов выбиралось с учетом изменения информативности показателя: малое количество дает неоправданно высокую информативность за счет округления модели, большое количество классов снижает информативность, приводя к нецелесообразному дроблению модели. В результате каждому блоку сетки был присвоен номер класса количественного показателя.

Выходной показатель Y (пораженность территории оползневыми процессами) выражается двумя способами: аналогично качественным показателям задается два ран-

га: процесс развит/не развит (наличие/отсутствие оползней) (Y_1); аналогично количественным показателям вычисляется значение пораженности в каждом блоке (%) с дальнейшим ранжированием значений (Y_2).

Далее формируются информационные матрицы ранжированных значений показателей (x_i) по блокам сеток, для каждой из которых подготовлены выходные показатели Y (табл. 2).

После ранжирования составляются таблицы сопряженности показателей, которые отражают количество од-

новременных появлений классов x_i и Y . На основе таблиц сопряженности рассчитываются все информационные характеристики модели, выполняется расчет информативности показателей для определения вклада (влияния) анализируемых показателей, характеризующих условия исследуемой территории, в формирование выходного показателя (пораженность территории оползнями).

Информативность признака x_i равна количеству информации, содержащейся в этом признаке относительно основного признака Y . При наличии у ряда признаков, используемых в работе, большого количества классов вычисление информативности признака (I_0) становится громоздким, поэтому целесообразен переход к вычислению информационной энтропии (H) признаков, близкой по величине к значению информативности ($H \approx I_0$). Энтропия выступает в качестве меры неопределенности системы с известными вероятностями ее состояний. В данном случае системой является признак, а состояниями системы — классы признака [1]. Информационная энтропия записывается в виде [4]:

$$H = - \sum P_i \log_2 P_i, \quad (1)$$

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_{onji}) к площади всего класса (S_{ji}) [1]:

$$p(Y | x_i) = \frac{S_{onji}}{S_{ji}}. \quad (2)$$

Оценка информативности признака x_i относительно основного признака Y осуществляется по формуле 3 [2]:

$$I(Y: x_i) = I(Y) - I(Y/x_i), \quad (3),$$

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. 4, табл. 3).

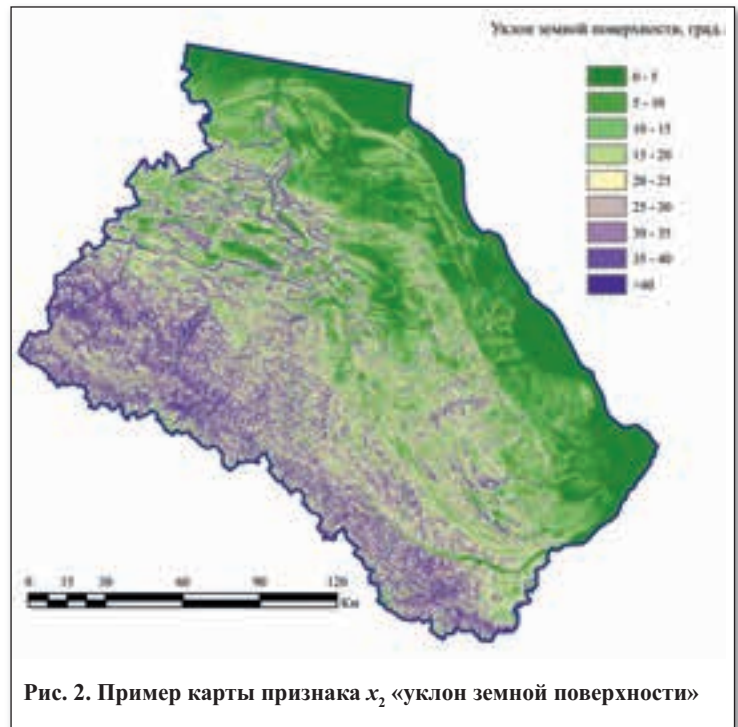


Рис. 2. Пример карты признака x_2 «уклон земной поверхности»



Рис. 3. Модельные сетки, использованные при анализе, с размером блоков $1 \times 1 \text{ км}^2$ и $5 \times 5 \text{ км}^2$

Таблица 2

Характеристика составленных моделей

Модель	Размер ячейки модельной сетки, км ²	Характеристика пораженности территории оползнями	
		тип	количество классов
I	5×5	качественный (Y_1)	2
II	5×5	количественный (Y_2)	5
III	10×10	качественный (Y_1)	2
IV	10×10	количественный (Y_2)	5
V	15×15	качественный (Y_1)	2
VI	15×15	количественный (Y_2)	5
VII	1×1	количественный (Y_2)	5

$x_i \setminus Y$	1	2	3	...	n
1	Z_1^1	Z_1^2	Z_1^3	...	Z_1^n
2	Z_2^1	Z_2^2	Z_2^3	...	Z_2^n
...
k	Z_k^1	Z_k^2	Z_k^3	...	Z_k^n

Рис. 4. Вычисление информативности по таблице сопряженности. Обозначения: k — классы признака x_i ; n — классы признака Y ; Z_k^n — число переходов класса признака x_i в класс признака Y

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 ($P(Y | x_i)$, д.е.). Вычисление осуществляется по формуле 4:

$$P(Y | x_i) = \frac{n_{ij}}{\sum n}, \quad (4)$$

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

Произведенные расчеты позволяют по итогам интерпретации полученных результатов осуществить выбор наиболее информативных показателей, характеризующих условия территории, влияющие на развитие оползней.

На основе выделенных показателей, которые служат признаками районирования, выполняется оценка подверженности территории оползневому процессам, предполагающая построение соответствующих карт для территории Горного Дагестана. В данном случае используется подход, основанный на одновременном (сопряженном) количественном учете влияния различных факторов на развитие оползневых процессов на рассматриваемой территории посредством совместной оценки вероятности развития оползневых процессов $p(Y|x_i)$ в пределах классов каждого признака и информативности (I_i) отобранных признаков. Для каждой рассматриваемой модели выпол-

няются расчет и нормирование показателя подверженности территории оползневому процессам (k_p) по формуле:

$$k_p = \frac{\sum (p(Y | x_i) \times I_i)}{\sum (p(Y | x_i) \times I_i)_{\max}}. \quad (5)$$

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

Для сравнения построенных карт моделей разной детальности рассчитанные показатели (k_p) дополнительно приводятся к единой шкале путем нормирования значений по фактической пораженности оползнями классов данных показателей.

Характеристика условий развития оползней в горной части Дагестана

На основе составленных таблиц сопряженности подготовленных и ранжированных показателей выполняется расчет информативности простых признаков для всех моделей (рис. 5).

Согласно расчетам, информативность показателей в моделях, характеризующихся наличием/отсутствием оползней (Y_1), выше информативности показателей в моделях с количественной характеристикой пораженности (Y_2). Это объясняется более грубой оценкой пораженности выходным показателем Y_1 , что приводит к получению более высоких значений данного показателя.

При рассмотрении вопроса влияния масштаба осреднения на получаемые результаты выявлена прямая зависимость между изменением информативности при осреднении значений показателей в сетках с размером блоков $5 \times 5 \text{ км}^2$, $10 \times 10 \text{ км}^2$, $15 \times 15 \text{ км}^2$ и изменением размера блока модельной сетки: при уменьшении блока модельной сетки снижается информативность признаков, соотношение вкладов (весов) показателей при этом сохраняется. Наиболее подробно рассмотрены только наиболее детальные модели I и II.

Таблица 3

Вычисление информационных и вероятностных характеристик признака x_6 «густота речной сети», модель II										
Сопряженность признаков (число переходов класса признака x_i в класс признака Y)						Вероятность подверженности территории оползням ($P(Y x_i)$, д.е.)				
Классы признака (км/км ²)	Y_2 (пораженность, %)					Y_2 (пораженность, %)				
	<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
≤0,32	105	2	4	19	4	0,78	0,01	0,03	0,14	0,03
0,32–0,63	123	2	14	93	37	0,46	0,01	0,05	0,35	0,14
0,63–0,93	55	7	22	126	110	0,17	0,02	0,07	0,39	0,34
0,93–1,24	42	2	12	85	122	0,16	0,01	0,05	0,32	0,46
1,24–1,54	13	2	2	28	48	0,14	0,02	0,02	0,30	0,52

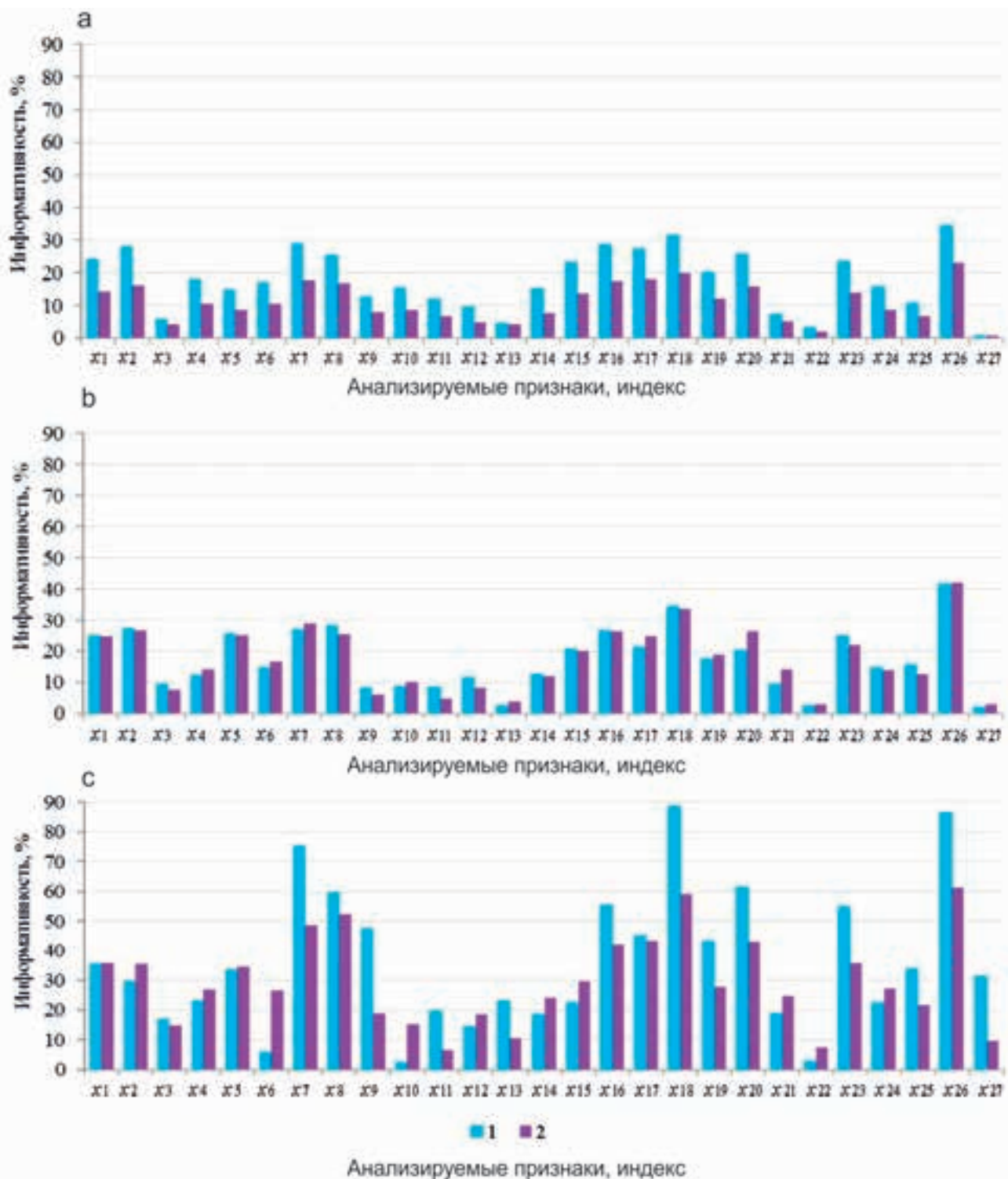


Рис. 5. Информативность признаков (x_1 — x_{27}) в моделях с размером блоков сетки: а — 5×5 км², б — 10×10 км², с — 15×15 км²; 1 — модели I, III, V; 2 — модели II, IV, VI

Основными признаками, влияющими на развитие оползневых процессов 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}).

Для оценки влияния масштаба осреднения данных при использовании модельной сетки с размером блока 5×5 км² дополнительно были выполнены расчет инфор-

мативности и анализ таблиц сопряженности простых признаков, а также построение по результатам анализа карты подверженности территории оползневым процессам с использованием модельной сетки с размером блока 1×1 км² (модель VII).

Проведено сравнение моделей II и VII, как имеющих одинаковый выходной показатель (Y_2), но разную детальность. По результатам сравнения отмечается: 1) соотношение информативности признаков в модели VII сохраняется, размер блока модельной сетки, то есть масштаб осреднения данных, не повлиял на полученный результат,

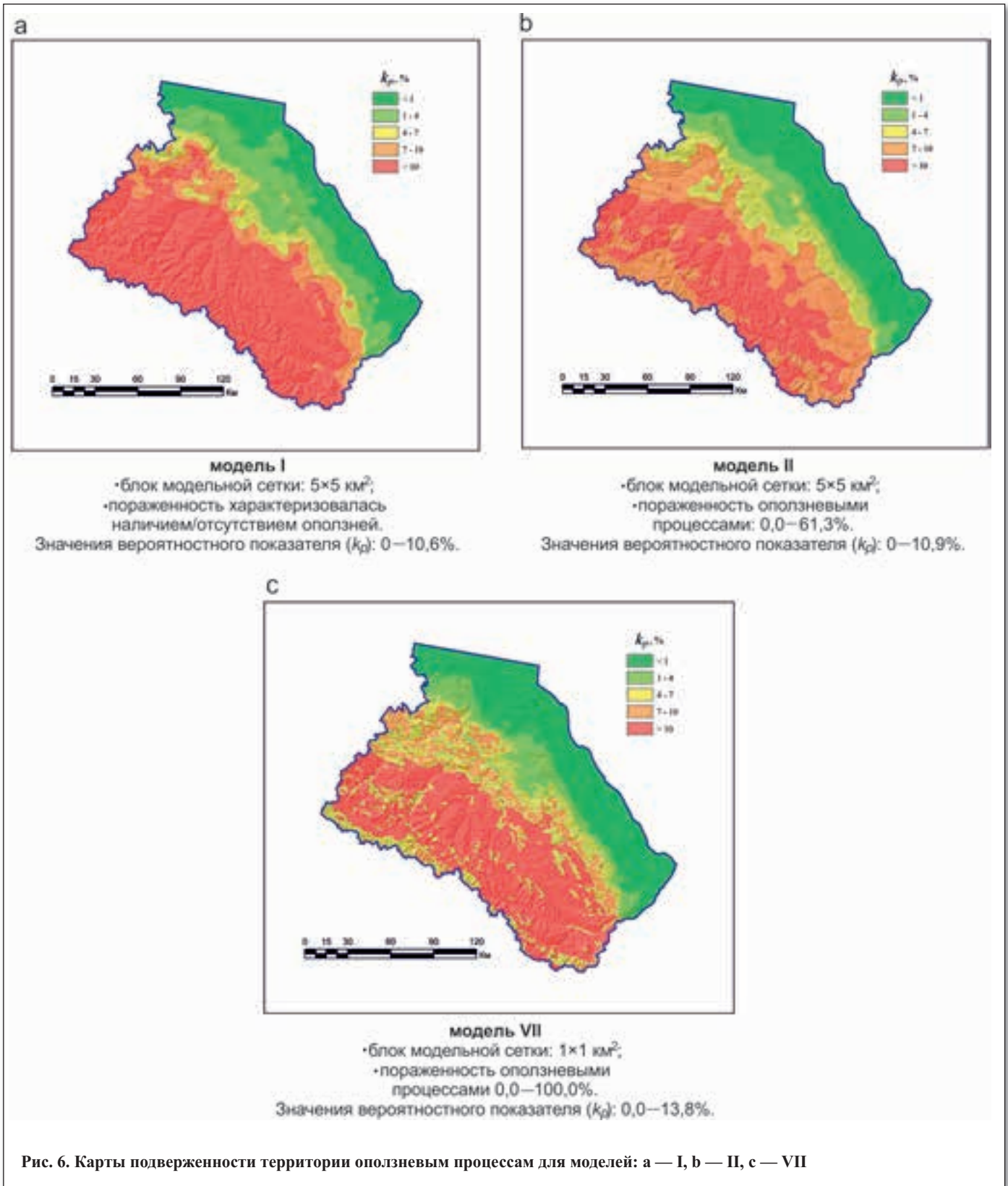


Рис. 6. Карты подверженности территории оползневым процессам для моделей: а — I, б — II, в — VII

характеризующий влияние (вклад) признака на развитие оползней; 2) для дальнейшего анализа моделей II и VII получены практически одинаковые наборы признаков; 3) для подавляющего большинства признаков характер взаимосвязи признака с развитием оползней был одинаковым для моделей II и VII.

Характеристика подверженности горной части Дагестана оползням

Показатели, влияние которых на развитие оползней было выявлено в результате проведенного информацион-

ного анализа, используются в качестве признаков при районировании Горного Дагестана по степени подверженности территории оползневым процессам.

Карты подверженности территории оползневым процессам были построены для наиболее подробно рассмотренных в работе моделей I, II и VII (рис. 6). Анализируя эти карты, в целом можно заключить, что увеличение значений рассчитанного вероятностного показателя наблюдается в направлении от равнинной территории к горной.

Наименьшая подверженность оползневым процессам наиболее вероятна в равнинной части, примыкающей к пред-

горьям, а также в прибрежной и частично предгорной областях рассматриваемой территории. Такие территории имеют гипсометрически самое низкое положение (0–200 м), наименьшие уклоны (0–10°), наименьшую густоту речной сети (0–0,4 км/км²); сложены в основном морскими валунно-галечными четвертичными отложениями, подстилаемыми преимущественно глинистыми отложениями палеоген-неогенового возраста; тектонически представляют собой систему краевых прогибов (Терско-Каспийский и Кусаро-Дивичинский); сейсмически активны (интенсивность землетрясений 7–8 баллов; 9 баллов — 1 раз в 1 000 лет) и обладают разными (–2 ÷ +4 мм/год) скоростями и направлением новейших тектонических движений.

Развитие оползневых процессов с **максимальной** подверженностью, согласно построенным картам, наиболее вероятно на территории: с самыми высокими отметками рельефа (2 000 м и более), большими уклонами (~25–35°) и максимальными значениями густоты речной сети (до 1,6 км/км²); сложенной в основном склоновыми (колловий, десерпций, солифлюксий, делювий и т.д.) глинистыми и крупнообломочными с сулинистым заполнителем отложениями четвертичного возраста, подстилаемыми преимущественно аргиллитами, алеволитами с прослоями песчаников ниже-среднеюрского возраста; тектонически представленной складчато-глыбовым поднятием Восточного Кавказа; сейсмически активной (интенсивность землетрясений в основном 5–7 баллов; 8–9 баллов — 1 раз в 1 000 лет) и характеризующейся максимальной (+8 мм/год и более) скоростью положительных новейших тектонических движений.

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

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

Сравнении карт для моделей II и VII (разной детальности) показало, что при увеличении размера блока модельной сетки уменьшается детальность карты, однако региональные закономерности, характеризующие вероятность

развития оползневых процессов и обусловленные влиянием на них целого комплекса факторов, рассмотренных в работе, сохраняются. Это говорит о возможности использования при исследовании рассматриваемой территории обеих моделей. Однако при выборе масштаба исследований требуется учитывать детальность исходных данных.

Полученные результаты согласуются с данными мониторинга оползней, проводимого на территории республики, а также с результатами работ [3, 5], выполненных ранее в горной части Дагестана.

Заключение

На основе применения комплексного математического аппарата, включающего информационный анализ и элементы теории вероятности, выделены показатели, характеризующие условия территории горной части Дагестана, которые влияют на развитие оползневых процессов. Используемая методика позволяет выполнить оценку и прогноз изменений исследуемых параметров объекта с применением оптимального набора исходных данных.

Основными признаками, влияющими на развитие оползневых процессов 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}).

Составленная прогнозная карта развития оползневых процессов для территории Горного Дагестана на основе моделей разного масштаба (размер блока модельной сетки: 5×5 км² и 1×1 км²) учитывает определяющие факторы развития оползней, выделенные с использованием комплексного математического аппарата. В целом увеличение значений рассчитанного показателя наблюдается в направлении от равнинной территории к горной, где целый ряд признаков способствует развитию и активизации оползневых процессов. 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.

Сравнение разных моделей показало, что региональные закономерности, характеризующие вероятность развития оползней, сохраняются. Это говорит о возможности использования данных моделей при анализе рассматриваемой территории, при условии, что для выбора масштаба исследований будут учтены поставленные задачи и детальность исходных данных. 🌐

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулакян К.А., Кюнтцель В.В., Постоев Г.П. Прогнозирование оползневых процессов. М.: Недра, 1977. 135 с.
2. Лисенков А.Б. Научно-методические основы диагностирования эколого-гидрогеологических систем: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М.: МГУ, 1995. 44 с.
3. Тагиров Б.Д. Отчет по инженерно-геологическому обследованию Горного Дагестана с целью специального инженерно-геологического районирования в масштабе 1:200 000 за 1972–1974 гг. Махачкала, 1974. 267 с.
4. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. 832 с.
5. Шихрагимов И.М., Шваров Н.С., Абдулкеримов Ш.Г. и др. Изучение условий развития и режима ЭПП на территории Республики Дагестан за 1984–1990 гг. Махачкала, 1991. 266 с.

Summary

The paper provides an assessment of conditions for the development of landslides in the mountain part of Dagestan, based on the analysis of the characteristics of natural and anthropogenic conditions of the investigated territory.

A number of natural and anthropogenic factors that may influence landslide development was considered to identify specific features of landslide development and assess landslide proneness of the mountain part of Dagestan. Influence of the factors on landslide development and their interrelation were estimated using a complex of mathematical tools applying the algebraic information and probability theories.

The two-dimensional models of studied territory were considered. All factual data for creation of these models (stock and published materials) were collected in a single database. Vector thematic layers of all indicators were created.

Subdividing of the investigated territory into blocks of $1 \times 1 \text{ km}^2$, $5 \times 5 \text{ km}^2$, $10 \times 10 \text{ km}^2$ and $15 \times 15 \text{ km}^2$ using the corresponding model grids (distribution of an indicator in each block was considered uniform) was used to bring disparate data to a single model. It permitted to obtain actual values of indicators and to range qualitative and quantitative indicators of landslide development for the investigated territory. Models with a block size of $1 \times 1 \text{ km}^2$ and $5 \times 5 \text{ km}^2$ are considered in detail.


The next step was calculation of informativeness of each indicator that is equal to amount of information contained in the indicator relative to the indicator of distribution of landslides (Y). Tables of contingency (transition matrixes) that show numbers of simultaneous occurrences of indicators that characterize the conditions of landslides development (x_i)

and the indicator of distribution of landslides (Y) were compiled. Analysis of the tables helped to identify the indicators that influence on landslide development and to select the most informative indicators. These qualitative and quantitative indicators were used for zoning of the mountainous part of Dagestan by the landslide proneness.

The method of constructing a zoning map by the landslide proneness is based on quantitative assessment of influence of natural and anthropogenic factors on development and distribution of landslides. Joint assessment of landslide development probability for each class of every indicator and informativeness of indicators were carried out.

Zoning maps of the mountain part of Dagestan by the landslide proneness for different models were constructed on the basis of calculated values of the output probabilistic indicator of landslide proneness for each block of the model grid (k_p).

Analysis of these maps permitted to characterize development of landslides taking into account the considered indicators. The calculated probabilistic indicator characterizes landslide proneness of the territory in each point of the map: with increasing in quantity of the most informative classes of indicators within a concrete area of the territory values of the calculated indicator increase, that is the probability of development of landslides in the considered territory increases.

Comparison of the obtained results with available data of landslide monitoring for the studied territory permits to speak about their correctness and applicability for complex analysis at investigation of landslide processes and assessment of landslide proneness. 

CAPTIONS TO FIGURES

Fig. 1. Studied territory of the Dagestan Republic

Fig. 2. The example of the map of indicator x_2 «slope of the earth surface»

Fig. 3. Model grid, used in analysis, with block size $1 \times 1 \text{ km}^2$ and $5 \times 5 \text{ km}^2$

Fig. 4. The calculation of the informativeness, using the contingency table: k — classes of the characteristic x_i ; n — classes of Y ; Z_k^n — the number of transitions of class x_i to class of Y

Fig. 5. Informativeness of the indicators (x_1 — x_{27}) in the models with block size: a — $5 \times 5 \text{ km}^2$, b — $10 \times 10 \text{ km}^2$, c — $15 \times 15 \text{ km}^2$; 1 — models I, III, V; 2 — models II, IV, VI

CAPTIONS TO TABLES

Table 1. The indicators selected to characterize conditions for the development of landslide processes on the territory of mountain Dagestan

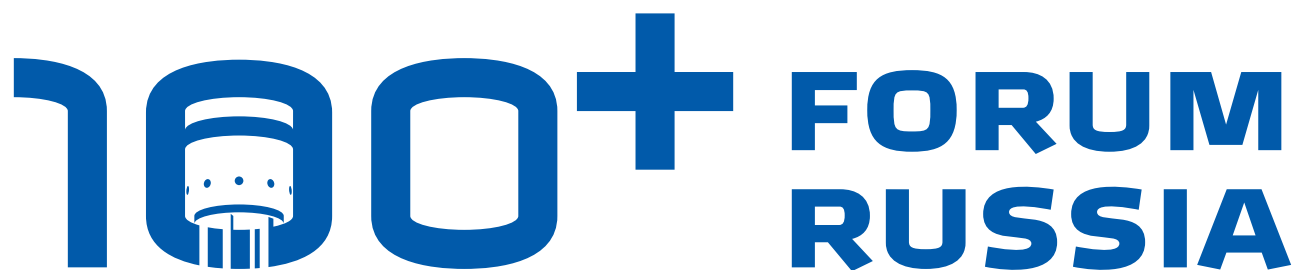
Table 2. Characteristics of created models

Table 3. Calculation information and probabilistic characteristics of indicator x_6 «drainage network density», the model II

REFERENCES

1. Gulakjan K.A., Kjuntsel' V.V., Postoev G.P. Prognozirovaniye opolznevykh processov [Landslide Processes Forecasting]. M.: Nedra [Subsoil], 1977. 135 s. (Rus.).
2. Lisenkov A.B. Nauchno-metodicheskie osnovy diagnostirovaniya ekologo-gidrogeologicheskikh system: avtoref. dis. ... d-ra geol.-min. nauk [Scientific and Methodical Bases for the Diagnosis of Ecological and Hydrogeological Systems: Abstract of the Dissertation of Doctor of Science in Geology and Mineralogy]. M.: MGU [MSU], 1995. 44 s. (Rus.).
3. Tagirov B.D. Otchet po inzhenerno-geologicheskomu obsledovaniyu Gornogo Dagestana s cel'yu special'nogo inzhenerno-geologicheskogo rajonirovaniya v mashtabebe 1:200 000, za 1972–1974 gg. [Report on the Engineering-Geological Survey of Mountainous Dagestan for the Purpose of Special Engineering-Geological Zoning at a Scale of 1:200 000, for 1972–1974]. Mahachkala, 1974. 267 s. (Rus.).
4. Shennon K. Raboty po teorii informacii i kibernetike [Work on Information theory and Cybernetics]. M.: Izd-vo inostrannoj literatury [Pub. of Foreign Literature], 1963. 832 s. (Rus.).
5. Shihragimov I.M., Shvarov N.S., Abdulkerimov Sh.G. i dr. Izuchenie uslovij razvitiya i rezhima EGP na territorii Respubliki Dagestan za 1984–1990 gg. [Study of Development Conditions and the Regime of EGP in the Territory of the Republic of Dagestan for 1984–1990]. Mahachkala, 1991. 266 s. (Rus.).

Международный форум и выставка
высотного и уникального строительства



4-6 октября 2017 | Екатеринбург

www.forum-100.ru

Оргкомитет форума: +7 982-608-06-79