

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.459.43

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-182-201

Диагностика эрозионной устойчивости селеопасных участков на территории Республики Крым

Евгений Владимирович Кузнецов¹, Владимир Сергеевич Маций²,
Ульяна Роландовна Сидаравичуте³

^{1, 2, 3}Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина,
Краснодар, Российская Федерация

¹dtn-kuz@rambler.ru

²vmatsiys@gmail.com

³dd600902@gmail.com

Аннотация. Цель: на основе эмпирических данных о селевых потоках и последствиях их схода, полученных при проведении работ на объекте «Строительство и реконструкция автомобильной дороги Львовское – Грушевка – Судак» на территории Республики Крым, произвести полуколичественную оценку селевого риска; на основе результатов оценки разработать рекомендации по стабилизации ситуации.

Материалы и методы. Исходные данные о селевых потоках разделены на три группы, для каждой выполнен поэтапный расчет с присвоением баллов. Критерии, по которым производилась оценка: уровень селеопасности и величины ущерба, зависимости величины ущерба от состояния защитных сооружений. Также определены расчетные показатели, такие как скорость селевого потока, его расход и др. По результатам подсчета баллов с учетом их значимости каждой группе присвоена категория селевого риска.

Результаты. По результатам проведенного исследования суммарный балл по третьей группе – 15,18, что соответствует второй категории селевого риска, которая характеризуется высокой вероятностью значительного ущерба. По первой и второй группам суммарный балл соответственно равен 9,88 и 11,34, таким образом, обе группы входят в границы третьей категории селевого риска. **Выводы.** Проведенная полуколичественная оценка селевого риска позволяет выявить потенциально опасные участки, проинформировать об угрозе и заранее принять меры по защите земель. В целях защиты земель от разрушительной силы селевых потоков в границах бассейнов третьей группы необходимо возведение противоселевых сооружений, а именно: сооружения агролесомелиоративной противоэрозионной защиты, селезадерживающие, селепропускные, селепредотвращающие конструкции и другие объекты инженерной защиты территории.

Ключевые слова: сель, селеопасность территории, полуколичественная оценка, селевой риск, охрана земель, категория селевого риска, Республика Крым

Для цитирования: Кузнецов Е. В., Маций В. С., Сидаравичуте У. Р. Диагностика эрозионной устойчивости селеопасных участков на территории Республики Крым // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 4. С. 182–201. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-182-201>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Diagnostics of erosion resistance of mudflow hazardous plots on the territory of the Republic of Crimea

Evgeniy V. Kuznetsov¹, Vladimir S. Matsiy², Uliana R. Sidaravichute³

^{1, 2, 3}Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

¹dtm-kuz@rambler.ru

²vmatsiys@gmail.com

³dd600902@gmail.com

Abstract. Purpose: to make a semi-quantitative assessment of mudflow risk based on empirical data on mudflows and the consequences of their collapse, obtained during the work at the construction and reconstruction of the Lgovskoe – Grushevka – Sudak highway on the territory of the Republic of Crimea and to develop recommendations on state stabilization, based on the assessment results. **Materials and methods.** The initial data on mudflows are divided into three groups, for each a step-by-step calculation was performed and points were assigned. The criteria by which the assessment has been made: the level of mudflow hazard and the amount of damage, the dependence of the amount of damage on the protective structures' state. Calculated indicators such as mudflow velocity, flow rate, etc. have also been determined. Each group is assigned a mudflow risk category based on the results of scoring, taking into account their significance. **Results.** According to the results of the study, the total score for the third group is 15.18, which corresponds to the second category of mudflow risk, which is characterized by a high probability of significant damage. For the first and second groups, the total score is 9.88 and 11.34, respectively, thus, both groups fall within the boundaries of the third category of mudflow hazard. **Conclusions.** A semi-quantitative assessment of mudflow risk allows identifying potentially dangerous areas, informing on the threat and taking measures for land protection in advance. In order to protect lands from the destructive power of mudflows within the boundaries of the basins of the third group, it is necessary to erect mudflow protection structures, namely: agroforestry-reclamation erosion protection structures, mudflow retention, mudflow passage, mudflow-preventing structures and other engineering protection facilities of the territory.

Keywords: mudflow, mudflow hazard of the territory, semi-quantitative assessment, mudflow risk, land protection, mudflow risk category, Republic of Crimea

For citation: Kuznetsov E. V., Matsiy V. S., Sidaravichute U. R. Diagnostics of erosion resistance of mudflow hazardous plots on the territory of the Republic of Crimea. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(4):182–201. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-182-201>.

Введение. Селевые потоки наносят колоссальный ущерб национальной экономике, сельскому хозяйству и отдельным местным жителям, разрушая не только населенные пункты и промышленные предприятия, но и объекты транспортной инфраструктуры и прилежащие линейные объекты (ЛЭП, газопровод, водопровод, линии связи и др.). На территории Крымского полуострова активно протекают оползневые и селевые процессы, а также другие опасные геологические явления. Основными факторами образования селей являются: отсутствие зеленого покрова на склонах, наличие деградации земель, а именно водной и ветровой эрозии. Первая из

них обуславливается изменением климата в части термического режима и водного баланса [1, 2]. Таким образом, отсутствие противозерозионной защиты благоприятствует активному протеканию опасных геологических процессов. В ходе работ на объекте «Строительство и реконструкция автомобильной дороги Льговское – Грушевка – Судак» определено, что наибольшую опасность представляют селевые процессы недалеко от села Дачного (ПК 282 – ПК 294). Для дальнейшего проведения работ были исследованы селевые бассейны и селевые русла, образованные сошедшими селями, некоторые из них сходят ежегодно и наносят катастрофический ущерб.

Сель – гидрометеоролого-геологическое явление, а именно: горный поток из воды и большого количества твердой смеси [3, 4]. Поэтому в осуществлении селевого мониторинга необходимо участие не только гидрологов, геологов, но и гидротехников [3]. Режим схода селей не имеет определенного цикла, повторяемость колеблется от одного раза за десятки лет до нескольких случаев в год. Средний показатель для Республики Крым – один раз в год. Возникновение селевых потоков обусловлено: резким повышением уровня воды в русле, активными эрозионными процессами и значительными уклонами. Селевые потоки по генетическому типу делят¹:

- на сель дождевой – генетический тип селя, фактором формирования которого являются затяжные ливневые дожди;
- сель снеговой – генетический тип селя, образуется вследствие процессов накопления снежного покрова и снежников при повышении температуры атмосферного воздуха, представлен смесью снега и воды;
- сель сейсмогенный – генетический тип селя, который вызывается землетрясением, распространен в районах высокой сейсмичности;

¹Инженерные изыскания для строительства в районах развития селевых процессов: СП 479.1325800.2019: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-комму. хоз-ва Рос. Федерации 04.12.19: введ. в действие с 05.07.20. М.: Стандартинформ, 2020. 41 с.

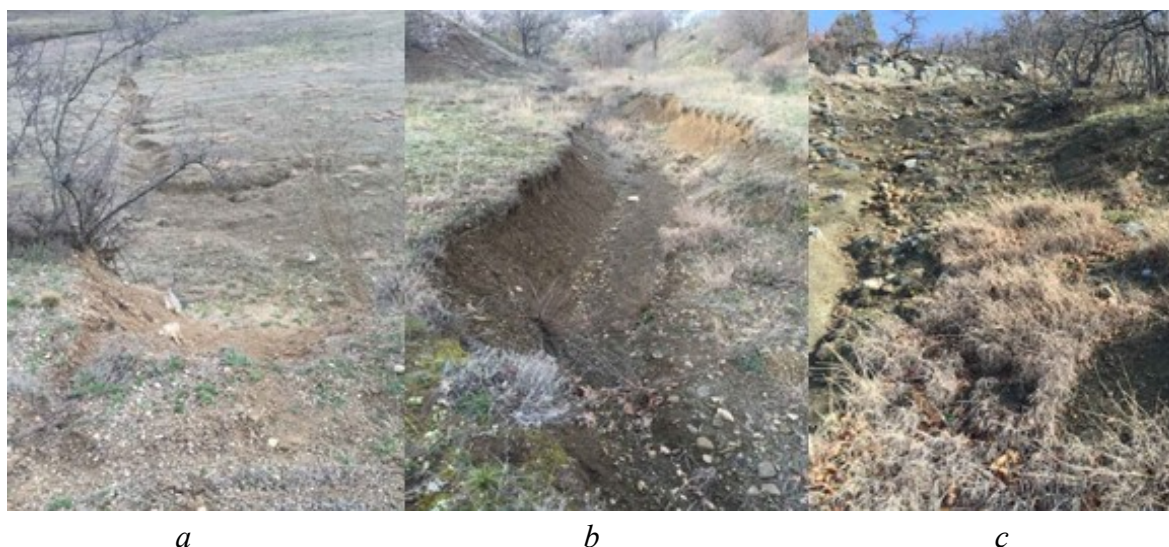
- лахар – селевой поток, образующийся вследствие извержения вулканов при условии прорыва карстовых озер и (или) активного снеготаяния.

При наличии одного и более селевых бассейнов территория считается селеопасной. Отсутствие общепринятой методики ранжирования участков по степени селеопасности предоставляет возможность использования полуколичественной, количественной, качественной и других методик при проведении исследований. Комплексно оценить степень селеопасности можно при условии объединения метода полевых обследований и анализа метеорологических, геологических и других данных, что совмещает в себе полуколичественная оценка селевого риска [5].

Для защиты земель от воздействия селевых потоков и эрозионных процессов прибегают к агролесомелиорационным методам. В их число входят лесохозяйственные мероприятия, направленные на улучшение почвенно-гидрологических и климатических условий местности (создание полезационных лесных полос, облесение оврагов, крутых склонов и песков) [6].

В связи с этим целью настоящих исследований являлось определение уровня селеопасности территории, в т. ч. установление категории селевого риска, по обнаруженным на местности селевым бассейнам и определение основных причин формирования селей. При необходимости для дальнейшей стабилизации ситуации производство противоселевых работ: возведение противоселевых сооружений, разработка системы агролесомелиоративных мероприятий и др.

Материалы и методы. Крымский полуостров относится к районам с умеренной опасностью русловых процессов, где преобладает формирование наносоводных селей (с преимущественно крупными фракциями) (рисунок 1) [7]. Твердая часть таких селей образуется из-за смыва рыхло-обломочных пород с обнаженных склонов и размыва речных отложений. Потоки низкоплотные с насыщенностью твердым материалом до 330 кг/м³ чаще образуются на небольших водосборах [5].



a – ПК 292 – ПК 293 в границах конуса выноса селей;
b – ПК 295 – ПК 296 недалеко от русла временного водотока;
c – ПК 295 – ПК 296 недалеко от русла временного водотока
a – PK 292 – PK 293 within the boundaries of the mudflow cones;
b – PK 295 – PK 296 near the gulch; *c* – PK 295 – PK 296 near the gulch

Рисунок 1 – Селевое русло (автор фото У. Р. Сидаравичуте)
Figure 1 – Mudflow channel (photo by U. R. Sidaravichute)

При образовании очагов под действием климатических и геологических факторов грунты, формирующие сель, отличаются от рыхлообломочных условиями залегания, генезисом, гранулометрическим вещественным составом. Такие селеформирующие очаги относят к потенциальным селевым массивам, которые делятся по условиям залегания и накопления пород:

- на вмещающие (при определенных условиях обводнения может сформироваться грязекаменный поток);
- связанные с жизнедеятельностью очагов (потенциальные селевые массивы, являющиеся продуктом развития очагов в межселевые периоды) [5].

В районе объекта «Строительство и реконструкция автомобильной дороги Льговское – Грушевка – Судак» наблюдается тренд на увеличение anomalно жарких периодов и уменьшение дней с сильными морозами [8]. Для России одним из главных последствий потепления является увеличение повторяемости таких опасных гидрометеорологических явлений, как обильные паводки [8]. Климатические условия не выходят за пределы зна-

чительного неблагополучия, и практически большие риски на полуострове отсутствуют [9]. Единственный способ поступления водной составляющей на исследуемую территорию – атмосферные осадки [10]. Трещинно-карстовые воды и выпадающие в районе осадки инфильтруются в толщу обвальных и оползневых образований. Наибольшее количество осадков выпадает в Крыму при прохождении метеорологических фронтов циклонов, этот период приходится на летние месяцы (летний тип циркуляции атмосферы начинается со второй половины мая и продолжается до конца сентября) [11]. Вследствие этих климатических условий преобладает дождевой тип образования селей, в совокупности с отсутствием противоэрозийной защиты риск схода селевых потоков значительно повышается.

На рисунке 2 отображены сели с фотографиями и ситуация на местности.

Сбор и анализ информации о селевых потоках включают:

- выявление областей, подверженных активному протеканию селевых процессов, для дальнейшего наблюдения и основных факторов образования селевых потоков (отсутствие растительности на склонах, наличие затяжных обильных осадков);
- изучение последствий селевых потоков в отношении транспортных сооружений и прилегающей территории (частичное или полное нарушение целостности дорожной одежды, снижение производительности прилегающих инженерных коммуникаций);
- определение очередности работ, формирование рекомендаций по защите участков, подверженных сходам селей.

Для удобства и наглядности селевые бассейны разделили на три группы по максимальной высоте бассейна (таблица 1).

Грунты, слагающие селевое русло (выветрелые породы на склонах, а также осыпавшиеся в тальвег), в верхней части русла залегают мощностью 5–10 см, в нижней – 0,5–1,0 м. Мощность грунтов, слагающих конусы выноса, достигает 5–7 м.

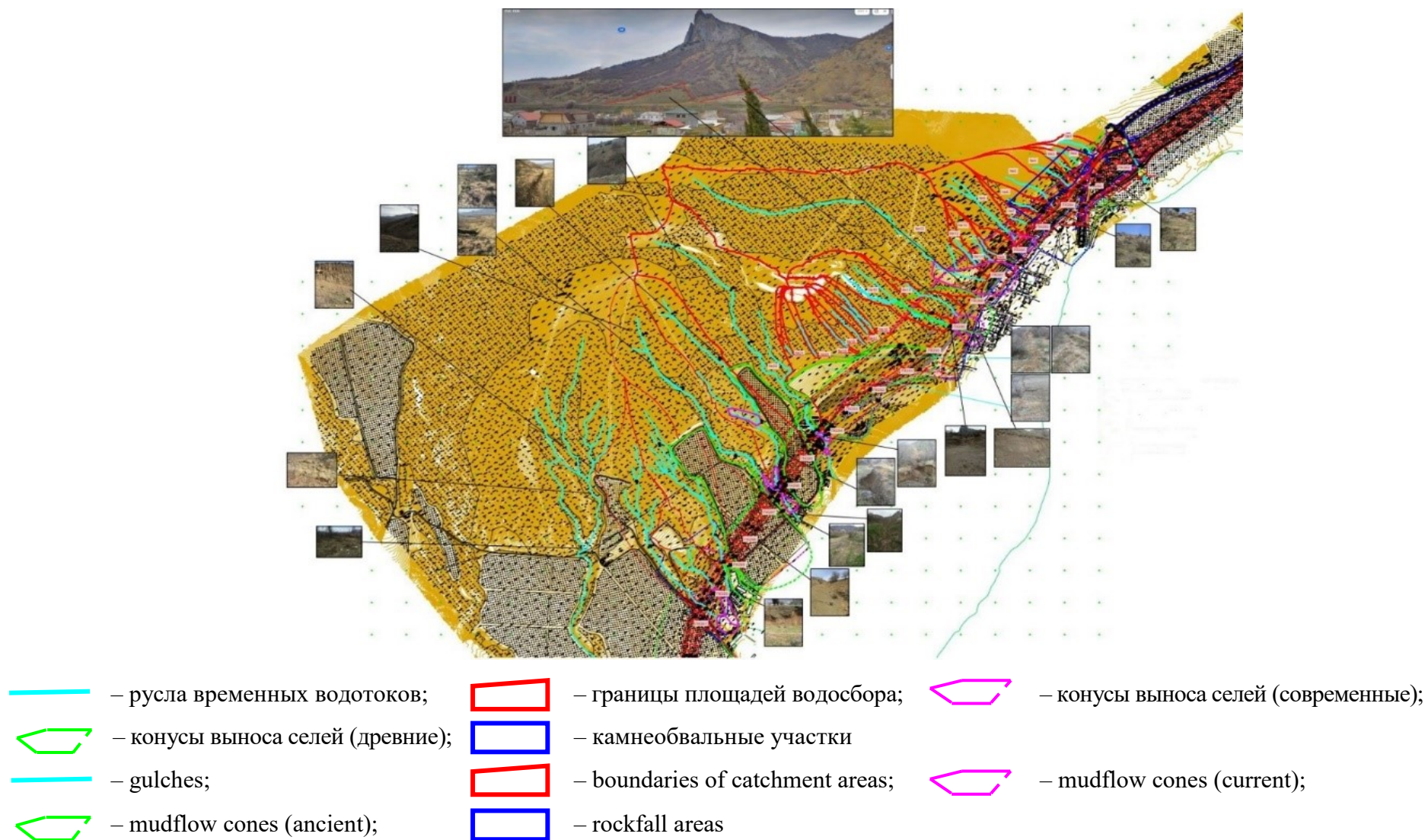


Рисунок 2 – Сводный план II очереди дороги Льговское – Грушевка – Судак
Figure 2 – General plan of the second stage of Lgovskoe – Grushevka – Sudak road

Таблица 1 – Каталог селевых бассейнов на участке обхода с. Дачное ПК 282 – ПК 294 «Строительство и реконструкция автомобильной дороги Льговское – Грушевка – Судак», 2-й этап
Table 1 – Catalog of mudflow basins in the bypass section of the Dachnoe village PK 282 – PK 294 “Construction and Reconstruction of the Lgovskoe – Grushevka – Sudak road”, 2nd stage

№ бассейна	Расход дождевого паводка 1% вероятности превышения, м³/с	Тип очага	Площадь бассейна, км²	Средняя высота бассейна, м БС	Средний уклон селевого бассейна, ‰	Длина селевого русла, км	Средний уклон селевого русла, ‰	Средне-взвешенный уклон русла, ‰	Максимальная высота бассейна, м	Минимальная высота бассейна, м	Механизм формирования	Дата схода селей	Залесенность, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I группа													
1	0,047	Растущие овраги V-образного профиля	0,0064	112	472	0,122	330	293	165	93	Ливневые затяжные дожди, вызывающие размыв склонов и русел	Ежегодный вынос материала	< 1
2	0,046	То же	0,0063	108	447	0,084	476	451	175	90	То же	То же	< 1
3	0,03	»	0,004	116	464	0,087	516	398	175	89	»	»	< 1
4	0,006	»	0,000858	119	622	0,08	489	432	183	92	»	»	< 1
5	0,007	»	0,000887	86	505	0,024	395	383	125	97	»	»	< 1

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
II группа													
6	0,074	»	0,01	134	529	0,13	394	373	216	89	Ливневые затяжные дожди, вы- зывающие размыв склонов и русел	Ежегод- ный вы- нос ма- териала	< 1
7	0,169	»	0,023	142	478	0,188	421	393	234	89	То же	То же	< 1
8	0,064	»	0,0085	122	587	0,08	612	509	217	87	»	»	< 1
9	0,078	»	0,0077	121	519	0,048	585	576	223	86	»	»	35
10	0,203	»	0,028	178	571	0,247	460	398	257	88	»	»	31
11	0,051	»	0,0068	150	628	0,072	307	276	222	92	»	»	24
12	0,026	»	0,0035	145	619	0,106	446	406	217	98	»	»	40
13	0,088	Растущий овраг	0,012	138	394	0,133	279	269	238	97	»	»	98
14	0,015	То же	0,0021	174	491	0,105	408	398	262	143	»	»	67
III группа													
15	1,28	V-образные в верхней части, U-образные в нижней	0,23	225	509	1,01	235	204	355	86	Ливневые затяжные дожди	Еже- годный вынос	72

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
16	0,245	V-образный в верхней части, коры- тообразный в средней, U-образный в устьевой	0,035	197	631	0,35	307	283	343	97	То же	Крупный сель в ав- густе 2012 г.	69
17	0,047	Растущая ложбина	0,0065	238	786	0,167	431	414	351	147	»	Еже- годный вынос	48
18	0,025	То же	0,0034	200	782	0,117	406	398	328	148	»	То же	67
19	0,032	»	0,0044	206	852	0,15	401	388	328	143	»	»	41
20	0,025	»	0,0034	218	1174	0,123	436	448	351	162	»	»	44
21	0,014	»	0,0018	212	616	0,035	341	336	350	176	»	»	67
22	0,847	V-образный в верхней части, U-образный в нижней	0,145	226	478	0,868	224	200	346	123	»	»	65

Результаты и обсуждение. Данные таблицы 1 позволяют произвести полуколичественную оценку селевого риска для выявления участков, потенциально подверженных активизации селевых процессов, а также для оценки последствий воздействия селей. Результаты оценки представляют собой базу для определения очередности реконструкции и строительства сооружений защиты, в т. ч. для охраны сельскохозяйственных земель от селевых потоков. После определения количества баллов для селевого бассейна или группы селевых бассейнов присваивается категория риска, на основе которой принимаются проектные решения [12]:

- R1 (количество баллов $\geq 16,4$);
- R2 (количество баллов 11,8–16,3);
- R3 (количество баллов 7,2–11,7);
- R4 (количество баллов 2,6–7,1);
- R5 (количество баллов $\leq 2,5$).

Для проведения полуколичественной оценки селеопасности территории факторы оценки селевого риска были скорректированы, а также им присвоена балльность с учетом доминирующих факторов на территории объекта, согласно таблице 1 (таблица 2) [12].

Таблица 2 – Полуколичественная оценка селевого риска

Table 2 – Semi-quantitative assessment of mudflow risk

Обозначение	Оценочный балл	Характер фактора	Степень влияния
1	2	3	4
I группа			
H1	2	Средняя крутизна склонов водосбора – 27°	0,2
H2	4	Крутизна русел водосбора – 24°	0,3
H3	2	Лимитирующий фактор изменения водного баланса – атмосферные осадки	0,1
H4	2	Активное развитие процессов водной эрозии и дефляции, отсутствие зеленого покрова на склонах	0,3
H5	1	Рыхлообломочный материал, задействованный в селеобразовании, – до 2500 м ³ /км ²	0,2
H6	2	Русло частично задерновано (< 1 %)	0,3
H7	1	Мах высота бассейна – 165 м	0,2

Продолжение таблицы 2

Table 2 continued

1	2	3	4
H8	4	Часто повторяемые сели (1 раз в 2–3 года)	0,3
H9	0	Отсутствие прорывоопасных озер	0,3
H10	2	Селевые очаги рассредоточенные и (или) рытвины	0,3
A	0,1	Противоселевые конструкции отсутствуют	–
D1	3	Дорога регионального значения	–
D2	4	Протяженность участка более 100 м	–
D3	1	Малая степень воздействия селевого потока на объекты транспортной и других видов инфраструктур прилегающих объектов	–
D4	2	Наличие инженерных коммуникаций недалеко от автомобильной дороги	–
D5	2	Расход селевого потока – 3,23 м ³ /с	–
R3	Средний	Возможно причинение серьезного ущерба, велика вероятность снижения эффективности функционирования объектов транспортной инфраструктуры, также несет малую угрозу для жизни и здоровья людей [4]	–
II группа			
H1	2	Крутизна склонов водосбора – 29°	0,2
H2	4	Крутизна русел водосбора – 23°	0,3
H3	2	Лимитирующий фактор изменения водного баланса – атмосферные осадки	0,1
H4	2	Активное развитие процессов водной эрозии и дефляции, отсутствие зеленого покрова на склонах	0,3
H5	1	Рыхлообломочный материал, задействованный в селеобразовании, – до 2500 м ³ /км ²	0,2
H6	2	Русло частично задерновано (48 %)	0,3
H7	2	Мах высота бассейна 232 м	0,2
H8	4	Часто повторяемые сели (1 раз в 2–3 года)	0,3
H9	0	Отсутствие прорывоопасных озер	0,3
H10	2	Селевые очаги рассредоточенные и (или) рытвины	0,3
A	0,1	Противоселевые конструкции отсутствуют	–
D1	3	Дорога регионального значения	–
D2	4	Протяженность участка более 100 м	–
D3	1	Малая степень воздействия селевого потока на объекты транспортной и других видов инфраструктур прилегающих объектов	–
D4	2	Наличие инженерных коммуникаций недалеко от автомобильной дороги	–
D5	2	Расход селевого потока – 11,00 м ³ /с	–

Продолжение таблицы 2

Table 2 continued

1	2	3	4
R3	Средний	Возможно причинение серьезного ущерба, велика вероятность снижения эффективности функционирования объектов транспортной инфраструктуры, также несет малую угрозу для жизни и здоровья людей [4]	–
III группа			
H1	3	Крутизна склонов водосбора – 36°	0,2
H2	4	Крутизна русел водосбора – 19°	0,3
H3	2	Лимитирующий фактор изменения водного баланса – атмосферные осадки	0,1
H4	2	Активное развитие процессов водной эрозии и дефляции, отсутствие зеленого покрова на склонах	0,3
H5	4	Рыхлообломочный материал, задействованный в селеобразовании, – до 20000 м ³ /км ²	0,2
H6	2	Русло частично задерновано (59 %)	0,3
H7	4	Мах высота бассейна – 344 м	0,2
H8	4	Часто повторяемые сели (1 раз в 2–3 года)	0,3
H9	0	Отсутствие прорывоопасных озер	0,3
H10	2	Селевые очаги рассредоточенные и (или) рывтины	0,3
A	0,1	Противоселевые конструкции отсутствуют	–
D1	3	Дорога регионального значения	–
D2	4	Протяженность участка более 100 м	–
D3	1	Малая степень воздействия селевого потока на объекты транспортной и других видов инфраструктур прилегающих объектов	–
D4	2	Наличие инженерных коммуникаций недалеко от автомобильной дороги	–
D5	4	Расход селевого потока – 67,86 м ³ /с	–
R2	Высокий	Повышенный уровень потенциального причинения значительного ущерба объектам транспортной инфраструктуры, а также высокая вероятность причинения вреда здоровью людей [4]	–

Таким образом, количественные и качественные показатели таблицы 2 будут являться базой при принятии проектных решений по стабилизации ситуации. При этом в соответствии с качественными характеристиками определяются: уровень ответственности, дополнительные коэффициенты при расчете надежности и др., а количественные необходимы для непосредственных расчетов удерживающей способности проектируемых со-

оружений, расчета нагрузок на такие сооружения и др. [13]. При наличии на селеопасном участке защитных сооружений принимаются решения в зависимости от их изношенности по их замене, реконструкции или укреплению.

Коэффициент $D5$ – расход селевого потока – определяется по формуле²:

$$Q_c = V_c \cdot \omega, \quad (1)$$

где Q_c – расход селевого потока, м³/с;

V_c – скорость селевого потока, м/с;

ω – площадь поперечного сечения селевого потока, м².

Согласно ОДМ 218.2.052-2015, скорость селевого потока рассчитывается по формуле:

$$V_c = \frac{\sqrt{2g\Delta h}}{\alpha'}, \quad (2)$$

где V_c – скорость селевого потока, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

Δh – разность между абсолютными отметками следов уровня, м;

α' – коэффициент, зависящий от свойств селевой массы (среднее значение $\alpha' = 0,65$)².

Таким образом, для I группы селевых бассейнов максимальная абсолютная отметка следов уровня – 119,01 м, минимальная – 117,36 м, здесь $\Delta h = 1,65$ м, так, скорость селевого потока $V_c = 8,75$ м/с (2), что соответствует несвязным грязекаменным потокам [14]. Площадь поперечного сечения определена в полевых условиях, среднее значение для I группы – $\omega = 0,369$ м². Таким образом, подставив значения в формулу, получили расход для потока: $Q_c = 3,23$ м³/с (1).

²Проектирование и строительство противоселевых сооружений для защиты автомобильных дорог: ОДМ 218.2.052-2015: утв. Росавтодором 17.08.15: введ. в действие с 16.09.15. М., 2015. 79 с.

Величина потенциального ущерба напрямую зависит от значимости автомобильной дороги. Формула для расчета величины ущерба [12]:

$$C_n = D_1 + D_2 + \dots + D_n,$$

где $D_{1,2,\dots,n}$ – частный коэффициент величины ущерба.

Для первой группы величина ущерба составляет: $C_1 = 19$.

$$P_n = H \cdot A,$$

где P_n – вероятность воздействия опасного геологического процесса (селя) на объекты дорожной инфраструктуры;

H – суммарный показатель предрасположенности к возникновению селевого потока;

A – постоянная, отражающая состояние защитных конструкций (противоселевых сооружений), в зависимости от уровня износа, при отсутствии таких конструкций присваивается наивысший коэффициент значимости – 0,1 [4].

Вероятность воздействия селевого потока на объекты дорожной инфраструктуры составляет: $P_1 = 0,52$.

$$H = \sum H_n \cdot t, \quad (3)$$

где H – суммарный показатель, отражающий предрасположенность к возникновению селевого потока;

H_n – фактор селеобразования;

t – коэффициент значимости фактора селеобразования [12].

Здесь для первой группы получено: $H = 5,2$.

Категория риска определена по формуле [12]:

$$R_c = P_n \cdot C_n, \quad (4)$$

где R_c – категория селевого риска;

P_n – вероятность воздействия опасного геологического процесса (селя) на объекты дорожной инфраструктуры;

C_n – показатель потенциальной величины ущерба.

Таким образом, $R_1 = 9,88$, следовательно, I группа бассейнов входит в категорию риска R3, если этой группы создают малую угрозу. Для предотвращения катастрофических последствий здесь необходимо принимать меры по озеленению склонов.

Проведен аналогичный расчет для второй группы селевых бассейнов, по формуле (2) определена скорость потока, при $\Delta h = 2,32$ м $V_c = 10,3$ м/с. Площадь поперечного сечения определена в полевых условиях: $\omega = 1,06$ м². Следовательно, расход потока по формуле (1): $Q_c = 11,00$ м³/с. Для второй группы показатель потенциальной величины ущерба составляет: $C_2 = 21$, а вероятность воздействия опасного геологического процесса (селя) на объекты дорожной инфраструктуры $P_2 = 0,54$. По формуле (3) определен вес показателей «H»: $H_2 = 5,4$. Таким образом, по формуле (4) $R_{II} = 11,34$, II группа бассейнов входит в категорию риска R3, если этой группы создают малую угрозу, при отсутствии мероприятий по озеленению склонов, которые будут предотвращать водную и ветровую эрозию, ситуация будет усугубляться.

Расчет для третьей группы селевых бассейнов проведен аналогично. По формуле (2) определена скорость потока при условии $\Delta h = 3,44$ м: $V_c = 12,6$ м/с. Площадь поперечного сечения для III группы определена в полевых условиях и составила: $\omega = 5,37$ м². Следовательно, расход потока по формуле (1): $Q_c = 67,86$ м³/с. Для третьей группы показатель потенциальной величины ущерба составляет: $C_3 = 23$, а вероятность воздействия опасного геологического процесса (селя) на объекты дорожной инфраструктуры $P_3 = 0,66$. По формуле (3) определен вес показателей «H»: $H_3 = 6,6$. Таким образом, по формуле (4) $R_{III} = 15,18$, II группа бассейнов входит в категорию риска R2, что предполагает высокую вероятность ущерба для инженерных, транспортных и других сооружений.

Выводы. В работе впервые дана оценка селевого риска для обнаруженных на местности селевых бассейнов в границах территории исследования. На основе проведенной полуколичественной оценки селевого риска по трем группам получили: I группа принадлежит категории риска R3 (средняя), II группа – R3 (средняя), III группа – R2 (высокая). Для первой и второй групп рекомендуется устройство каскадных противоселевых бассейнов, а также необходимо проведение противоэрозионных мероприятий, таких как озеленение склонов, запрет вырубки существующих насаждений, кроме того, следует проводить регулярные наблюдения за состоянием противоселевых сооружений. На участке, относящемся к R2, интенсивно накапливается твердая составляющая, которая при ливневом дожде послужит материалом для образования селевого потока. Использование этой дороги небезопасно в период затяжных дождей. Вдоль дороги Льговское – Грушевка – Судак ПК 282 – ПК 294 необходимо незамедлительное возведение селепредотвращающих, селезадерживающих, селестабилизирующих, селепропускных и других видов противоселевых сооружений, а также проведение агролесомелиоративных мероприятий по борьбе с ветровой и водной эрозией для укрепления склонов.

Список источников

1. Spatiotemporal aspects of interannual changes precipitation in the Crimea / R. Gorbunov, T. Gorbunova, N. Kononova, A. Priymak, A. Salnikov, A. Drygval, Ya. Lebedev // Journal of Arid Environments. 2020. Vol. 183. 104280. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104280>.
2. Popovych V. F., Dunaieva I. A. Assessment of the GPM IMERG and CHIRPS precipitation estimations for the steppe region of the Crimea // Meteorology Hydrology and Water Management. 2021. Vol. 9, iss. 1–2. 13 p. DOI: 10.26491/mhwm/133088.
3. Гетто О. Н., Белов В. А. Организационно-технические мероприятия по обеспечению селезащиты // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 3. С. 264–276. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1305> (дата обращения: 01.10.2023). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-264-276.
4. Маций С. И., Сухляева Л. А. Противоселевая защита: монография. Краснодар: КубГАУ, 2021. 168 с.
5. Кюль Е. В., Джаппуев Д. Р. Ландшафтная оценка селеопасности территории // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2011. № 6(44). С. 90–96.

6. Мальцева И. С. Устойчивое землепользование в северном регионе: проблемы и инструменты // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2021. № 2(48). С. 102–114. DOI: 10.19110/1994-5655-2021-2-102-114.

7. Чалов Р. С. Русловые процессы (русловедение): учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2016. 565 с.

8. Дегтерев А. Х. Изменение климата Крыма за последние десятилетия // Вопросы безопасности. 2020. № 2. С. 1–6. DOI: 10.25136/2409-7543.2020.2.32821.

9. Опасные природные явления в Крыму / Л. А. Багрова, В. О. Смирнов, И. Ю. Гунькина, К. С. Змерзлая // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2013. Т. 9, вып. 2, ч. 1. С. 115–126.

10. Динамика атмосферных осадков в ландшафтах равнинного Крыма / Р. В. Горбунов, Т. Ю. Горбунова, В. А. Табунщик, А. В. Дрыгваль, М. С. Сафонова // Успехи современного естествознания. 2021. № 9. С. 31–38. DOI: 10.17513/use.37682.

11. Ефимов В. В. Характеристики экстремальных атмосферных осадков в Крыму // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 2. С. 6–18. DOI: 10.22449/2413-5577-2022-2-6-18.

12. Маций С. И., Сухляева Л. А. Полуколичественная оценка селевого риска на автомобильных дорогах // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2019. Т. 10, № 4. С. 105–115. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.10.

13. Сидаравичуте У. Р., Сухарев Д. В. Расчет нагрузки на противоселевые сооружения // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 3. С. 237–255. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1389> (дата обращения: 01.10.2023). DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-237-255.

14. Перов В. Ф. Селеведение: учеб. пособие / Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Геогр. фак. МГУ. М.: Геогр. фак. МГУ, 2012. 271 с.

References

1. Gorbunov R., Gorbunova T., Kononova N., Priymak A., Salnikov A., Drygval A., Lebedev Ya., 2020. Spatiotemporal aspects of interannual changes precipitation in the Crimea. Journal of Arid Environments, vol. 183, 104280, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104280>.

2. Popovych V.F., Dunaieva I.A., 2021. Assessment of the GPM IMERG and CHIRPS precipitation estimations for the steppe region of the Crimea. Meteorology Hydrology and Water Management, vol. 9, iss. 1-2, 13 p., DOI: 10.26491/mhwm/133088.

3. Getto O.N., Belov V.A., 2022. [Organizational and technical measures for mudflow protection security]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 3, pp. 264-276, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1305> [accessed 01.10.2023], DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-264-276. (In Russian).

4. Matsiy S.I., Sukhlyayeva L.A., 2021. *Protivoselevaya zashchita: monografiya* [Anti-Mudflow Protection: monograph]. Krasnodar, KubSAU, 168 p. (In Russian).

5. Kul E.V., Dzhappuev D.R., 2011. *Landshaftnaya otsenka seleopasnosti territorii* [Landscape estimation of mudflow hazard of a territory]. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bull. of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], no. 6(44), pp. 90-96. (In Russian).

6. Maltseva I.S., 2021. *Ustoychivoe zemlepol'zovanie v severnom regione: problemy i instrumenty* [Sustainable land use in the northern region: problems and instruments]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN* [Bull. of Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], no. 2(48), pp. 102-114, DOI: 10.19110/1994-5655-2021-2-102-114. (In Russian).

7. Chalov R.S., 2016. *Ruslovyie protsessy (ruslovedenie): ucheb. posobie* [Channel Processes (Channel Studies): textbook]. Moscow, INFRA-M Publ., 565 p. (In Russian).

8. Degterev A.Kh., 2020. *Izmenenie klimata Kryma za poslednie desyatiletiya* [Changes in Crimea's climate over the recent decades]. *Voprosy bezopasnosti* [Security Issues], no. 2, pp. 1-6, DOI: 10.25136/2409-7543.2020.2.32821. (In Russian).

9. Bagrova L.A., Smirnov V.O., Gunkina I.Yu., Zmerzlaya K.S., 2013. *Opasnye prirodnye yavleniya v Krymu* [Natural hazards in the Crimea]. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov* [Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions], vol. 9, iss. 2, pt. 1, pp. 115-126. (In Russian).

10. Gorbunov R.V., Gorbunova T.Yu., Tabunshchik V.A., Drygval A.V., Safonova M.S., 2021. *Dinamika atmosferykh osadkov v landshaftakh ravninnogo Kryma* [Dynamics of precipitation in plain Crimea landscapes]. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* [Advances in Current Natural Science], no. 9, pp. 31-38, DOI: 10.17513/use.37682. (In Russian).

11. Efimov V.V., 2022. *Kharakteristiki ekstremal'nykh atmosferykh osadkov v Krymu* [Characteristics of extreme precipitation in the Crimea]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon morya* [Ecological Security of Coastal and Shelf Zones of Sea], no. 2, pp. 6-18, DOI: 10.22449/2413-5577-2022-2-6-18. (In Russian).

12. Matsiy S.I., Sukhlyaeva L.A., 2019. *Polukolichestvennaya otsenka selevogo riska na avtomobil'nykh dorogakh* [Semi-quantitative assessment of debris flow risks on highways]. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bull. of PNIPU. Construction and Architecture], vol. 10, no. 4, pp. 105-115, DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.10. (In Russian).

13. Sidaravichute U.R., Sukharev D.V., 2023. [Mudflow protection structure load calculation]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 3, pp. 237-255, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1389> [accessed 01.10.2023], DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-237-255. (In Russian).

14. Perov V.F., 2012. *Selevedenie: ucheb. posobie* [Mudflow Studies: textbook]. Moscow State University named after M. V. Lomonosov, Geographical faculty of Moscow State University, Moscow, 271 p. (In Russian).

Информация об авторах

Е. В. Кузнецов – профессор кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения, доктор технических наук, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация, dtm-kuz@rambler.ru;

В. С. Маций – аспирант кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация, vmatsiys@gmail.com;

У. Р. Сидаравичуте – студент землеустроительного факультета, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация, dd600902@gmail.com.

Information about the authors

E. V. Kuznetsov – Professor of the Department of Hydraulics and Agricultural Water Supply, Doctor of Technical Sciences, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, dtm-kuz@rambler.ru;

V. S. Matsiy – Postgraduate Student of the Department of Hydraulics and Agricultural Water Supply, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, vmatsiys@gmail.com;

U. R. Sidaravichute – Student, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, dd600902@gmail.com.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 20.06.2023; одобрена после рецензирования 15.11.2023;
принята к публикации 15.11.2023.
The article was submitted 20.06.2023; approved after reviewing 15.11.2023; accepted for
publication 15.11.2023.*