

РАНЖИРОВАНИЕ СЕЛЕОПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ СЕРЫМ РЕЛЯЦИОННЫМ АНАЛИЗОМ

В. С. Мацкий, аспирант

*Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина,
г. Краснодар, Россия*

Аннотация. Проведено сравнение существующих методов анализа чувствительности различных параметров при обосновании инженерных решений. Выявлены недостатки традиционных детерминистических подходов. Предложен метод серого реляционного анализа для уточнения степени селевой опасности. Проанализированы исходные данные 22 селеопасных участков (расход паводка, средний и средневзвешенный уклоны бассейна и русла, залесенность), рассчитаны нормализованные риски, проведена интегральная оценка селевой опасности. Результаты позволили уточнить проведенную ранее полуколичественную оценку риска. В статье впервые утверждается, что серый реляционный анализ универсально применим для анализа сложных систем с несколькими критериями при нестабильных или неполных данных. Он помогает ранжировать альтернативы, выявлять ключевые факторы и оптимизировать процессы при минимальных вычислительных усилиях. Метод актуален и обоснованно может применяться в вариантном проектировании мероприятий по защите территорий от оползней и селей, в оценке риска проявления опасных процессов.

Ключевые слова: сель, селеопасность территории, селевой риск, серый реляционный анализ, ранжирование селевых участков, охрана земель, Республика Крым.

V. S. Matsiy.

RANKING OF MUDFLOW HAZARDOUS AREAS BY GRAY RELATIONAL ANALYSIS

Abstract. A comparison of existing methods of analysis of sensitivity of different parameters in the justification of engineering decisions has been carried out. The shortcomings of traditional deterministic approaches were identified. A method of gray relational analysis to clarify the degree of feral danger was proposed. On the basis of the initial data, 22 sensitive sites (flood flow, medium and medium-weighted slope of the basin and the river bed, vegetation) were calculated with normalized risks, an integrated risk assessment was carried out. The results allowed to refine the previous semi-quantitative risk assessment. The article is the first to state that that gray relational analysis is universally applicable for analyzing complex systems with multiple criteria in unstable or incomplete data. It helps to rank alternatives, identify key factors and optimize processes with minimal computational effort. The method is up to date and can be applied in the variant design of activities for protection against landslides and mudslides, in the assessment of risk of occurrence of dangerous processes.

Keywords: debris flow, mudflow danger of locality, mudflow risk, gray relational analysis, grading mudflow districts, protection of lands, the Republic of Crimea.

Введение

Сели наносят масштабный экономический ущерб, вредят сельскому хозяйству и угрожают местному населению, уничтожая обширные земли, объекты транспортной системы и прилегающие коммуникации [1–6]. В связи с этим критически важной задачей становится диагностика эрозионной устойчивости склонов для точной оценки рисков и определения приоритетных участков по уровню селевой угрозы [7, 8].

В рамках инженерных изысканий на территории Республики Крым, вблизи села Грушевка [9] была проведена такая оценка. Ее целью стало проектирование защитных сооружений

и организация мониторинга объектов защиты [10]. Анализ показал, что для возникновения селей в этой местности необходимо сочетание четырех ключевых факторов: метеорологических, геоморфологических, геологических и связанных с растительным покровом. В ходе работ было идентифицировано 3 селевых бассейна, внутри которых выделено еще 14 водотоков. В качестве защитных мер нами рекомендуется комплексный подход, а именно:

1) *инженерные решения:* строительство противоселевых барьеров на разных высотах для задержки крупных обломков [11];

2) *природообустройство*: проведение агролесомелиорации (для улучшения состояния почв и водного режима) и фитомелиорации (для сохранения естественного растительного покрова), включая высадку леса на крутых склонах и запрет на вырубку (это позволяет корневым системам укреплять грунт и снижать объем твердого материала в селевом потоке).

На примере данного комплекса четко прослеживается связь между эрозией и чрезвычайными ситуациями: в руслах селевых потоков было зафиксировано скопление рыхлого материала, что указывает на активность оползней, обвалов и осыпей. Зоны зарождения этих опасных процессов во время обследования были картографированы.

Для прогнозирования и предотвращения разрушений предложен ряд превентивных мер:

- внедрение системы геотехнического мониторинга, включающей геологические исследования;
- строительство и регулярное обслуживание (очистка, ремонт) дренажных и водоотводящих систем;
- плановое техническое обслуживание и своевременная реконструкция защитных сооружений;
- укрепление незалесенных склонов с помощью противоэрозионных покрытий (геоматы) [12], анкерных полей или иных инженерных методов.

Изыскания проводились также на территории Крыма.

Пик обильных осадков в этом регионе наблюдается в летний период (с конца мая по сентябрь), и он связан с прохождением атмосферных фронтов [13, 14]. Вследствие таких метеорологических условий и формируются

дождевые сели. Риск их схода многократно возрастает на участках, где склоны не имеют противоэрозионной защиты. Именно высокая селевая активность характерна для района планируемого строительства и реконструкции автодороги Льговское – Грушевка – Судак.

Для оценки рисков и разработки защитных мер был выполнен комплексный анализ [9], который включал:

- 1) выявление очагов и причин: определение территорий с наиболее активными селевыми процессами, анализ факторов (отсутствие растительного покрова на склонах, интенсивные продолжительные ливни);
- 2) оценка последствий: изучение ущерба, наносимого сельскохозяйственным угодьям, объектам инфраструктуры и коммуникациям, включая нарушение работы смежных сетей;
- 3) разработка мероприятий [2]: формирование на основе полученных данных плана первоочередных действий и пакета рекомендаций по защите наиболее уязвимых участков.

С целью систематизации данных и удобства планирования все селевые бассейны на участке автомобильной дороги Льговское – Грушевка – Судак, вблизи с. Грушевка, были категоризированы на три группы по критерию максимальной высоты. Проанализирован селевой риск в границах территории исследования. Полуколичественная оценка селевого риска [11, 15] позволила ранжировать опасные участки по трем категориям, и для каждой из них рекомендованы свои мероприятия в зависимости от уровня селевой опасности. На отдельных участках выявлена необходимость незамедлительного проведения агролесомелиоративных мероприятий по борьбе с ветровой и водной эрозией, а также устройства противоселевых сооружений.

Материалы и методы исследования

Проектирование линейных объектов часто связано с созданием глубоких выемок в грунте. Ключевой задачей при этом является поиск баланса при назначении углов откосов: чрезмерно крутые склоны теряют устойчивость, а излишне пологие выводят из оборота значительные земельные ресурсы. На стабильность откосов влияет множество факторов с разной степенью воздействия, и для оценки этого влияния эффективно применяется анализ

чувствительности. Этот инструмент позволяет проектировщикам обоснованно выбирать экономически целесообразные и технически безопасные решения [16].

Современные методы анализа чувствительности включают:

- искусственные нейронные сети;
- серый реляционный анализ;
- методы ортогонального и равномерного планирования;

- нечеткую комплексную оценку;
- аналитический иерархический процесс;
- методы анализа надежности.

Теория серых систем, разработанная J. L. Deng, фокусируется на решениях в условиях неполной информации [17]. Автор использует следующую терминологию:

белая информация – полная и достоверная;

серая информация – известная частично;

черная информация – полностью отсутствующая.

Метод GRA (*Grey Relational Analysis*, или анализ серых отношений) – один из ключевых методов многокритериальной оптимизации для работы с неполной, неопределенной или неточной информацией; особенно эффективен при наличии сложных взаимосвязей между параметрами, ограниченных объемах исходных данных, необходимости выявления ключевых факторов влияния.

Традиционные детерминистические расчеты устойчивости («белый ящик») опираются на нормативные характеристики грунтов. Однако реальные грунтовые массивы характеризуются существенной пространственной неоднородностью, изменчивостью во времени под влиянием климатических и техногенных факторов, разнообразием методов определения прочностных характеристик. Эти особенности превращают оценку устойчивости в «серую» систему, где часть информации известна, а часть – нет. GRA не ищет идеального решения, но позволяет найти технически приемлемый и экономически обоснованный вариант в условиях неопределенности.

Основные направления применения GRA в геотехнике:

- анализ влияния различных факторов на поведение грунтов;
- ранжирование рисков и оптимизация проектных решений;
- обработка данных мониторинга и прогнозирование поведения конструкций.

Эталонная последовательность X составляется из параметров, влияющих на устойчивость откоса в условиях выемки или насыпи (например, удельный вес, сцепление, угол внутреннего трения, высота откоса и т. д.). Сравниваемая последовательность Y формируется из соответствующих коэффициентов

устойчивости откоса F_{st} , полученных при изменении каждого параметра.

В матричной форме это можно представить в виде:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix},$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $x_{ij} = (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ – значение j -го параметра i -го фактора;

$y_{ij} = (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ – соответствующий коэффициент устойчивости.

Так как физический смысл и размерность каждого фактора различны, необходимо привести их к единому безразмерному виду. При этом некоторые факторы положительно коррелируют с коэффициентом устойчивости, а некоторые – отрицательно.

Очевидно, что положительные и отрицательные воздействующие факторы оказывают противоположное влияние на устойчивость откосов. Традиционный метод анализа серых систем игнорирует влияние этой противоположной тенденции и рассматривает все воздействующие факторы в соответствии с положительными факторами корреляции. Поэтому необходимо использовать два разных метода расчета для выполнения безразмерной обработки параметров положительной корреляции и отрицательной корреляции соответственно.

Для положительной и отрицательной корреляции x_{ij} :

$$\left. \begin{aligned} x'_{ij} &= \frac{x_{ij} - \min x_i}{\max x_i - \min x_i} \\ y'_{ij} &= \frac{y_{ij} - \min y_i}{\max y_i - \min y_i} \end{aligned} \right\};$$

$$\left. \begin{aligned} x'_{ij} &= \frac{\max x_i - x_{ij}}{\max x_i - \min x_i} \\ y'_{ij} &= \frac{\max y_i - y_{ij}}{\max y_i - \min y_i} \end{aligned} \right\}, \quad (2).$$

где x_{ij} – значение j -го параметра i -го фактора влияния;

y_{ij} – соответствующий коэффициент устойчивости склона.

В результате получаем безразмерные матрицы эталонной последовательности X' и сравниваемой последовательности Y' . Эти матрицы – основа для всего последующего расчета коэффициентов реляционной близости и, в конечном итоге, для принятия инженерного решения.

Расчет весов критериев методом энтропии начинается с нормирования исходной матрицы (расчет вероятностей p_{ij}):

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}. \quad (3)$$

Расчет энтропии для каждого критерия производится по формуле

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m (p_{ij} \cdot \ln p_{ij}), \quad (4)$$

$$\text{где } k = \frac{1}{\ln m}. \quad (5)$$

Расчет степени отклонения энтропии d_j :

$$d_j = 1 - e_j. \quad (6)$$

Весовые коэффициенты ω_j рассчитываются по формуле

$$\omega_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}. \quad (7)$$

Нормирование матрицы R производится по формулам

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max x_j}; \quad y'_{ij} = \frac{\min x_j}{x_{ij}}. \quad (8)$$

Затем необходимо рассчитать матрицу коэффициентов взаимосвязей. Коэффициенты взаимосвязи между элементами эталонной и сравниваемой последовательностей определяются по формуле

$$\xi_{ij} = \frac{\min_i \min_j |x'_{ij} - y'_{ij}| + \lambda \cdot \max_i \max_j |x'_{ij} - y'_{ij}|}{|x'_{ij} - y'_{ij}| + \lambda \cdot \max_i \max_j |x'_{ij} - y'_{ij}|}. \quad (9)$$

Из уравнения (9) видно, что λ является весовым коэффициентом, а его размер отражает системную целостность серой степени связи. Иногда λ называют различительным коэффициентом, показывающим соотношение значений минимальных и максимальных оценок. Этот эффект влияет на размер интервала распределения степени связи, что, в свою очередь, обуславливает результаты корреляционного анализа. Обычно в сером реляционном анализе λ принимается равным 0,5.

Итоговый рейтинг рассчитывается при помощи интегральных показателей:

$$\gamma_i = \sum_{j=1}^n (\omega_j \times \xi_{ij}). \quad (10)$$

Результаты исследования и их обсуждение

Серый реляционный анализ – это метод теории серых систем, который позволяет оценивать степень влияния различных факторов на исследуемый процесс, даже при наличии неполных или неточных данных. Его можно применять для оценки устойчивости склонов, особенно когда данных недостаточно. При этом важен выбор ключевых факторов. Так, для селеопасных территорий таковыми могут быть [18]:

- геометрические параметры (высота, угол наклона, форма склона);
- грунтовые характеристики (удельный вес, пористость, угол внутреннего трения, сцепление);
- гидрогеологические условия (уровень грунтовых вод, инфильтрация);

- нагрузки (сейсмичность, техногенные воздействия);

- растительный покров и эрозионные процессы.

Рассчитываемый интегральный показатель устойчивости показывает, что чем он выше, тем ближе склон к идеальному (устойчивому) состоянию. Соответственно, можно проводить ранжирование и классифицировать участки, считая, что территории с высоким реляционным коэффициентом более устойчивы. Можно также выявить наиболее критичные факторы (с низкими показателем), требующие укрепления.

Преимущества метода GRA заключаются в том, что он работает с малыми выборками и неполными данными; учитывает качественные и количественные показатели; позволяет

сравнивать разные склоны по степени устойчивости. GRA позволяет системно оценить селевую опасность территории даже при ограниченных данных, а также выявить ключевые факторы риска, что полезно для предварительного анализа и принятия решений о мерах укрепления. Если исходные факторы имеют разную значимость, можно использовать такие методы, как АНР (*Analytic Hierarchy Process*, или обработка аналитических иерархий) или энтропийный подход для определения весов.

Из данных, полученных на селевых участках в Судакском р-не Республики Крым [9], берем только те показатели, которые отражают опасность селей (табл. 1):

1) прямые (чем больше – тем опаснее): расход дождевого паводка, м³/с; средний уклон бассейна, ‰; средний уклон селевого русла, ‰; средневзвешенный уклон русла, ‰;

2) обратные (чем меньше – тем опаснее): в частности, залесенность (в %) – чем больше леса, тем безопаснее.

Параметры переведены в факторы риска, чтобы сравнить между собой: прямые критерии оставлены как есть; что касается обратных, то их значения заменены на максимум по столбцу. Таким образом, чем больше число, тем участок опаснее по этому критерию. Для нормализации значений приводим все показатели к диапазону 0–1 с помощью уравнений (2). Результаты представлены в табл. 2.

В табл. 2 ноль (0) означает наименьший риск по критерию среди всех участков, а 1 – наибольший. Далее создаем эталонный («идеальный опасный») профиль. Для сравнения задаем опорную последовательность: в ней все значения по критериям равны 1. Это гипотетический участок, который среди наблюдаемых максимально опасен по каждому показателю. Вычисление коэффициентов серой корреляции производим по формулам (3)–(9). Рассчитанные коэффициенты серой корреляции приведены в табл. 3.

Таблица 1. Факторы риска селевых участков

№ участка	Расход паводка, м ³ /с	Средний уклон бассейна, ‰	Средневзвешенный уклон русла, ‰	Средний уклон русла, ‰	Залесенность, %
1	0,047	472	330	293	97
2	0,046	447	476	451	97
3	0,03	464	516	398	97
4	0,006	622	489	432	97
5	0,007	505	395	383	97
6	0,074	529	394	373	97
7	0,169	478	421	393	97
8	0,064	587	612	509	97
9	0,078	519	585	576	63
10	0,203	571	460	398	67
11	0,051	628	307	276	74
12	0,026	619	446	406	58
13	0,088	394	279	269	0
14	0,015	491	408	398	31
15	1,280	509	235	204	26
16	0,245	631	307	283	29
17	0,047	786	431	414	50
18	0,025	782	406	398	31
19	0,032	852	401	388	57
20	0,025	1174	436	448	54
21	0,014	616	341	336	31
22	0,847	478	224	200	33

Таблица 2. Нормализованные риски селевых участков

№ участка	Расход паводка м³/с	Средний уклон бассейна, ‰	Средневзвешенный уклон русла, ‰	Средний уклон русла, ‰	Залесенность, %
1	0,032	0,100	0,273	0,247	1,000
2	0,031	0,068	0,649	0,668	1,000
3	0,019	0,090	0,753	0,527	1,000
4	0,000	0,292	0,683	0,617	1,000
5	0,001	0,142	0,441	0,487	1,000
6	0,053	0,173	0,438	0,460	1,000
7	0,128	0,108	0,508	0,513	1,000
8	0,046	0,247	1,000	0,822	1,000
9	0,057	0,160	0,930	1,000	0,649
10	0,155	0,227	0,608	0,527	0,691
11	0,035	0,300	0,214	0,202	0,763
12	0,016	0,288	0,572	0,548	0,598
13	0,064	0,000	0,142	0,184	0,000
14	0,007	0,124	0,474	0,527	0,320
15	1,000	0,147	0,028	0,011	0,268
16	0,188	0,304	0,214	0,221	0,299
17	0,032	0,503	0,534	0,569	0,515
18	0,015	0,497	0,469	0,527	0,320
19	0,020	0,587	0,456	0,500	0,588
20	0,015	1,000	0,546	0,660	0,557
21	0,006	0,285	0,302	0,362	0,320
22	0,660	0,108	0,000	0,000	0,340

Таблица 3. Серые коэффициенты ξ для каждого фактора селеопасного участка

№ участка	Расход паводка, м³/с	Средний уклон бассейна, ‰	Средневзвешенный уклон русла, ‰	Средний уклон русла, ‰	Залесенность, %
1	0,341	0,357	0,408	0,399	1,000
2	0,340	0,349	0,588	0,601	1,000
3	0,338	0,355	0,669	0,514	1,000
4	0,333	0,414	0,612	0,566	1,000
5	0,334	0,368	0,472	0,493	1,000
6	0,346	0,377	0,471	0,481	1,000
7	0,364	0,359	0,504	0,507	1,000
8	0,344	0,399	1,000	0,737	1,000
9	0,346	0,373	0,878	1,000	0,588
10	0,372	0,393	0,561	0,514	0,618
11	0,341	0,417	0,389	0,385	0,678
12	0,337	0,413	0,539	0,525	0,554
13	0,348	0,333	0,368	0,380	0,333
14	0,335	0,363	0,487	0,514	0,424
15	1,000	0,370	0,340	0,336	0,406
16	0,381	0,418	0,389	0,391	0,416
17	0,341	0,501	0,517	0,537	0,508
18	0,337	0,499	0,485	0,514	0,424
19	0,338	0,548	0,479	0,500	0,548
20	0,337	1,000	0,524	0,595	0,530
21	0,335	0,411	0,417	0,439	0,424
22	0,595	0,359	0,333	0,333	0,431

Для проведения интегральной оценки серым реляционным анализом (GRA) рассчитываем по формуле (10) итоговый балл как среднее взвешенное коэффициентов по критериям (рисунок).

Рассмотрение результатов, полученных путем серого анализа, показало, что верхние места в рейтинге заняли участки с большими уклонами, высокими паводковыми расходами и низкой залесенностью. Нижние места – у бо-

лее пологих, хорошо залесенных бассейнов с меньшими расходами.

Однако итоговое ранжирование селеопасных участков значительно отличается от проведенного полуколичественной оценкой селевого риска и существенно уточняет ее. Это подтверждает вывод о том, что такие анализы должны проводиться различными методами для получения наиболее достоверной информации.

№	GRA grade
8	0,696
9	0,637
20	0,597
4	0,585
2	0,576
3	0,575
7	0,547
6	0,535
5	0,533
1	0,501
10	0,491
15	0,490
19	0,483
17	0,481
12	0,474
18	0,452
11	0,442
14	0,425
22	0,410
21	0,405
16	0,399
13	0,353

Рейтинг опасности селевых участков (GRA)

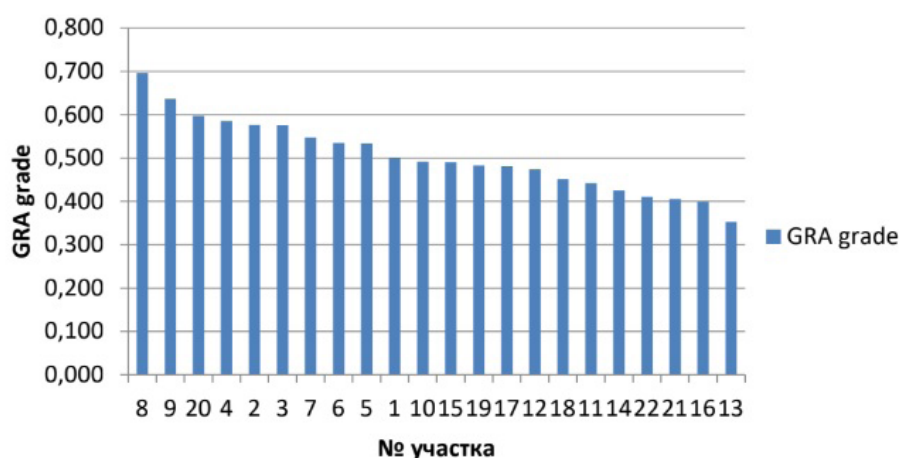


Рисунок. Итоговый рейтинг опасности (GRA) селевых участков на территории реконструкция автомобильной дороги Льговское – Грушевка – Судак

Выводы

В статье впервые показано, что серый реляционный анализ универсально применим для анализа сложных систем с несколькими критериями при нестабильных или неполных данных. Он помогает ранжировать альтернативы, выявлять ключевые факторы и оптимизировать процессы при минимальных

вычислительных усилиях. Метод актуален и обоснованно может применяться в варианном проектировании мероприятий защиты территорий от оползней и селей, уточнении объемов инженерных изысканий и характеристик грунтов, в оценке риска проявления опасных процессов.

Список использованных источников

1. Гаевая, Э. А. Борьба с водной эрозией в севооборотах на склоновых землях / Э. А. Гаевая, А. Е. Мищенко, И. В. Сафонова // Науч. журнал Рос. НИИ проблем мелиорации. – 2012. – № 1. – С. 91–100.
2. Гетто, О. Н. Организационно-технические мероприятия по обеспечению селезащиты / О. Н. Гетто, В. А. Белов // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12, № 3. – С. 264–276. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-264-276>
3. Кюль, Е. В. Ландшафтная оценка селеопасности территории / Е. В. Кюль, Д. Р. Джаппуев // Известия Кабардино-Балкарского науч. центра РАН. – 2011. – № 6. – С. 90–96.

4. Маций, С. И. Инженерная защита объектов от склоновых процессов : учебник / С. И. Маций, В. С. Маций. – Краснодар : КубГАУ, 2023. – 520 с.
5. Перов, В. Ф. Селеведение : учеб. пособие / В. Ф. Перов ; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. Географ. ф-т. – М. : Географический факультет МГУ, 2012. – 271 с.
6. Шерхов, А. Х. База данных селевых явлений. Реализация поисковых запросов / А. Х. Шерхов, З. Ж. Гергокова // Природообустройство. – 2023. – № 4. – С. 86–91. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-4-86-91>
7. Сидаравичуте, У. Р. Результаты обследования противоселевых сооружений в предгорной части Краснодарского края / У. Р. Сидаравичуте, С. И. Маций, В. С. Маций // Мелиорация. – 2025. – № 2. – С. 38–46.
8. Маций, С. И. Противоселевая защита / С. И. Маций, Л. А. Сухляева. – Краснодар : КубГАУ, 2021. – 168 с.
9. Кузнецов, Е. В. Диагностика эрозионной устойчивости селеопасных участков на территории Республики Крым / Е. В. Кузнецов, В. С. Маций, У. Р. Сидаравичуте // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13, № 4. – С. 182–201. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-182-201>
10. Маций, С. И. Полуколичественная оценка селевого риска на автомобильных дорогах / С. И. Маций, Л. А. Сухляева // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 4. – С. 105–115. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2019.4.10>
11. Сидаравичуте, У. Р. Расчет нагрузки на противоселевые сооружения / У. Р. Сидаравичуте, Д. В. Сухарев // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 237–255. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-237-255>
12. Исследование возможности применения инженерно-экологического противоэрозионного покрытия – геомата с грунтом и посевом трав / Т. Ю. Жукова, А. В. Еремеев, Н. В. Ханов, М. И. Зборовская, А. И. Новиченко // Экономика строительства. – 2022. – № 11. – С. 95–101.
13. 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. <https://doi.org/10.17513/use.3768>
14. Ефимов, В. В. Характеристики экстремальных атмосферных осадков в Крыму / В. В. Ефимов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2022. – № 2. – С. 6–18. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2022-2-6-18>.
15. Сидаравичуте, У. Р. Оценка селеопасности территории в составе инженерных изысканий / У. Р. Сидаравичуте, В. С. Маций // Вопросы управления недвижимостью, землеустройства и геодезии. – 2023. – № 2. – С. 38–44.
16. Маций, В. С. Управление качеством изысканий и проектирования сооружений инженерной защиты : монография / В. С. Маций, С. И. Маций. – Краснодар : КубГАУ, 2023. – 109 с.
17. Deng, J. L. Control problems of grey systems / J. L. Deng // Systems & Control Letters. – 1982. – Vol. 1, № 5. – P. 288–294.
18. Сидаравичуте, У. Р. Экзогенные геологические процессы / У. Р. Сидаравичуте, В. С. Маций // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2024. – № 1. – С. 199–212.

Поступила 30 декабря 2025 г.