

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.6:551.435.627

doi: 10.31774/2712-9357-2025-15-2-225-244

Когнитивное моделирование проблем и приемов защиты территорий от оползней

Галина Викторовна Горелова¹, Дмитрий Игоревич Кацко²,
Александр Игоревич Кацко³

¹Южный федеральный университет, Таганрог, Российская Федерация

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

¹gorelova-37@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6637-6586>

²katsko99@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8484-159X>

³sa_katsko@bk.ru

Аннотация. **Цель:** развитие методов моделирования оползневых процессов на этапе доформального исследования. **Материалы и методы.** Базой для разработки методики послужил авторский опыт проектирования противооползневых мероприятий, а также опыт оценки оползневой опасности по имеющимся данным (визуальные наблюдения, инженерные изыскания и нормативная документация). Были использованы теория природообустройства, системный подход, когнитивное моделирование. **Результаты и обсуждение.** В настоящей статье предложена и реализована идеология когнитивного моделирования в качестве основы доформального исследования проблем (причин) и приемов защиты территорий от оползней. Когнитивная карта позволила решить задачу идентификации или отождествления реального оползневого процесса и приемов защиты территорий от оползней с их графическим представлением в виде концептов (вершин графа) и причинно-следственных связей между ними (ребер графа), что в дальнейшем позволяет перейти к формализации – построению математических моделей (байесовских сетей доверия, систем одновременных уравнений, моделей путевого анализа и т. д.). Получены сценарии развития сложных ситуаций, связанных с имитацией активности одной или нескольких вершин когнитивной карты, что позволяет отвечать на вопросы «что будет, если ...» и таким образом оказывать поддержку в принятии решений по проведению мелиоративных мероприятий противооползневой защиты. **Выводы.** Полученные когнитивные модели позволяют проводить имитационное моделирование и получать сценарии развития различных сложных ситуаций. Результаты могут быть использованы в системе поддержки принятия решений для разработки моделей вероятностного управления оползневым риском при формировании и эксплуатации инженерных сооружений.

Ключевые слова: оползень, защита территорий, мелиоративные мероприятия, пахотные земли, природные ресурсы, природообустройство, когнитивная карта, имитационная модель

Для цитирования: Горелова Г. В., Кацко Д. И., Кацко А. И. Когнитивное моделирование проблем и приемов защиты территорий от оползней // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 2. С. 225–244. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-2-225-244>.



LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Cognitive modeling of problems and methods of protecting territories from landslides

Galina V. Gorelova¹, Dmitry I. Katsko², Alexander I. Katsko³

¹Southern Federal University, Taganrog, Russian Federation

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

¹gorelova-37@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6637-6586>

²katsko99@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8484-159X>

³sa_katsko@bk.ru

Abstract. Purpose: to develop landslide process modeling methods at the pre-formal study stage. **Materials and methods.** The methodology development is based on the author's experience in designing landslide preventive measures, as well as the experience of assessing landslide hazard based on available data (visual observations, engineering surveys and regulatory documentation). The theory of environmental engineering, systems approach and cognitive modeling were used. **Results and discussion.** The ideology of cognitive modeling as a basis for pre-formal study of problems (causes) and methods of protecting territories from landslides is proposed and implemented. The cognitive map made it possible to solve the problem of identifying or matching the real landslide process and methods of protecting territories from landslides with their graphical representation in the form of concepts (graph vertices) and cause-and-effect relationships between them (graph edges), which subsequently allows us to move on to formalization – the construction of mathematical models (Bayesian belief networks, simultaneous equations systems, path analysis models, etc.). Scenarios for the development of complex situations associated with the imitation of the activity of one or more vertices of the cognitive map which makes it possible to answer the questions “what if ...” and thus provide support in making decisions on carrying out reclamation measures for landslide protection were obtained. **Conclusions.** The obtained cognitive models make it possible to carry out simulation modeling and obtain scenarios for the development of various complex situations. The results can be used in a decision support system for developing models of probabilistic landslide risk management during the formation and operation of engineering structures.

Keywords: landslide, protection of territories, reclamation measures, arable land, natural resources, environmental engineering, cognitive map, simulation model

For citation: Gorelova G. V., Katsko D. I., Kasko A. I. Cognitive modeling of problems and methods of protecting territories from landslides. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2025;15(2):225–244. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-2-225-244>.

Введение. В ходе развития системных представлений об окружающем мире произошла эволюция представлений от земледелия к мелиорации, природообустройству и природно-техническим системам [1–3], которые часто строятся в затрудненных природных условиях. Поэтому они подвержены опасным природным явлениям (оползням, селям, обвалам,

водной и ветровой эрозии, переуплотнению, затоплению, подтоплению, размыву земель). Каждая природно-техническая система имеет свои отличительные особенности, которые обусловлены природными особенностями территорий. В настоящей статье рассматривается когнитивное моделирование – общий системный подход [4–6], предлагающийся использовать при описании слабоструктурированных проблем и методов защиты территорий от опасных природных явлений, который в настоящей статье рассмотрен на примере оползней [7].

Оползни – сдвиг грунта под действием силы тяжести – чаще всего происходят за счет насыщения водой и увеличения влажности, уменьшающей сцепление частиц, из которых он состоит. Причины повышения почвенной влажности: атмосферные осадки, процесс таяния снега и льда, поверхностные и грунтовые воды и т. д. Если грунт состоит из нескольких слоев разной плотности (например, делювиальных отложений на основном массиве), то, при существовании уклона нижнего слоя, верхние слои, насыщаясь водой, начинают скользить по нижним. Также причиной оползней могут быть следующие явления: увеличение крутизны склона, пригрузка головы оползня, подрезка нижней части склона, транспортная нагрузка, развитие эрозионных процессов.

Отрицательное механическое действие воды на почву рассматриваемой территории часто объясняется отсутствием регуляции естественного водного режима. Это приводит к размыву, смыву (эрозии) почвы и оползням (оползанию земляных масс). Обычно поверхностно стекающие воды приводят к эрозии, а почвенные и грунтовые воды – к оползням. Таким явлениям подвержено Черноморское побережье, Южное побережье Крыма и др. Кроме влажности, причины оползней могут объясняться свойствами ползучести грунта (уменьшением со временем сил сцепления частиц, из которых состоит грунт), геометрией оползневого массива и склона, сейсмической или

транспортной нагрузкой, антропогенным воздействием и т. д. [8–10]. Разумеется, многие причины могут существовать одновременно.

Оползень может проявляться периодически – это зависит от механизма смещения пород. Так появляются «оползневые террасы», образующиеся на склонах речных долин. Поэтому необходимо изучать возможность повторного оползания пород.

Для предупреждения образования оползней и стабилизации (долговременной устойчивости) земляных масс на склоне разрабатываются противооползневые мероприятия, предваряющиеся экономической оценкой риска и специальными инженерными изысканиями (геологическими, геодезическими, гидрометеорологическими). Экономически обоснованным результатом исследований может быть обход оползня при техногенном освоении склона. Каждое противооползневое мероприятие позволяет устранить одну или несколько причин, поэтому обычно рассматривается комплексное использование противооползневых мероприятий.

Результаты реализации комплекса мероприятий предполагают [9, 10]:

- ликвидацию последствий оползневых процессов;
- устранение или контроль на допустимом уровне причин оползня;
- достижение общей и местной устойчивости склона.

Под ликвидацией последствий оползневых процессов могут пониматься различные мероприятия: расчистка дороги, когда оползневая масса переползла через подпорную стену; усиление фундаментов зданий и сооружений из-за просадок и деформаций основания; трассировка склона с устройством противоэрозионного покрытия для предотвращения дальнейшего развития оползня и т. д.

Контроль причин оползня и удержание склона требует решения комплекса инженерных задач, позволяющих избежать активации оползневого процесса.

Сложность изучаемых проблем защиты территорий от оползней,

взаимозависимость различных приемов защиты и антропогенной деятельности требует привлечения системного подхода. Поэтому целью исследования являлось системное обобщение представлений специалистов (экспертов) об оползневом процессе и мероприятиях по защите территорий от оползней в виде когнитивной карты, что позволяет проводить когнитивное моделирование и строить сценарии развития сложных ситуаций до получения результатов инженерных изысканий.

Материалы и методы. Рассматриваемая предметная область – причины оползней, противооползневые мероприятия и субъективные оценки текущего влияния причин на оползневый процесс по косвенным признакам.

Применительно к оползневым процессам рассматривается гидромелиорация (от лат. *melioratio* – улучшение) земель – совокупность организационно-хозяйственных и технических мероприятий, направленных на коренное и долговременное улучшение земель посредством мелиоративных мероприятий:

- ограничение деятельности человека (создание зеленого пояса, регламентация строительства, земельных работ и динамических воздействий, контроль водного хозяйства);
- природоохрана (защита берега, водоотводные, дренажные, землеустроительные мероприятия, механическое крепление склона, закладка глубокого фундамента и т. д.);
- удержание склона (высадка влаголюбивых растений, устройство подпорных стен и т. д.).

Важным этапом разработки противооползневых мероприятий является оценка риска проведения противооползневых мероприятий, которая сегодня трактуется как последовательность этапов «идентификация – анализ – оценка». Активно предлагаемые сегодня для оценки риска байесовские сети не позволяют провести идентификацию (понимание процесса и описывающей его модели). Основой идентификации может являться

«доформальное» исследование предметной области, которое в настоящей статье предлагается представлять когнитивной картой.

Когнитивная карта как модель сложной системы в виде ориентированного знакового графа (орграфа) является основой исследования процессов возможного развития ситуаций в системе под воздействием факторов ее внешней и внутренней среды [6]. При экспертном уточнении силы связей между вершинами может рассматриваться взвешенный орграф.

Для построения когнитивной карты специалистами предметной области определяются:

- вершины $V = \{V_1, V_2, \dots, V_k\}$, где k – количество вершин графа;
- связи между вершинами $E = \{e_{i,j}\}$, где $e_{i,j}$ – дуги или существующие отношения между вершинами V_i и V_j ($i, j = \{1, 2, \dots, k\}$).

Когнитивная карта – это граф:

$$G = \langle V, E \rangle, \quad (1)$$

где V – множество вершин;

E – множество дуг.

Знаки орграфа определяются по следующему правилу:

$$R_G = \begin{cases} \pm 1, & \text{если } V_i \text{ связана с } V_j \\ 0, & \text{если } V_i \text{ не связана с } V_j \end{cases}. \quad (2)$$

Результаты и обсуждение. Для построения когнитивной карты, отражающей проблемы мелиорации, на основании теории и знаний экспертов, в данном исследовании были отобраны концепты (таблица 1).

Таблица 1 – Вершины когнитивной карты G «Склон»

Table 1 – The vertices of the cognitive map G “Slope”

Код	Наименование вершины	Способ оценки	Назначение вершины
1	2	3	4
V1	Уровень грунтовых вод	Изыскания	Базисная
V2	Сейсмическая нагрузка	Нормативное значение	Возмущающая
V3	Хозяйственная деятельность	Визуальное обследование	Возмущающая
V4	Растительность	Визуальное обследование	Базисная

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3	4
V5	Атмосферные осадки	Нормативное значение	Возмущающая
V6	Механические повреждения склона (заколы, просадки)	Визуальное обследование	Возмущающая
V7	Эрозия (водная)	Визуальное обследование	Базисная
V8	Вес грунтов	Изыскания	Базисная
V9	Прочностные свойства грунтов	Изыскания	Базисная
V10	Влажность грунтов	Изыскания	Базисная
V11	Категория (важность) защищаемого объекта	Нормативное значение	Базисная
V12	Крутизна склона	Визуальное обследование (уточняется изысканиями)	Базисная
V13	Удерживающие сооружения	Визуальное обследование	Управляющая
V14	Дренажная система	Визуальное обследование	Управляющая
V15	Внешняя нагрузка	Нормативное значение	Возмущающая
V16	Оползневые процессы	–	Целевая
V17	Наблюдатель (проектировщик)	–	Управляющая
V18	Мелиоративные мероприятия для уменьшения оползневых явлений	–	Регулирующая

Важнейшими этапами когнитивного анализа [6] сложной системы, названной «Склон», являлось: первый этап – представление и описание предметной области в виде когнитивной карты; второй этап – анализ свойств когнитивной карты (путей, циклов, устойчивости, сложности, связности), необходимый, в том числе, для проверки непротиворечия причинно-следственных связей, отраженных структурой когнитивной модели, теоретическим и практическим знаниям о системе. Третьим этапом когнитивного имитационного моделирования являлось моделирование сценариев развития ситуаций путем внесения возмущений-импульсов в различные вершины модели.

Сложное поведение, функционирование в условиях неопределенности, слабоструктурированность проблем и приемов защиты территорий от оползней, порожденные наличием количественных и качественных фак-

торов, и т. д. – все это создает предпосылки для использования методологии когнитивного моделирования сложных систем, относящейся к классу имитационного моделирования, что позволяет имитировать структуру (когнитивная карта) и поведение объекта (сценарии развития) [7].

Когнитивное моделирование мелиорационных систем отличается по смыслу и действиям от когнитивного моделирования в гуманитарной сфере, прежде всего тем, что представляет собой доформальное исследование объекта и его идентификацию (отождествление объекта и его графического представления) для использования при формализации системы для моделирования, прогнозирования, планирования и управления [7].

Полученные модельные сценарии позволяют увидеть возможные тенденции позитивного (благоприятного для человека и окружающей среды) и негативного (неблагоприятного) развития мелиоративных процессов.

Набор сценариев дает возможность сравнивать их и сделать выбор наилучшего с позиции того или иного критерия эффективности. Когнитивная карта (рисунок 1), полученная авторами, позволяет оценить логические последствия тех или иных природоохранных мероприятий или негативного воздействия результатов мелиорации.

В таблице 2 приведен фрагмент отношений между некоторыми вершинами когнитивной карты.

На рисунке 1 дуги (2), отражающие положительную связь (+1, увеличение / уменьшение сигнала в вершине V_i влечет увеличение / уменьшение сигнала в вершине V_j), изображены сплошной линией, дуги, отражающие отрицательную связь (–1, увеличение / уменьшение сигнала в вершине V_i влечет уменьшение / увеличение сигнала в вершине V_j), изображены пунктиром.

Продолжение таблицы 2

Table 2 continued

1	2	3	4
e ₁₈₋₄	V18. Мелиоративные мероприятия	V4. Растительность	+
e ₁₈₋₁₂		V12. Крутизна склона	—
e ₁₈₋₁₃		V13. Удерживающие сооружения	+
e ₁₈₋₁₄		V14. Дренажные сооружения	+

На рисунке 2 изображен фрагмент матрицы смежности графа G , операции над которой позволяют исследовать различные свойства когнитивной карты и проводить на ней импульсное моделирование сценариев [3].

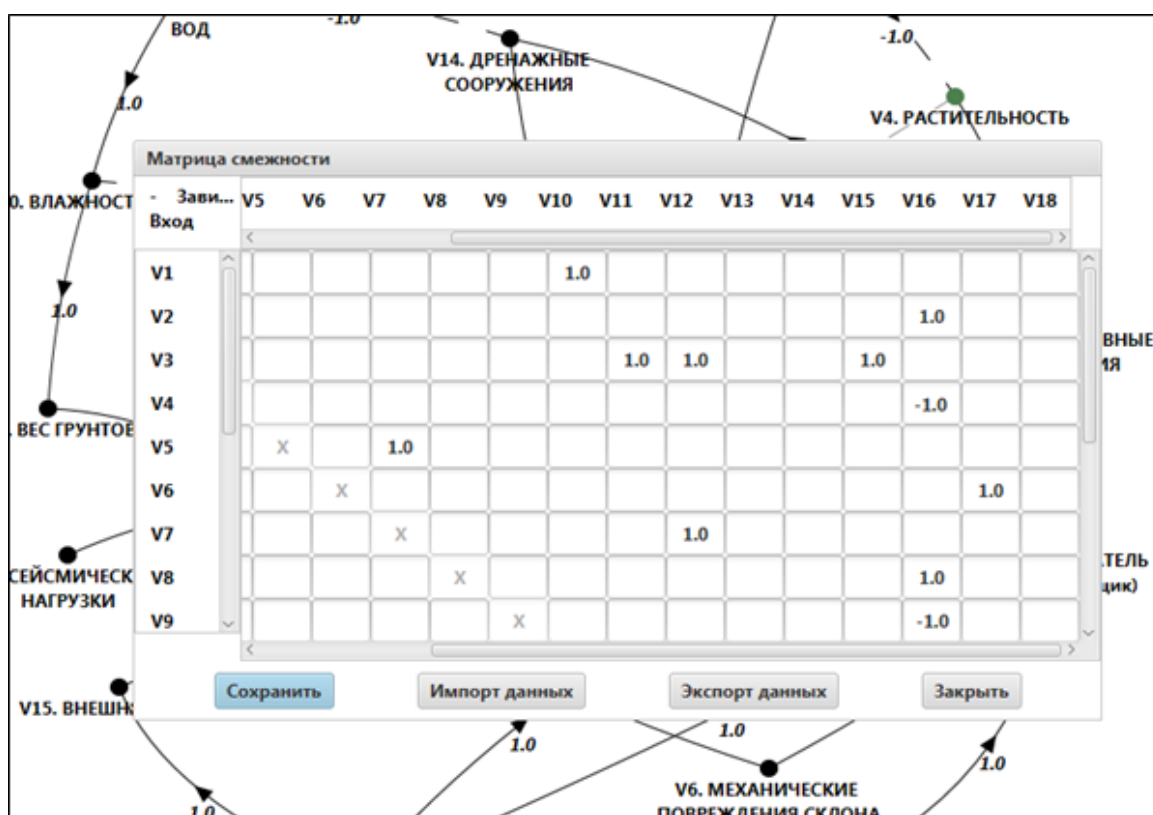


Рисунок 2 – Матрица смежности когнитивной карты G (фрагмент)

Figure 2 – Adjacency matrix of the cognitive map G (fragment)

В целях постановки и анализа задач принятия решений по управлению процессами мелиорации, предотвращения оползневых явлений модель изучаемой экологической системы представлена моделью «вход – выход», изображенной на рисунке 3. На рисунке 3 элемент $\varepsilon_{\text{доп}}$ отображает допустимое рассогласование (погрешность) между моделью и реально наблюдаемой системой.



Рисунок 3 – Модель «вход – выход» системы «Склон»

Figure 3 – The input – output model of the Slope system

В данном случае схема «вход – выход» также позволяет обосновать план вычислительного эксперимента для проведения сценарного анализа (таблица 3).

Таблица 3 – План импульсного моделирования на когнитивной карте G (фрагмент)

Table 3 – Pulse modeling plan on cognitive map G (fragment)

Сценарий	Возмущающие воздействия q_i	Вектор возмущений $Q = \{q_i\}, i = 1, 2, 3, \dots$
Внесение возмущений в одну вершину		
Сценарий № 1	$q_2 = +1$	$Q_1 = \{q_1 = 0, q_2 = +1, \dots, q_{18} = 0\}$
Внесение возмущений в пять вершин		
Сценарий № 2	$q_2 = +1, q_3 = +1, q_5 = +1, q_{13} = +1, q_{17} = +1$	$Q_2 = \{q_1 = 0, q_2 = +1, q_3 = +1, \dots, q_5 = +1, \dots, q_{13} = +1, q_{17} = +1, q_{18} = 0\}$

Исследованию подлежит задача определения, какие процессы могут быть в системе, если начнут происходить изменения в каких-либо вершинах: «Что будет, если ... ?». В данном случае необходимо проанализировать тенденции развития динамических процессов в ситуациях, когда поочередно или одновременно начнут изменяться параметры внешней и внутренней среды системы.

При проведении вычислительного эксперимента можно проводить анализ сценариев при внесении запускающих динамические процессы в системе положительных или отрицательных импульсов в одну или несколько вершин. Если имеется несколько вершин V_i , смежных с вершиной V_j , то процесс возмущения по графу при переходе к модельному времени задается тактами моделирования по правилу² [6]:

$$x_{V_i}(t+1) = x_{V_i}(t) + \sum_{j=1}^{k-1} f(x_i, x_j, e_{i,j})P_j(t) + Q_i(t), \quad (3)$$

где $x_{V_i}(t+1)$ – величина импульса в вершине V_i в следующий момент времени $(t+1)$;

$x_{V_i}(t)$ – величина импульса в вершине V_i в момент времени t ;

$x_{V_j}(t+1)$ – величина импульса в вершине V_j в следующий момент времени $(t+1)$;

²Реализовано в CMSS.

$x_{V_j}(t) = x_j$ – величина импульса в вершине V_j , смежной с вершиной V_i ,
в момент времени t ;

$f(x_i, x_j, e_{i,j})$ – коэффициент преобразования импульса x_i в вершине V_i
при условии, что в смежной вершине V_j имеется импульс x_j ;

$P_j(t)$ – значение импульса в смежной вершине V_j модели;

$Q_i(t)$ – вектор управляющих воздействий (возмущений) в вершине V_i
в момент времени t .

Сценарий № 1. Предположим, что в системе началось увеличение сейсмических нагрузок. Это моделируется импульсом $q_2 = +1$, вносимом в вершину V2, но в остальных вершинах в этот момент еще не начались изменения. Вектор возмущений $Q_1 = \{q_1 = 0, q_2 = +1, \dots, q_{18} = 0\}$.

Результаты моделирования представлены на рисунке 4.

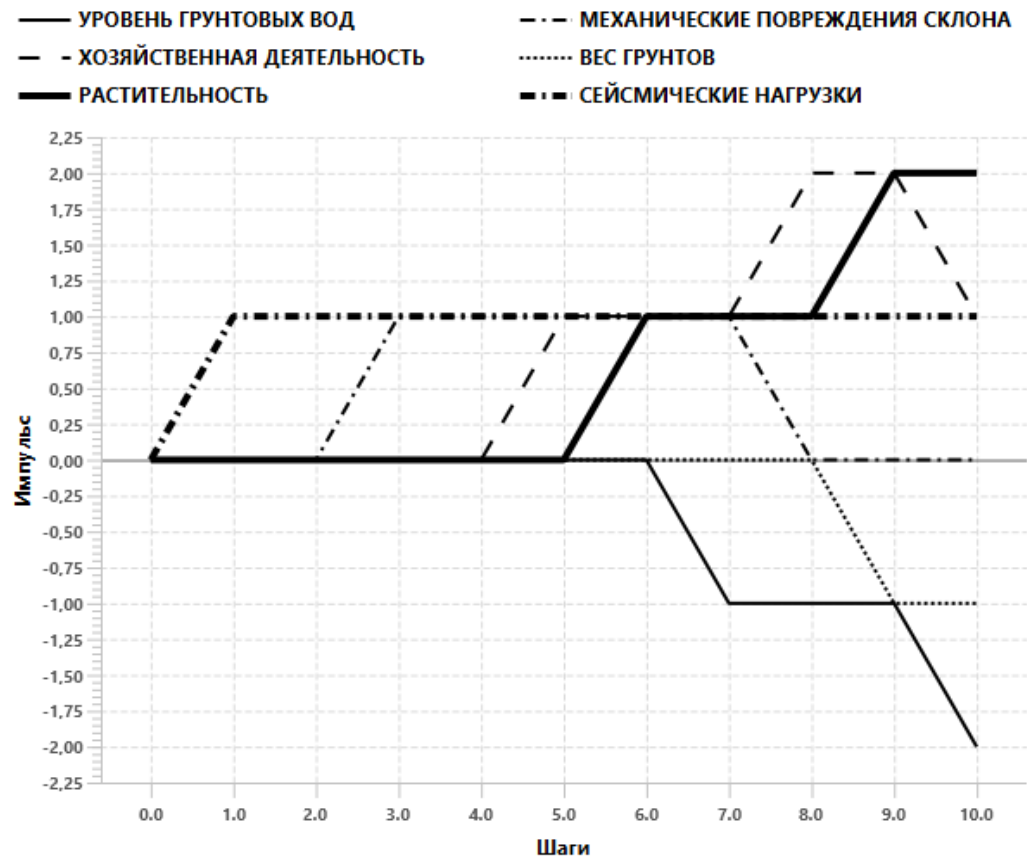
Шаг Вершина	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
V1. УРОВЕНЬ ГРУНТОВЫХ ВОД	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-2.0
V2. СЕЙСМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
V3. ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0
V4. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0
V5. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
V6. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ СКЛОНА	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
V7. ЭРОЗИЯ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
V8. ВЕС ГРУНТОВ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0
V9. ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0
V10. ВЛАЖНОСТЬ ГРУНТОВ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0
V11. КАТЕГОРИЯ (важность) ЗАЩИЩАЕМОГО ОБЪЕКТА	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0
V12. КРУТИЗНА СКЛОНА	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
V13. УДЕРЖИВАЮЩИЕ СООРУЖЕНИЯ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0
V14. ДРЕНАЖНЫЕ СООРУЖЕНИЯ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0
V15. ВНЕШНЯЯ НАГРУЗКА	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0
V16. ОПОЛЗНЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	-3.0
V17. НАБЛЮДАТЕЛЬ (Проектировщик)	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	2.0
V18. МЕЛИОРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0

Рисунок 4 – Результаты вычислительного эксперимента, Сценарий № 1
Figure 4 – Results of the computational experiment, Scenario No. 1

Если не принимать определенные управленческие решения, не учитывать сейсмические нагрузки, то в системе могут возникать нарастающие колебательные процессы (рисунок 4).

По данным рисунка 4 построены графики импульсных процессов, которые для удобства визуального анализа представлены на рисунке 5.

а)



б)

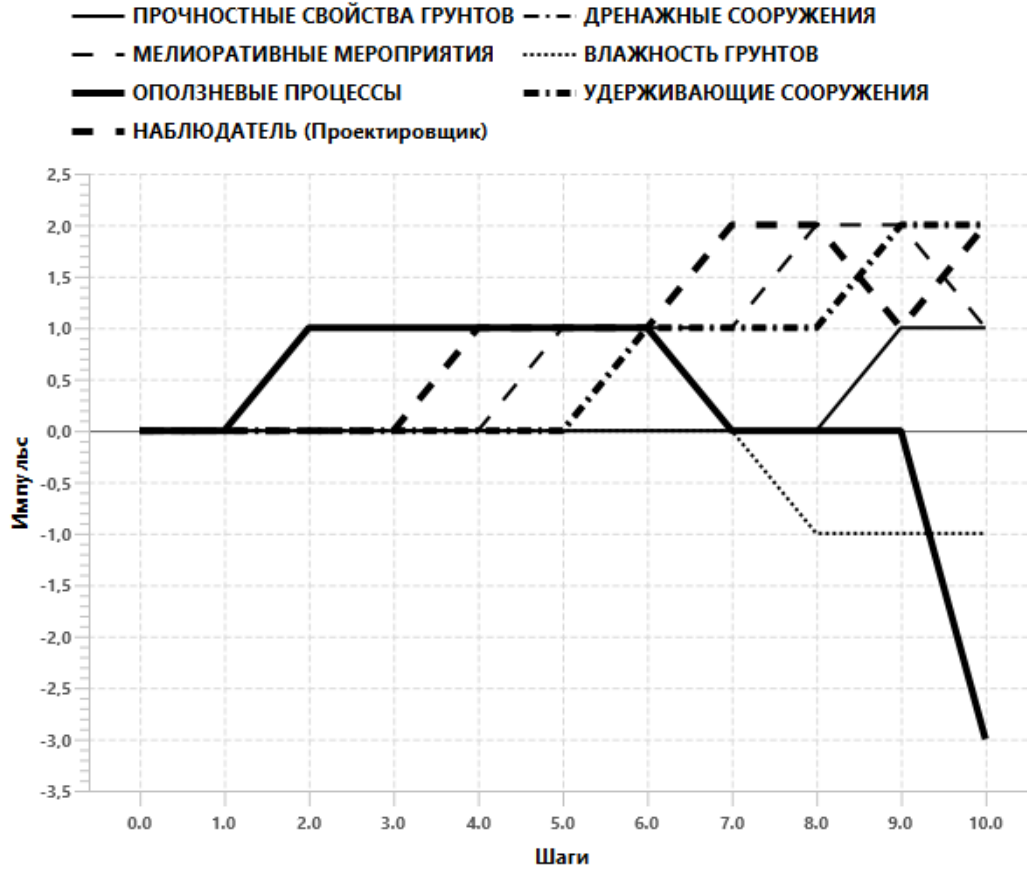


Рисунок 5 – Графики импульсных процессов, Сценарий № 1
Figure 5 – Graphs of pulse processes, Scenario No. 1

Анализ результатов моделирования возможных тенденций развития ситуаций в системе при увеличении сейсмических нагрузок показывает следующее. Рисунок 5а: график импульсного процесса в вершине V2 (сейсмические нагрузки) постоянен, поскольку в модели нет «управляющей» вершины – причины, воздействующей на данную вершину; импульс $q_2 = +1$, начиная со второго шага моделирования, запускает импульсные процессы последовательно в вершинах V6 (механические повреждения склонов), V3 (хозяйственная деятельность), V4 (растительность), V1 (уровень грунтовых вод), V8 (вес грунтов). При этом видно, что сейсмические нагрузки порождают тенденции нарастания процессов в хозяйственной деятельности (до шага 9), но далее (см. рисунок 4) эта тенденция меняется на противоположную.

Графики на рисунке 5б показывают, что в системе могут нарастать на несколько шагов оползневые процессы (V15) и может возникать связанная с этим активность V17 (наблюдатель – проектировщик) и усиление в V18 (мелиоративные мероприятия) и т. д.

Сценарий № 2. Предположим, что на систему воздействуют изменения в 5 вершинах: $q_2 = +1$ (действуют сейсмические нагрузки), $q_3 = +1$ (нарастает хозяйственная деятельность), $q_5 = +1$ (увеличиваются атмосферные осадки), но $q_{13} = +1$ (строятся удерживающие сооружения), $q_{17} = +1$ (реализуются управляющие действия проектировщика мелиоративных мероприятий). Результаты моделирования представлены на рисунках 6–8.

Влияние проектировщика (V17) на участке, подверженном оползневой опасности, вызванной обильными атмосферными осадками (V5) и сейсмической активностью (V2), выражается в инициации мелиоративных мероприятий (V18) в виде устройства удерживающих (V13) и дренажных (V14) сооружений, что позволяет постепенно снизить влажность грунтов (V10), что способствует уменьшению веса оползневого тела (V8) и увеличению его прочности (V9). Также противооползневые мероприятия (V18) позво-

лили восстановить растительный покров (V4), что делает склон более устойчивым. На середине рассматриваемого сценария мы наблюдаем снижение активности оползневых процессов (V16). Таким образом, как видно по результатам моделирования Сценария № 2, мелиоративные мероприятия (V18) и управляющие воздействия наблюдателя-проектировщика (V17) могут привести к улучшению ситуаций в системе «Склон».

Шаг Вершина	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
V1. УРОВЕНЬ ГРУНТОВЫХ ВОД	0.0	0.0	1.0	1.0	-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-6.0	-8.0	-11.0
V2. СЕЙСМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
V3. ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	0.0	1.0	2.0	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0	11.0	12.0	9.0
V4. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	4.0	6.0	9.0	10.0
V5. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
V6. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ СКЛОНА	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	5.0	4.0	-1.0	-5.0	-9.0
V7. ЭРОЗИЯ	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
V8. ВЕС ГРУНТОВ	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-6.0
V9. ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	1.0	2.0	3.0	4.0	6.0
V10. ВЛАЖНОСТЬ ГРУНТОВ	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-6.0	-8.0
V11. КАТЕГОРИЯ (важность) ЗАЩИЩАЕМОГО ОБЪЕКТА	0.0	0.0	1.0	2.0	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0	11.0	12.0
V12. КРУТИЗНА СКЛОНА	0.0	0.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
V13. УДЕРЖИВАЮЩИЕ СООРУЖЕНИЯ	0.0	1.0	1.0	2.0	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0	11.0	12.0
V14. ДРЕНАЖНЫЕ СООРУЖЕНИЯ	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	4.0	5.0	7.0	9.0	12.0	13.0
V15. ВНЕШНЯЯ НАГРУЗКА	0.0	0.0	1.0	2.0	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0	11.0	12.0
V16. ОПОЛЗНЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ	0.0	0.0	0.0	2.0	3.0	5.0	4.0	-1.0	-5.0	-9.0	-14.0
V17. НАБЛЮДАТЕЛЬ (Проектировщик)	0.0	1.0	1.0	2.0	3.0	5.0	7.0	10.0	11.0	8.0	7.0
V18. МЕЛИОРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ	0.0	0.0	1.0	1.0	2.0	3.0	5.0	7.0	10.0	11.0	8.0

Рисунок 6 – Результаты вычислительного эксперимента, Сценарий № 2
Figure 6 – Results of the computational experiment, Scenario No. 2

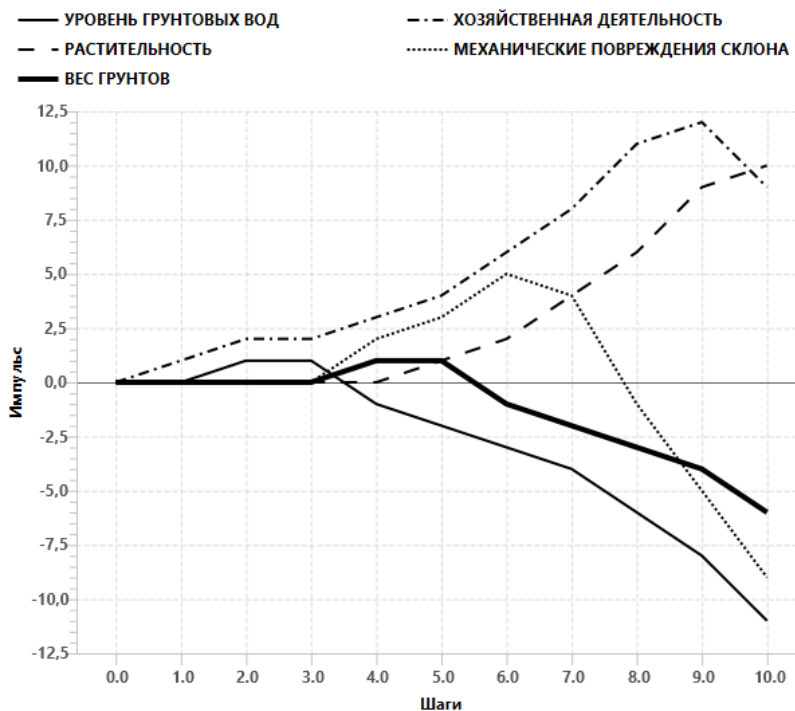


Рисунок 7 – Графики импульсных процессов, Сценарий № 2
Figure 7 – Graphs of pulse processes, Scenario No. 2

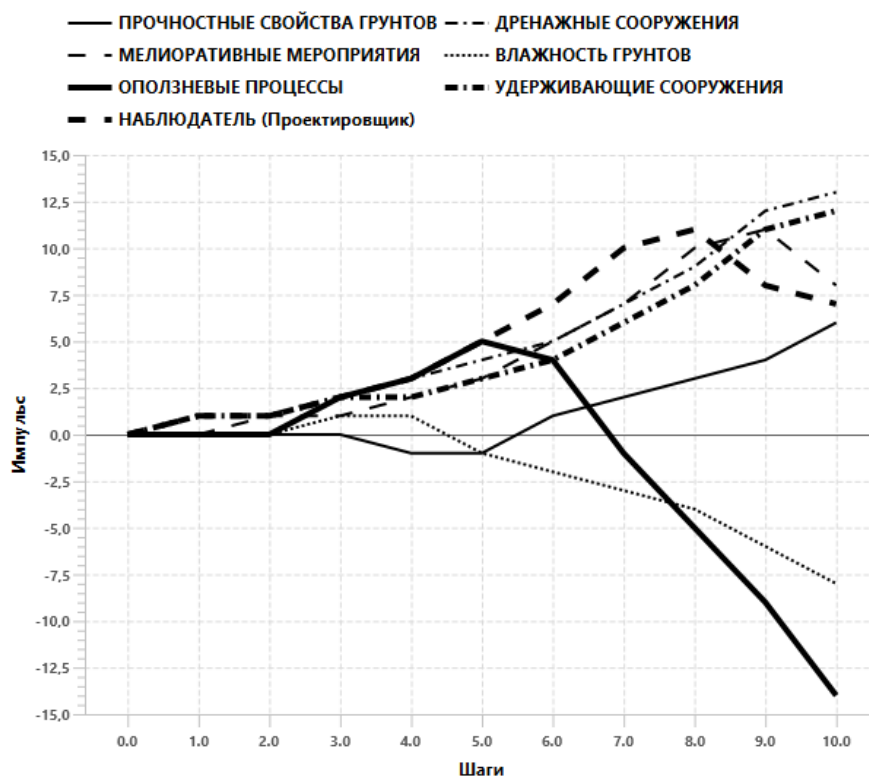


Рисунок 8 – Графики импульсных процессов, Сценарий № 2
Figure 8 – Graphs of pulse processes, Scenario No. 2

Выводы. В статье с использованием графических моделей (когнитивной карты и кибернетической модели «вход – выход») дается представление о причинно-следственных связях появления оползневой опасности и мелиоративных мероприятиях по защите территорий от оползней. Полученные модели позволяют провести «доформальную» идентификацию проблемы защиты территорий от оползней и проанализировать сценарии ее развития в виде «если ..., то ...» правил.

Следующий шаг после «доформальной» идентификации, изучаемого склонового процесса – это замена бинарных дискретных взаимосвязей между концептами когнитивной карты (знакового орграфа) на вероятностные (переход к взвешенному орграфу), что позволяет перейти к байесовским моделям доверия и говорить о вероятностном моделировании анализа и оценки риска при защите территорий от оползней.

Полученные модели могут быть использованы при создании информационных систем поддержки принятия решений по защите территорий от

опасных природных явлений и систем раннего оповещения об оползневой опасности.

Список источников

1. Ивонин В. М. Мелиоративные системы: основы общей теории // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 1. С. 119–140. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1264> (дата обращения: 27.01.2025). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-119-140. EDN: ZECJFV.
2. Калинин Э. В., Кропоткин М. П. Методы расчета устойчивости склонов и откосов: российские подходы в сопоставлении с мировыми тенденциями // Инженерная геология. 2022. Т. 17, № 4. С. 22–38. DOI: 10.25296/1993-5056-2022-17-4-22-38. EDN: HBTWHO.
3. Ивонин В. М. Теоретическая концепция агролесомелиоративных систем // Орошаемое земледелие. 2024. № 1(44). С. 59–64. DOI: 10.35809/2618-8279-2024-1-9. EDN: ILDRGH.
4. Axelrod R. Structure of decision: The Cognitive Maps of Political Elites. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1976. 404 p.
5. Максимов В. И., Корноушенко Е. К. Аналитические основы применения когнитивного подхода при решении слабоструктурированных задач // Труды Института проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. 1999. С. 95–109.
6. Горелова Г. В., Захарова Е. Н., Радченко С. А. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход: монография. Ростов н/Д.: ЮФУ, 2006. 332 с. EDN: RSGKOT.
7. Кацко Д. И., Кацко А. И., Маций В. С. Когнитивное моделирование проблем мелиорации // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. науч. тр. XXVII Междунар. науч.- практ. конф. В 2 ч. Ч. 2. Санкт-Петербург, 13–14 окт. 2023 г. СПб.: Политех-Пресс, 2024. С. 83–87. DOI: 10.18720/SPBPU/2/id24-150. EDN: FUZBSS.
8. Маций С. И., Базиз А. Гидрологическая классификация оползней Краснодарского // Институциональные преобразования АПК России в условиях глобальных вызовов: сб. тез. по материалам V Междунар. конф., Краснодар, 15–16 июля 2020 г. Краснодар: Кубанский ГАУ им. И. Т. Трубилина, 2020. С. 14. EDN: TUGZSR.
9. Ламердонов З. Г., Хаширова Т. Ю., Жирикова И. А. Способы расчета и усиления проволочных анкерных систем, устройства для их установки // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2025. Т. 15, № 1. С. 232–245. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1512> (дата обращения: 27.01.2025). DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-1-232-245. EDN: TVFBCD.
10. Дегтярев В. Г., Дегтярев Г. В., Дегтярева О. Г. Численное моделирование и цифровой математический анализ при исследовании сложных систем // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 3(71). С. 540–553. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-03-53. EDN: GXGHRA.

References

1. Ivonin V.M., 2022. *Meliorativnye sistemy: osnovy obshchey teorii* [Reclamation systems: the basics of general theory]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 1, pp. 119-140, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1264> [accessed 27.01.2025], DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-119-140, EDN: ZECJFV. (In Russian).
2. Kalinin E.V., Kropotkin M.P., 2022. *Metody rascheta ustoychivosti sklonov i otcosov: rossiyskie podkhody v sopostavlenii s mirovymi tendentsiyami* [Methods for calculating

the stability of slopes: Russian approaches compared to global trends]. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering Geology], vol. 17, no. 4, pp. 22-38, DOI: 10.25296/1993-5056-2022-17-4-22-38, EDN: HBTWHO. (In Russian).

3. Ivonin V.M., 2024. *Teoreticheskaya kontseptsiya agrolesomeliativnykh sistem* [Theoretical concept of agroforestry systems]. *Oroshaemoe zemledelie* [Irrigated Agriculture], no. 1(44), pp. 59-64, DOI: 10.35809/2618-8279-2024-1-9, EDN: ILDRGH. (In Russian).

4. Axelrod R., 1976. Structure of decision: The Cognitive Maps of Political Elites. Princeton, NJ: Princeton University Press, 404 p.

5. Maksimov V.I., Kornoushenko E.K., 1999. *Analiticheskie osnovy primeneniya kognitivnogo podkhoda pri reshenii slabostrukturirovannykh zadach* [Analytical foundations for applying the cognitive approach to solving weakly structured problems]. *Trudy Instituta problem upravleniya im. V. A. Trapeznikova RAN* [Proceed. of Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences], pp. 95-109. (In Russian).

6. Gorelova G.V., Zakharova E.N., Radchenko S.A., 2006. *Issledovanie slabostrukturirovannykh problem sotsial'no-ekonomicheskikh sistem: kognitivnyy podkhod: monografiya* [Study of weakly structured problems of Socio-Economic Systems: a Cognitive Approach: monograph]. Rostov n/D., SFedU, 332 p., EDN: RSGKOT. (In Russian).

7. Katsko D.I., Katsko A.I., Matsiy V.S., 2024. *Kognitivnoe modelirovanie problem melioratsii* [Cognitive modeling of land reclamation problems]. *Sistemnyy analiz v proektirovanii i upravlenii: sb. nauch. tr. XXVII Mezhdunar. nauchno-prakt. konferentsii* [Systems Analysis in Design and Management: Collection of Scientific Papers of the XXVII International Scientific and Practical Conference]. In 2 parts, part 2. St. Petersburg, Polytech-Press Publ., pp. 83-87, DOI: 10.18720/SPBPU/2/id24-150, EDN: FUZBSS. (In Russian).

8. Matsiy S.I., Baziz A., 2020. *Gidrologicheskaya klassifikatsiya opolzney Krasnodarskogo kraya* [Hydrological classification of landslides in Krasnodar Territory]. *Institutsional'nye preobrazovaniya APK Rossii v usloviyakh global'nykh vyzovov: sb. tez. po materialam V Mezhdunar. konferentsii* [Institutional Transformations of the Agro-Industrial Complex of Russia in the Context of Global Challenges: Collection of Abstracts Based on the Proceed. of the V International Conf.]. Krasnodar, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, pp. 14, EDN: TUGZSR. (In Russian).

9. Lamerdonov Z.G., Khashirova T.Yu., Zhirikova I.A., 2025. *Sposoby rascheta i usileniya provolochnykh ankernykh sistem, ustroystva dlya ikh ustanovki* [Methods for calculating and strengthening wire anchor systems and devices for their installation]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 15, no. 1, pp. 232-245, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1512> [accessed 27.01.2025], DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-1-232-245, EDN: TBFBCD. (In Russian).

10. Degtyarev V.G., Degtyarev G.V., Degtyareva O.G., 2023. *Chislennoe modelirovanie i tsifrovoy matematicheskiy analiz pri issledovanii slozhnykh sistem* [Numerical modeling and digital mathematical analysis in the study of complex systems]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceed. of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 3(71), pp. 540-553, DOI: 10.32786/2071-9485-2023-03-53, EDN: GXGHRA. (In Russian).

Информация об авторах

Г. В. Горелова – научный руководитель института управления в экономических, экологических и социальных системах, доктор технических наук, профессор, Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, Южный Федеральный университет, Таганрог, Российская Федерация, gorelova-37@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6637-6586;

Д. И. Кацко – аспирант 2 курса факультета гидромелиорации, Кубанский государст-

венный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация, katsko99@mail.ru, ORCID: 0009-0001-8484-159X;

А. И. Кацко – аспирант 1 курса факультета гидромелиорации, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация, katsko99@mail.ru.

Information about the authors

G. V. Gorelova – Scientific Director of the Institute of Management in Economic, Environmental and Social Systems, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Southern Federal University, Taganrog, Russian Federation, gorelova-37@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6637-6586;

D. I. Katsko – 2nd year Postgraduate Student of the Faculty of Hydro-Melioration, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, katsko99@mail.ru, ORCID: 0009-0001-8484-159X;

A. I. Katsko – 1st year Postgraduate Student of the Faculty of Hydro-Melioration, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, katsko99@mail.ru.

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 05.02.2025; одобрена после рецензирования 10.04.2025; принята к публикации 20.06.2025.

The article was submitted 05.02.2025; approved after reviewing 10.04.2025; accepted for publication 20.06.2025.