

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЦИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ И ПРОТИВООПОЛЗНЕВЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЕДИНОЙ ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ

З. Г. Ламердонов¹, доктор технических наук

А. Е. Хаджиди², доктор технических наук

Т. Ю. Хаширова³, доктор технических наук

У. Р. Сидаравичуте², магистрант

¹ Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В. М. Кокова,
г. Нальчик, Россия

² Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия

³ Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, г. Нальчик, Россия

Аннотация. В горных и предгорных районах России часто возникает две задачи: необходимость создания мелиоративной системы и формирование противооползневой защиты. Интеграция мелиоративной (осушительной и оросительной) инфраструктуры с противооползневой защитой позволяет достичь двойного эффекта: обеспечить оптимальные режимы увлажненности почвы для сельскохозяйственного производства и одновременно стабилизировать потенциально оползнеопасные склоны. Создание единой системы дренирования вместо отдельных сооружений может привести к значительной экономии капитальных и эксплуатационных затрат при условии тщательного технико-хозяйственного обоснования. Предлагаемая методика устанавливает критерии и процедуру сравнения интегрированного решения с традиционным подходом раздельной реализации.

Ключевые слова: мелиоративная система, противооползневая защита, дренажные системы, мониторинг, интеграция.

**Z. G. Lamerdonov, A. E. Khadzidi, T. Yu. Khashirova,
U. R. Sidaravichute**

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE INTEGRATION OF LAND RECLAMATION AND LANDSLIDE SYSTEMS BASED ON A SINGLE DRAINAGE NETWORK

Abstract. In the mountainous and foothill regions of Russia, two tasks often arise: the need to create a reclamation system and to create an anti-landslide protection system. The integration of reclamation (drainage and irrigation) infrastructure with anti-landslide protection allows for a dual effect: to ensure optimal soil moisture conditions for agricultural production and to simultaneously stabilize potentially landslide-prone slopes. The creation of a single drainage system instead of separate structures can lead to significant savings in capital and operating costs, provided that a thorough feasibility study is conducted. The proposed methodology establishes criteria and a procedure for comparing an integrated solution with the traditional approach of separate implementation.

Keywords: system, landslide protection, drainage systems, monitoring, integration.

Введение

Защита от опасных природных явлений, таких как оползни, сели, эрозия почв, — одна из наиболее значительных инженерных и природоохранных задач. В Российской Федерации развивается интегрированный подход [1–5], объединяющий биолесомелиоративные, гидротехнические и инженерные методы решения этой задачи, что дает наилучший результат (табл. 1). Биологические и лесомелиоративные методы имеют долгий период внедрения (5–10 лет), низкие затраты. Гидротехнические методы оптимальны (1–2 года реализации), но они требуют постоянного обслуживания, уровень затрат — средние-высокие [2–6]. Инженерные и

конструктивные методы реализуются достаточно быстро, от нескольких месяцев до года (или 2 лет), но имеют высокую стоимость и требуют привлечения специалистов высокой квалификации [7–9]. Наилучший результат по показателям стоимости, сроков и долговечности — это комбинация всех трех методов [10, 11]. Учитывая сроки реализации до полной эффективности, следует в первую очередь рассматривать интеграцию мелиоративных и противооползневых систем со сроком реализации 1–2 года, а далее должно планироваться использование биологических и лесомелиоративных подходов, имеющих сроки реализации 5–10 лет.

Таблица 1. Методы защиты от оползней и эрозии [1]

Тип метода	Основная функция	Преимущества	Недостатки	Категория затрат	Сроки реализации	Долгосрочная устойчивость	Примеры
Биологические и лесомелиоративные	Стабилизация почвенной структуры через растительность и корневые системы, снижение инфильтрации воды и водного стока	Низкая стоимость, саморегенерирующаяся система, экологические выгоды, улучшение микроклимата, дополнительные ресурсы	Требует длительного периода роста, зависит от погодных условий, не может остановить активные оползни немедленно	Низкие	5–10 лет до полной эффективности	Высокая (саморегенерирующаяся система)	Защитные лесные полосы, укрепление склонов, озеленение травой, буферные зоны
Гидротехнические	Регулирование потока воды, снижение порового давления, изменение геометрии склона и водного баланса	Адресует основную причину (вода); эффективна для профилактики; может быть отрегулирована	Требует специализированного проектирования, постоянного обслуживания; может быть дорогостоящей	Средние – высокие	1–2 года реализации	Средняя (требует постоянного обслуживания)	Дренажные системы, системы регулирования стока, бассейны-отстойники, изменение уклона склонов
Инженерные и конструктивные	Обеспечение немедленной механической поддержки и передачи нагрузок, создание барьеров против движения	Немедленная стабилизация, может остановить активные движения; высокая точность контроля возможна	Высокая стоимость; требует узкой специализации; ограниченные экологические выгоды	Высокие	Несколько месяцев – 1 + год	Средняя (зависит от обслуживания и срока службы конструкции)	Подпорные стены, анкерные системы, габионные конструкции, скальные укрепления

Основная часть

Интеграция мелиоративных и противооползневых систем возможна на основе единой дренажной сети. Для этого необходимо выполнение двух одновременно действующих требований:

1) понижение уровня грунтовых вод (УГВ) на осушаемых площадях до проектной глубины $h_{\text{проект.}}$;

2) разгрузка пор и снижение норм порового давления в зоне предполагаемого скольжения.

Расход дренажной системы определяется по формуле приближенной фильтрационной модели [12]:

$$Q_{\text{сист.}} = \sum_{i=1}^n q_i' \cdot l_i = \sum_{i=1}^n \frac{K_i (H_i^2 - h_i^2)}{2L_i} \cdot l_i, \quad (1)$$

где $Q_{\text{сист.}}$ – общий расход единой системы, $\text{м}^3/\text{сут.}$;

Q_i' – удельный расход на 1 м длины i -й дрены, $\text{м}^3/\text{сут.} \cdot \text{м}$;

K_i – коэффициент фильтрации грунтового слоя, $\text{м}/\text{сут.}$;

H_i – высота УГВ в междуренье над водоупором (без дренажа), м;

h_i – высота воды в дрене над водоупором (проектная), м;

L_i – расстояние между дренами в зоне i , м;

l_i – суммарная длина дрен в зоне i , м.

Модель влияния дренажа на устойчивость склона. На практике обычно используются трубы диаметром 100–250 мм с уклоном продольной оси не менее 0,002 (2 м/км) для самотечного отвода. Коэффициент запаса устойчивости в общем виде, согласно Рекомендациям по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления, выражается отношением

$$F = \frac{\sum R_{\text{удерж.}}}{\sum S_{\text{сдвиг.}}}, \quad (2)$$

где $\sum R_{\text{удерж.}}$ – сумма удерживающих сил;

$\sum S_{\text{сдвиг.}}$ – сумма сдвигающих сил вдоль поверхности скольжения.

При дренировании склона происходит снижение порового давления, согласно Рекомендациям по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления:

$$\Delta u = \gamma_w \Delta h_{\text{сн.ж.}}, \quad (3)$$

что приводит к увеличению эффективных нормальных напряжений:

$$\Delta \sigma' = \gamma_w \Delta h_{\text{сн.ж.}}, \quad (4)$$

где $\gamma_w = 10 \text{ кПа}/\text{м}$ – удельный вес воды.

Соппротивление сдвигу по критерию Кулона – Мора, согласно Рекомендациям по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления, повышается:

$$\Delta \tau_f = \Delta \sigma' \cdot \tan \varphi' = \gamma_w \Delta h_{\text{сн.ж.}} \cdot \tan \varphi'. \quad (5)$$

Ориентировочное увеличение коэффициента запаса, согласно Рекомендациям по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления:

$$\Delta F \approx \frac{\Delta \tau_f \cdot L_{\text{скольж.}}}{W}, \quad (6)$$

где $L_{\text{скольж.}}$ – длина поверхности скольжения;

W – вес оползневого массива.

Материалы и методы исследования

Для каждого варианта проектного решения рассчитывают приведенные годовые затраты ($Z_{\text{пр.}}$) [13]:

$$Z_{\text{пр.}} = E_n \cdot K_{\text{кап.}} + Z_{\text{эксп.}} + Z_{\text{монит.}}, \quad (7)$$

где E_n – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений (ставка дисконтирования), обычно 0,08–0,12 год^{-1} ;

$K_{\text{кап.}}$ – капитальные вложения (проектирование, строительство, в том числе испытания), тыс. руб.;

$Z_{\text{эксп.}}$ – годовые эксплуатационные затраты (содержание, ремонт, текущие работы), тыс. руб/год;

$Z_{\text{монит.}}$ – затраты на мониторинг (содержание пьезометров, наблюдательных скважин), тыс. руб/год.

Ежегодный ущерб, вызванный неконтролируемым развитием оползней и засолением/переувлажнением земель, определяется по методикам оценки рисков [14]:

$$U = P_{\text{отказа}} \cdot (C_{\text{разруш.}} + C_{\text{потери урож.}} + C_{\text{прост.}}), \quad (8)$$

где $P_{\text{отказа}}$ – вероятность оползневого события в год (определяется статистически или экспертно);

$C_{\text{разруш.}}$ – стоимость восстановления поврежденных сооружений и инфраструктуры;

$C_{\text{потери урожай.}}$ – экономический ущерб от потери или деградации урожая на подтопленных площадях;

$C_{\text{прост.}}$ – затраты на преодоление простоев в хозяйственной деятельности.

Можно рассмотреть два сценария.

Базовый сценарий 1 (без мероприятий)

[14]:

$$U_{\text{без}} = P_0 \cdot (C_{\text{разруш.}} + C_{\text{потери урожай.}} + C_{\text{прост.}}); \quad (9)$$

сценарий 2 (применение интегрированной системы [14]):

$$U_{\text{с,а}} = P_A \cdot (C'_{\text{разруш.}} + C'_{\text{прост.}}), \quad (10)$$

где $P_A < P_0$ (вероятность снижается за счет дренажа), а C'_i могут быть нулевыми или заметно меньше базовых значений.

Предотвращенный ущерб за год [12]:

$$U_{\text{предотв.}} = U_{\text{без}} - U_{\text{с.}} \quad (11)$$

Чистый годовой эффект (критерий выбора)

[12]:

$$\Delta E_{\text{год}} = U_{\text{предотв.}} - Z_{\text{пр.}} \quad (12)$$

Вариант интегрированной системы эффективен, если $\Delta E_{\text{год}} > 0$.

В годах период окупаемости [12]:

$$T_{\text{окуп.}} = \frac{K_{\text{кап.}}}{U_{\text{предотв.}} - Z_{\text{эксп.}}} \quad (13)$$

(Рекомендуемое значение – менее 10 лет.)

Внутренняя норма доходности (IRR) определяется из условия [15]:

$$\sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} = 0, \quad (14)$$

где CF_t – приток денежных средств в году t (положительный для предотвращенного ущерба и экономии, отрицательный для затрат). Приток денежных средств – показатель, отражающий движение денежных средств за определенный период времени, независимо от источников их образования.

Рекомендуемое значение: $IRR \geq 0,12 \cdot \text{год}^{-1}$ (то есть не менее нормативной ставки дисконтирования).

Решение о создании интегрированной системы принимается, если индекс прибыльности $Pl > 1$ [16]:

$$Pl = \frac{PV_{\text{доход.}}}{PV_{\text{затрат}}}, \quad (15)$$

где PV – приведенная стоимость.

Рассмотрим сравнение двух вариантов проектных решений (табл. 2).

Вариант А. Раздельные системы: осушительный дренаж площадей (горизонтальный или вертикальный), контур мониторинга 1; противооползневая защита (подпорные стены, дренажные галереи, контрбанкеты), контур мониторинга.

Вариант Б. Интегрированная единая система дренирования: единая сеть дренажных труб (для мелиорации и разгрузки склона), общие коллекторы и водоприемники, единая система мониторинга УГВ и давления пор (пьезометры, скважины). Где недостаточно одного дренажа, проектируются вспомогательные сооружения (подпорные конструкции, контрбанкеты).

Таблица 2. Сравнительный анализ типовых вариантов дренажных систем

Дренирование	Преимущества	Недостатки
Раздельные системы	■ независимое проектирование; ■ возможность использования специализированных решений	■ дублирование коллекторов, насосных станций; ■ избыточность сетей водоприема и наблюдательных скважин; ■ содержание и обслуживание двух сооружений; ■ более высокие эксплуатационные затраты
Интегрированная единая система	■ однократное прокладывание трубопроводов; ■ общие коллекторы и водоприемники; ■ единое управление и мониторинг; ■ единая служба эксплуатации и ремонта; ■ снижение общих капитальных затрат на 25–40 %; ■ снижение эксплуатационных затрат на 20–30 %	■ сложное предварительное проектирование и согласование; ■ нужна интеграция данных мониторинга для двух целей; ■ возможны ограничения (при конфликте требований)

Рассмотрим пример численного сравнения (реалистичный случай).

Исходные данные:

площадь защищаемого участка: $S = 150$ га = $1,5$ км²;

средняя глубина УГВ (без мероприятий): $h_0 = 3,5$ м;

проектная глубина УГВ для мелиорации: $h_{\text{проект.}} = 1,5$ м;

требуемое понижение: $\Delta h = 2,0$ м.

Характеристики грунтового массива:

коэффициент фильтрации: $K = 0,6$ м/сут;

угол внутреннего трения: $\varphi' = 20^\circ$;

сцепление: $c' = 12$ кПа;

удельный вес: $\gamma = 18$ кН/м³.

Параметры дренажной сети:

расстояние между дренами: $L = 50$ м;

мощность пласта: $m = 8$ м;

суммарная длина дрен: $L_{\text{суммар.}} \approx 60$ км (при сетке 50×50 м).

Расчет производительности системы.

По формуле Дюпюи (уточненной):

$$q' = \frac{K(H^2 - h^2)}{2L} = \frac{0,6(2,0^2 - 0,5^2)}{2 \times 50} = \frac{0,6 \times 3,75}{100} = 0,0225 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Общий расход систематического дренажа:

$$Q = 0,0225 \times 60,000 = 1,350 \text{ м}^3/\text{сут} \approx 1,35 \times 10^3 \text{ м}^3/\text{сут} = 16 \text{ л/с.}$$

Диаметр главного коллектора (с запасом): $150\text{--}200$ мм при средней скорости $0,3\text{--}0,5$ м/с.

Расчет влияния на устойчивость.

Исходные параметры оползня:

глубина поверхности скольжения: $z_s = 5,0$ м;

длина поверхности скольжения: $L_{\text{скольж.}} = 120$ м;

ширина оползневого массива: $b = 200$ м;

объем массива: $V = b \times L_{\text{скольж.}} \times z_s = 200 \times 120 \times 5 = 120,000 \text{ м}^3$.

Начальный УГВ пересекает поверхность скольжения на глубине $3,5$ м от поверхности (на $1,5$ м выше поверхности скольжения).

Поровое давление в зоне скольжения (до дренажа):

$$u_{\text{до}} = \gamma_w \times 1,5 = 10 \times 1,5 = 15 \text{ кПа.}$$

После включения дренажа (УГВ понижается на $2,0$ м):

$$u_{\text{после}} = \gamma_w \times (1,5 - 2,0) = 0 \text{ кПа,}$$

то есть зона скольжения оказывается выше УГВ, порового давления нет.

Прирост прочности в зоне скольжения:

$$\Delta\tau_f = \Delta\sigma' \times \tan\varphi' = 10 \times 2,0 \times \tan 20^\circ = 20 \times 0,364 = 7,28 \text{ кПа.}$$

Ориентировочное изменение коэффициента устойчивости (при равномерном распределении по поверхности скольжения) [17]:

$$\Delta F \approx \frac{\Delta\tau_f \times L_{\text{скольж.}}}{W_{\text{кас.}}}, \quad (16)$$

где касательная компонента веса для 8 -градусного склона (упрощенно):

$$W_{\text{кас.}} \approx W \times \sin 8^\circ = 120\,000 \times 18 \times 0,139 \approx 300 \text{ кН.}$$

$$\Delta F \approx \frac{7,28 \times 120}{300/10} = \frac{873,6}{30} \approx 0,29.$$

Таким образом, если исходный коэффициент устойчивости склона был $F_0 = 0,95$, то после дренажа $F_1 \approx 0,95 + 0,29 = 1,24$ (критерий устойчивости $F \geq 1,2$ достигается).

Рассчитаем предотвращенный ущерб.

Оценка вероятности оползня без мероприятий на основе наблюдений: $P_0 = 0,15$ в год. Основные компоненты ущерба определены путем анализа архивных материалов и расчета с использованием общеизвестных и/или усредненных данных (табл. 3).

Итак, восстановление разрушенной дорожной сети, зданий: ~ 500 млн руб. (событие); потеря урожая на подтопленных 150 га при урожае 40 ц/га и цене 15 тыс. руб/т – 9 млн руб. (ежегодный потенциальный ущерб, без мероприятий); затраты на преодоление чрезвычайной ситуации: ~ 50 млн руб.

1) Ежегодный ущерб без мероприятий:

$$U_{\text{без}} = 0,15 \times (500 + 50) = 82,5 \text{ млн руб./год,}$$

плюс 9 млн руб/год на мероприятия по минимизации засоления почв;

2) Ежегодный ущерб с интегрированной системой (табл. 4):

при $F \geq 1,2$ вероятность активизации оползня снижается до $P_A = 0,02$ в год (расчет по регламенту).

Засоление исключается благодаря оптимальному режиму УГВ:

$$U_c = 0,02 \times (500 + 50) + 0 = 11 \text{ млн руб/год.}$$

Предотвращенный ущерб:

$$U_{\text{предотв.}} = 82,5 + 9 - 11 = 80,5 \text{ млн руб/год} \approx 80,5 \text{ тыс. руб/год (в пересчете).}$$

Данные приведены условно в тысячах для сравнения с затратами:

$$U_{\text{предотв.}} \approx 80\,500 \text{ тыс. руб/год.}$$

Таблица 3. Вариант А (раздельные системы)

Статья затрат	Стоимость, тыс. руб.
<i>Капитальные затраты ($K_{\text{кап.}}$)</i>	
Проектирование системы мелиоративного дренажа	2500
Строительство осушительных дрен (60 км × 250 тыс. руб/км)	15 000
Коллектор мелиоративный, насосная станция	8000
Проектирование противооползневых мер	1800
Противооползневый дренаж, галереи, подпорные конструкции	22 000
Отдельный мониторинг (пьезометры, скважины)	3200
Итого капитальных затрат	52 500
<i>Годовые эксплуатационные затраты ($Z_{\text{эсп.}}$)</i>	
Содержание и ремонт дренажных сетей (осушит.)	800
Содержание и ремонт противооползневых сооружений	1200
Электроэнергия (откачка)	400
Мониторинг и измерения	600
Итого годовых затрат	3000
<i>Приведенные годовые затраты ($E_{\text{н}} = 0,10$)</i>	
$Z_{\text{пр.}} = 0,10 \times 52\,500 + 3\,000$	8 250 тыс. руб/год

Таблица 4. Вариант Б (интегрированная система)

Статья затрат	Стоимость, тыс. руб.
<i>Капитальные затраты ($K_{\text{кап.}}$)</i>	
Единое проектирование	3000
Строительство единой дренажной сети (60 км, оптимизированные трассы, × 200 тыс. руб/км)	12 000
Единый коллектор с разделением функций	6500
Малоразмерные подпорные конструкции (локального назначения)	6000
Единая система мониторинга (совмещенные пьезометры)	2200
Итого капитальных затрат	29 700
<i>Годовые эксплуатационные затраты ($Z_{\text{эсп.}}$)</i>	
Содержание единой системы	1200
Электроэнергия	350
Единый мониторинг	400
Итого годовых затрат	1950
<i>Приведенные годовые затраты ($E_{\text{н}} = 0,10$)</i>	
$Z_{\text{пр.}} = 0,10 \times 29\,700 + 1\,950$	4 920 тыс. руб/год

Экономические показатели интеграции.

Чистый годовой эффект:

$$\Delta E_{\text{год}} = U_{\text{предотв.}} - 3_{\text{пр.,Б}} = 80\,500 - 4\,920 = 75\,580 \text{ тыс. руб/год.}$$

Вывод: интегрированная система экономически целесообразна.

Период окупаемости:

$$T_{\text{окуп.}} = \frac{K_{\text{кап.,Б}} - K_{\text{кап.,А}}}{(3_{\text{пр.,А}} - 3_{\text{пр.,Б}})} = \frac{29\,700 - 52\,500}{8\,250 - 4\,920} = \frac{-22\,800}{3\,330} \approx -6,8 \text{ лет.}$$

Отрицательное значение указывает на то, что капитальные затраты окупаются за счет экономии на содержании (за счет более высокой экономии, чем амортизация различия в капвложениях).

Представим расчет более корректно:

$$T_{\text{окуп.}} = \frac{K_{\text{кап.,Б}}}{U_{\text{предотв.}} - 3_{\text{эксп.,Б}}} = \frac{29\,700}{80\,500 - 1\,950} = \frac{29\,700}{78\,550} \approx 0,38 \text{ года,}$$

то есть окупаемость за 4,5 месяца.

Чистая приведенная стоимость в течение 20-летнего периода:

$$NPV = \sum_{t=0}^{20} \frac{(U_{\text{предотв.}} - 3_{\text{пр.,Б}})}{(1 + 0,10)^t} - K_{\text{кап.,Б}},$$

то есть

$$NPV \approx 75\,580 \times \frac{1 - (1,10)^{-20}}{0,10} - 29\,700 \approx 75\,580 \times 9,365 - 29\,700 \approx 708\,000 \text{ руб.}$$

(положительное значение).

Рекомендации по процедуре оценки и принятию решения.**1) Фаза предварительного анализа:**

сбор геологических данных, истории оползней, гидрогеологических наблюдений; выявление оползнеопасных зон и мелируемых земель;

Выводы

Интеграция мелиоративных и противооползневых систем в единую дренажную сеть на мелируемых территориях представляет собой эффективное решение как с технической, так и с экономической точек зрения. Предложенная методика позволяет количественно обосновать целесообразность такой интеграции и выбрать оптимальное проектное решение.

определение наличия потенциального конфликта требований (редко).

2) Фаза технического проектирования:

расчет параметров единой дренажной системы (расходы, диаметры, уклоны); проверка коэффициента запаса устойчивости после дренирования; выбор оптимальной сетки и расположения дрен.

3) Фаза экономической оценки:

сметная стоимость вариантов А и Б (проектирование, строительство); расчет ежегодных эксплуатационных затрат; оценка риска и ущерба по рекомендациям РД 52.04.644–2017 (если применимо); расчет показателей эффективности ($\Delta E_{\text{год}}$, NPV, IRR, $T_{\text{окуп.}}$, PI).

4) Критерии принятия решения об интеграции:

обязательно: $\Delta E_{\text{год}} > 0$;

желательно: $T_{\text{окуп.}} < 3$ лет;

желательно: NPV > 0 при горизонте 15–20 лет;

желательно: PI > 1,5;

отсутствие технологических конфликтов между требованиями мелиорации и противооползневой защиты.

5) Фаза разработки рабочей документации:

при утверждении варианта Б разработка единых чертежей дренажной сети;

система мониторинга с совмещенным контролем УГВ и давления пор;

инструкции по совместной эксплуатации.

6) Фаза мониторинга и управления:

ежегодное уточнение прогнозов устойчивости на основе данных пьезометрии,

корректировка режима откачки (если применяется),

периодическая переоценка ущерба и экономической целесообразности.

На примере типового участка (150 га, восьмиградусный склон) показано, что период окупаемости интегрированной системы может составить менее года, а чистый дисконтированный доход достигает сотен миллионов рублей за 20-летний период эксплуатации.

Ключевое условие успешной реализации – комплексный подход с привлечением специа-

листов по мелиорации, геотехнике, гидрогеологии и экономике, а также систематический

мониторинг показателей устойчивости и мелиоративной эффективности.

Список использованных источников

1. Природообустройство : учебник / А. И. Голованов, Ф. М. Зимин, Д. В. Козлов, И. В. Корнеев. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Лань, 2022. – 560 с.
2. Хаджиди, А. Е. Утилизация дренажного стока осушительной системы / А. Е. Хаджиди, Е. В. Кузнецов, А. Е. Новиков // Природообустройство. – 2025. – № 1. – С. 13–20.
3. Лебедев, А. С. Имитационное моделирование процесса подпочвенного полива / А. С. Лебедев, А. Е. Хаджиди, Т. Ю. Хаширова // Природообустройство. – 2025. – № 4. – С. 6–13.
4. Килиди, Х. И. Водозаборное сооружение для целей орошения земель в горных условиях Северного Кавказа / Х. И. Килиди, Е. В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди // Мелиорация и гидротехника. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 89–104.
5. Ключев, Р. В. Совершенствование мониторинга оползневых процессов горных склонов при наличии транспортной инфраструктуры / Р. В. Ключев, В. С. Бригида // Геология и геофизика Юга России. – 2025. – Т. 15, № 3. – С. 66–78.
6. Кузнецов, Е. В. Исследование динамики влажности почвы при капельном поливе / Е. В. Кузнецов, Х. И. Килиди, А. Е. Хаджиди // Мелиорация и гидротехника. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 19–33.
7. Технология аккумулярования стока подземных вод для расширения мелиоративных систем / В. Г. Дегтярев, А. Е. Хаджиди, Г. В. Дегтярев, Е. В. Кузнецов // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 107–124.
8. Панов, В. И. Ландшафтный гидромелиоративно-гидротехнический кластер в ландшафтно-синергетическом агроэкологическом природопользовании степного засушливого пояса России / В. И. Панов // Научно-агрономический журнал. – 2021. – № 1. – С. 6–18.
9. Митрахович, А. И. Условия применения вертикального дренажа на мелиоративных объектах / А. И. Митрахович, А. П. Майорчик // Мелиорация. – 2023. – № 3. – С. 14–22.
10. Ксензов, А. А. Способы предотвращения водной плоскостной эрозии почвы на склонах / А. А. Ксензов. – Тверь : ТвГУ, 2018. – 30 с.
11. Кудакаев, Т. Враг не сползет! Современные методы инженерной защиты от оползней / Т. Кудакаев // Инженерная защита. – 2015. – № 2. – С. 64–78.
12. Баранчикова, С. Г. Экономическая эффективность технических решений / С. Г. Баранчикова, Т. Е. Дашкова, И. В. Ершова. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2016. – 141 с.
13. Богославчик, П. М. Грунтовые плотины : пособие для студентов / П. М. Богославчик, Ю. А. Медведева, О. В. Немеровец. – Мн. : Беларус. нац. техн. ун-т, 2022. – 75 с.
14. Статистические характеристики ущерба в теории риска / М. А. Богданова, В. В. Сигидов, А. М. Уздин, В. П. Чернов // Современная экономика: проблемы и решения. – 2016. – № 5. – С. 22–32. <https://doi.org/10.17308/meps.2016.5/1442>
15. Крыжановский, О. В. Сравнение математических моделей оценки эффективности проектных решений / О. В. Крыжановский, В. А. Чулюков // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1, ч. 2. – С. 291.
16. Башимов, Ш. Удобные способы оценки инвестиционных проектов / Ш. Башимов, О. Хемраева // Образование и наука в XXI веке. – 2025. – № 61–4, т. 1. URL: <https://mpcareer-google.ru/index.php/journal/issue/view/107/96>.
17. Саинов, М. П. Методика расчета устойчивости откосов по пространственным поверхностям скольжения в виде эллипсоида вращения / М. П. Саинов // Вестник МГСУ. – 2013. – № 4. – С. 188–200.