

Оригинальная статья / Original article

УДК 556.3+517.98

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-19



# Управление рисками чрезвычайных ситуаций, обусловленных подтоплением застроенных горных территорий

**Елена В. Арефьева, Ирина Ю. Олтян, Юрий В. Прус**

Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (федеральный центр науки и высоких технологий) (ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)), Москва, Россия

**Контактное лицо**

Елена В. Арефьева, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (федеральный центр науки и высоких технологий) (ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)); 121352 Россия, г. Москва, ул. Давыдовская, 7.  
Тел. +79166230708  
Email [elaref@mail.ru](mailto:elaref@mail.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6037-9663>

**Формат цитирования**

Арефьева Е.В., Олтян И.Ю., Прус Ю.В.  
Управление рисками чрезвычайных ситуаций, обусловленных подтоплением застроенных горных территорий // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 181-188. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-19

Получена 22 ноября 2023 г.

Прошла рецензирование 14 января 2024 г.

Принята 15 января 2024 г.

**Резюме**

Цель настоящей исследовательской работы – разработка научных подходов к решению проблемы повышения устойчивости урбанизированных территорий за счет гибкого регулирования режима грунтовых вод. Выработка управленческого решения по гибкому регулированию выполняется на основе применения методов решения некорректных задач, моделирования процессов геофильтрации.

Материалами для проведения исследования послужили данные исследования опасных гидрогеологических процессов, систематизированные, в том числе, по результатам мониторинга чрезвычайных ситуаций природного характера во ВНИИ ГОЧС (ФЦ). Предложенный авторами подход основан на применении комплекса методов, включающего методы: системного анализа, прогнозирования, численного моделирования с последующей выработкой оптимального управленческого решения на муниципальном уровне РСЧС.

В результате проведенного в работе численного моделирования в рамках реализации предложенного подхода в имитационном режиме определяются варианты дренажных систем и режим их работы. Это позволяет повысить уровень экологической безопасности исторически сложившихся застроенных, в том числе горных территорий.

В коллективной авторской статье представлен новый подход управления риском чрезвычайных ситуаций при подтоплении зданий и сооружений на застроенных горных территориях, в том числе исторических территориях. На таких территориях обводненный грунт сохраняет культурный слой, что предопределяет необходимость реализации гибкого регулирования режима грунтовых вод. Результаты исследования используются при выполнении научно-исследовательской работы ВНИИ ГОЧС (ФЦ) по исследованию опасных гидрогеологических процессов и их влияния на окружающую среду, безопасность жизнедеятельности, устойчивость функционирования объектов экономики, мониторингу и прогнозированию природных чрезвычайных ситуаций.

**Ключевые слова**

Горные территории, подтопление, оптимизационный подход, уравнение Буссинеска, исторические территории, памятники архитектуры, экологическая безопасность.

# Risk management of emergency situations caused by flooding of built-up mountain areas

Elena V. Arefyeva, Irina Yu. Oltyan and Yuri V. Prus

All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations (Federal Center for Science and High Technologies)  
(Federal State Budgetary Institution of the State Research Institute of Civil Defense (FC)), Moscow, Russia

## Principal contact

Elena V. Arefyeva, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor & Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations (Federal Center for Science and High Technologies) (Federal State Budgetary Institution of the State Research Institute of Civil Defense (FC)); 7 Davydkovskaya St, Moscow, Russia 121352. Tel. +79166230708  
Email [elaref@mail.ru](mailto:elaref@mail.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6037-9663>

## How to cite this article

Arefyeva E.V., Oltyan I.Yu., Prus Yu.V. Risk management of emergency situations caused by flooding of built-up mountain areas. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):181-188. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-19

Received 22 November 2023

Revised 14 January 2024

Accepted 15 January 2024

## Abstract

The purpose of this research work is to develop scientific approaches to solving the problem of increasing the sustainability of urbanised territories through flexible regulation of the groundwater regime. The development of a management solution for flexible regulation is carried out on the basis of the application of methods for solving problems of incorrectness.

Materials for the study were data from the study of dangerous hydrogeological processes, systematised, among other matters, based on the results of monitoring natural emergencies at the Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations. The approach proposed by the authors is based on the application of a set of methods, including methods of: system analysis, forecasting, numerical modeling, followed by the development of an optimal management solution of emergency situations at the municipal level.

As a result of the numerical modeling carried out in the work, the variants of drainage systems and their operating mode are determined within the framework of the implementation of the proposed approach in the simulation mode. This makes it possible to increase the level of environmental safety of historically developed built-up areas, including mountainous ones.

The article presents a new approach to managing the risk of emergencies in case of flooding of buildings and structures in built-up mountainous territories, including historical territories. In such territories, the watered soil preserves the cultural layer, which determines the need for flexible regulation of the groundwater regime. The results of the study are used in carrying out research work of the State Research Institute of the Russian Academy of Sciences (GOChS) on the study of dangerous hydrogeological processes and their impact on the environment, life safety, stability of the functioning of economic facilities, monitoring and forecasting of natural emergencies.

## Key Words

Mountain areas, flooding, optimization approach, Boussinesq equation, historical areas, architectural monuments, environmental safety.

## ВВЕДЕНИЕ

В работах [1–4] отмечается, что урбанизированные горные территории Северного Кавказа подвергаются различным экзогенным процессам: оползневым, селевым, суффозионным, подтоплению. Для устойчивого развития урбанизированных горных территорий необходимо своевременно выявлять и выработать превентивные мероприятия по снижению риска реализации опасных природных процессов [5; 6]. Одним из часто встречающихся опасных процессов в городах является подтопление грунтовыми водами. Недостаточность работы ливневой канализации, утечки из водонесущих коммуникаций провоцируют, в свою очередь, процессы техногенного загрязнения территорий. Подтопление инициирует опасные природные процессы, такие как карст, оползни, суффозии, лессовые просадки, и при этом происходит снижение несущей способности грунтов, повышение сейсмической интенсивности территории и др. [7–9]. Особенно страдают от негативного влияния подземной гидросферы – исторические города и памятники архитектуры, которые не приспособлены к современным техногенным воздействиям [10]. Указанные процессы могут приводить и приводят к чрезвычайным ситуациям. Негативные воздействия грунтовых вод на здания и сооружения вызывают от 50 до 80% всех аварий и обрушений [11]. На 30 % снижается эксплуатационная надежность зданий и сооружений. Ущерб от чрезвычайных ситуаций (ЧС) в РФ при подтоплении и наведенных процессах составляет до 5,5 млрд долларов ежегодно [11].

Чрезвычайные ситуации потенциально могут возникнуть при наличии следующих условий [7]:

- существования гидрогеологической или инженерно-геологической опасности в данной местности и нахождения объекта защиты в пределах этой опасности;
- отсутствия или неудовлетворительной работы системы инженерной защиты;
- неудовлетворительного состояния конструкций объектов и сооружений.

Поскольку чрезвычайные ситуации при подтоплении вызваны, как правило, техногенными причинами, то это позволяет сделать вывод об управляемости процесса предупреждения данных чрезвычайных ситуаций [7–11], их последствий для окружающей среды [12].

Основными причинами техногенного подтопления являются утечки из водонесущих коммуникаций вследствие их значительного износа, а также наличия на застроенных территориях предприятий с «мокрым технологическим процессом», затруднения испаряемости из-за асфальтирования городских территорий и др. причин. Кроме того, большинство городов в Российской Федерации, в том числе расположенные в горной местности, относятся к историческим городам. В таких городах имеются объекты культурного наследия, которые в настоящее время испытывают вредные воздействия современной среды, на которые они не были рассчитаны. Поэтому превентивные мероприятия по снижению рисков формирования подтопления, как факторов и источников ЧС, должны носить «щадящий» характер, не допуская резких перепадов уровня грунтовых вод.

В качестве критериев гибкого «щадящего» регулирования принимаются критические и предельные уровни грунтовых вод [11]. Предельные и критические уровни для объектов и территорий определены в соответствующих нормативных документах, например, Своде правил «Инженерная защита территорий от затопления и подтопления» (СП 104.13330. 2016). Однако в случае с объектами культурного наследия нормы осушения определяются в каждом конкретном случае и зависят от материала фундамента, наличия культурного слоя в прилегающей территории. На исторических территориях было выделено 4 основных класса объектов по требованиям к осушению; это объекты, допускающие и не допускающие увлажненного состояния заглубленных конструкций и подвальных помещений, и среди этих групп – объекты, расположенные на каменном или деревянном основании [7]. Для каждого типа объектов выработаны специфические нормы осушения, в зависимости от материала оснований фундамента и допустимости увлажнения фундамента.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами для проведения настоящего исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых в области устойчивого развития горных территорий [1; 2; 4–6], исследования опасных гидрологических процессов [8–11], антропогенного влияния природных процессов [13–15; 22], методов решения некорректных задач [16–18], математических методов оценки процессов, протекающих в земной поверхности [19–21; 23; 24].

Методы исследования: численное моделирование, методы решения некорректных задач, системный анализ гидрогеологической обстановки.

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для выработки решений гибкого регулирования режима грунтовых вод, в т.ч., на исторических застроенных территориях, выполнено математическое моделирование, разработан программно-вычислительный комплекс.

Вычисление расчетного уровня грунтовых вод выполняется с помощью численного моделирования геофильтрации. Основным уравнением является уравнение Буссинеска [15]. Исходными данными для моделирования являются полученные распределенные поля численных значений коэффициентов уравнений (водопроницаемости, водоотдачи, инфильтрации и др.). На основе данных мониторинга опасных гидрогеологических процессов, с использованием методов интерполяции и экстраполяции составляются расчетные геофильтрационные схемы [7; 11].

Параметрами регулирования являются уровни воды в дренах, объем откачиваемой воды. Критериями оптимального управления являются: объем осушенной призмы культурного слоя, осушенная площадь заглубленных помещений. Параметры регулирования задаются в виде граничных условий уравнения геофильтрации или функции источника [7; 11].

Критерии оптимального управления формулируются в виде функционалов. Для решения задачи определения оптимального решения применяются градиентные методы. Градиент функционала опреде-

ляется через решение сопряженной задачи к прямой задаче [16–18]. Результатом вычислений в итерационном процессе является оптимальное решение, обеспечивающее минимум функционалу цели оптимизации [16; 17] и является искомым оптимальным параметром регулирования, что физически соответст-

вует выбранному положению дрены (граничное условие первого рода) или откачиваемому объему воды (граничные условия второго рода) [7].

В общем виде задачу выработки оптимального решения можно представить в виде [11; 16]:

$$\frac{\partial y(u)}{\partial t} + A(t) * y(u) - f(x, t) + u(t) \quad (1)$$

$$(x, t) \in Q; y(u) = 0, (x, t) \in \partial Q; y(x, u) = y_0(0), x \in D, \partial Q = \partial D * (0, T)$$

где  $A(t) * y(u) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} a_{ij}(x, t) \frac{\partial y}{\partial x_j}$ ; -

$y(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_k(t))$  – фазовая траектория;

$z(u) = C * y(u)$  – наблюдаемое состояние объекта.

дифференциальный оператор;

$u(t)$  – вектор управления;

Критерий управления в общем виде задается в виде [17; 18]:

$$J(u) = \|Cy(u) - z_0\|_{H_1}^2 + (Nu, u)_U; \quad (2)$$

$$(Nu, u) \geq c \|u\|_U^2,$$

$c > 0, \forall u \in U$ ,  $u$  – вектор управления.

На практике задача оптимального управления режимом грунтовых вод заключается в выборе оптимального положения дрены, выбора типа дренажа и определяется оптимальный расход воды в дренах. Основной задачей является обеспечение уровня грунтовых вод в установленном диапазоне.

Для двумерного случая (плоско-параллельный поток фильтрации) рассматривается уравнение Буссинеска, которое является нелинейным и может быть решено только численными методами с помощью устойчивых сходящихся разностных схем, например, неявных схем Кранка-Николсона [11; 16].

Задача гибкого регулирования режима грунтовых вод на застроенных территориях реализуется с применением методов моделирования гидрогеологических процессов [11; 15]:

- решение прямой задачи определения уровня грунтовых вод, включая моделирование геологической среды и процесса геофильтрации с помощью уравнения Буссинеска (одномерного или двумерного) с заданием соответствующих граничных и начальных условий) [11; 15; 14];
- построение оптимизационной модели и решения задачи определения управляющих воздействий на уровень грунтовых вод с помощью решения экстремальных задач (обратная задача);
- численное моделирование решения прямой и обратной задачи по выработке оптимального управленческого решения, обеспечивающего осушение объектов и территории с минимальным осушением культурного слоя.

Математически задача формулируется для гидрогеологических разрезов в одномерной области на интервале  $x_l < x < x_1$  [11].

В условиях застроенной территории, особенно со сложным рельефом, при наличии одновременно различных требований к нормам осушения в качестве критерия оптимизации выбран функционал, подлежащий минимизации:

$$J^l(h, u) = J_n^l + J_k^l, \quad l=1, 2, \dots; \quad (3)$$

где  $J_n^l = \int_Q (h(x, T, u) - h_n(x))^2 dx$ , – критерий управления, отвечающий за осушение объекта;  $h(x, T, u)$  – полученный в результате реализации в имитационном режиме управленческих решений уровень грунтовых вод;  $T$  – расчетное время;  $u$  – управленческие решения;  $h_n(x)$  – функция предельного (критического) уровня грунтовых вод для объекта;  $Q = (x_1, x_2)$ , область интегрирования,  $(x_1, x_2)$  – местоположение дрены.

$J_k^l$  – слагаемое «отвечающее» за требование того, чтобы уровень воды «устраивал» прилежащий к объекту грунт, иными словами, при  $J_k^l = 0$  культурный слой или парковая зона, в некоторой окрестности объекта защиты не переосушен.

Вид этого слагаемого – функционала следующий:

$$J_k^l = A_{k1} \int_{Q_1}^h (h(x, T, u) - h_k(x))^2 dx + A_{k2} \int_{Q_2}^h (h(x, T, u) - h_k(x))^2 dx, \quad (4)$$

где  $A_{k1}, A_{k2}$  – некоторые весовые коэффициенты;  $h_k(x)$  – функция предельного уровня для прилежащего культурного слоя, грунта.

Предельные и критические уровни для объектов и др. сооружений приведены в работе [7]. Сформулируем теперь задачу оптимизации управления: требуется в ходе итерационного процесса минимизировать функционал  $J^l(h, u)$  при условии, что профиль грунтовых вод  $h(x, T, u)$  – удовлетворяет уравнению (1) с краевыми условиями.

Для многих практических задач двумерное уравнение можно свести к серии одномерных задач и с помощью принципа суперпозиции объединить полученные решения. Область дифференцирования разбивается на три части, где внутренними границами являются места расположения дрены.

Уровни в окрестности дрены  $h_1$  и  $h_2$ , являются управляющими воздействиями,  $u = (h_1, h_2)$  – вектор управления. Представим уравнение в первой области  $x_l < x < x_1$ :

$$\frac{\partial h}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + f(x, t), \quad 0 < t < T \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial x} &= 0, \quad x = x_1 \\ h &= h_1, \quad x = x_l \end{aligned}$$

где  $h_1$  – уровень в первой дрене, параметр управления.

Для двух других областей уравнения выписываются аналогично.

Начальное распределение  $h(x, 0) = h_0(x)$ ,  $f(x, t)$  – функция дополнительной инфильтрации (осадки, протечки труб).

Для минимизации функционала  $J(u)$  – критерия цели требуется вычислить его градиент, для чего используется метод сопряженных градиентов [16].

Выпишем сопряженные уравнения для области  $x_1 < x < x_l$  для задачи (5):

$$\begin{aligned} \psi_t &= -a^2 \psi_{xx} - 2A_l^{h_k} \max(h_k - h(x, t, u), 0) \\ \psi_x &= 0, \quad x = x_l \\ \psi &= 0, \quad x = x_1 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\psi(x, t = T) = 2A^{h_k} (h(x, T, u) - h_0(x));$$

Для области  $x_1 < x < x_2$ , для задачи (5) и для задачи (6) выписываются аналогичные уравнения.

Решаются сопряженные уравнения аналогично основным. Формальная замена направления времени с + на – приводит к тому, что значение функции задается не в

конечный, а начальный момент времени. Проводится замена переменных  $t' = T - t$ .

Окончательно, градиент функционала определяется по формуле:

$$\begin{aligned} J' &= (a^2 (\psi'(x_2^+, t) - \psi'(x_2^-, t)), a^2 (\psi'(x_1^-, t) - \psi'(x_1^+, t))), \\ \text{если} \\ h_1 &= h_1(t), h_2 = h_2(t), \end{aligned} \quad (7)$$

и

$$J' = (a^2 \int_0^T (\psi'(x_2^+) - \psi'(x_2^-)) dt, a^2 \int_0^T (\psi'(x_1^+) - \psi'(x_1^-)) dt),$$

Через  $\psi'(x_{1,2}^{\pm})$  обозначены производные  $\psi'$  решения сопряженных задач в окрестностях точек  $x_1$  и  $x_2$ , при этом «+» означает правую окрестность, а «-» – соответствует левой окрестности. Следовательно,  $\psi'(x_1^+, t)$  и  $\psi'(x_2^-, t)$  – решение сопряженной задачи в области  $x_1 < x < x_2$ .

Соответственно –  $\psi'(x_1^-, t)$  – решение сопряженной задачи в области  $x_1 < x < x_1$ .

$A - \psi'(x_2^+, t)$  – решение сопряженной задачи в области  $x_2 < x < x_k$ .

Искомое управленческое воздействие находится методом проекции градиента и обеспечивает минимум функционалу  $J(u)$  [16]:

$$u_{l+1} = P_U (u_l - \alpha_l J'(u_l)), \quad l = 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

$P_U$  – оператор проекции на пространство допустимых управлений.

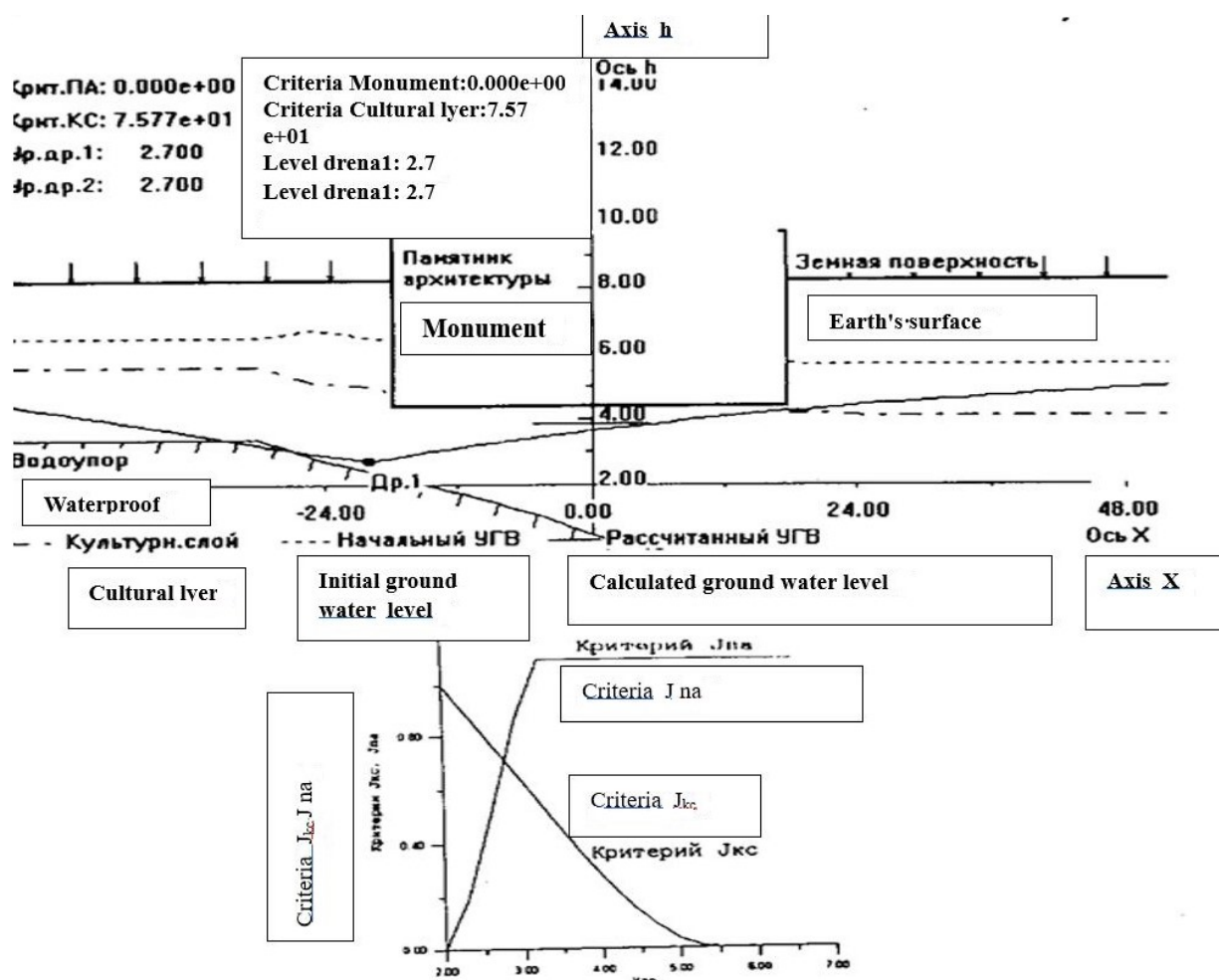
Варианты расчетов выработки оптимального решения для гибкого регулирования режима грунтовых вод с условием осушения фундамента здания и

минимальным осушением культурного слоя на исторических территориях являются основой для принятия решения и позволяют сделать рекомендации по инженерным мероприятиям.

В качестве примера расчетов на рисунке 1 приводится осушение одного из объектов защиты на территории Новгородского Кремля – получено оптимальное положение дрен при полном осушении подвала [11]. В точке пересечения кривых, отражающих функции критериев защищенности объекта и культурного слоя находится оптимальное положение дрены по глубине. Получая по каждому гидрогеологическому разрезу значения оптимальных глубин для дрены, методом суперпозиции определяется место прокладки дрен. Такой подход позволяет выполнить гибкое регулирование режима грунтовых вод на застроенных исторических, в том числе горных территориях.

Разработанный метод, позволяет в автоматизированном режиме определять управленческое решение по гибкому регулированию режима грунтовых вод, обеспечивающее осушение заглубленных помещений зданий и максимально сохраняющее, при наличии, культурный слой.





**Рисунок 1.** Результат расчета дрена для модельного объекта защиты: расчет положения дрена (верхний рисунок); значения критериев для памятника архитектуры и для культурного слоя (нижний рисунок)  
**Figure 1.** The result of calculating the drainage for a model protected object: calculation of the drainage position (upper figure); values of criteria for an architectural monument and for a cultural layer (lower figure)

## ВЫВОДЫ

Для повышения устойчивости горных урбанизированных территорий, особенно исторических территорий, необходимо проводить постоянное отслеживание уровня грунтовых вод, выполнять гибкое регулирование режима грунтовых вод. Предложенный подход выработки оптимального управленческого решения с применением метода решения экстремальных задач позволяет в имитационном режиме просчитывать различные варианты дренажных систем, выбирая те решения, которые максимально осушают объекты защиты, сохраняют при этом культурный слой, обеспечивая экологическую безопасность горных территорий регионов нашей страны.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кюль Е.В., Марченко П.Е. Вопросы устойчивого развития горных территорий с учетом влияния опасных природных процессов (на примере Кабардино-Балкарской Республики // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2012. N 4(48). С. 89–96.
2. Атлас природных опасностей и стихийных бедствий Кабардино-Балкарской Республики / Под общей

- редакцией М.Ч. Залиханова. СПб.: Гидрометеиздат, 2000. 66 с.
3. Марченко П.Е. Некоторые теоретические аспекты сравнения территориальных систем по степени подверженности опасным природно-техногенным процессам // Известия КБНЦ РАН. Нальчик, 2011. N 5. С. 82–91.
4. Устойчивое развитие горных территорий Кавказа. Коллективная монография / Керимов И.А., Снытко В.А., Широкова В.А. М.: ИИЕТ РАН, 2018. Т. 1. 589 с.
5. Банкурова Р.У., Мусаева М.Л., Джабраилова М.Р. Особенности устойчивого развития горных территорий. Устойчивое развитие горных территорий. Антропогенная деятельность // Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Грозный, 2022. С. 30–34.
6. Гуня А.Н., Караев Ю.И. Локальные индикаторы устойчивого развития горных территорий // Грозненский естественно-научный бюллетень. 2016. N 4(4). С. 11–15.
7. Арефьева Е.В., Мухин В.И. Оценка территориальной безопасности при подтоплении. М.: АПГС МЧС России, 2008. 101с.
8. Дзекцер Е.С. Закономерности формирования подтопления застраиваемых территорий, принципы прогнозирования и инженерной защиты. М.: Наука, 1987. 77 с.

9. Хоменко В.П. Суффозионные процессы на территориях городов // Проблемы инженерной геологии и инженерной сейсмологии городов и урбанизированных территорий. Материалы науч.-практ. сем., Москва, 1990. Т. 1. С. 118–124.
10. Arefeva E.V., Muraveva E.V., Frose T.Yu. Considering emergency hazards in construction and operation of infrastructures. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 687 066023 / International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. 2019. P. 066023.
11. Арефьева Е.В. Регулирование режима грунтовых вод при подтоплении объектов и застроенных территорий // Промышленное и гражданское строительство. 2007. N 11. С. 47–48.
12. Цховребов Э.С., Гордиенко А.Н. Метод оценки экологических угроз и рисков при функционировании техносферных объектов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. N 1(65). С. 114–126.
13. Ройтман А.Г. Деформации и повреждения зданий. М.: Стройиздат, 1987. 159 с.
14. Дзекцер Е.С. Инженерная защита застраиваемых территорий от подтопления // Проектирование и инженерные изыскания. 1986. N 5. С. 27–29.
15. Гавич И.К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. М.: Недра, 1980. 358 с.
16. Васильев Ф.П. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1987. 397 с.
17. Евтушенко Ю.Г. Методы решения некорректных задач и их применение в системах оптимизации. М.: Наука, 1982. 432 с.
18. Лаврентьев М. Некорректные задачи математической физики и анализа / Лаврентьев М.М., Романов В.Г. М.: Наука, 1980. 285 с.
19. Lyons J.-L. Optimal control of systems described by partial differential equations. М.: Mir, 1972. 293 p.
20. Galeati G. Optimal dewatering schemes in the foundation design of an electronuclear plant // Galeati G., Gambolatti G. Water Resour. Res. 1988. V. 24. N 4. P. 541–552.
21. Ahlfeld D. Combining physical containment with optimal withdrawal for contaminated groundwater remediation // Ahlfeld D., Mulvey J., Pinder G. Proc. of the VI Intl. Conf. on Finite Elem. in Water resources. Portugal, 1986. P. 205–214.
22. Willis R. Water resources manager. In North China plain // Willis R., Finney B., Zhang D. / J. of Water res. Plann. and Manag. 1989. V. 115. N 5. P. 598–615.
23. Arefyeva E., Alekseeva E., Gorina L. Assessment of the vulnerability of architectural monuments to dangerous natural process // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. V. 180. С. 159–170.
24. Muravyeva E.V., Arefyeva E.V., Danilina N.E. Improving the sustainability of cultural heritage sites using the UNIFORM. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. P. 34.
25. of Natural Hazards and Natural Disasters of the Kabardino-Balkarian Republic]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 2000, 66 p. (In Russian)
26. Marchenko P.E. Some theoretical aspects of comparing territorial systems according to the degree of exposure to dangerous natural and man-made processes. Izvestiya KBNTS RAN [News of KBSC RAS]. 2011, no. 5, pp. 82–91. (In Russian)
27. Kerimov I.A., Snytko V.A., Shirokova V.A. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii Kavkaza. Kollektivnaya monografiya* [Sustainable development of the mountainous territories of the Caucasus. Collective monograph]. Moscow, IIT RAN Publ., 2018, vol. 1, 589 p. (In Russian)
28. Bankurova R.U., Musaeva M.L., Dzhabrailova M.R. Osobennosti ustoichivogo razvitiya gornyykh territorii. Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii. Antropogennaya deyatel'nost' [Features of sustainable development of mountain territories. Sustainable development of mountain areas. Anthropogenic activity]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Grozny, 2022* [Collection of materials of the International scientific and practical conference, Grozny, 2022]. Grozny, 2022, pp. 30–34. (In Russian)
29. Gunya A.N., Karaev Yu.I. Local indicators of sustainable development of mountain territories. Groznenskiy estestvenno-nauchnyi byulleten' [Grozny Natural Science Bulletin]. 2016, no. 4(4), pp. 11–15. (In Russian)
30. Aref'eva E.V., Mukhin V.I.. *Otsenka territorial'noi bezopasnosti pri podtoplenii* [Assessment of territorial security during flooding]. Moscow, APGS MChS Rossii Publ., 2008, 101 p. (In Russian)
31. Dzehtser E.S. *Zakonomernosti formirovaniya podtopleniya zastraivayemykh territorii, printsipy prognozirovaniya i inzhenernoi zashchity* [Regularities of the formation of flooding of built-up areas, principles of forecasting and engineering]. Moscow, Nauka Publ., 1987, 77 p. (In Russian)
32. Khomenko V.P. Suffozionnye protsessy na territoriyakh gorodov [Suffosional processes in the territories of cities]. *Problemy inzhenernoi geologii i inzhenernoi seismologii gorodov i urbanizirovannykh territorii. Materialy nauch.-prakt. sem., Moskva, 1990* [Problems of engineering geology and engineering seismology of cities and urbanized territories [Materials of scientific and practical family, Moscow, 1990]. Moscow, 1990, vol. 1, pp. 118–124. (In Russian)
33. Arefeva E.V., Muraveva E.V., Frose T.Yu. Considering emergency hazards in construction and operation of infrastructures. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 687 066023. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. 2019.
34. Aref'eva E.V. Regulation of the groundwater regime during flooding of objects and built-up areas. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction]. 2007, no. 11, pp. 47–48. (In Russian)
35. Tskhovrebov E.S., Gordienko A.N. Method of assessing environmental threats and risks in the functioning of technosphere objects. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere* [Problems of risk management in the technosphere]. 2023, no. 1(65), pp. 114–126. (In Russian)
36. Roitman A.G. *Deformatsii i povrezhdeniya zdaniy* [Deformations and damage to buildings]. Moscow, Stroizdat Publ., 1987, 159 p. (In Russian)
37. Dzehtser E.S. Engineering protection of built-up areas from flooding. *Proektirovanie i inzhenernye izyskaniya*

## REFERENCES

1. Kyul' E.V., Marchenko P.E. Issues of sustainable development of mountain territories taking into account the impact of hazardous natural processes (on the example of the Kabardino-Balkarian Republic. Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2012, no. 4(48), pp. 89–96. (In Russian)
2. Zalikhanov M.Ch. *Atlas prirodnnykh opasnostei i stikhiynykh bedstvii Kabardino-Balkarskoi Respubliki* [Atlas

- [Design and engineering surveys]. 1986, no. 5, pp. 27–29. (In Russian)
15. Gavich I.K. *Teoriya i praktika primeneniya modelirovaniya v gidrogeologii* [Theory and practice of modeling application in hydrogeology]. Moscow, Nedra Publ., 1980, 358 p. (In Russian)
16. Vasil'ev F.P. *Metody resheniya nekorrektnykh zadach* [Methods of solving ill-posed problems]. Moscow, Nauka Publ., 1987, 397 p. (In Russian)
17. Yevtushenko Yu.G. *Metody resheniya nekorrektnykh zadach i ikh primenenie v sistemakh optimizatsii* [Methods of solving ill-posed problems and their application in optimization systems]. Moscow, Nauka Publ., 1982, 432 p. (In Russian)
18. Lavrent'ev M. *Nekorrektnye zadachi matematicheskoi fiziki i analiza* [Incorrect problems of mathematical physics and analysis]. Moscow, Nauka Publ., 1980, 285 p. (In Russian)
19. Lyons J.-L. Optimal control of systems described by partial differential equations. Moscow, Mir Publ., 1972, 293 p.
20. Galeati G., Gambolatti G. Optimal dewatering schemes in the foundation design of an electronuclear plant. *Water Resources*, 1988, vol. 24, no. 4, pp. 541–552.
21. Ahlfeld D., Mulvey J., Pinder G. Combining physical containment with optimal withdrawal for contaminated groundwater remediation. *Proc. of the VI Intl. Conf. on Finite Elem. in Water resources*. Portugal, 1986, pp. 205–214.
22. Willis R. Finney B., Zhang D. Water resources manager. In North China plain. *Journal of Water resources*. 1989, vol. 115, no. 5, pp. 598–615.
23. Arefyeva E., Alekseeva E., Gorina L. Assessment of the vulnerability of architectural monuments to dangerous natural process. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022, vol. 180, pp. 159–170.
24. Muravyeva E.V., Arefyeva E.V., Danilina N.E. Improving the sustainability of cultural heritage sites using the UNIFORM.IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, p. 34.

**КРИТЕРИИ АВТОРСТВА**

Все авторы имеют равные права на данный совместный интеллектуальный труд. Все авторы равноценно участвовали в подготовке и написании данной работы. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**AUTHOR CONTRIBUTIONS**

All authors have equal rights to this joint intellectual work. All the authors equally participated in the preparation and writing of this work. All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism or other unethical problems.

**NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION**

The authors declare no conflict of interest.

**ORCID**

Елена В. Арефьева / Elena V. Arefyeva <https://orcid.org/0000-0001-6037-9663>

Ирина Ю. Олтян / Irina Yu. Oltyan <https://orcid.org/0000-0002-2178-5033>

Юрий В. Прус / Yuri V. Prus <https://orcid.org/0000-0001-9781-9458>