

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

**Т.Ю. Хаширова, З.Г. Ламердонов, С.А. Жабоев, М.А. Еналдиева,
М.М. Тхабисимова, К.З. Ламердонов**

**Кабардино-Балкарский ГУ им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик,
Кабардино-Балкарский ГАУ им. В.М. Кокова, г. Нальчик,
Северо-кавказский горно-металлургический институт, г. Владикавказ,
МГУ им. М.В. Ломоносова**

Предлагается разработанная методика выбора оптимального проектного решения берегозащитного сооружения, адаптированного к конкретным гидрологическим, гидравлическим и морфологическим условиям реки по интегральному показателю, включающему в себя надежность работы сооружения; экономические и экологические показатели. Приводятся инновационные разработки по защите берегов рек от размыва запатентованные в Российской Федерации, алгоритмы моделирования принятия решения. Разработанная теория и методика выбора оптимального решения может быть реализована и на других подсистемах.

Ключевые слова: математическое моделирование, интегральный показатель, алгоритм моделирования, экологические показатели, берегозащитные сооружения

Information Technologies and Mathematical Modeling in Solving Environmental Problems in the Design of Shore Protection Structures

**T.Yu. Khashirova, Z.G. Lamerdonov, S.A. Zhaboev, M.A. Enaldieva, M.M. Thabisimova,
K.Z. Lamerdonov**

**H.M. Berbekov Kabardino-Balkaria State University, 360004 Nalchik, Russia,
V.M. Kokov Kabardino-Balkaria State Agrarian University, 360030 Nalchik, Russia,
North Caucasus Institute of Mining and Metallurgy, 362021 Vladikavkaz, Russia,
Lomonosov Moscow State University, 119991 Moscow, Russia**

The proposed methodology for the selection of the optimal design solution of the coastal protection structure, adapted to the specific hydrological, hydraulic and morphological conditions of the river according to an integral indicator, including the reliability of the structure; economic and environmental indicators. Innovative solutions to protect the banks of rivers from erosion, patented in the Russian Federation, decision-making modeling algorithms are presented. The developed theory and methodology for choosing the optimal solution can be implemented on other subsystems.

Keywords: mathematical modeling, integral indicator, modeling algorithms, environmental indicators, shore protection structures

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-09-13-17

Горные и предгорные ландшафты представляют собой сложные из-мененные техно-природные системы. Согласно разработанной нами концептуальной модели управления горными и предгорными ландшафтами, она разбита на следующие взаимосвязанные подсистемы (рис. 1): склоновую; овражно-балочную; речную и

водохозяйственный комплекс (ВХК) [1]. Экологические проблемы возникают в каждой из подсистем, например склоновой [2], овражно-балочной, речной подсистемах [3, 4], на урбанизированных территориях [2] и т.д. О воздействии паводковых вод на состояние пойм рек в речной подсистеме можно судить по рис. 2–4, подобная проблема

характерна для всей территории России, но более подвержены этим процессам реки горных и предгорных территорий [6].

Управление подобной сложной измененной природной системой как на системном, так и на подсистемных уровнях не представляется возможным без моделирования техно-природных процессов с



Рис. 1. Концептуальная модель управления горным и предгорным ландшафтом как сложной изменённой техно-природной системой (предложена Т.Ю. Хашировой)

Fig. 1. A conceptual model of managing the mountain and foothill landscape as a complex altered techno-natural system (proposed by T. Yu. Khashirova)

использованием информационных технологий. Разработанные модели управления сложными техно-природными процессами, наряду с комплек-

сом конкретных инженерных решений, являются важной составляющей техногенного блока управления (ТБУ) подсистемами и системой в целом [5].



Рис. 2 . Тетраэдрсы, разрушенные на р. Терек

Fig. 2. Tetrahedrons destroyed on the river Terek



Рис. 3. Результаты воздействия паводковых вод на состояние поймы и берегозащитных сооружений р. Нальчик

Fig. 3. The results of the impact of floodwaters on the state of the floodplain and shore protection structures of the river Nalchik

Рассмотрим вариант моделирования и решения проблем защиты берегов рек от размыва и затопления прилегающих территорий паводковыми водами в речной подсистеме. На горных и предгорных ландшафтах актуальной проблемой является правильный выбор проектного решения берегозащитного сооружения применительно к конкретным гидрологическим, гидравлическим и морфологическим условиям реки или даже его участка. Нами разработана методика построения имитационной системы для выбора оптимального проектного решения берегозащитного сооружения на стадии проектирования.

В качестве параметра оптимизации для выбора оптимального проектного решения принят интегральный показатель, который включает в себя надежность работы сооружения, экономические и экологические показатели.

$$P_u = P_n + \kappa_n P_c + \kappa_n P_e, \quad (1)$$

где P_n , P_c , P_e — показатель надежности, экономичности и экологичности; κ_n — весовой коэффициент, зависит от конструктивного решения берегозащитного сооружения, $\kappa_n = 0,1P_n$.

Основные факторы, влияющие на интенсивность эрозии: скорость потока рек; наносы; продолжительность паводкового периода; профиль рек и устойчивость русла [6].

Показателем потока, который характеризует его энергию, является число Фруда:

$$Fr = \alpha(v^2/gH) \quad (2)$$

где v — средняя скорость потока, м/с; H — глубина потока при максимальном расходе, м.

Для оценки устойчивости русла предлагаем использовать показатель Лохтина, который зависит от отношения сопротивления частиц к влекущей силе потока.

$$f = d^3/(d^2I) = d/I, \quad (3)$$

где d — средний диаметр частиц.

Коэффициент устойчивости f определяется по Лохтину при d , мм, и уклону реки I , м/км.

Наносный режим реки оценивается мутностью потока. На реках КБР мутность потока находится в пределах $0,1-10 \text{ кг/м}^3$. Наносы оказывают двойное влияние: контактируя с креплениями откосов, они истирают его, а наличие их в потоке снижает размывающую способность [8].

Нагрузка на крепление зависит и от продолжительности паводкового периода, которая может колебаться от месяца до года.

В качестве основных факторов можно принять: коэффициент Фруда (кинетичность потока) X_1 ; коэффициент Лохтина (коэффициент устойчивости) X_2 ; мутность потока воды X_3 ; продолжительность паводкового периода X_4 [7].

Интервалы варьирования факторов приведены в табл. 1.

Для исследования выбрано двадцать вариантов берегозащитных сооружений, внедряемых на реках Северного Кавказа, из которых тринадцать запатентованных нами в РФ [6]. Такими сооружениями являются откосные крепления из полумонолитных габионов (рис. 5) [8], габионное ячеистое крепление [9], габионные крепления из сборных тюфяков [7], фашинные откосные крепления [10], армобетонные и армобутобетонные откосные крепления [11, 12], сборные раскосные откосные крепления [13], бетонные подпорные



Рис. 4. Катастрофические разрушения от паводка на р. Малка в КБР
Fig. 4. Catastrophic destruction from the flood on the river Malka in the CBD

Таблица 1. Уровни варьирования основных факторов
Table 1. The levels of variation of the main factors

Факторы	Уровни факторов		
	-1	0	+1
Коэффициент кинетичности потока X_1	0,2	0,6	1,0
Коэффициент устойчивости русла реки X_2	1	8	15
Мутность потока воды X_3 , кг/м^3	0,1	2,55	5,0
Продолжительность паводкового периода X_4 , мес	1	6,5	12

Таблица 2. Оценка работы берегозащитного сооружения по интегральному показателю
Table 2. Assessment of the work of the shore protection structure by the integral indicator

Интегральный показатель работы берегозащитного сооружения	Капитальность возводимых берегозащитных сооружений	Оценка работы берегозащитного сооружения
0–6	Строить нельзя	Неудовлетворительная
6–12	Временные БЗС	Удовлетворительная
12–16	Капитальные БЗС	Хорошая
Выше 16		Высокая



Рис. 5. Технология укладки и общий вид откосного крепления из полумонолитных габионов
Fig. 5. Laying technology and general view of the sloping mount of semi-cylindrical gabions



Рис. 6. Схема проведения исследования и моделирования берегозащитных сооружений

Fig. 6. Scheme of research and modeling of shore protection structures



Рис. 7. Имитационная система для выбора оптимального проектного решения берегозащитного сооружения

Fig. 7. Simulation system for choosing the optimal design solution for a shore protection structure

стенки с сеточными анкерами [7], подпорные стенки из полцилиндрических габионов [14], комбинированные подпорные стенки с бетонной облицовкой и сетчатыми анкерами [15].

Для каждого варианта определяется значение интегрального показателя по 30 балльной шкале. Схема процесса проведения исследования приведена на рис. 6.

Литература

1. Хаширова Т.Ю. Охрана горных и предгорных ландшафтов управлением твердого стока. Нальчик, Полиграфсервис и Т, 2007. 220 с.

References

1. Khashirova T.Yu. Okhrana gornyx i predgornyx landshaftov upravleniem tverdogo stoka. Nal'chik, Poligrafsservis i T, 2007. 220 s.

Вычисление кодированных значений факторов проводилось по формулам

$$X_1 = \alpha v^2 / (gH) = 1,1v^2 / (gH); \\ X_2 = d/I; X_3 = (\rho - 2,55) / 2,45; \\ X_4 = (N - 6,5) / 5,5,$$

где ρ — мутность потока; N — продолжительность паводкового периода, мес.

Процесс проведения вычислительного эксперимента и методика обработки данных подробно описаны в работах [7, 8].

На основе имитационных моделей работы берегозащитных сооружений построена система для выбора оптимального проектного решения, которая состоит из двадцати подобных моделей (рис. 7) [10].

Эффективность работы берегозащитного сооружения оценивается по величине интегрального показателя в соответствии с табл. 2.

В заключение можно отметить, что в работе предлагается разработанная методика выбора оптимального проектного решения берегозащитного сооружения, адаптированного к конкретным гидрологическим, гидравлическим и морфологическим условиям реки по интегральному показателю, включающему в себя надежность работы сооружения, экономические и экологические показатели. Приводятся инновационные разработки по защите берегов рек от размыва, алгоритмы проведения исследования, моделирования и принятия решения. Предложенная методика позволит в значительной степени повысить долговечность работы и сэкономить финансовые средства на дорогостоящие мероприятия. Стоимость укрепленного участка реки обычно 20–50 и более миллионов рублей

2. **Ламердонов З.Г., Хаширова Т.Ю.** Инновационные технологии управления эрозионно-аккумулятивными процессами на горных и предгорных ландшафтах. Нальчик, Полиграфсервис и Т, 2015. 228 с.
3. **Ламердонов З.Г., Хаширова Т.Ю., Ламердонов К.З.** Экологические проблемы горных территорий и некоторые варианты их решения с помощью анкерных систем. Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 2. С.10–13.
4. **Хаширова Т.Ю.** Защитные сооружения для предотвращения чрезвычайных ситуаций на реках Северного Кавказа. Экология и промышленность России. 2006. № 12. С. 16–18.
5. **Ламердонов З.Г., Хаширова Т.Ю., Дышеков А.Х.** Методические основы проектирования берегозащитных сооружений с учетом морфологических условий рек. Мелиорация и водное хозяйство. 2004. № 1. С. 26–28.
6. **Ламердонов З.Г.** Инновационные технологии защиты берегов рек. Нальчик, Полиграфсервис и Т, 2012. 236 с.
7. **Ламердонов З.Г.** Гибкие откосные крепления. Гидротехническое строительство. 2003. № 1. С. 39–43.
8. **Пат. 2249651 РФ, МПК E02V3/12.** Способ возведения габионного крепления заявл. Ламердонов З.Г., Дышеков А.Х., Бекалдиев Р.Р., Шахмурзов М.М. 08.01.2003; опубл. 10.04.2005. Бюл. №10. 9с.
9. **Пат. 2212496 РФ, МПК E 02 D 17/20.** Гибкое комбинированное ячеистое крепление. Ламердонов З.Г. Заявл. 08.08.2001; опубл. 20.09.2003. Бюл. № 26. 6 с.
10. **Пат. 2212497, РФ МПК E 02 D 17/20.** Фашинное ячеистое крепление. Ламердонов З.Г. Заявл. 08.08.2001; опубл. 20.09.2003. Бюл. № 26. 6 с.
11. **Пат. 2200793 РФ, МПК E 02 D 17/20, E 02 B 3/12.** Армобутобетонное крепление. Ламердонов З.Г., Дышеков А.Х. Заявл. 16.10.2000; опубл. 20.03.2003. Бюл. № 8. 7 с.
12. **Пат. 2189421 РФ, МПК E 02 D 17/20, E 02 B 3/12.** Комбинированное крепление откосов. Ламердонов З.Г. Заявл. 08.11.2000; опубл. 20.09.2002. Бюл. № 26. 6 с.
13. **Пат. 2278920 РФ, МПК E 02 B 3/04.** Способ возведения гибкого откосного крепления. Ламердонов З.Г. Заявл. 06.12.2004; опубл. 27.06.2006. Бюл. № 18. 5 с.
14. **Пат. 2249071 РФ, МПК E 02 B 3/06.** Габионная подпорная стенка. Ламердонов З.Г., Дышеков А.Х., Шахмурзов М.М., Хаширова Т.Ю., Шогенов Р.А., Камботов В.З. Заявл. 18.11.2002; опубл. 27.03.2005. Бюл. № 9. 7 с.
15. **Пат. 2249650 РФ, МПК E 02 B 3/06, 3/12.** Комбинированная подпорная стенка. Ламердонов З.Г., Дышеков А.Х., Шахмурзов М.М., Хаширова Т.Ю., Шогенов Р.А., Камботов В.З. Заявл. 18.11.2002; опубл. 10.04.2005. Бюл. № 10. 7 с.
2. **Lamerdonov Z.G., Khashirova T.Yu.** Innovatsionnye tekhnologii upravleniya erozionno-akkumulativnymi protsessami na gornyx i predgornyx landshaftakh. Nal'chik, Poligrafservis i T, 2015. 228 s.
3. **Lamerdonov Z.G., Khashirova T.Yu., Lamerdonov K.Z.** Ekologicheskie problemy gornyx territorii i nekotorye varianty ikh resheniya s pomoshch'yu ankernykh sistem. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2019. T. 23. № 2. S.10–13.
4. **Khashirova T.Yu.** Zashchitnye sooruzheniya dlya predotvrashcheniya chrezvychainykh situatsii na rekakh Severnogo Kavkaza. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2006. № 12. S. 16–18.
5. **Lamerdonov Z.G., Khashirova T.Yu., Dyshekov A.Kh.** Metodicheskie osnovy proektirovaniya beregozashchitnykh sooruzhenii s uchetom morfologicheskikh uslovii rek. Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo. 2004. № 1. S. 26–28.
6. **Lamerdonov Z.G.** Innovatsionnye tekhnologii zashchity beregov rek. Nal'chik, Poligrafservis i T, 2012. 236 s.
7. **Lamerdonov Z.G.** Gibkie otkosnye krepleniya. Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. 2003. № 1. S. 39–43.
8. **Pat. 2249651 RF, MPK E02V3/12.** Sposob vozvedeniya gabionnogo krepleniya zayavl. Lamerdonov Z.G., Dyshekov A.Kh., Bekaldiev R.R., Shakhmurzov M.M. 08.01.2003; opubl. 10.04.2005. Byul. №10. 9s.
9. **Pat. 2212496 RF, MPK E 02 D 17/20.** Gibkoe kombinirvannoe yacheistoe kreplenie. Lamerdonov Z.G. Zayavl. 08.08.2001; opubl. 20.09.2003. Byul. № 26. 6 s.
10. **Pat. 2212497, RF MPK E 02 D 17/20.** Fashinnoe yacheistoe kreplenie. Lamerdonov Z.G. Zayavl. 08.08.2001; opubl. 20.09.2003. Byul. № 26. 6 s.
11. **Pat. 2200793 RF, MPK E 02 D 17/20, E 02 B 3/12.** Armobutobetonnoe kreplenie. Lamerdonov Z.G., Dyshekov A.Kh. Zayavl. 16.10.2000; opubl. 20.03.2003. Byul. № 8. 7 s.
12. **Pat. 2189421 RF, MPK E 02 D 17/20, E 02 B 3/12.** Kombinirovannoe kreplenie otkosov. Lamerdonov Z.G. Zayavl. 08.11.2000; opubl. 20.09.2002. Byul. № 26. 6 s.
13. **Pat. 2278920 RF, MPK E 02 V 3/04.** Sposob vozvedeniya gibkogo otkosnogo krepleniya. Lamerdonov Z.G. Zayavl. 06.12.2004; opubl. 27.06.2006. Byul. № 18. 5 s.
14. **Pat. 2249071 RF, MPK E 02 V 3/06.** Gabionnaya podpornaya stenka. Lamerdonov Z.G., Dyshekov A.Kh., Shakhmurzov M.M., Khashirova T.Yu., Shogenov R.A., Kambotov V.Z. Zayavl. 18.11.2002; opubl. 27.03.2005. Byul. № 9. 7 s.
15. **Pat. 2249650 RF, MPK E 02 V 3/06, 3/12.** Kombinirovannaya podpornaya stenka. Lamerdonov Z.G., Dyshekov A.Kh., Shakhmurzov M.M., Khashirova T.Yu., Shogenov R.A., Kambotov V.Z. Zayavl. 18.11.2002; opubl. 10.04.2005. Byul. № 10. 7 s.

Т.Ю. Хаширова — д-р техн. наук, профессор, Кабардино-Балкарский ГУ им. Х.М. Бербекова, 360004 Россия, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Чернышевского 173, e-mail: khashirova@mail.ru • З.Г. Ламердонов — д-р техн. наук, профессор, Кабардино-Балкарский ГАУ им. В.М. Кокова, 360030 Россия, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, пр. В.И. Ленина 1В, e-mail: lamerdonov-zamir@rambler.ru • С.А. Жабоев — канд. геогр. наук, доцент, e-mail: hasanya20153@mail.ru • М.А. Еналдиева — канд. техн. наук, доцент, Северо-кавказский горно-металлургический институт, 362021, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева 44, e-mail: teodolit68@mail.ru • М.М. Тхабисимова — канд. физ.-мат. наук, доцент, Кабардино-Балкарский ГУ им. Х.М. Бербекова, 360004 Россия, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Чернышевского 173, e-mail: tembotova.mari@mail.ru • К.З. Ламердонов — бакалавр, МГУ имени М.В. Ломоносова, 119991 Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 52, факультет ВМК, e-mail: kant_n@rambler.ru

T.Yu. Khashirova – Dr. Sci. (Eng.), Professor, H.M. Berbekov Kabardino-Balkaria State University, 360004 Russia, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Chernyshevsky Str. 173, e-mail: khashirova@mail.ru • Z.G. Lamerdonov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, V.M. Kokov Kabardino-Balkaria State Agrarian University, 360030 Russia, Kabardino-Balkaria Republic, Nalchik, V.I. Lenin pr. 1B, e-mail: lamerdonov-zamir@rambler.ru • S.A. Zhaboev – Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, e-mail: hasanya20153@mail.ru • M.A. Enalidieva – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, North Caucasus Institute of Mining and Metallurgy, 362021 Russia, RNO-Alania, Vladikavkaz, Nikolayev Str. 44, e-mail: teodolit68@mail.ru • M.M. Thabisimova – Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, H.M. Berbekov Kabardino-Balkaria State University, 360004 Russia, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Chernyshevsky Str. 173, e-mail: tembotova.mari@mail.ru • K.Z. Lamerdonov – Bachelor, Lomonosov Moscow State University, 119991 Russia, Moscow, Leninsky gory 1, bld.52, e-mail: kant_n@rambler.ru