

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ОБОБЩЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭРОЗИОННОГО ПРОЦЕССА ОВРАЖНО-БАЛОЧНОЙ ПОДСИСТЕМЫ ГОРНОГО И ПРЕДГОРНОГО ЛАНДШАФТА

Кильчукова Л.К., Хаширова Т.Ю., Кучерова В.Ю.

*ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», Нальчик, Россия (360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173), e-mail: khashirova@mail.ru*

Одной из актуальных экологических проблем является проблема почвенной эрозии в овражно-балочной системе, для решения которой в настоящее время отсутствует обобщенный научно-обоснованный подход. Научная проблема состоит в необходимости разработки обобщенной математической модели эрозионного процесса овражно-балочной подсистемы горного и предгорного ландшафта и оценки экологической стабильности овражно-балочной системы. В ходе исследования представлены основные факторы образования оврагов – это особенности рельефа (глубина, ширина, длина, форма склонов); гидрометеорологические (интенсивность стока, объем стока, коэффициент стока), геологические (влагонасыщенность, пористость и т.д.). Разработан алгоритм исследования овражной эрозии и описаны математические методы, позволяющие прогнозировать почвенную эрозию в овражно-балочной системе. Данный алгоритм в дальнейшем по мере накопления знаний будет уточняться и дополняться.

Ключевые слова: эрозионные процессы, обобщенная математическая модель, овражно-балочная эрозия

## THEORY AND METHOD OF CONSTRUCTING A GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL OF THE EROSION PROCESS OF GULLY- BALK SUBSYSTEM OF MOUNTAIN AND FOOTHILL LANDSCAPE

Kilchukova L.K., Khashirova T.Y., Kucherova V.Y.

*Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russia (360004, Nalchik, Chernyshevsky street, 173), e-mail khashirova@mail.ru*

One of actual environmental problems is the problem of a soil erosion in gully- balk system for decision of which there is no generalized scientific approach now. The scientific problem consists in the need to develop a generalized mathematical model of gully-bulk subsystem erosive process of a mountain and foothill landscape and in the assessment of ecological stability of gully-balk system. During the research major factors of formation of ravines are presented, they are features of a relief (depth, width, length, form of slopes); hydrometeorological (intensity of a drain, drain volume, drain coefficient), geological (water saturation, porosity, etc.). The algorithm of research of an ovrzhny erosion is developed and the mathematical methods allowing to predict a soil erosion in gully-balk system are described. This algorithm will be specified and supplemented further in the course of knowledge accumulation.

Keywords: erosion processes, a generalized mathematical model, gully-balk erosion

Одной из актуальных экологических проблем является эрозия почв в овражно-балочной системе, для решения которой в настоящее время применяются различные научные подходы и методы исследования. Среди методов исследования овражной эрозии почв можно выделить следующие: системный анализ; эмпирические методы (наблюдение, эксперимент, измерение и т.п.); картографический метод, в частности с использованием ГИС-технологий; математическое моделирование сложных динамических систем.

Методы математического моделирования сложных динамических систем при изучении экологических проблем достаточно эффективны. Суть моделирования заключается в построении модели путем упрощения некоторых свойств и поведения экосистемы. Однако при этом модель должна иметь сходство с оригиналом. Математическое моделирование

позволяет реализовать надежные количественные прогнозы. При этом выбирается аппарат определенного раздела математики, который служит языком описания свойств, структуры и поведения объекта. Построение обобщенных моделей в экосистеме сводится к совмещению физико-динамических и химико-биологических процессов, которые описываются с помощью дифференциальных и алгебраических уравнений.

Основным направлением в исследовании эрозионного процесса в овражно-балочной системе является построение обобщенной математической модели, отражающая все факторы эрозионно-аккумулятивного процесса овражно-балочной подсистемы горного и предгорного ландшафта, их взаимосвязи, а также оценка экологической стабильности овражно-балочной системы.

Как показали наблюдения за компонентами природы, горных и предгорных ландшафтов, в рамках одной подсистемы проблема управления эрозионными и аккумулятивными процессами не решается. Для решения этой проблемы необходимо разработать методологию, т.е. логическую организацию процесса управления водной эрозией всей системы, каковой являются горные и предгорные ландшафты.

Многочисленные исследования, проведенные Н.И. Маккавеевым, Р.С. Чаловым, [6] и другими учеными, изучавшими эрозионно-аккумулятивные процессы, позволили сделать вывод о неразрывности процессов, происходящих в трех звеньях: на склонах, оврагах и руслах рек. В качестве основных факторов образования оврагов С.Н. Ковалев выделяет особенности рельефа определенной территории, климат, грунты, геоморфологические и экзодинамические процессы в пределах овражно-балочных систем. Обобщенная схема представлена на рисунке 1. [2]

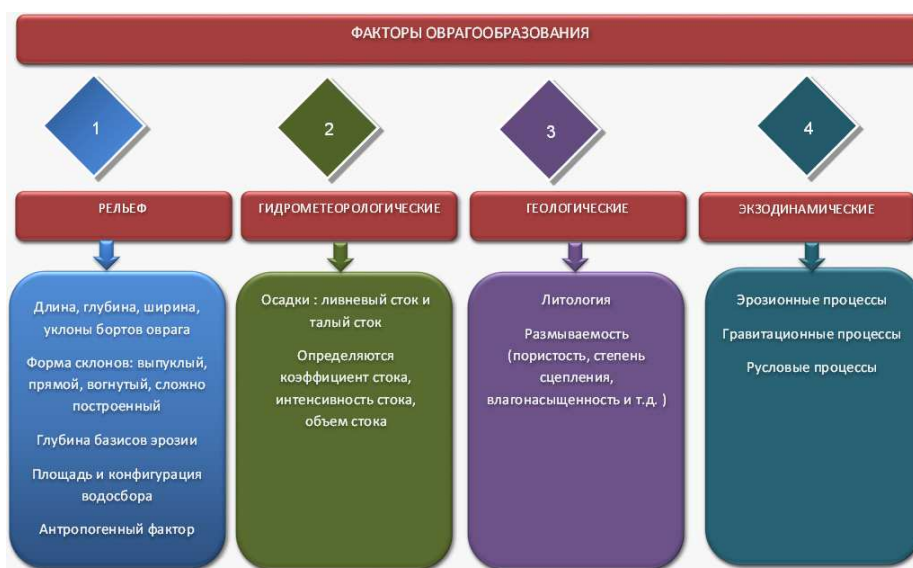


Рис.1. Основные факторы оврагообразования

Для прогнозирования эрозии в овражно-балочных системах существуют различные научно-обоснованные методики. Но среди многообразия научных источников не приводилось описание обобщённой математической модели эрозионного процесса овражно-балочной системы.

Основным направлением в нашем исследовании стала разработка обобщенной математической модели эрозионного процесса овражно-балочной подсистемы горного и предгорного ландшафта. Алгоритм представлен на рисунке 2.

После определения основных факторов, влияющих на эрозионный процесс овражно-балочной подсистемы горного и предгорного ландшафта, мы переходим к этапу проведения вычислительных экспериментов, используя различные математические методики. Так, для расчета склоновой водной эрозии почв используется эмпирическое уравнение:

$$A = A_0(K) R L S V_e P, \quad (1)$$

где  $R$  – эрозионный потенциал осадков (ЭПО),  $A_0(K)$  – смыв почвы с эталонного участка при выпадении дождя с эрозионным потенциалом, равным единице (т/га/ед. ЭПО),  $K$  – фактор эродированности почвы,  $LS$  – параметр влияния уклона ( $S$ ) и длины склона ( $L$ ),  $V_e$  – параметр возделывания культур,  $P$  – параметр противоэрозионных мероприятий. Эталонный участок имеет длину 22.6 м, площадь примерно 40.5 м<sup>2</sup>, уклон 9%, которая обработана по типу черного пара со вспашкой вдоль склона.

Фактор рельефа в эрозионных моделях является одним из основополагающих компонентов, поэтому при построении обобщенной математической модели эрозионного процесса овражно-балочной системы большее внимание было уделено уточнению этого компонента. На сегодняшний день существует обширный ряд различных формул для определения рельефного фактора. В таблице 1 представлены только некоторые из них, которые вызвали интерес у авторов.

Таблица 1

Аналитические выражения рельефной функции, связывающие длину ( $L$ ) и крутизну ( $S$ ) склона

№	Аналитическая запись рельефной функции	Источник
1	$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} * (1,38 + 0,965 * S + 0,138 * S^2)$	Morgan (1979)
2	$LS = L^{0,5} * (0,0011 * S^2 + 0,0078 * S + 0,0111)$	ГОСТ 17.4.4.03-86 (1986)
3	$\bar{W} = \alpha'_2 S^n$ $\bar{W} = \alpha'_1 L^p$	Швебс Г.И.
4	$\bar{W} = L^{1,5} S^{1,5}$	Гаршинев Е.А.

$$LS = (0,065 + 4,56 * \sin S + 65,41 * \sin^2 S * \left(\frac{L}{22,1}\right)^p * p - 0,5)$$

Wischmeier, Smith  
(1978)

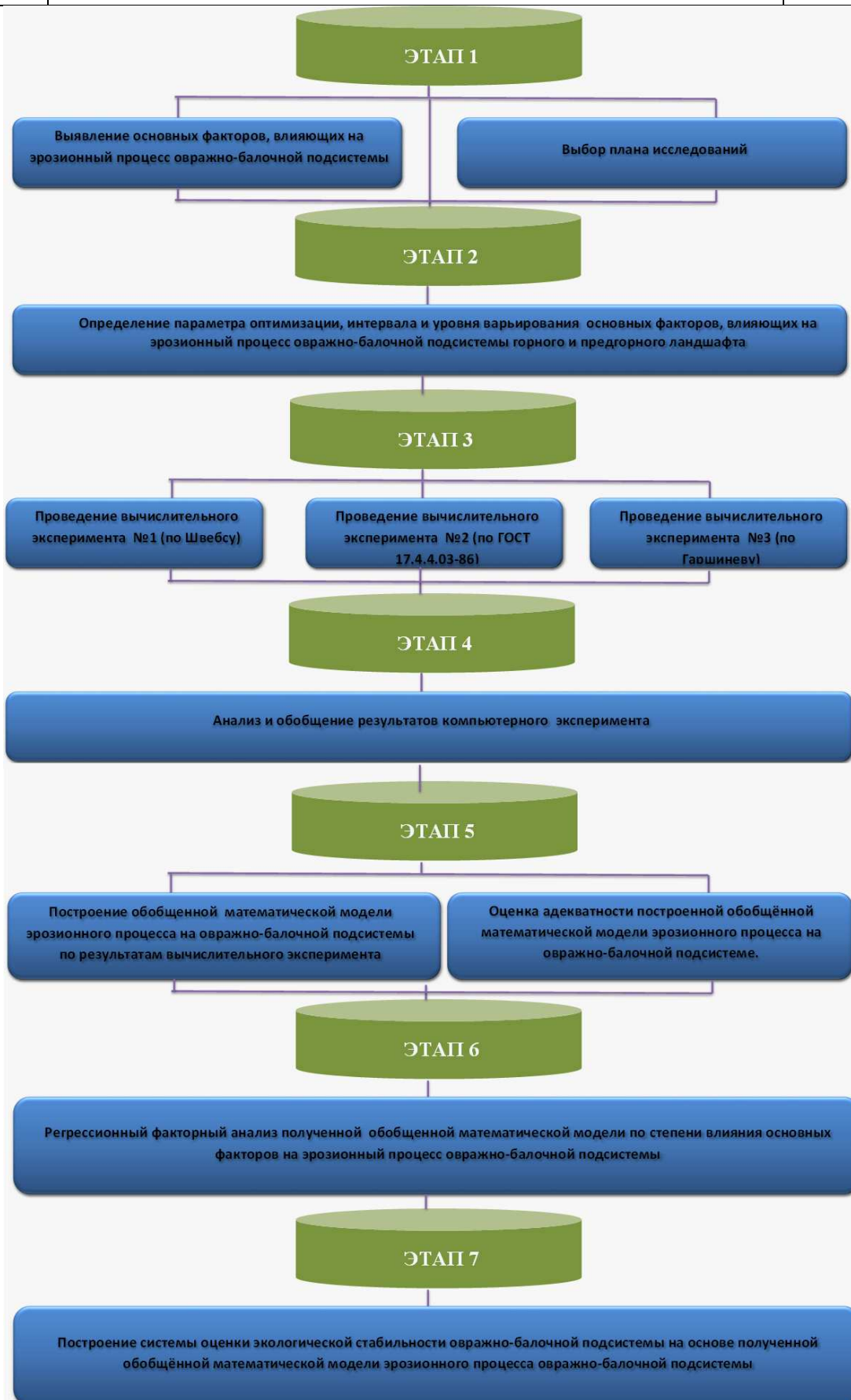


Рис.2. Алгоритм построения обобщённой математической модели эрозионного процесса овражно-балочной подсистемы горного и предгорного ландшафта

В свою очередь, комплексная характеристика эродирующей способности дождя  $R$  рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{\left[ \sum_{j=1}^n (1,213 + 0,8091 \lg r_j) r_j T_j \right] r_{30}}{173,6}, \quad (2)$$

$$E = \sum_{j=1}^n (1,213 + 0,8091 \lg r_j) r_j T_j, \quad (3)$$

где  $E$  – суммарная кинетическая энергия всех дождевых капель для каждого миллиметрового слоя осадков, выпадающих на  $1\text{ м}^2$  поверхности, кгс-м;  $r_j$  – интенсивность дождя, мм/ч. на  $j$ -ом участке ;  $r_{30}$  – средняя 30-минутная интенсивность дождя, мм/ч. ;  $T_j$  – время выпадения осадков на  $j$ -ом участке.

Комплексная характеристика свойств почвы  $K$  представляет собой отношение величины среднегодового смыва почвы с квадратного метра стандартной стоковой площадки к величине  $R$ . Для нахождения величины  $K$  с использованием уравнения множественной регрессии необходимо иметь сведения о большом числе свойств почвы, что не всегда возможно. В таком случае используют номограммы для определения комплексной характеристики эродируемости почв  $K$ . Чтобы воспользоваться номограммами необходимо иметь данные по структуре почвы, ее водопроницаемости, содержанию гумуса и гранулометрическому составу.

Комплексная характеристика влияния системы земледелия на смыв почвы  $V_e$  представляет собой отношение величины потерь с участка, используемого в севообороте, к величине потерь с аналогичного участка, возделываемого по типу черного пара, вспаханного отвальным плугом вдоль склона. Она учитывает влияние всех элементов используемой системы земледелия на смыв почвы. Среднюю величину  $V_e$  за время ротации севооборота рассчитывают путем суммирования значений  $V_e$  по отдельным полям севооборота, а в пределах поля – по периодам, и последующего деления на продолжительность ротации севооборота в годах. В пределах каждого года использования почвы на каждом поле севооборота выделяют периоды, в течение которых величина  $V_e$  считается постоянной для данного поля и определяется опытным путем. Значения  $V_e$  рассчитаны и имеются в справочниках. [3]

Комплексная характеристика эффективности противоэрозионных мероприятий  $P$  представляет собой отношение величины смыва почвы при использовании противоэрозионных мероприятий к величине смыва с парового поля, вспаханного вдоль склона (таблица 2). В число мероприятий, учитываемых величиной  $P$ , входят контурная обработка, контурное полосное земледелие, поделка валов-террас с широким основанием.

Ряд агротехнических противоэрозионных мероприятий (правильная обработка, почвозащитные севообороты, применение удобрений, мульчирование почвы и др.) учитывается величиной  $V_e$ .

**Таблица 2**

Показатель эффективности противоэрозионных мероприятий  $P$

Уклон %	Контурная обработка	Контурное полосное земледелие	Валы-террасы с широким основанием
1-2	0,6	0,3	0,12
3-8	0,5	0,25	0,1
9-12	0,6	0,3	0,12
13-16	0,7	0,35	0,14
17-20	0,8	0,4	0,16
21-25	0,9	0,45	0,18

К настоящему времени проводятся дальнейшие исследования в области почвенной эрозии овражно-балочных систем, из разных источников осуществляется сбор достоверной информации. Исследования оврагов и балок в городах и поселках даёт основу для разработки рекомендаций по предотвращению овражной эрозии с учётом географического положения и геолого-геоморфологических особенностей.

### Список литературы

1. Гаршинев Е.А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: Экспериментальная оценка, расчет и проектирование. – Волгоград, 2002. – 220с.
2. Ковалев С.Н. Овражно-балочные системы в городах. Под редакцией Р.С. Чалова, Москва: Компания ПринтКоВ, 2011. - 138 с.
3. Кузнецов М.С, Глазунов Г.П., Эрозия и охрана почв, Москва: Изд-во МГУ, 1996.- 335с.
4. Ламердонов З.Г. Методология и теория охраны земель от боковой водной эрозии гибкими противоэрозионными берегозащитными сооружениями, адаптированными к морфологии рек // Гидротехническое строительство. – 2006. – №9. - с.27 -31.
5. Ламердонов З.Г. Гибкие берегозащитные сооружения, адаптированные к морфологическим условиям рек. – Нальчик: КБГСХА, 2004. – 151с.
6. Под ред. Маккавеева Н.И., Чалова Р.С. /Эрозионные процессы /– М.: Мысль,1984. – 256 с.
7. Хаширова Т.Ю. Охрана горных и предгорных ландшафтов управлением твердого стока. – Нальчик: Полиграфсервис и Т, 2007. –220с.

8. Хаширова Т.Ю., Ламердонов З.Г. Охрана горных и предгорных ландшафтов как природно-техногенных комплексов природообустройства // Проблемы региональной экологии. – 2007. – №5. – с. 15 – 18 .
9. Хаширова Т.Ю., Ламердонов З.Г., Кузнецов Е.В. Системный подход в решении экологических проблем охраны горных и предгорных ландшафтов управлением твердого стока // Экологические системы и приборы. □ 2007. □ №9. □ с.29□33.
10. Швевс Г.И. Формирование водной эрозии стока наносов и их оценка. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 184 с.

**Рецензенты:**

Ошхунов М.М., д.ф.-м.н., проф., ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова», г. Нальчик;

Ламердонов З.Г., д.т.н., профессор, Кабардино-Балкарский аграрный университет, г. Нальчик.