

К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ВРЕМЕННОГО ВОДНОГО ПОТОКА НА АГРОЛАНДШАФТЕ СКЛОНОВЫХ ЗЕМЕЛЬ

Васильев С.А., Максимов И.И., Васильев А.А., Мишин П.В.

Реферат. В статье рассматривается движение водного потока на склоне, при этом выявляются основные закономерности, связывающие параметры потока и подстилающей поверхности, обусловленные воздействием на водный поток движущих сил и сил сопротивления движению. Воздействие этих сил, которые обеспечивают ускорение или торможение водного потока с учетом скорости потока, можно представить в виде мощностного баланса. При проведении анализа водного потока получили уравнение движения временного водного потока, которое позволяет решать следующие основные задачи: анализ возможности движения водного потока на тех или иных подстилающих поверхностях, определение и анализ параметров потока при ускорении, торможении или при равномерном его движении и другие. Также данное уравнение можно использовать в решении обратных задач, например, по определению коэффициента гидравлической шероховатости, потенциала эрозионной стойкости и других параметров стокоформирующей поверхности. Проведенный анализ позволяет судить о возможности воздействия на водный поток различными противозерозионными подстилающими поверхностями с заданной гидравлической шероховатостью и другими препятствиями, в результате чего обеспечивается эффективное управление движением временного водного потока.

Ключевые слова: склоновый агроландшафт, водный поток, гидравлическая шероховатость, подстилающая поверхность.

Введение. Эрозия почвы на склоновых агроландшафтах представляет собой необычайно сложный процесс, происходящий под влиянием множества факторов: природно-климатических и геологических условий, рельефа, состояния подстилающей поверхности, хозяйственного использования склоновых земель. Ученые давно пытаются найти актуальные подходы и способы количественной оценки эрозии почвы, которая приносит огромный ущерб сельскому хозяйству и экологии. Целый ряд трудов посвящен методам прогноза почвенной эрозии [1-8].

В конце XIX века Уолни выполнил первую научную работу по исследованию почвенной эрозии. Первоначально были выведены однофакторные уравнения для определения выноса почвы, представляющие собой частные и некоторые случаи при постоянстве ряда факторов. Впоследствии, в результате дальнейшего познания механизма эрозии почв, выведены многофакторные уравнения. Довольно полная информация по исследованиям известных многочисленных моделей для определения поверхностного смыва почвы представлена в работах Г.П. Швебса [9, 10].

Условия, материалы и методы исследований.

Рассматривая движение водного потока на склоне, примем следующие допущения [11, 12, 13]:

1. Процесс движения атмосферных осадков в виде стока на склоновом агроландшафте происходит по мелкой сети множества микро-русел, пересекающихся и сливающихся в одно целое, тогда для первого приближения можно

принять водосборную площадь как линейный канал, где происходят присущие водному потоку явления (изменения интенсивности стока по длине пути, появление боковых притоков и т.д.).

2. Вследствие продолжительности во времени взаимодействия осадков и подстилающей поверхности почва сильно переувлажняется, и с некоторым приближением не учитываются инфильтрационные процессы влаги.

При движении водного потока можно выявить основные закономерности, связывающие параметры потока и подстилающей поверхности, обусловленные воздействием на водный поток движущих сил и сил сопротивления движению [14].

Воздействие этих сил, которые обеспечивают ускорение или торможение водного потока с учетом скорости потока, можно представить в виде мощностного баланса. Мощностной баланс определяется затратами энергии потока на преодоление внешних и внутренних сопротивлений потоку по времени. Запишем уравнение мощностного баланса в общем случае [14]:

$$\vec{P}_\alpha \vec{v} + \vec{P}_\psi \vec{v} + \vec{P}_\varphi \vec{v} + \vec{P}_\delta \vec{v} + \vec{P}_\gamma \vec{v} + \vec{P}_j \vec{v} = 0. (1)$$

где \vec{P}_α – составляющая силы тяжести элементарного объема водного потока, Н; \vec{P}_ψ – сила сопротивления размыву подстилающей поверхности склона водным потоком, Н; \vec{P}_φ – сила сопротивления движению водного потока, обусловленная шероховатостью подстилающей поверхности склона, Н; \vec{P}_δ – сила сопротивления движе-

нию потока растительных элементов, Н; \bar{P}_γ - сила сопротивления движению потока, обусловленная влиянием волнистости подстилающей поверхности склона, Н; \bar{P}_i - сила сопротивления инерции потока, Н; \bar{v} - скорость движения элементарного объема водного потока, м/с.

Спроецируем уравнение (1) на ось вдоль склона с учетом скалярного произведения векторов сил и скорости потока [14]:

$$P_\alpha v \cos 0^\circ + P_\psi v \cos 180^\circ + P_\varphi v \cos 180^\circ + P_\delta v \cos 180^\circ + P_\gamma v \cos 180^\circ + P_j v \cos 180^\circ = 0 \quad (2)$$

или

$$N_\alpha = N_\psi + N_\varphi + N_\delta + N_\gamma + N_j, \quad (3)$$

где N_α – мощность водного потока, Дж/с;

N_ψ – потери мощности водного потока на размыв подстилающей поверхности склона, Дж/с; N_φ – потери мощности водного потока на преодоление силы сопротивления шероховатости подстилающей поверхности склона, Дж/с; N_δ – потери мощности водного потока на преодоление силы сопротивления растительных элементов на поверхности склона, Дж/с; N_γ – потери мощности водного потока, обусловленные влиянием волнистости подстилающей поверхности склона, Дж/с; N_j – потери мощности водного потока, обусловленные влиянием инерции потока, Дж/с [15].

Выражение (3) является уравнением мощностного баланса водного потока движущегося по подстилающей поверхности склона. Распишем каждую составляющую, входящую в это уравнение [14].

Мощность водного потока, движущегося по склону, определяется по выражению:

$$N_\alpha = \rho g i Q l, \quad (4)$$

где ρ – плотность водного потока, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; i – уклон подстилающей поверхности склона; Q – расход водного потока, м³/с; l – длина рассматриваемого участка водного потока, м.

Потери мощности водного потока на размыв или на разрушение и вынос частиц почвы подстилающей поверхности склона определяются по выражению Максимова И.И. [16]:

$$N_\psi = \rho_n \chi v^2 l \frac{z}{t}, \quad (5)$$

где ρ_n – плотность почвы, кг/м³; χ – смоченный периметр, м; l – длина рассматриваемого участка размываемой почвы, м; z/t – скорость размыва временного водотока или скорость эрозионного разрушения, м/с; z – слой почвы, размываемый потоком воды за определенное время t , м.

Потери мощности водного потока на преодоление силы сопротивления шероховатости подстилающей поверхности склона определяются по выражению, полученному Васильевым С.А. [17]:

$$N_\varphi = \frac{(1 + \varphi)}{2} \lambda_{\text{за}} v^3 \rho \chi l, \quad (6)$$

где φ – коэффициент гидравлической шероховатости; $\lambda_{\text{за}}$ – коэффициент сопротивления гладкой поверхности.

Потери мощности водного потока на преодоление силы сопротивления растительных элементов на поверхности склона определяется по выражению, предложенному В.С. Боровковым [18]:

$$N_\delta = \frac{\rho v^2 Q}{2 \delta^2}, \quad (7)$$

$$\delta = \frac{M}{\sqrt{авсз}}, \quad (8)$$

где δ – комплексная гидродинамическая характеристика растительного слоя [18]; M – размер стороны квадратной площадки, на которой находится один растительный элемент, м; a – высота растительных элементов, м; b – поперечный размер растительных элементов, м; c – коэффициент гидродинамического сопротивления растительного элемента, z – коэффициент взаимного влияния (затенения) элементов растительности при достаточно близком их расположении.

Потери мощности водного потока, обусловленные влиянием волнистости подстилающей поверхности склона нами, мы предлагаем определять по выражению:

$$N_\gamma = \gamma v^3 \rho \chi l, \quad (9)$$

где γ – коэффициент гидродинамического сопротивления волнистости поверхности или дискретного препятствия.

Потери мощности водного потока, обусловленные влиянием инерции потока, определяют по выражению:

$$N_j = m j v = m v \frac{dv}{dt}, \quad (10)$$

где m – масса водного потока, расположенного на рассматриваемом участке, кг; j – ускорение водного потока, м/с².

Для сравнения потоков, движущихся по разным подстилающим поверхностям склона, и выявления резервов энергии водного потока, которые могут, например, ускорить поток или размывать микрорусло, уравнение мощностного баланса водного потока приведем к безразмерной форме, разделив все его составляющие на

произведение веса и скорости потока [14]:

$$\frac{N_{\alpha}}{Gv} = \frac{N_{\psi}}{Gv} + \frac{N_{\phi}}{Gv} + \frac{N_{\delta}}{Gv} + \frac{N_{\gamma}}{Gv} + \frac{N_{j}}{Gv}, \quad (11)$$

где G – вес потока, Н.

Соотношение мощности потока и произведения веса на скорость потока можно представить в виде [14]:

$$\frac{N_{\alpha}}{Gv} = \frac{\rho i Q l}{mv} = \frac{\rho i w l}{m} = i, \quad (12)$$

где w – площадь поперечного сечения водного потока, м².

Соотношение потерь мощности водного потока на размыв или на разрушение и вынос частиц почвы подстилающей поверхности склона и произведения веса на скорость потока можно представить в виде [14]:

$$\frac{N_{\psi}}{Gv} = \frac{\rho_n \chi v^2 l}{\rho V g v} \cdot \frac{z}{t} = \frac{m_n v^2}{\rho Q g l t}, \quad (13)$$

где m_n – масса разрушенных и вынесенных частиц почвы, кг.

Максимов И.И. [16] рассматривает работу водного потока на размыв и транспортирование почвенных частиц через потенциал эрозивной стойкости почвы по выражению:

$$\psi = \frac{A_{\psi}}{m_n} = \frac{\rho Q g l t}{m_n}, \quad (14)$$

где A_{ψ} – работа водного потока на разрушение и вынос частиц почвы массой m_n , Дж. Подставляя данное выражение в уравнение (13), получим [14]:

$$\frac{N_{\psi}}{Gv} = \frac{1}{\psi} v^2 = i_{\psi} \quad (15)$$

где i_{ψ} – уклон гидравлических потерь на размыв подстилающей поверхности склона.

Соотношение потерь мощности водного потока на преодоление силы сопротивления шероховатости подстилающей поверхности склона на произведение веса и скорость потока представим в виде [14]:

$$\frac{N_{\phi}}{Gv} = \frac{(1+\phi)}{2} \lambda_{21} v^3 \cdot \frac{\rho \chi l}{mg} = \frac{(1+\phi)}{2} \lambda_{21} \frac{B}{Qg} v^3 = \frac{(1+\phi)}{2qg} \lambda_{21} v^3 = i_{\phi}, \quad (16)$$

где $q=Q/B$ – единичный расход водного потока, м²/с; i_{ϕ} – уклон гидравлических потерь на трение.

Соотношение потерь мощности водного потока на преодоление силы сопротивления от растительных элементов на произведение веса и скорости потока можно определить по выражению [14]:

$$\frac{N_{\delta}}{Gv} = \frac{\rho v^2 Q}{2 \delta^2 mgv} = \frac{v^3}{2 \delta^2 qg} = i_{\delta}, \quad (17)$$

где i_{δ} – уклон гидравлических потерь на преодоление растительных элементов.

Соотношение потерь мощности водного потока, обусловленные влиянием волнистости подстилающей поверхности склона на произведение веса и скорости потока представим в виде [14]:

$$\frac{N_{\gamma}}{Gv} = \frac{\gamma v^3 \rho \chi l}{mg} = \frac{\gamma v^3}{qg} = i_{\gamma}, \quad (18)$$

где i_{γ} – уклон гидравлических потерь на преодоление волнистости поверхности.

Соотношение составляющей потерь мощности потока, обусловленной влиянием инерции потока и произведения веса на скорость потока можно представить в виде [14]:

$$\frac{N_{j}}{Gv} = \frac{j}{g} = i_j, \quad (19)$$

где m – масса водного потока расположенного на рассматриваемом участке, кг; j – ускорение водного потока, м/с²; i_j – уклон гидравлических потерь на преодоление инерции водного потока.

Подставим полученные соотношения (12), (15)...(19) в уравнение (11) и получим следующее выражение [14]:

$$i = \frac{(1+\phi)}{2qg} \lambda_{21} v^3 + \frac{1}{\psi} v^2 + \frac{v^3}{2\delta^2 qg} + \frac{\gamma}{2qg} v^3 + \frac{j}{g} \quad (20)$$

или в упрощенной безразмерной форме [14, 15]:

$$i = i_{\phi} + i_{\psi} + i_{\delta} + i_{\gamma} + i_j. \quad (21)$$

Выражение (21) представляет собой уравнение движения временного водного потока и показывает баланс действительного уклона и суммы уклонов гидравлических потерь при движении водного потока по подстилающей поверхности [14].

Графическое изображение зависимости изменений уклонов гидравлических потерь водного потока от его скорости движения будем называть гидродинамической характеристикой водного потока (рисунок 1) [14].

С помощью уравнения движения временного водного потока можно решать следующие основные задачи: анализ возможности движения водного потока на тех или иных подстилающих поверхностях, определение и анализ параметров потока при ускорении, торможении или при равномерном его движении и другие. Этот круг задач, возможно, выполнить, если известны зависимости составляю-

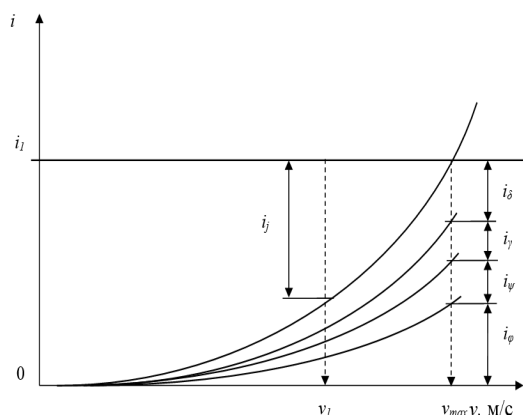


Рисунок 1 – Гидродинамическая характеристика водного потока

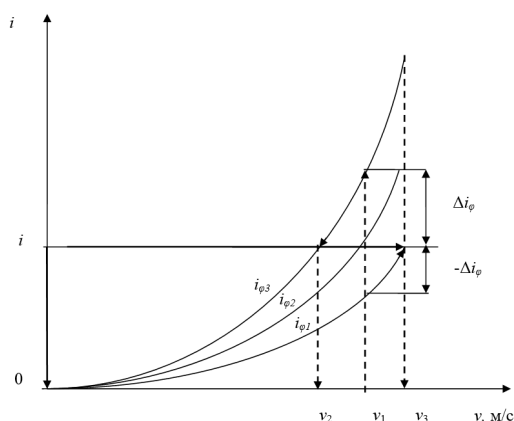


Рисунок 2 – Схема применения гидродинамической характеристики водного потока

щих баланса уклонов с параметрами потока и подстилающей поверхностью. Также допустимо использовать данное выражение в решении обратных задач, например, по определению коэффициента гидравлической шероховатости, потенциала эрозионной стойкости и других параметров стокоформирующей поверхности [14].

Анализ и обсуждение результатов исследований.

Рассмотрим водный поток (рисунок 2), который движется со скоростью v_1 по стокоформирующей поверхности с коэффициентом гидравлической шероховатости φ_2 . В данном случае имеем равенство:

$$i = i_{\varphi_2}, \tag{22}$$

где i - действительный уклон стокоформирующей поверхности; i_{φ_2} - уклон гидравлических потерь на трение для стокоформирующей поверхности с коэффициентом гидравлической шероховатости φ_2 .

Таким образом, имеем равномерное движение водного потока.

При увеличении коэффициента гидравлической шероховатости согласно выражению (16) увеличивается уклон гидравлических потерь на трение i_{φ_2} на величину Δi_{φ} , т.е. $i_{\varphi_2} + \Delta i_{\varphi}$. В этом случае скорость водного потока начнет снижаться. Замедление его будет пропорционально разности $(i - i_{\varphi_2})$. Величину замедления можно определить из выражения:

$$j = \frac{dv}{dt} = g(i - i_{\varphi_2}). \tag{23}$$

По мере снижения скорости потока модуль разности $(i - i_{\varphi_2})$ уменьшается, что приводит также к уменьшению модуля замедления. При достижении скорости v_3 можно записать равенство:

$$i = i_{\varphi_3} = i_{\varphi_2} + \Delta i_{\varphi}. \tag{24}$$

Для условия (24) прекратится снижение скорости и установится равномерный режим движения водного потока.

Если уклон гидравлических потерь на трение уменьшится на величину Δi_{φ} , например при уменьшении коэффициента гидравлической шероховатости, то при исходной скорости v_1 будет выполняться условие $dv/dt \geq 0$. Водный поток будет ускоряться до достижения скорости v_3 , при которой можно записать равенство:

$$i = i_{\varphi_1} = i_{\varphi_2} - \Delta i_{\varphi}. \tag{25}$$

Таким образом, воздействуя на водный поток различными противозерозионными подстилающими поверхностями с заданной гидравлической шероховатостью и другими препятствиями, обеспечивается эффективное управление движением временного водного потока.

Например, на склоне сельскохозяйственных земель СПК «Орино» Моргаушского района Чувашской Республики имеется эрозионно-опасное расположение полевой дороги. Основными факторами проявления эрозионного процесса, при небольшом уклоне грунтовых дорог, будут являться незначительная шероховатость и относительно огромный потенциал эрозионной стойкости (ПЭС) уплотненной почвы в большей части поверхности дороги.

Выводы. Для контурной организации территории достаточно сложно в практическом плане расположить проектируемый участок на естественном склоне. Сложности связаны в основном с тем, что горизонталь непараллельны и необходимо проектирование полос постоянной ширины на всей длине гона обрабатываемого участка. В таком случае возникает необходимость в установлении предельно допустимых значений отклонения границ участка поля от горизонталей склона. Значения рас-

считываемых отклонений меняются от уклона склона, противоэрозионной стойкости почвы и вида агрофона. Известно, что при крутизне более $3...5^0$ не следует проектировать полевые дороги вдоль склона [19, 20].

Таким образом, оптимальное проектирование противоэрозионных мероприятий и техни-

ческих средств для их реализации неразрывно связано с объектом воздействия, почвой, и обеспечивается объективностью количественной оценки и прогнозированием стока с учетом эрозионных характеристик обрабатываемой почвы на склоновых агроландшафтах.

Литература

1. Васильченко, Г. В. Воздействие потоков на мелиоративные и водохозяйственные сооружения / Г. В. Васильченко. – Минск : Ураджай, 1985. – 175 с.
2. Полуэктов, Е. В. Регулирование водного режима эродированных почв противоэрозионными приемами / Е. В. Полуэктов // Почвоведение. – 1993. – № 3. – С. 80-99.
3. Рекомендации по созданию комплекса агролесомелиоративных противоэрозионных мероприятий / Г. П. Сурмач и др. – Волгоград, 1973.
4. Сурмач, Г. П. Водная эрозия и борьба с ней / Г. П. Сурмач. – Л. : Гидрометеиздат, 1976. – 254 с.
5. Сурмач, Г. П. К вопросу об изучении весеннего стока в сети лесных полос на черноземах Куйбышевского Заволжья / Г. П. Сурмач // Вопросы земледелия и борьбы с эрозией почв в степных и лесостепных районах СССР. – Саратов, 1959. – Т. 2. – С. 489-497.
6. Сурмач, Г. П. Опыт расчета смыва почв для построения комплекса противоэрозионных мероприятий / Г. П. Сурмач // Почвоведение. – 1979. – № 4. – С. 92-104.
7. Швец, Г. И. О приемах изучения смыва почв / Г. И. Швец // Почвоведение. – 1957. – № 5. – С. 105-109.
8. Эрозия почвы / пер. с англ. и предисловие М. Ф. Пушкарева. – М. : Колос, 1984. – 415 с.
9. Швец, Г. И. Теоретические основы эрозиоведения / Г. И. Швец. – Киев; Одесса : Вища школа, 1981. – 219 с.
10. Швец, Г. И. Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка : на примере Украины и Молдавии / Г. И. Швец. – Л. : Гидрометеиздат, 1974. – 183 с.
11. Васильев, С. А. К вопросу о формировании стока на склоновых землях / С. А. Васильев, И. И. Максимов, А. А. Васильев // Материалы Всероссийской науч.-практ. конф., посвященной 75-летию со дня открытия ЧГСХА. – Чебоксары, 2006. – 680 с.
12. Васильев, С. А. Совершенствование методики и технических средств оценки для проектирования противоэрозионных технологий на склоновых землях : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Васильев Сергей Анатольевич – Чебоксары, 2006. – 161 с.
13. Ткачев, А. А. Развитие методологии расчета параметров неустановившегося течения воды при водораспределении в каналах оросительных систем : дис. ... д-ра техн. наук : 06.01.02 / Ткачев Александр Александрович. – Новочеркасск, 2011. – 297 с.
14. Васильев, С. А. Энергетический подход для построения гидродинамической характеристики водного потока на склоновом агроландшафте / С. А. Васильев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса : наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 4 – С. 194-200.
15. Васильев, С. А. Математическая модель для прогноза эрозионных процессов на склоновых агроландшафтах / С. А. Васильев // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 9. – С. 96-100.
16. Максимов, И. И. Прогноз эрозионных процессов, техника и технология для обработки склоновых земель : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Максимов Иван Иванович. – Чебоксары, 1996. – 325 с.
17. Васильев, С. А. Гидравлическая шероховатость : энергетический подход и практическое приложение / С. А. Васильев, И. И. Максимов, В. И. Максимов // Чебоксары : ВФ МАДИ, 2010. – 204 с.
18. Боровков, В. С. Русловые процессы и динамика речных потоков на урбанизированных территориях / В. С. Боровков. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 285 с.
19. Лопырев, М. И. Защита земель от эрозии и охрана природы : учеб. пособие для вузов / М. И. Лопырев, Е. И. Рябов. – М. : Агропромиздат, 1989. – 240 с. : ил.
20. Рожков, А. Г. Борьба с оврагами / А. Г. Рожков. – М. : Колос, 1981. – 197 с. : ил.

Сведения об авторах:

Васильев Сергей Анатольевич – доктор технических наук, профессор, e-mail: vsa_21@mail.ru
 Максимов Иван Иванович – доктор технических наук, профессор, e-mail: maksimov48@inbox.ru
 Васильев Алексей Анатольевич – доктор технических наук, профессор, e-mail: alexei.21@mail.ru
 Мишин Петр Владимирович – доктор технических наук, профессор
 ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», г. Чебоксары, Россия.

TO THE QUESTION OF CONTROL OF THE TEMPORARY WATER FLOW MOVEMENT ON THE AGROLANSAPES OF SLOPE LANDS

Vasilev S.A., Maksimov I.I., Vasilev A.A., Mishin P.V.

Abstract. The article deals with the movement of a water stream on a slope, with the main regularities connecting the parameters of the flow and the underlying surface, caused by the action of the driving forces and the forces of resistance to movement. The impact of these forces, which ensure the acceleration or deceleration of the water flow in view of the flow velocity, can be represented in the form of a power balance. In the analysis of the water flow, the equation of motion of the temporary water flow is obtained, which allows solving the following main tasks: analysis of the possibility of water flow on certain underlying surfaces, determination and analysis of flow parameters during acceleration, braking or even motion, and others. Also, this equation can be used in solving inverse problems, for example, in determining the coefficient of hydraulic roughness, the potential of erosion resistance, and other parameters of the stokofforming surface. The analysis allows to judge the possibility of influencing the water flow with various anti-erosion underlying surfaces with a given hydraulic roughness and other obstacles, resulting in an effective control of the movement of the temporary water flow.

Key words: slope agrolandscape, water flow, hydraulic roughness, underlying surface.

References

1. Vasilchenko G.V. *Vozdeystvie potokov na meliorativnye i vodokhozyaystvennye sooruzheniya*. [Influence of flows on land reclamation and water management structures]. / G.V. Vasilchenko. – Minsk : Uradzhay, 1985. – P. 175.
2. Poluektov E.V. Regulation of the water regime of eroded soils with anti-erosion methods. [Regulirovanie vodnogo rezhima erodirovannykh pochv protivooerozionnymi priemami]. / E. V. Poluektov // *Pochvovedenie. – Soil science.* – 1993. – № 3. – P. 80-99.
3. *Rekomendatsii po sozdaniyu kompleksa agrolesomeliorativnykh protivooerozionnykh meropriyatiy*. [Recommendations for the creation of a complex of agroforestry anti-erosion measures]. / G.P. Surmach and others. – Volgograd, 1973.
4. Surmach G.P. *Vodnaya eroziya i borba s ney*. [Water erosion and the fight against it]. / G.P. Surmach. – L. : Gidrometeoizdat, 1976. – P. 254.
5. Surmach G. P. *K voprosu ob izuchenii vesennego stoka v seti lesnykh polos na chernozemakh Kuibyshevskogo Zavolzhyia*. // *Voprosy zemledeliya i borby s eroziyey pochv v stepnykh i lesostepnykh rayonakh SSSR*. [On the study of spring runoff in a network of forest belts on chernozems of Kuibyshev-Volga region]. / G.P. Surmach // Questions of farming and combating soil erosion in steppe and forest-steppe regions of the USSR]. – Saratov, 1959. – Vol. 2. – P. 489-497.
6. Surmach G.P. Experience in calculating the washout of soils for building a complex of erosion control measures. [Opyt rascheta smyva pochv dlya postroeniya kompleksa protivooerozionnykh meropriyatiy]. / G. P. Surmach // *Pochvovedenie. – Soil science.* – 1979. – №4. – P. 92-104.
7. Shvebs G.I. On the methods of studying the washout of soils. [O priemakh izucheniya smyva pochv]. / G. I. Shvebs // *Pochvovedenie. – Soil science.* – 1957. – №5. – P. 105-109.
8. *Eroziya pochvy. / per. s angl. i predislovie*. [Soil erosion: translated from English and the preface]. M. F. Pushkarev. – M.: Kolos, 1984. – P. 415.
9. Shvebs G.I. *Teoreticheskie osnovy eroziovedeniya*. [Theoretical foundations of erosion]. / G.I. Shvebs. – Kiev; Odessa: Vishcha shkola, 1981. – P. 219.
10. Shvebs G. I. *Formirovanie vodnoy erozii, stoka nanosov i ikh otsenka: na primere Ukrainy i Moldavii*. [Formation of water erosion, sediment flow and its assessment: the example of Ukraine and Moldova]. / G.I. Shvebs. – L.: Gidrometeoizdat, 1974. – P. 183.
11. Vasilev S. A. *K voprosu o formirovanii stoka na sklonovykh zemlyakh*. // *Materialy Vserossiyskoy nauch.-prakt. konf., posvyaschennoy 75-letiyu so dnya otkrytiya ChGSKhA*. (On the question of the flow formation on sloping lands. / S.A. Vasilev, I.I. Maksimov, A.A. Vasilev // Proceedings of All-Russian Scientific and Practical Conference, dedicated to the 75th anniversary of the opening of ChSA). – Cheboksary, 2006. – P. 680.
12. Vasilev S.A. *Sovershenstvovanie metodiki i tekhnicheskikh sredstv otsenki dlya proektirovaniya protivooerozionnykh tekhnologiy na sklonovykh zemlyakh: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01*. (Perfection of methods and technical means of assessment for the design of anti-erosion technologies on slope lands: dissertation for a degree of Ph.D. of Technics: 05.20.01). / Vasilev Sergey Anatolevich – Cheboksary, 2006. – P. 161.
13. Tkachev A. A. *Razvitiye metodologii rascheta parametrov neustanovivshegosya techeniya vody pri vodoraspredele-nii v kanalakh orositelnykh sistem : dis. ... d-ra tekhn. nauk: 06.01.02*. (Development of the methodology for calculating the parameters of unsteady water flow during water distribution in canals of irrigation systems: dissertation for a degree of Doctor of Technics: 06.01.02). / Tkachev Aleksandr Aleksandrovich. – Novocheboksary, 2011. – P. 297.
14. Vasilev S. A. Energy approach for the construction of the hydrodynamic characteristics of the water flow on the slope agrolandscape. [Energeticheskiy podkhod dlya postroeniya gidrodinamicheskoy kharakteristiki vodnogo potoka na sklonovom agrolandshafte]. / S. A. Vasilev // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. - Izvestiya of Lower Volga agrouniversity complex: science and higher vocational education.* – 2015. – № 4 – P. 194-200.
15. Vasilev S.A. Mathematical model for prediction of erosion processes on slope agrolandscapes. [Matematicheskaya model dlya prognoza erozionnykh protsessov na sklonovykh agrolandshafтах]. / S.A. Vasilev // *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. – The Herald of Orenburg State University.* – 2015. – №9. – P. 96-100.
16. Maksimov I. I. *Prognoz erozionnykh protsessov, tekhnika i tekhnologiya dlya obrabotki sklonovykh zemel: dis. ... d-ra tekhn. nauk : 05.20.01*. (Forecast of erosion processes, technology and technology for the treatment of sloping lands: dissertation for a degree of Doctor of Technics: 05.20.01). / Maksimov Ivan Ivanovich. – Cheboksary, 1996. – P. 325.
17. Vasilev S. A. *Gidravlicheskaya sherokhovatost: energeticheskiy podkhod i prakticheskoe prilozhenie*. [Hydraulic roughness: energy approach and practical application]. / S.A. Vasilev, I.I. Maksimov, V.I. Maksimov // Cheboksary : VF MADI, 2010. – P. 204.
18. Borovkov V.S. *Ruslovye protsessy i dinamika rechnykh potokov na urbanizirovannykh territoriyakh*. [River processes and dynamics of river flows in urban areas]. / V. S. Borovkov. - L.: Gidrometeoizdat, 1989. – P. 285.
19. Lopyrev M. I. *Zaschita zemel ot erozii i okhrana prirody: ucheb. posobie dlya vuzov*. [Protection of lands from erosion and nature protection: a manual for universities]. / M. I. Lopyrev, E. I. Ryabov. – M.: Agropromizdat, 1989. – P. 240, illustrated.
20. Rozhkov A. G. *Borba s ovragami*. [The struggle with ravines]. / A. G. Rozhkov. – M.: Kolos, 1981. – P. 197, illustrated.

Authors:

Vasilev Sergey Anatolevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: vsa_21@mail.ru
 Maksimov Ivan Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: maksimov48@inbox.ru
 Vasilev Aleksey Anatolevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: alexei.21@mail.ru
 Mishin Petr Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor