

УДК 502/504:631.6.02

С. А. ВАСИЛЬЕВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», г. Чебоксары

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЕНСАЦИОННЫХ МЕЛИОРАТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНОГО ПОТОКА НА СКЛОНОВОМ АГРОЛАНДШАФТЕ

В статье рассматривается методика проектирования компенсационных мелиоративных мероприятий на склоновом агроландшафте на основе гидродинамической характеристики движения водного потока на склоне. Учитывая, что противоэрозионная организация территории хозяйства должна предусматривать создание условий для прекращения или предотвращения эрозионных процессов, рационального использования земель и размещения севооборотов на склонах, графоаналитическим способом строится номограмма для определения эюры скоростей на проектируемом склоне водосбора. С правой стороны номограммы представлен график с гидродинамическими характеристиками водного потока движущегося на подстилающей поверхности разных агрофонов, расположенных на пути водного потока. Для определения границы отсутствия эрозионного процесса на номограмме откладывается критическая скорость водного потока, определяемая экспериментально в полевых условиях разработанными при участии автора приборами. При выявлении эрозионного процесса в виде пояса эрозии предлагается ряд компенсационных мелиоративных мероприятий на склоновом агроландшафте: агромелиоративные или гидромелиоративные противоэрозионные операции. Для построения гидродинамических характеристик использовались данные Н. Н. Бобровицкой по агротехническим и компенсационным мелиоративным мероприятиям. Установлено, что для компенсационных мелиоративных мероприятий и инженерно-мелиоративных систем планируемых на склоновых агроландшафтах возникают следующие скорости водного потока: для фитомелиоративных мероприятий от 0,022 до 1,5 м/с даже при существенных уклонах, для агротехнических мелиоративных мероприятий от 0,138 м/с при уклоне 0,08, а для традиционной обработки почвы скорости превышают критические и доходя до 0,8 м/с. При помощи номограммы для определения эюры скоростей на проектируемом склоне водосбора легко определить, при какой скорости может протекать водный поток на отдельных участках водосборной площади. Путем подбора мелиоративных мероприятий можно скомпенсировать скоростной режим движения водного потока на отдельных участках, а следовательно уменьшить интенсивность эрозионных процессов и сохранить плодородие почвы на склоновом агроландшафте.

Hydrodynamic characteristics, water flow, sloping agro landscape, land reclamation activities, velocity diagram.

Введение. Решение вопросов организации территории на склоновых землях путем рационального размещения природных и инженерно-мелиоративных объектов в соответствии со структурой и особенностями хозяйственного использования

агроландшафтов носит принципиальный характер [1].

Действующая система противоэрозионной организации территории включает прогнозирование, планирование и проектирование использования склоновых земель,

устанавливает организационно-хозяйственные расчеты по осуществлению компенсационных мелиоративных мероприятий [2].

В сложившейся землеустроительной практике из предпроектных документов наибольшее распространение получили генеральные схемы противоэрозионных мероприятий – система фитомелиоративных, агротехнических, гидротехнических и организационно-хозяйственных мероприятий, разработанная с учетом конкретных местных условий, направленная на уменьшение или полное прекращение процессов эрозии и повышение эффективного плодородия эродированных почв [3].

В тоже время противоэрозионная организация территории хозяйства должна предусматривать создание условий для прекращения или предотвращения эрозионных процессов, рационального использования земель и размещения севооборотов на склонах, эффективное использование средств механизации на полях конечных размеров (кратность ширине захвата сельскохозяйственных машин, максимальная длина гона, выполнение различных технологических операций сельскохозяйственных машин при движении поперек склона) и оптимальную трансформацию эрозионно-опасных земель под лесотехническими и гидротехническими сооружениями [4, 5].

Материал и методы. Предлагается, используя гидродинамическую характеристику движения водного потока на склоне [6, 7], разработать методику проектирования компенсационных мелиоративных мероприятий на склоновом агроландшафте.

Для построения гидродинамической характеристики водного потока движущегося по подстилающей поверхности склонового агроландшафта используя подходы, предложенные в работах [6, 7], представим уравнение движения временного водного потока:

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

где ϕ – коэффициент гидравлической шероховатости; $\lambda_{\text{гп}}$ – коэффициент сопротивления гладкой поверхности v – скорость движения элементарного объема водного потока, м/с; $q = Q/B$ – единичный расход водного потока, м²/с; Q – расход водного потока, м³/с; B – ширина водного потока, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; ψ – потенциал эрозионной стойкости, Дж/кг; γ – коэффициент гидродинамического сопротивления волнистости поверхность или дискретного препятствия; j – ускорение водного потока, м/с².

Для определения смыва почвы с подстилающей поверхности водным

потоком, используя выражение (1), получено уравнение [7]:

$$R_s = \left(1 - \frac{i_\psi + i_c}{i}\right) \rho_v Q, \quad (2)$$

где ρ_v – плотность воды, кг/м³; Q – расход движущейся жидкости, м³/с.

Противоэрозионная организация территории хозяйства предусматривает создание различных условий, в том числе прекращение или предотвращения эрозионных процессов и рациональное использования земель и размещения севооборотов на склонах, то в этом случае необходимо рассмотреть по [4, 5]:

$$Q_i = \sum_{i=1}^T \sum_{z=1}^r \sum_{j=1}^n P_z q_{\partial j z i} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где Q_i – смыв почвы со всей стокоформирующей поверхности за $i = 1, T$ лет ротации севооборота; $z = 1, r$ – число полей севооборота и трансформированных участков; P_z – площадь z -го поля севооборота или трансформированного участка.

Установим по выражениям (1), (2) и (3), что к регулируемым параметрам по подбору почвозащитных технологий следует отнести коэффициент гидравлической шероховатости ϕ , потенциал эрозионной стойкости ψ , коэффициент изборужденности k , интенсивность стока $I_{\text{ст}}(t)$, а к нерегулируемым – уклон, длину склона и интенсивность осадков $I_{\text{ос}}(t)$. В тоже время основным параметром, представленным в выражении (1), определяющим эрозионный процесс, является скорость водного потока, включенная в интенсивность стока $I_{\text{ст}}(t)$. Скорость склонового стока задает силовое воздействие на почвенные агрегаты и отдельные частицы почвы при их размыве, а также влияет на транспортирующую способность водного потока. Для расчета и прогнозирования критической скорости, при которой начинается эрозионный процесс почвы, применяется целый ряд методов [8, 9].

Для реализации разработанного уравнения движения временного водного потока (1), автором разработан целый ряд приборов для определения в полевых условиях среднего уклона, коэффициента гидравлической шероховатости и коэффициента изборужденности дневной поверхности почвы, потенциала эрозионной стойкости почвы, количества растительных остатков на подстилающей поверхности [10].

Автор данной статьи рассмотрел движение водного потока по подстилающей поверхности водосбора по рисунку 1. Как правило, траекторию движение водного

потока преимущественно определяет тальвег водосборной площади, направление которого можно выявить по горизонталям склона.

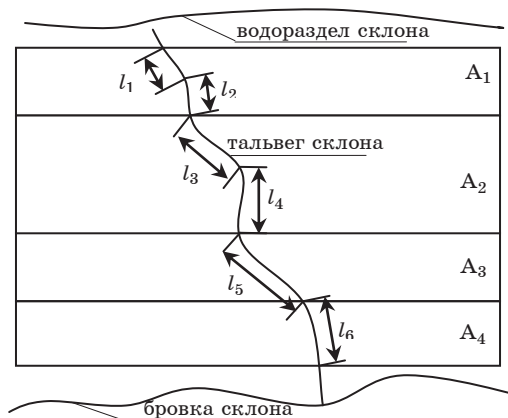


Рис. 1. Расчетная схема движения водного потока на склоновом агроландшафте: A_1 – агротехнические мероприятия 1; A_2 – агротехнические мероприятия 2; A_3 – противоэрозионные агротехнические мероприятия 1; A_4 – противоэрозионные агротехнические мероприятия 2

Определив направление движения водного потока на склоне, разбиваем полученную траекторию на относительно прямые линии, учитывая на проектируемых участках агрофон. Для суждения о правильности выбора размеров участков весьма удобна номограмма для опреде-

ления эпюры скоростей на проектируемом склоне водосбора, полученная на основе гидродинамической характеристики водного потока и представленная на рисунке 2. На рисунке 2 приняты те же агротехнические мероприятия, что и рассматриваемые по рисунку 1. С правой стороны номограммы представлен график с четырьмя гидродинамическими характеристиками водного потока движущегося по подстилающей поверхности разных агрофонов, расположенных на пути водного потока. Слева располагается график изменения уклона рассматриваемых участков по траектории движения водного потока. Ниже справа имеется возможность получения эпюры скоростей водного потока по всей траектории движения на рассматриваемых участках. Для определения границы отсутствия эрозионного процесса на номограмме берется критическая скорость водного потока, определяемая экспериментально в полевых условиях разработанными при участии автора приборами [10]. Из рисунка видно, что при выявлении эрозионного процесса в виде пояса эрозии необходим ряд компенсационных мелиоративных мероприятий на склоновом агроландшафте: агромелиоративные по кривой (1) или гидромелиоративные по кривой (2) противоэрозионные операции, иначе, при сохранении агрофона на склоне – необратима эрозия почвы при скоростях по кривой (3).

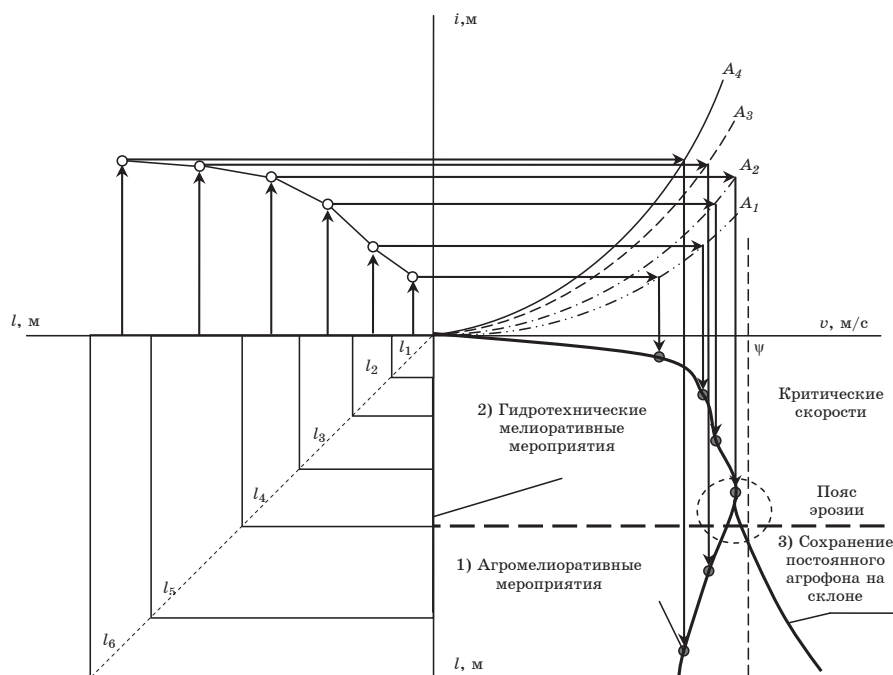


Рис. 2. Номограмма для определения эпюры скоростей на проектируемом выпуклом склоне водосбора

С помощью гидродинамической характеристики водного потока также можно решать другие принципиальные 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 составляющих баланса уклонов с параметрами потока и подстилающей поверхностью [10].

Результаты и обсуждение.

При помощи номограммы для определения эпюры скоростей на проектируемом склоне водосбора легко определить, при какой скорости может протекать водный поток на отдельных участках водосборной площади.

Для построения гидродинамической характеристики водного потока, протекающего на различных агрофонах, приведены данные исследований Н. Н. Бобровицкой в таблице, в которых исследовался процесс движения склонового стока на водосборной площади [11].

Результаты полевых исследований для талой воды, представленных Бобровицкой Н. Н. [11]

Участок измерений	Экспозиция	Уклон	Скорость ручья, см/с	Глубина ручья, см	Агрофон
1	ю	0,027	6,08	0,85	Зяблевая вспашка с боронованием
2	ю	0,05	50	3	
3	ю	0,075	81,3	5,1	
4	ю-з	0,183	5	1,3	Многолетняя трава экспарцет
5	в	0,115	2,2	0,03	
6	ю-в	0,08	13,8	1	Посевы озимых

По известным данным, используя уравнение движения временного водного потока (1), построены гидродинамические характеристики водного потока для различных агрофонов по данным Н. Н. Бобровицкой – зяблевая вспашка с боронованием, многолетняя трава экспарцет, посевы озимых (рисунок 3).

Установлено, что для компенсационных мелиоративных мероприятий и инженерно-мелиоративных систем планируемых на склоновых агроландшафтах возникают следующие скорости водного потока: для фитомелиоративных мероприятий – 0,022...1,5 м/с даже при существенных уклонах, для агротехнических мелиоративных мероприятий – от 0,138 м/с при уклоне 0,08, а для традиционной обработки почвы скорости превышают критические, доходя до 0,8 м/с.

При условии если регулируемые параметры для полей севооборотов окажутся достаточно малыми и агротехнические приемы не позволят выполнять условие (3), тогда целесообразно перейти к планированию противозерозионных лесотехнических или более сложных гидротехнических сооружений.

Выводы

На основании номограммы для определения эпюры скоростей на проектируемом склоне водосбора можно определить, насколько удовлетворительно подобраны компенсационные мелиоратив-

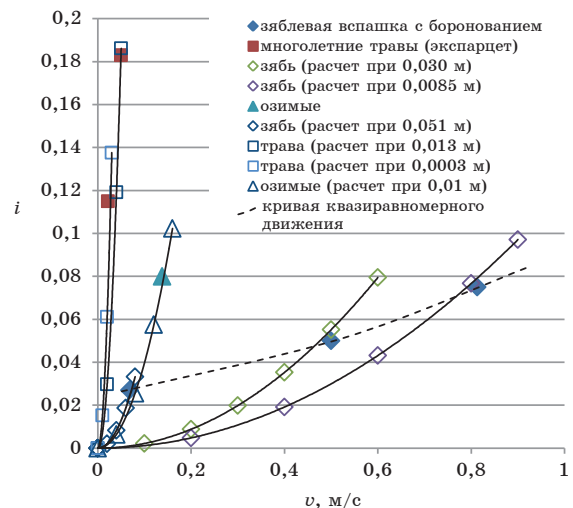


Рис. 3. Гидродинамические характеристики водного потока, движущегося по различным агрофонам на водосборе, построенные по исследованиям Н. Н. Бобровицкой [11]

ные мероприятия для рассматриваемого склонового агроландшафта.

По известным данным Н. Н. Бобровицкой, используя уравнение движения временного водного потока, построены гидродинамические характеристики водного потока для различных агрофонов, включая компенсационные мелиоративные мероприятия. Установлено, что для компенсационных мелиоративных мероприятий и инженерно-мелиоративных систем планируемых на склоновых агроландшафтах, возникают следующие скорости водного потока: при фитомели-

оративных мероприятиях от 0,022 до 1,5 м/с даже при существенных уклонах, при агротехнических мероприятиях от 0,138 м/с при уклоне 0,08, а при традиционной обработке почвы скорости превышают критические доходя до 0,8 м/с.

Пользуясь этими графиками, можно путем подбора мелиоративных мероприятий скомпенсировать скоростной режим движения водного потока на отдельных участках, а следовательно уменьшить интенсивность эрозионных процессов и сохранить плодородие почвы на склоновом агроландшафте.

Библиографический список

1. Заславский М. Н. Эрозиоведение. Основы противоэрозионного земледелия: учеб. для геогр. и почв. спец. вузов. – М.: Высш.шк., 1987. – 376 с.
2. Швебс Г. И. Теоретические основы эрозиоведения. – Киев, Одесса: Вища школа, 1981. – 219 с.
3. Стандарт Генеральной схемы землеустройства территории Российской Федерации (Электронный ресурс). – URL: <http://npzem.ru/wordpress/wpcontent/uploads/2013/09/standartgencxema.pdf> (Дата обращения 31.05.2016).
4. Максимов В. И. Прогноз овражной эрозии, методика проектирования противоовражных технологий и технических средств: дисс. ... канд. техн. наук. – Чебоксары, 2004. – 221 с.
5. Васильев С. А., Максимов И. И., Максимов В. И. Гидравлическая шероховатость склоновых агроландшафтов. – Чебоксары: «Новое Время», 2014. – 210 с.
6. Васильев С. А. Энергетический подход для построения гидродинамической характеристики водного потока на склоновом агроландшафте // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 4 – С. 194–200.
7. Васильев С. А. Математическая модель для прогноза эрозионных процессов на склоновых агроландшафтах // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 9. – С. 96–100.
8. Мирцхулава Ц. Е. Основы физики и механики эрозии русел. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 303 с.
9. Волновое движение склонового стока и интенсивность эрозии почвогрунтов / О. Г. Натишвили, Т. Ф. Урушадзе, Г. В. Гавардашвили. – М.: ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2014. – 161 с.
10. Результаты экспериментальных исследований гидрофизических и эрозионных свойств почв на территории СХПК «Труд» Батыревского района Чувашской Республики / С. А. Васильев, И. И. Максимов, Е. П. Алексеев [и др.] // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И. Я. Яковлева. – 2013. – Вып. 4(80), Ч.2. – С. 39–45.
11. Способ определения стока воды со склонов: а.с. 1565359 SU: МПКА 01 В 13/16 / Н. Н. Бобровицкая; заявитель и патентообладатель Государственный гидрологический институт. – Заявл. 25.12.1987; опубл. 23.05.1990. – Вып. № 19. – 3 с.

Материал поступил в редакцию 25.04.2016.

Сведения об авторе

Васильев Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортно-технологических машин и комплексов»; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», г. Чебоксары; 428003 Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29.; тел: 8-927-843-22-90; e-mail: vsa_21@mail.ru.

S. A. VASILJEV

The Federal state budget educational institution of higher education
«The Chuvash state agricultural academy», Cheboksary

METHOD OF DESIGNING COMPENSATION LAND RECLAMATION MEASURES USING HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF WATER FLOW ON THE SLOPING AGRO LANDSCAPE

The article considers the method of designing compensation reclamation measures on the slope landscape on the basis of hydrodynamic characteristics of the water flow movement of the slope. Taking into consideration that the anti-erosion organization of the farm territory should provide creation of the conditions for termination or prevention of erosion processes, land use management and placement of crop rotation on the slopes, a nomogram is built by a graphical-analytical method for determining the velocity diagram on the projected slope

of the watershed. On the right side of the nomogram there is a graph with hydrodynamic characteristics of the water flow moving on the underlying surface of different soil fertility located on the way of the water flow. To determine the boundaries of the absence of the erosion process there is laid a critical velocity of the water flow on the nomogram, which is determined experimentally in the field conditions developed with the participation of the author's devices. At revealing an erosion process in a form of the erosion zone a number of compensation reclamation measures on sloping land agro landscape are proposed: land reclamation or hydro reclamation erosion-preventive operations. For building hydrodynamic characteristics there are used the data of N.N. Bobrovitskaya on agro-technical and compensation reclamation measures. It was established that for compensation land reclamation activities and engineering-reclamation systems which are planned for sloping agricultural landscapes there occur the following velocities of the water flow: for phyto reclamation measures from 0.022 to 1.5 m/s even with significant slopes, for agro ameliorative measures from 0.138 m/s at a slope of 0.08, and for a traditional soil tillage speeds exceed critical ones and reach 0.8 m/s. By means of the nomogram for determining the velocity diagram on the projected watershed slope it is easy to determine with what velocity the water flow can flow in some parts of the catchment area. By choosing reclamation measures it is possible to compensate a high-speed regime of the water flow movement in some parts, and thus reduce the intensity of erosion processes and preserve soil fertility on the sloping agricultural land.

Hydrodynamic characteristics, water flow, sloping agro landscape, land reclamation activities, velocity diagram.

References

1. Zaslavsky M. N. Erozievedenie. Osnivy protivooerozionnogo zemledeliy: ucheb. Dlya geogr. i pochv. spets. vuzov. – M.: Vyssh. shk., 1987. – 376 s.
2. Shvebs G. I. Teoreticheskie osnovy erozievedeniya. – Kiev, Odessa: Vishcha shkola, 1981. – 219 s.
3. Standart General'noj skhemy zemleustrojstva territorii ossijskij Federatsii (Electronny resurs). – URL: <http://npzem.ru/wordpress/wpcontent/uploads/2013/09/standartgenxema.pdf> (Data obrashcheniya 31.05.2016).
4. Maximov V. I. Prognoz ovrazhnoj erozii, metodika proektirovaniya protivoovrazhnykh tehnologij i tehnikeskikh sredstv: diss....cand. tehn. nauk. – Cheboksary, 2004. – 221 s.
5. Vasiljev S. A., Maximov I. I., Maximov V. I. Gidravlicheskaya sherohovatost'ji sclonovykh agrolandshaftov. – Cheboksary, «Novoye Vremya», 2014. – 210 s.
6. Vasiljev S. A. Energetichesky podhod dlya postroeniya gidrodinamicheskoy karakteristiki vodnogo potoka na sklonovom agrolandshafte // Izvestiya Nizhnevolskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noye obrazovaniye. – 2015. – № 4 – S. 194–200.
7. Vasiljev S. A. Matematicheskaya model' dlya prognoza erozionnykh protsessov na sklonovykh agrolandshaftah // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015. – № 9. – S. 96–100.
8. Mirtshulava Ts. E. Osnovy fiziki i mehaniki erozii rusel. – L.: Gidrometeoizdat, 1988. – 303 s.
9. Volnovoye dvizheniye sklonovogo stoka I intensivnost'j erozii pochvogrunto'v / O. G. Natishvili, T. F. Urushadze, G. V. Gavardashvili. – M.: OOO Izdatel'jstvo «Nauchtehlitizdat», 2014. – 161 s.
10. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy gidrofizicheskikh I erozionnykh svoystv na territorii SHPK «Trud» Batyrevskogo rajona Chuvashskoj Respubliki / S. A. Vasiljev, Vasil'jev, I. I. Maximov, E. P. Alexeev [I dr.] // Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni I. Ya. Yakovleva. – 2013. – Vyp. 4(80), Ch.2. – S. 39–45.
11. Sposob opredeleniya stoka vody so sklonov: a. s. a.c. 1565359 SU: MPKA 01 V 13/16 / N. N. Bobrovitskaya; zayavitel' I patentoobladatel' Gosudarstvennyj gidrologicheskij institute. – Zayavl. 25.12.1987; opubl. 23.05.1990. – Vyp. № 19. – 3 s.

Received on 25.04.2016.

Information about the author

Vasiljev Sergej Anatol'jevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Transportation-technological machinery and complexes»; The Federal state budget educational institution of higher education «The Chuvash state agricultural academy»; 428003 The Chuvash Republic, Cheboksary, ul. K. Marxa, d. 29.; tel: 8-927-843-22-90; e-mail: vsa_21@mail.ru.