DOI 10.21178/2079–6080.2021.2.54
УДК 631.459: 634.237

Установление закономерностей формирования водных потоков на склонах для обоснования проектов противоэрозионной агролесомелиорации

© П.Н. Проездов, Д.В. Есков, Д.А. Маштаков, А.В. Розанов,
С.В. Свиридов

Establishment of regularities of formation of water flows on slopes for justification of projects of antierosion agroforestry

P.N. Proezdov, D.V. Eskov, D.A. Mashtakov, A.V. Rozanov, S.V. Sviridov (Saratov State Vavilov Agrarian University)

The purpose of the study was to determine the extent of the slope sections that are not subject to erosion, from the water flow rates and the slope for the design and creation of anti-erosion plantings. The experiment was conducted on a slope with slopes of 0.04–0.12 (2.5–7°) with southern chernozem on a flask with $A+B < 0.5$ m. The extent of the zone of absence of linear erosion (erosion) on the slope under study depends on many natural and anthropogenic factors, the most important of which are precipitation, runoff, slope, water-physical properties of the soil, vegetation, and human economic activity, which determine the formation of water flows with sediments. The formation of linear erosion differs from the surface main image in that gullies are formed at some distance from the watershed, and the soil is washed away throughout the slope. With the increasing slope of the slope, the ravines move closer to the watershed with their top, which is the basis for assigning the distance between the forest strips, water-retaining ramparts that stop the erosion of the soil. The permissible value of soil erosion can be achieved by further application of agromeliorative techniques in inter-band spaces. The results of the experiment showed that when the actual bottom water flow rate increases by 1.6 times and the slope increases by 3 times, the length of the areas that are not subject to erosion decreases by 33 times. Correlation analysis of the results of the study allowed us to establish that the length of the slope sections with no erosion depends on the slope and

the actual bottom velocity of water flows with sediments by 85 %. Recommended distances between contour forest strips, ramparts-ditches with slope slopes: up to 0.04 (2.5°) – 400–1000 m; 0.07 (4°) – 300 m; 0.10 (6°) – 200 m; 0.12 (7°) – 100 m.

Keywords: the Volga region steppe, blackness southern, slope, erosion, water velocity, patterns, regression, correlation

Установление закономерностей формирования водных потоков на склонах для обоснования проектов противоэрозионной агролесомелиорации

П.Н. Проездов, Д.В. Есков, Д.А. Маштаков, А.В. Розанов, С.В. Свиридов

Установление протяженностей участков склона, не подверженных размыву, в зависимости от скоростей потока воды и уклона для проектирования и создания противоэрозионных насаждений являлось целью исследования. Опыт проводился на склоне с уклонами 0,04–0,12 (2,5–7°) с черноземом южным на опоке с $A+B < 0,5$ м. Исследуемая нами протяженность зоны отсутствия линейной эрозии (размыва) на склоне зависит от многих природно-антропогенных факторов, важнейшими из которых являются осадки, сток, уклон, водно-физические свойства почвы, растительность, хозяйственная деятельность человека, определяющих образование водных потоков с наносами. Линейная эрозия отличается от поверхностной преимущественно тем, что овраги формируются на некотором расстоянии от водораздела, смыв почвы происходит на всем протяжении склона. С возрастанием уклона овраги своей вершиной продвигаются к водоразделу, что положено в основу назначения расстояния между лесными полосами, водозадерживающими валами, прекращающими размыв почвы. Допустимой величины эрозии почв можно достичь дальнейшим применением агромелиоративных приёмов в межполосных пространствах. Результаты эксперимента показали, что при возрастании фактической донной скорости потока воды в 1,6 раза и уклона в 3 раза протяженность участков, не подверженных размыву, уменьшается в 33 раза. Корреляционный анализ полученных данных позволил установить, что длина участков склона с отсутствием размыва на 85 % зависит от уклона и фактической донной скорости потоков воды с наносами. Рекомендуемые расстояния между контурными лесными полосами, валами-канавами с уклонами склона: до 0,04 (2,5°) – 400–1000 м; 0,07 (4°) – 300 м; 0,10 (6°) – 200 м; 0,12 (7°) – 100 м.

Ключевые слова: степь Поволжья, чернозем южный, склон, эрозия, скорость воды, закономерности, регрессия, корреляция

Проездов Петр Николаевич – д-р с.-х. наук, профессор кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства

E-mail: toxa_19@mail.ru

Есков Дмитрий Владимирович – заведующий кафедрой лесного хозяйства и ландшафтного строительства, канд. технич. наук, доцент

E-mail: eskovdv@rambler.ru

Маштаков Дмитрий Анатольевич – д-р с.-х. наук, доцент, профессор кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства

E-mail: topgun2308@mail.ru

Розанов Александр Владимирович — канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры экономической кибернетики

E-mail: rozanovav@sgau.ru

Свиридов Сергей Владимирович — аспирант кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства

E-mail: svsvms@mail.ru

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»,
410012, г. Саратов, Театральная пл., 1

Телефон: 8 (8452) 74 96 65;

E-mail: kaf-lhlm@sgau.ru

Введение

Водная эрозия почв формируется под влиянием различных природно-антропогенных факторов: климата, рельефа, почвы, растительности, деятельности человека. Процессы водной эрозии разрушают почвенный покров, сокращая площадь пахотных земель, истощают почвенное плодородие, усиливают почвенную засуху и нарушают общий гидрологический режим территории. Тем самым эрозия является причиной снижения урожая сельскохозяйственных культур и ухудшения условий сельскохозяйственного производства. Содержание земледелия на допустимом уровне эрозии — проблема многих поколений человечества, которая тем или иным образом решалась учеными и практиками [2, 5, 7, 8]. В.В. Докучаев при прочих равных условиях формирования эрозии отводил почве ведущую роль, определив ее как «зеркало ландшафта», преобразующую гидрометеорологические и антропогенные явления в гидрогеологические процессы.

Саратовская область — один из регионов России, где в последнее время активно стали проявляться процессы засухи, эрозии почв и опустынивания территорий. Эродированных почв насчитывается свыше 75 %, ежегодные потери гумуса достигают 0,3–0,5 %. Проблема деградации земель усугубилась в связи с сокращением противоэрозионных работ, которые должны выполняться в системе с агро-, лесо-, гидромелиоративных мероприятий.

По данным за 2013 г., в Саратовской области дефляционно-опасные площади сельскохозяйственных угодий в различных категориях хозяйств составляют 110,8 тыс. га, подверженных водной эрозии — 185,2 тыс. га, совместного проявления водной и ветровой эрозии — 20,7 тыс. га. Из общей площади сельскохозяйственных угодий в 1370,2 тыс. га 23 % имеют сильную степень эрозии [6].

Защита от эрозии почв, расположенных на склоновых землях, обеспечивается особой противоэрозионной организацией террито-

рии, созданием гидротехнических сооружений, использованием лесомелиоративных мероприятий и агротехнических приемов возделывания сельскохозяйственных культур. Специфика почвенных условий требует как специального подбора древесных и кустарниковых пород при создании здесь противоэрозионных насаждений, так и специальных технологий их выращивания.

При организации мер борьбы с водной эрозией почв данные о длине склонов являются наиболее важными, так как позволяют с учетом имеющихся сведений о количестве выпадающих осадков определить ежегодный объем стока, возможности рациональной организации территории землепользования и размещения водорегулирующих лесных полос.

Цель проведенного нами исследования — установить протяженность участков склона, не подверженных размыву, в зависимости от скорости потока воды и уклона для обоснования расстояний между противоэрозионными насаждениями.

Объект и методика исследования

Объект исследования находится в степи Приволжской возвышенности в хозяйстве «Вязовское» Татищевского района Саратовской области, являющимся научно-производственным стационаром кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова. Объект является контрольным, на котором испытываются варианты исследования закономерностей роста овражных систем, формирования стока и эрозии, плодородия почв, продуктивности сельскохозяйственных угодий и др. Рядом располагаются опыты с различным сочетанием приемов противоэрозионной агролесомелиорации от водораздела до гидрографической сети: полезащитные, стокорегулирующие, приовражные лесные полосы, кустарниковые кулисы, насаждения на террасах, водозадерживающие валы-канавы. Наиболее эф-

фективными агромелиоративными приемами защиты почв от эрозии, повышения плодородия, защиты и продуктивности угодий следует считать почвозащитные севообороты, применение органических удобрений, мульчированного щелевания. Главные древесные породы в лесных полосах на изучаемом объекте: дуб черешчатый (*Quercus robur*), береза повислая (*Betula pendula*), лиственница сибирская (*Larix sibirica*), которые в возрасте 40–60 лет растут по II–III классам бонитета. Сопутствующими породами являются клен остролистный (*Acer platanoides*), ясень ланцетный (*Fraxinus lanceolata*). Из кустарников в кулисах присутствует бузина красная (*Sambucus racemosa*). Освоение эродированных земель производится на контурно-мелиоративной основе, сопровождается засыпкой склоновых оврагов, строительством валов-каналов с сохранением плодородного слоя почвы.

Почва объекта исследования на склоне с уклонами от 0,04 до 0,12 (2,5–7°) – чернозем южный, щебенчатый, среднесуглинистый, с различной степенью эродированности, на опоке с мощностью почвенных горизонтов $A+B < 0,5$ м и содержанием гумуса 4,4–2,7 %. Наблюдения проводились на засыпанном овраге с сохранением плодородного слоя почвы.

В исследовании использовалась совокупность методов, применяемых в гидрометрии, гидрологии, почвоведении, эрозиоведении – с опорой на методики М.С. Кузнецова [2, 3] и Ц.Е. Мирцхулавы [4]. В эксперименте вода подавалась из тарированной емкости равными объемами и расходами. Емкость с водой постоянно держалась на одном уровне путем подлива системой поплавковой камеры, обеспечивая постоянный напор, а следовательно, одинаковый расход. Скорость воды в потоках на склоне измерялась с помощью поплавка в пятикратной повторяемости.

Регрессионно-корреляционный анализ выполнен согласно типовым компьютерным программам с использованием методики Б.А. Доспехова [1].

Результаты исследования, математическое моделирование

Исчерпывающий учет всех факторов среды, воздействующих на эрозию почв (рельеф, осадки, поверхностный сток, промерзание и инфильтрация почвы, растительность и др.), в силу их многообразия, является очень сложной задачей. С принципиальной точки зрения, совокупность факторов среды представляет собой многомерную гиперповерхность, детальное исследование которой затруднено сложностью ее структуры. Поэтому целесообразно использовать математические модели и методы, которые позволяли бы учитывать влияние на эрозию сельскохозяйственных угодий наиболее значимых из указанных факторов и в то же время допускали бы доступное для практических нужд математическое описание. Для математической обработки материалов наблюдений применен ковариационный анализ. В данной работе для изучения влияния факторов среды на эрозию использовался метод вероятностного моделирования, предполагающий замену реального объекта его статистической моделью [5].

На основе эмпирического и аналитического методов исследования из всего многообразия природно-антропогенных факторов, влияющих на эрозию, были выделены следующие: уклон склона, интенсивность водного потока и впитывания воды в почву, характер имеющейся растительности. Регрессионный и корреляционный анализы позволили установить, что наиболее значимыми факторами, влияющими на протяженность участков, не подверженных размыву (L_n), являются уклон склона (J), интенсивность впитывания воды в почву (i), шероховатость русла водного потока, зависящего от растительности (n_0), и скорость потока воды (V_{dh}): $L_n = b_0 + b_1J + b_2i + b_3n_0 + b_4V_{dh} + b_5Ji + b_6jn_0 + b_7JV_{dh} + b_8iV_{dh} + b_9n_0V_{dh} + b_{10}Jin_0V_{dh}$. Расчетная схема размыва участков засыпанного оврага на склоне приведена на рисунке 1.

J — уклон;

$L_{\text{неразм}}$ — длина участка, не подверженного размыву, м;

x — расстояние от водораздела до точки определения фактической донной скорости потока воды, м;

L — длина склона, м;

$\Delta h_L, \Delta h_x$ — соответствующие превышения, м

Рис. 1. Расчетная схема повторного размыва засыпанного оврага

Способность грунта противостоять размывающему действию потока характеризуется величиной донной допускаемой неразмывающей скорости течения воды $V_{\Delta d}$.

Размыв не происходит при выполнении условия, когда фактическая донная скорость

потока $V_{\Delta x}$ меньше донной допускаемой неразмывающей скорости.

Донная (на высоте выступа шероховатости) допускаемая неразмывающая скорость для связных (глинистых) грунтов ($V_{\Delta d}$) — определяется по формуле Ц.Е. Мирцхулавы [4]:

$$V_{\Delta d} = 1,096 \sqrt{\frac{gm}{\gamma_w n} [(\gamma - \gamma_w)d + 0,044 C_{ш} K_{нар} K_{од}]}, \quad (1)$$

где g — ускорение свободного падения (9,81 м/с²);

γ_w — удельный вес воды (9810 Н/м³);

γ — удельный вес частиц грунта для суглинков и глин (27000 Н/м³);

d — средний диаметр отрывающихся агрегатов грунта (0,004 м);

n — коэффициент перегрузки, определяемый по формуле: $n = 1 + (d/5 \cdot 10^{-3} + 0,3d)$;

m — коэффициент условий размыва, определяемый по формуле: $m = m_2 \cdot m_3 \cdot m_4$,

где m_2 — коэффициент, учитывающий наличие и вид растительности:

— отсутствие растительности — $m_2 = 1$;

— однолетний травяной покров — $m_2 = 1,5$;

— сенокос, пастбище — $m_2 = 9$;

m_3 — коэффициент, учитывающий присутствие в потоке наносов:

— при наличии наносов $m_3 = 1,4$;

— при отсутствии наносов $m_3 = 1$;

— при наличии донных наносов $m_3 = 0,85$;

m_4 — коэффициент, учитывающий исходную влажность грунта:

— для грунта в водонасыщенном состоянии $m_4 = 1$;

– для ненасыщенного водой грунта $m_4 = 0,25$;

$C_{ш}$ – сцепление грунта для суглинков и глин ($30 \cdot 10^3$ Н/м²);

$K_{нар}$ – коэффициент, учитывающий уменьшение сил сцепления в грунте на-

рушенной структуры. Для грунтов естественного сложения $K_{нар}$ принимается равным 1.

Результаты расчета донной допускаемой неразмывающей скорости для грунтов на участках приведены в таблице.

Таблица

Результаты прогнозных расчетов размыва почвы по разным методикам

Номера участков оврагов	J	$V_{\Delta d}$, м/с		$V_{\Delta x}$, м/с		$L_{\text{неразм}}$, м	
		1	2	1	2	1	2
1	0,04	0,34	0,15	0,31	0,15	—	—
2	0,09	0,34	0,15	0,50	0,37	29	37
3	0,04	0,45	0,24	0,34	0,21	—	—
4	0,11	0,38	0,21	0,62	0,28	56	71
5	0,10	0,38	0,21	0,36	0,31	—	88
6	0,11	0,38	0,20	0,46	0,28	15	57
7	0,08	0,38	0,22	0,41	0,32	526	317
8	0,04	0,38	0,26	0,44	0,37	1447	1218
9	0,04	0,40	0,24	0,37	0,24	—	—
10	0,11	0,40	0,22	0,89	0,41	197	156
11	0,12	0,38	0,20	0,49	0,25	180	110
12	0,10	0,38	0,21	0,36	0,23	—	64
13	0,12	0,47	0,23	0,69	0,29	110	97
14	0,10	0,38	0,20	0,71	0,25	206	181
15	0,06	0,38	0,23	0,38	0,29	—	219
16	0,04	0,38	0,20	0,19	0,19	—	—
17	0,07	0,38	0,22	0,28	0,26	—	314
18	0,04	0,38	0,24	0,27	0,23	—	—

Примечания. 1) J – уклон склона; $V_{\Delta d}$ – допускаемая неразмывающая скорость, м/с; $V_{\Delta x}$ – фактическая скорость в точке, отстоящей от водораздела на x метров, м/с; $L_{\text{неразм}}$ – длина участка, не подверженного размыву, м. 2) Расчеты выполнены по методикам: 1 – Ц.Е. Мирцхулава [4], 2 – М.С. Кузнецова [2, 3]. 3) Прочерк в ячейке таблицы означает отсутствие размыва.

Рассмотрим зависимость М.С. Кузнецова для размывающей скорости водного потока, являющуюся модификацией формулы

Ц.Е. Мирцхулавы [4] для связных грунтов, которая наиболее полно учитывает особенности противозерозионной стойкости почв [2, 3]:

$$V_{\Delta PW} = 1,55 \sqrt{\frac{g}{\rho_0 n} \left(1 - \frac{P}{100} d_w (\rho - \rho_0)\right)}, \quad (2)$$

где $V_{\Delta PW}$ — размывающая скорость потока воды для почвы исходной влажности W , м/с;
 g — ускорение свободного падения (9,81 м/с²);
 ρ_0 — плотность воды, т/м³;
 P — пористость почвы, %;
 d_w — средневзвешенный размер водопрочных агрегатов после мокрого просеивания почвы (метод Н.И. Саввинова), мм;
 ρ — плотность твёрдой фазы почвы, т/м³.

Допускаемая неразмывающая скорость потока по М.С. Кузнецову [2, 3]:

$$V_{\Delta D} = 0,8 V_{\Delta PW}.$$

Фактическая донная скорость потока воды в точке, отстоящей от водораздела (верха склона) на x метров (см. рис. 1), определяется по формуле Ц.Е. Мирцхулавы [4]:

$$V_{\Delta x} = 22,2 \cdot (i - i_0)^{0,3} \cdot x^{0,3} \cdot J^{0,35} \cdot n_0^{0,30} \cdot m_1^{0,7}, \quad (3)$$

где $V_{\Delta x}$ — фактическая донная скорость потока воды, м/с;

i — интенсивность осадков, мм/мин,
 $i = 0,3-2,0$ мм/мин;

i_0 — интенсивность впитывания влаги в грунт, мм/ч, $i_0 = 0,2-1,2$ мм/ч;

J — уклон склона;

n_0 — коэффициент шероховатости русла потока (для грунта засыпки без растительности $n_0 = 0,025$, при наличии однолетнего травяного покрова — 0,04);

m_1 — коэффициент, учитывающий отклонение характера движения склонового стока от движения ровного слоя воды (для склона, изрезанного промоинами, $m_1 = 1,5$; для выровненного склона $m_1 = 1$).

Результаты расчета донной скорости потока $V_{\Delta x}$ приведены в таблице.

Если $V_{\Delta x} < V_{\Delta D}$, т. е. размыв склона отсутствует, рассчитывают длину участка, не подверженного размыву, по формуле П.Н. Проездова [5], используя данные фактической скорости потока воды по зависимостям Ц.Е. Мирцхулавы [4] и М.С. Кузнецова [2, 3]:

$$L_{\text{неразм}} = \frac{3,4 \cdot 10^{-6} \cdot V_{\Delta D}^{3,3}}{m_1^{2,3} \cdot n_0 \cdot (i - i_0) \cdot J^{1,2}}, \quad (4)$$

Размыв стоком воды наблюдается на 9 участках склона из 18, исходя из методики расчетов Ц.Е. Мирцхулавы [4], и на 13 — по М.С. Кузнецову [2, 3] — с более жёсткими требованиями при использовании показателя противоэрозионной стойкости почвогрунтов (табл.). Для установления закономерностей формирования эрозии почв применяли фактические величины скоростей потоков воды и уклонов склона.

Регрессионно-корреляционный анализ показал, что длина участков, не подверженных размыву, на 85% зависит от скорости потоков воды и уклона склона (рис. 2).

Исследуемая протяженность склона с отсутствием размывов позволила установить расстояния между лесными полосами в зависимости от уклона, а совместно с агромелиоративными приемами, например, мульчированным щелеванием [8] — содержать земледелие на допустимом уровне эрозии.

Рис. 2. Зависимость протяженности участка, не подверженного размыву, от скорости потока воды и уклона склона

Выводы

1. Учет всей совокупности разнообразных факторов среды, определяющих эрозию почв сельскохозяйственных угодий, весьма затруднителен, поэтому в наших исследованиях использованы математические модели и методы, позволяющие учитывать влияние наиболее значимых из них.

2. Регрессионный и корреляционный анализы позволили установить, что наиболее значимыми факторами, влияющими на протяженность участков, не подверженных размыву, являются уклон склона, интенсивность впитывания воды в почву, шеро-

ховатость русла водного потока, зависящего от растительности, и скорость потока воды.

3. Протяженность участков склона, не подверженных размыву, находится в обратной зависимости от скорости водного потока и уклона; коэффициент детерминации связи составляет 85%.

4. Полученные длины отсутствия размывов используют для назначения расстояний между контурными лесными полосами в зависимости от уклона склона: до 0,04—400—1000 м; 0,04—0,07 — 400—300 м; 0,07—0,10 — 200 м; 0,10—0,12 — 100 м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. — М.: Книга по Требованию, 2012. — 352 с.
2. Кузнецов, М.С. Эрозия и охрана почв: Учебник для вузов / М.С. Кузнецов, Г.П. Глазунов. — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 387 с.
3. Кузнецов, М.С. Критическая скорость падения капель дождя и размывающая скорость потока / М.С. Кузнецов, Н.Л. Якушев // Естественные и технические науки. — 2015. — № 11 (89). — С. 162–164.
4. Мирцхулава, Ц.Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии / Ц.Е. Мирцхулава. — М.: Колос, 1970. — 239 с.

5. Проездов, П.Н. Теория и закономерности эрозионных процессов в степных ландшафтах Приволжской возвышенности / П.Н. Проездов, Д.А. Маштаков, А.Н. Ковалев, А.В. Карпушкин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2011. – № 9. – С. 15–21.
6. Тарбаев, В.А. Мониторинг основных негативных процессов на Приволжской возвышенности / В.А. Тарбаев, М.П. Галкин // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2013. – Вып. 11 (107). – С. 48–60.
7. Ivonin, V.M. Theoretical concept of adaptive forestland reclamation of agricultural landscapes / V.M. Ivonin, I.V. Voskoboinikova, E.Yu. Matvienko // *International Journal of Civil Engineering and Technology*. – 2018. – vol. 9. – no. 13. – pp. 95–103.
8. Proezdov, P. Influence pattern of forest strips complex and mulched par plowing in crop rotations on erosion in the Volga region steppe / P. Proezdov, D. Eskov, D. Mashtakov, A. Rozanov // *Proceedings of the Ecological-Socio-Economic Systems: Models of Competition and Cooperation (ESES 2019)*. Atlantis Press, Paris, France. – 2020. – pp. 319–322.

REFERENCES

1. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy) [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, 2012, 352 p. (In Russian)
2. Kuznetsov M.S. Glazunov G.P. Eroziya i okhrana pochv [Erosion and soil protection]. Moscow, 2019, 387 p. (In Russian)
3. Kuznetsov M.S., Yakushev N.L. Kriticheskaya skorost padeniya kapel dozhdya i razmyvayushchaya skorost potoka [Critical velocity of falling raindrops and eroding flow velocity]. *Yestestvennye i tekhnicheskiye nauki. Natural and technical sciences*, 2015, no. 11 (89), pp. 162–164. (In Russian)
4. Mirtskhulava Ts.E. Inzhenernye metody rascheta i prognoza vodnoy erozii [Engineering methods for calculating and predicting water erosion]. Moscow, 1970, 239 p. (In Russian)
5. Proezdov P.N., Mashtakov D.A., Kovalev A.N., Karpushkin A.V. Teoriya i zakonomernosti erozionnykh protsessov v stepnykh landshaftakh Privolzhskoy vozvyshennosti [Theory and regularities of erosion processes in the steppe landscapes of the Volga upland]. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova*, 2011, no. 9, pp. 15–21. (In Russian)
6. Tarbaev V.A., Galkin M.P. Monitoring osnovnykh negativnykh protsessov na Privolzhskoy vozvyshennosti. *Zemleustrojstvo, kadastr i monitoring zemel*, 2013, vyp. 11 (107), pp. 48–60. (In Russian)
7. Ivonin V.M., Voskoboinikova I.V., Matvienko E.Yu. Theoretical concept of adaptive forestland reclamation of agricultural landscapes. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 2018, vol. 9, no. 13, pp. 95–103.
8. Proezdov P., Eskov D., Mashtakov D., Rozanov A. Influence pattern of forest strips complex and mulched par plowing in crop rotations on erosion in the Volga region steppe. *Proceedings of the Ecological-Socio-Economic Systems: Models of Competition and Cooperation (ESES 2019)*. Atlantis Press, Paris, France, 2020, pp. 319–322.

Статья поступила в редакцию 20.04.2021