

МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Научная статья

УДК 631.613

doi: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-126-143

Эрозия почв при талом стоке на склонах с лесными полосами

Владимир Михайлович Ивонин

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, Ivoninfo@yandex.ru

Аннотация. Цель: исследовать эрозию почв на склонах с лесными полосами при стоке талых вод. **Методы.** Исследования проводили в бассейне р. Кундрючья (Ростовская область), определяли эрозию методом объема водоронн. **Результаты.** С ростом лесных полос снежные шлейфы, в которых аккумулируются почвенные частицы, постепенно переформируют гранулометрический и микроагрегатный составы, что отражается на структурном состоянии верхнего слоя почв и величинах различных коэффициентов и показателей, характеризующих возрастание водопроницаемости и уменьшение смыва. На уплотненной пашне вблизи лесных полос (зоны 5 Н) зафиксировано увеличение массы корней озимой пшеницы к предзимнему периоду. Сложная картина структурного состояния и эрозии почв на межполосных полях представлена уравнениями и графиками, показывающими возрастание смыва почвы на участке черного пара при удалении от лесных полос и снижение эрозии при приближении к ним. На открытом участке черного пара эрозия почв непрерывно увеличивается по мере удаления от водораздела. На посевах озимой пшеницы вблизи лесных полос смыв почвы минимален. На открытом склоне эрозия минимальна у водораздела, увеличиваясь вниз по склону. Однако у подошвы склона (400–450 м от водораздела) эрозия подавляется аккумуляцией. **Выводы.** Лесные полосы на склоновых полях активизируют процессы аккумуляции, сокращая эрозию, не только за счет регулирования стока талых вод под лесным пологом, но и в результате переформирования структурного состояния верхнего слоя почв при многолетнем выпадении в снежных шлейфах илистых, глинистых и других почвенных фракций, привносимых поверхностным стоком. На уплотненной пашне дополнительное влияние на эрозию почв оказывает масса корней озимой пшеницы у лесных полос. На открытом участке парового поля эрозия почв увеличивается от водораздела до подошвы склона. На посевах озимой пшеницы на открытом склоне эрозия почв у водораздела минимальна, увеличиваясь к центру склона, но у его подошвы аккумуляция подавляет эрозию.

Ключевые слова: лесная полоса, агролесомелиорация, эрозия почв, структурное состояние почвы, снеготаяние

LAND RECLAMATION, RECULTIVATION AND LAND PROTECTION

Original article

Soil erosion at snowmelt runoff on slopes with forest belts

Vladimir M. Ivonin

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation, Ivoninfo@yandex.ru

Abstract. Purpose: to study soil erosion on slopes with forest belts during snowmelt runoff. **Methods.** The studies were carried out in the basin of the river Kundryuchya (Rostov region), erosion was determined by the method of ravine volume. **Results.** With the growth of forest belts, snow plumes, where soil particles accumulate, gradually reform the granulometric and microaggregate composition, which is reflected in the structural state of the upper soil layer and the values of various coefficients and indicators characterizing the increase in water permeability and the decrease in washout. On the compacted arable land near forest belts (zone 5 H), an increase in the weight of winter wheat roots by the pre-winter period was recorded. A complex picture of the structural state and soil erosion in inter-strip fields is represented by equations and graphs showing a soil washout increase in the bare fallow area distancing from forest belts and an erosion decrease when approaching them. In the open area of bare fallow, soil erosion increases continuously with distance from the watershed. Soil erosion is minimal on winter wheat crops near forest belts. On an open slope, erosion is minimal at the watershed, increasing downslope. However, at the bottom of the slope (400–450 m from the watershed), erosion is suppressed by accumulation. **Conclusion.** Forest belts on slope fields activate accumulation processes, reducing erosion, not only by regulating the snowmelt water flow under the forest canopy, but also as a result of the reformation of the structural state of the upper soil layer during long-term fallout in snow plumes of silty, clay and other soil fractions introduced by the surface drain. On compacted arable land, the mass of winter wheat roots near forest belts has an additional effect on soil erosion. In an open area of a fallow field, soil erosion increases from the watershed to the bottom of the slope. On winter wheat crops on an open slope, soil erosion at the watershed is minimal, increasing towards the center of the slope, but at its bottom, accumulation suppresses erosion.

Keywords: forest belt, agroforestry, soil erosion, structural state of soil, snow melting

Введение. Лесные полосы – это природоподобные объекты, способствующие устойчивости аграрных ландшафтов и адаптации к ним сельскохозяйственного землепользования [1]. За рубежом системы землепользования, в которых древесные растения (деревья и кустарники) выращиваются для экологического и экономического взаимодействия с сельскохозяйственными растениями или домашним скотом, называют агролесоводством [2]. В Южной Африке считают, что агролесоводство – это средство решения вопросов продовольственной безопасности при климатических изменениях [3]. Агролесоводство в США при повышении устойчивости сельскохозяйственных ландшафтов в меняющихся условиях среды среди прочих мер включает и лесные полосы [4].

Противоэрозионная устойчивость лесоаграрных ландшафтов зависит от расстояний между лесополосами, крутизны, формы, длины и шероховатости поверхности склона на конкретном участке ландшафта [5].

Лесные полосы на склоновых полях управляют элементами водного

баланса: дополнительно накапливают снег, предохраняют почвы от промерзания и увеличивают их весеннюю впитывающую способность, а также общую инфильтрацию (водопоглощение на защищенных полях) [6, 7]. Следовательно, противозерозионная и водоохранная роль лесных полос заключается в регулировании поверхностного стока и предотвращении разрушения почв водными потоками [8–10].

При искусственном дождевании почв на ландшафтном профиле межполосного поля (расстояние между лесными полосами 60 *H*) выяснили сложную картину проявления эрозии почв, которая в основном определяется гумусным содержанием, водопрочностью и физико-механическими свойствами верхнего слоя почв [11].

При этом на межполосных склоновых полях не исследована эрозия почв при снеготаянии в зависимости от показателей структурного состояния слоя почв 0–20 см, определяющих сложную картину эрозии почв при талом стоке.

Поэтому для решения вопросов теории и практики агролесомелиорации следует дополнительно исследовать эрозию почв при талом стоке на участках склонов между лесными полосами.

Материалы и методы. Исследования проводили в бассейне р. Кундрючья (Ростовская область) на опытном участке, характеристика которого ранее нами опубликована [11]. В составе лесных полос опытного участка преобладают: робиния ложноакациевая (Рб), ясень зеленый Яс (з), гледичия трехколючковая (Гл), шелковица белая Шк (б), абрикос обыкновенный Аб (о), клен татарский Кл (т) и другие древесные породы.

Приводораздельная лесная полоса (ПВЛП) опытного участка характеризовалась следующими показателями: состав 10 Рб, подлесок Кл (т), возраст 21 год, средняя высота лесной полосы – 10 м, средний диаметр ствола – 9,9 см, ширина лесной полосы – 18 м, запас древесины – 71 м³/га.

Прибалочная лесная полоса (ПБЛП) опытного участка имела следу-

ющие характеристики: состав 5 Яс (з) 3 Рб 2 Гл + Шк (б) + Аб (о), возраст 24–26 лет, высота лесной полосы – 10 м, диаметр ствола – 11 см, ширина лесной полосы – 18 м, запас древесины – 76,6 м³/га.

Ландшафтный профиль А под прямым углом пересекает эти лесные полосы и участок прямого склона ЮЗЭ крутизной 2°50'. Ландшафтный профиль Б под прямым углом пересекает участок открытого (без лесных полос) прямого склона СВЭ крутизной 1°30' – 2°40'.

Участки в первый год исследований занимались черным паром, во второй год – озимой пшеницей по парам. На ландшафтном профиле А смыв почвы определяли на пунктах учета, расположенных на расстояниях вниз по склону от ПВЛП 2 *H* (*H* – высота лесной полосы), 5 *H*, 10 *H*, 20 *H* и 30 *H* (середина поля), а также на расстояниях вверх по склону от ПБЛП 2 *H*, 5 *H* и 10 *H*. На ландшафтном профиле Б смыв почвы определяли на водораздельном участке склона, а также на расстояниях вниз по склону от водораздела до подошвы 100, 200, 300 и 400 м.

Замеры водороев на пунктах учета ландшафтных профилей проводили после весеннего снеготаяния методом, ранее описанным [12] и модифицированным нами [13]. С поверхности почвы в местах определения смыва отбирали образцы с ненарушенным строением по методике ГОСТ 12071-2014¹. Почвенные образцы анализировали, используя известные методики [13–15].

В образцах определяли гранулометрический и микроагрегатный состав и рассчитывали факторы дисперсности по Качинскому (K_d) и структурности по Фагелеру (K_c):

$$K_d = (I_m / I_r) \cdot 100 \%, \quad (1)$$

$$K_c = [(I_r - I_m) / I_r] \cdot 100 \%. \quad (2)$$

¹ГОСТ 12071-2014. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. Взамен ГОСТ 12071-2000; введ. 2015-07-01. М.: Стандартинформ, 2015. 10 с.

Гранулометрический показатель структурности по Вадюниной (K_r) и степень агрегирования по Бейверу и Роадесу (K_a):

$$K_r = [(I_r + M_n)(C_n + K_n)] \cdot 100 \%, \quad (3)$$

$$K_a = [(\Phi_m - \Phi_r) / \Phi_m] \cdot 100 \%. \quad (4)$$

В уравнениях (1)–(4) принято: I_m и I_r – илистые частицы соответственно при микроагрегатном и гранулометрическом анализе, %; M_n , C_n и K_n – мелкая, средняя и крупная пыль при гранулометрическом анализе, %; Φ_m и Φ_r – фракция песка (мелкого, среднего и крупного) при микроагрегатном и гранулометрическом анализе, %.

Данные исследований обработали посредством компьютерных программ Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение. Лесные полосы перераспределяют на полях твердые осадки, которые образуют снежные шлейфы по опушкам насаждений, большая же часть (70 %) межполосных полей остается малоснежной [16]. Открытые пахотные поля в степном регионе подвержены выдуванию снега, развитию процессов деградации и иссушения почв [17].

Во время снеготаяния (радиационное или адвективное) эрозионно-аккумулятивные процессы на полях определяются, наряду с погодными условиями, почвенными и геоморфологическими факторами, а также характеристиками лесных полос.

Талые воды, передвигаясь по склону, на подступах к лесным полосам встречают шлейфы снега, длина которых изменяется по годам от 0,5 до 10 H и более. Поступающий сток снижает скорость, постепенно насыщает снег шлейфов и, просачиваясь к поверхности почвы, освобождается от наносов. При чередовании оттепелей и заморозков кристаллы снега приобретают зернистую форму, длина шлейфов уменьшается и величина снегозапасов в них уже не играет решающей роли в формировании стока, но остается фактором аккумуляции. Области аккумуляции передвигаются со снеж-

ными шлейфами, которые постепенно расчлениются сосредоточенными потоками по ложбинам, пересекающим лесные полосы.

За многолетний период опухечные шлейфы снега постепенно формируют новое структурное состояние верхнего слоя почв (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристики структурного состояния поверхностного слоя почв, эрозия и масса корней озимой пшеницы

Пункт учета	Фактор, %		Гранулометрический показатель структурности, %	Степень агрегированности, %	Эрозия почвы, м ³ /га		Масса корней озимой пшеницы, кг/м ³
	дисперсности	структурности			черный пар	озимая пшеница по парам	
Ландшафтный профиль А							
Вниз по склону 2 Н от ПВЛП	7,4	92,6	83,6	61,8	0	1,76	1,59
Вниз по склону 5 Н	6,8	93,2	97,7	70,8	0	3,92	2,31
Вниз по склону 10 Н	15,5	84,4	96,6	53,8	1,99	13,58	2,28
Вниз по склону 30 Н	4,4	95,6	78,0	62,6	17,24	24,15	1,21
Вверх по склону 10 Н от ПБЛП	6,5	93,5	90,3	40,0	31,64	12,87	1,62
Вверх по склону 5 Н	10,3	89,7	83,3	38,1	42,79	25,04	1,65
Вверх по склону 2 Н	6,0	94,0	87,4	75,1	48,91	13,18	1,41
Ландшафтный профиль Б							
Водораздельный участок склона	10,1	89,8	101,4	69,1	0,29	0	1,12
От водораздела 100 м	9,4	90,6	92,9	82,7	2,65	20,34	1,26
От водораздела 200 м	8,4	91,6	89,8	72,0	29,35	24,60	2,00
От водораздела 300 м	8,0	92,0	89,8	71,6	32,55	16,75	1,33
От водораздела 400 м	6,5	93,5	91,8	67,8	63,17	7,73	1,97

Структурные показатели таблицы 1 рассчитаны на основании данных гранулометрического и микроагрегатного состава почв. Связи показателей фактора дисперсности (с его увеличением уменьшается прочность структуры в слое почв 0–20 см) с расстояниями вниз по склону от ПВЛП или водораздела (L , м) соответственно представлены параболическим (четвертого порядка) и линейным уравнениями:

- ландшафтный профиль А:

$$K_d = -3E - 09 \cdot L^4 + 4E - 06 \cdot L^3 - 0,0019 \cdot L^2 + 0,2791 \cdot L + 0,7058$$

при $R^2 = 0,6682$;

(5)

- ландшафтный профиль Б:

$$K_d = -0,0086 \cdot L + 10,2 \text{ при } R^2 = 0,9695. \quad (6)$$

Решения уравнений (5), (6) в графической форме (рисунок 1) показывают, что на черном пару вблизи (2 Н) приводораздельной и прибалочной лесных полос факторы дисперсности не превышают 5–6 %, это свидетельствует о хорошей оструктуренности верхнего слоя почв. Повышение факторов дисперсности за пределами 10 Н от лесных полос свидетельствует о наличии средне- и слабооструктуренных почв. Снижение факторов дисперсности в середине межполосного поля связано с особенностями перераспределения на склоне влекомых и взвешенных наносов (ландшафтный профиль А, ряд 1).

На озимой пшенице (ландшафтный профиль Б, ряд 2, рисунок 1) наблюдается линейная связь факторов дисперсности с расстояниями от водораздела до подошвы склона (400–450 м). Снижение факторов дисперсности (с 10 до 7 %) связано со снижением скоростей стока и аккумуляцией мелкозема наземной фитомассой озимой пшеницы у подошвы склона.

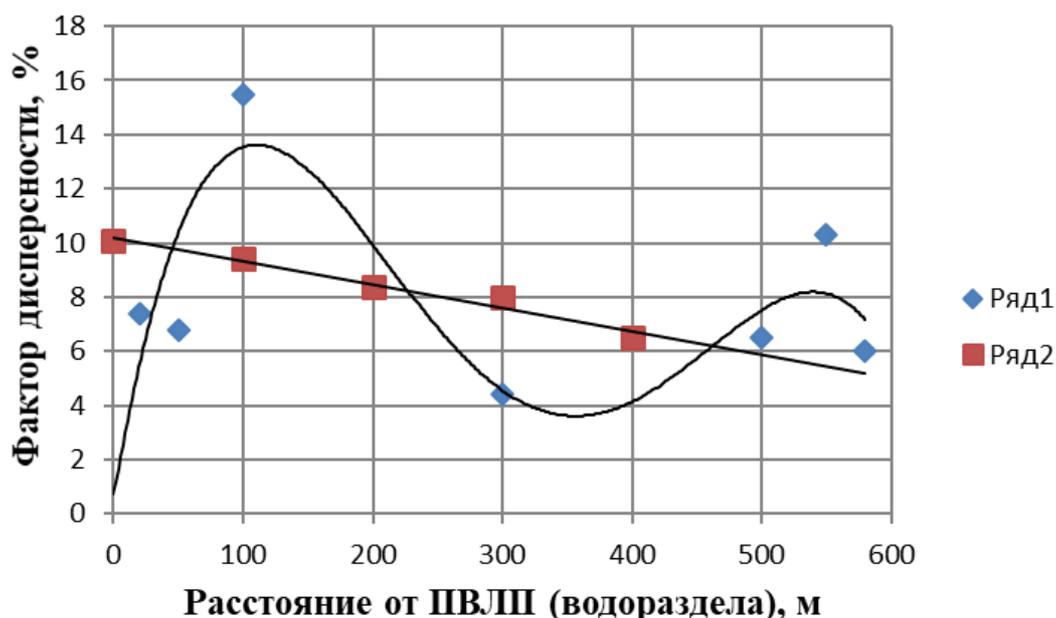


Рисунок 1 – Связи факторов дисперсности с расстояниями от привдораздельной лесной полосы (водораздела): ряды 1 и 2 – соответственно ландшафтные профили А и Б

Зависимости факторов структурности агрегатов (характеризуют водоустойчивость поверхностного слоя почвы) от расстояний до ПВЛП или водораздела представлены рисунком 2.

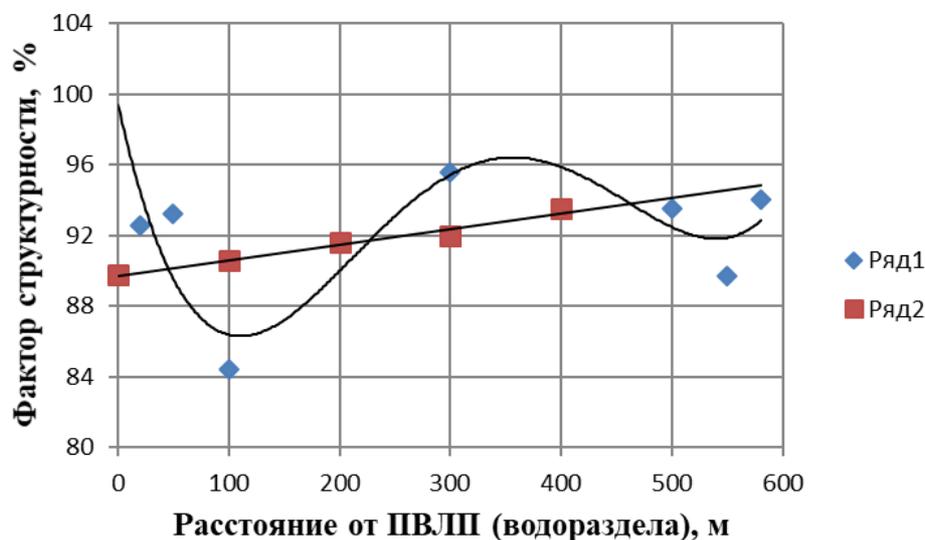


Рисунок 2 – Связи факторов структурности с расстояниями от приводораздельной лесной полосы или водораздела: ряды 1 и 2 – соответственно ландшафтные профили А и Б

Уравнения этих связей отображали в виде:

- профиль А:

$$K_c = 3E - 09 \cdot L^4 - 4E - 06 \cdot L^3 + 0,0019 \cdot L^2 - 0,282 \cdot L + 99,363$$

при $R^2 = 0,6694$; (7)

- профиль Б:

$$K_c = 0,0088 \cdot L + 89,74 \text{ при } R^2 = 0,9729.$$

Анализ уравнения (7) и данных рисунка 2 (ряд 1) показывает, что на черных парах вблизи лесных полос факторы структурности повышены. По мере удаления от насаждений эти факторы снижаются. Однако на расстоянии 300–400 м от ПВЛП (зона аккумуляции) факторы структурности вновь повышаются, что совпадает с соответствующим снижением факторов дисперсности (см. ряд 1, рисунок 1). На посевах озимой пшеницы (ряд 2, рисунок 2) факторы структурности повышаются благодаря аккумуляции мелкозема наземной фитомассой озимой пшеницы.

Гранулометрический показатель структурности – это процентное отношение цементирующих механических фракций (ил и мелкая пыль) к фракциям, пассивно принимающим участие в структурообразовательных процессах. Зависимости между этими показателями и расстояниями от ПВЛП или водораздела представлены на рисунке 3.

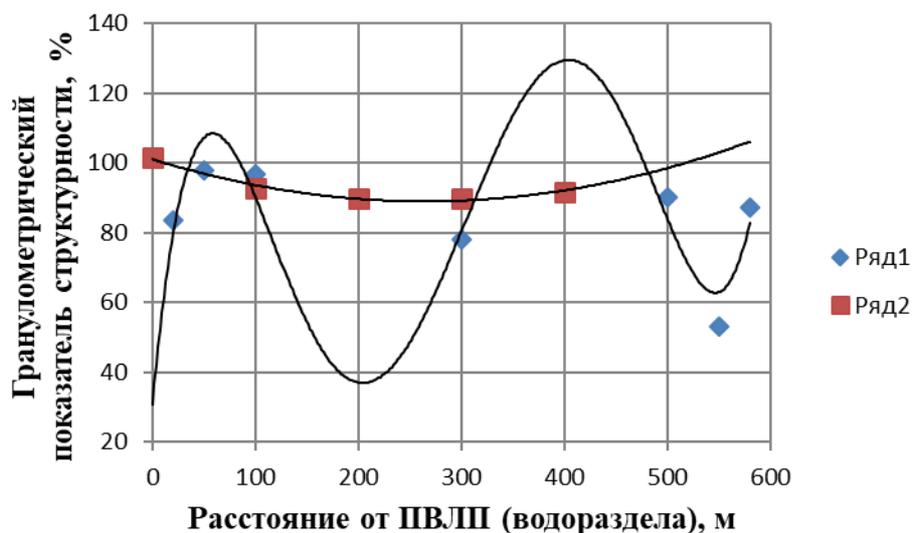


Рисунок 3 – Связи гранулометрических показателей структурности с расстояниями до приводораздельной лесной полосы или водораздела: ряды 1 и 2 – соответственно ландшафтные профили А и Б

Связи рисунка 3 отражены соотношениями:

- ландшафтный профиль А:

$$K_r = 2E - 10 \cdot L^5 - 4E - 07 \cdot L^4 + 0,0002 \cdot L^3 - 0,0419 \cdot L^2 + 3,1888 \cdot L + 30,599$$

при $R^2 = 0,7763$;

- ландшафтный профиль Б:

$$K_r = 0,0002 \cdot L^2 - 0,0912 \cdot L + 101,04 \text{ при } R^2 = 0,9873. \quad (8)$$

На ландшафтном профиле А увеличение гранулометрического показателя структурности (возрастает потенциальная способность почвы к оструктуриванию) происходит в зонах снежных шлейфов лесных полос (2–5 Н), где активизированы процессы аккумуляции. На расстоянии до 20 Н (вниз по склону) от ПВЛП значения гранулометрического показателя структурности снижаются до минимума. Однако на расстоянии 20 Н (вверх по склону)

от ПБЛП значения показателя структурности максимальны. На ландшафтном профиле Б соответствующая связь отражена плавной кривой полинома второго порядка.

Степень агрегирования представляет пористость и другие физические свойства, определяющие противоэрозионную стойкость почв. Увеличение этого показателя свидетельствует о возрастании водопрочности структуры.

Связи между степенями агрегирования и расстояниями от ПБЛП или водораздела представим в виде равенств:

- ландшафтный профиль А:

$$K_a = 1E - 08 \cdot L^4 - 1E - 05 \cdot L^3 + 0,0042 \cdot L^2 - 0,4605 \cdot L + 74,741$$

при $R^2 = 0,7201$; (9)

- ландшафтный профиль Б:

$$K_a = -0,0002 \cdot L^2 + 0,0563 \cdot L + 71,88 \text{ при } R^2 = 0,4446. \quad (10)$$

Графический вид равенств (9), (10) представляет рисунок 4.

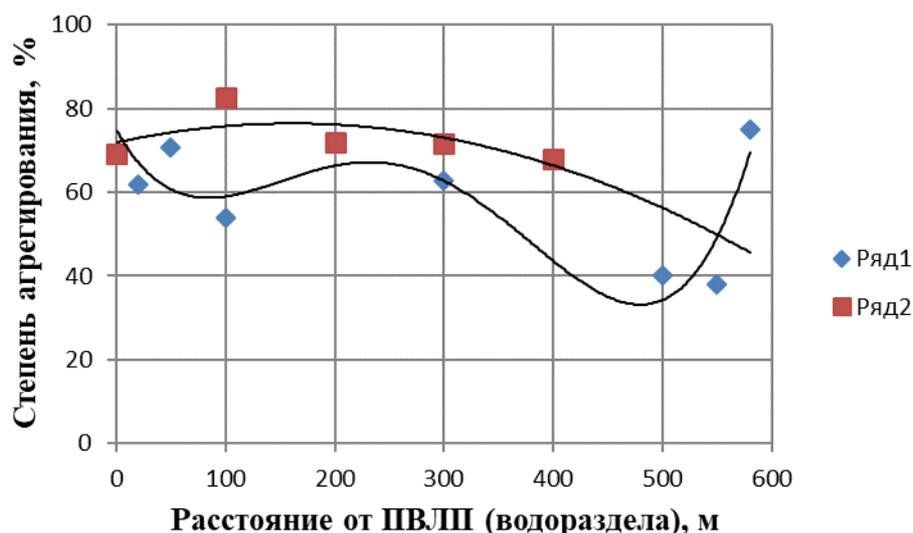


Рисунок 4 – Связи степеней агрегирования и расстояний от приводораздельной лесной полосы или водораздела: ряды 1 и 2 – соответственно профили А и Б

Анализ уравнений (9), (10) и данных рисунка 4 показывает, что на профиле А (ряд 1) степень агрегирования механических элементов по-

верхностного слоя почвы изменяется в верхнем слое межполосного поля примерно так же, как фактор дисперсности и гранулометрический показатель структурности.

На профиле Б (ряд 2) связь между исследуемыми показателями менее тесная, хотя уравнение (10) представлено полиномом второго порядка, как и зависимость (8).

Все это проясняет процессы перераспределения почвенных фракций (с помощью снежных шлейфов) в поверхностном слое почвы межполосного склона по сравнению с открытым склоном.

На черном пару связи эрозии почв (ω , м³/га) с расстояниями (L , м) представили параболическими уравнениями:

- ландшафтный профиль А:

$$\omega = -3E - 09 \cdot L^4 + 1E - 06 \cdot L^3 + 0,0003 \cdot L^2 - 0,0057 \cdot L - 0,4003$$

при $R^2 = 0,8742$; (11)

- ландшафтный профиль Б:

$$\omega = 0,0002 \cdot L^2 + 0,0626 \cdot L - 0,86 \text{ при } R^2 = 0,9485. \quad (12)$$

Графики зависимостей (11), (12) иллюстрирует рисунок 5.

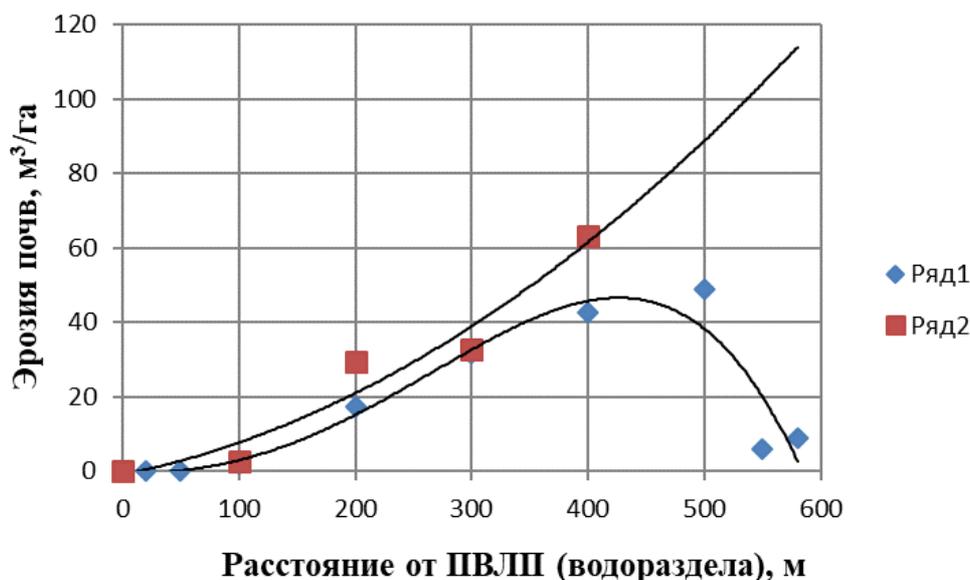


Рисунок 5 – Связи эрозии почв (черный пар) и расстояний от приводораздельной лесной полосы или водораздела: ряды 1 и 2 – соответственно ландшафтные профили А и Б

Анализ уравнений (11), (12) и данных рисунка 5 показывает, что на межполосном участке склона смыв почвы на черном пару в начале профиля постепенно возрастает к середине поля до максимума, а затем снижается до минимума у ПБЛП.

На открытом участке склона эрозия почв на черном пару непрерывно увеличивается от водораздела к подошве склона.

В следующем году поля опытного участка были заняты озимой пшеницей. При этом связи эрозии с расстояниями имели вид:

- ландшафтный профиль А:

$$\omega = 1E - 08 \cdot L^3 - 0,0003 \cdot L^2 + 0,1586 \cdot L - 1,3843 \text{ при } R^2 = 0,7625; \quad (13)$$

- ландшафтный профиль Б:

$$\omega = -0,0005 \cdot L^2 + 0,2142 \cdot L + 1,3914 \text{ при } R^2 = 0,942. \quad (14)$$

Графики соотношений (13) и (14) приведены на рисунке 6.

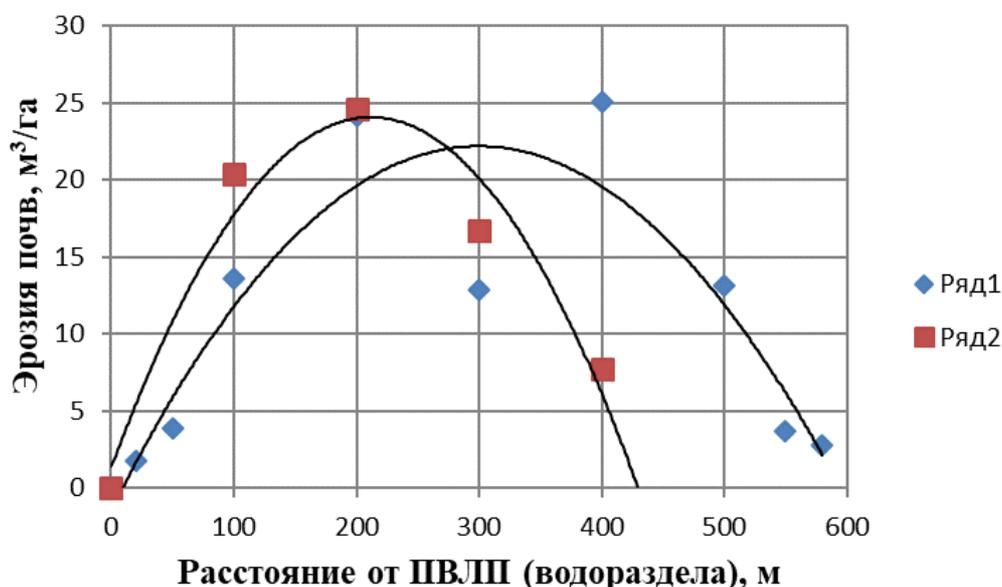


Рисунок 6 – Связи эрозии почв (озимая пшеница) с расстояниями от приводораздельной лесной полосы или водораздела: ряды 1 и 2 – соответственно ландшафтные профили А и Б

По данным рисунка 6, рядом с ПБЛП (профиль А) эрозия почв на озимых отсутствует, по мере продвижения вниз по склону она возрастает до максимума (в середине межполосного поля), далее снижаясь до минимума.

На профиле Б эрозия на посевах озимой пшеницы минимальна у водораздела, увеличиваясь до максимума к середине поля (> 200 м).

Приближение к подошве склона (400–450 м от водораздела) уменьшает эрозию благодаря усилению аккумуляции в наземной фитомассе озимой пшеницы. Эрозия может зависеть и от массы корней озимой пшеницы (см. таблицу 1).

Проверка зависимости эрозии почв от массы корней озимой пшеницы в предзимний период (θ , кг/м^3) в верхнем слое почвы на профиле А привела к равенству со средней теснотой связи:

$$\omega = -23,05 \cdot \ln \theta + 24,317 \text{ при } R^2 = 0,3389. \quad (15)$$

В графическом виде равенство (15) представлено рисунком 7.

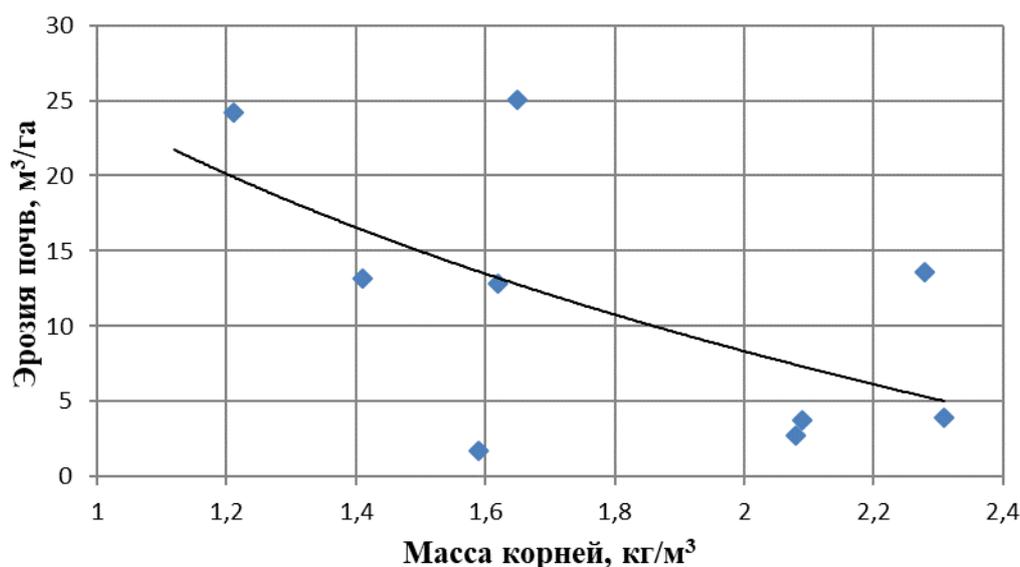


Рисунок 7 – Зависимость эрозии почв (ландшафтный профиль А) от массы корней озимой пшеницы

Для открытого склона (ландшафтный профиль Б) связь между эрозией и корневой массой слабая ($R^2 = 0,118$).

Таким образом, основным фактором эрозии почв на склонах с лесными полосами служит структурное состояние верхнего слоя почв, зависящее от перераспределения влекаемых и взвешенных почвенных фракций (ил, пыль и др.) водными потоками. При этом снижение (преобладание ак-

кумуляции) и повышение (преобладание эрозии) скоростей стока определяется характером снегоотложения на полях, особенно длиной и мощностью снежных шлейфов у лесных полос. Характеристики снежных шлейфов, меняясь по годам, перераспределяют на склоне влекаемые и взвешенные стоком почвенные фракции. Кроме этого, на посевах озимой пшеницы определенное влияние на эрозию может оказывать масса ее корней.

Заключение. При снеготаянии на склоновых полях может формироваться поверхностный сток, размывающие скорости которого способствуют выносу вниз по склонам взвешенных и влекаемых почвенных фракций. Снижение скоростей перегруженной наносами сточной воды приводит к выпадению этих частиц и образованию областей аккумуляции.

На облесенных склоновых полях у лесных полос формируются снежные шлейфы, которые постепенно насыщаются поступающими к ним талыми водами, освобождающимися от наносов. В ходе снеготаяния кристаллы снега приобретают зернистую форму, длина шлейфов уменьшается, способствуя передвижению зон аккумуляции. При этом снежные шлейфы могут расчленяться водными потоками, сосредоточенными по ложбинам.

За многолетний период с ростом лесных полос снежные шлейфы постепенно переформируют гранулометрический и микроагрегатный состав, что отражается на структурном состоянии верхнего слоя почв. Это характеризуется величинами коэффициентов дисперсности и структурности, гранулометрического показателя структурности и степени агрегирования почвенных частиц. В итоге увеличивается водопроницаемость почв и сокращаются объемы смыва. На уплотненной пашне эрозия почв зависит еще и от массы корней озимой пшеницы в предзимнем периоде развития.

Следовательно, лесные полосы на межполосном поле активизируют процессы аккумуляции, подавляя эрозию, не только за счет регулирования стока талых вод под лесным пологом, но и в результате многолетнего выпадения в снежных шлейфах илистых, глинистых и других почвенных

фракций, привносимых поверхностным стоком. Это способствует переформированию структурного состояния поверхностного слоя почв на межполосном склоне, что изменяет соответствующие характеристики (факторы дисперсности и структурности, гранулометрические показатели структурности и степени агрегирования). Кроме этого, на ландшафтном профиле с лесными полосами зафиксирована динамика массы корней озимой пшеницы, определяющая эрозию при стоке талых вод.

В целом на межполосном участке парового поля смыв почвы возрастает с удалением от приводораздельной лесной полосы, а затем снижается с приближением к прибалочной лесной полосе. На открытом участке парового поля эрозия почв увеличивается при продвижении от водораздела к подошве склона.

На посевах озимых рядом с приводораздельной лесной полосой эрозия почв не наблюдается, но при удалении от нее вниз по склону к центру поля эрозия возрастает, далее у прибалочной лесной полосы – снижается. На посевах озимой пшеницы открытого склона эрозия почв минимальна у водораздела. Вниз по склону эрозия увеличивается, достигая максимума в середине поля. Однако у подошвы склона эрозия подавляется аккумуляцией.

Список источников

1. Ivonin V. M., Voskoboynikova I. V., Matvienko E. Yu. Theoretical concept of adaptive forest land reclamation of agricultural landscapes // *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018. Vol. 9, № 13. P. 95–103.

2. Smith J. Agroforestry: Reconciling Production with Protection of the Environment. A Synopsis of Research Literature [Electronic resource] / The Organic Research Centre, Elm Farm. 2010. 24 p. URL: https://orgprints.org/18172/1/Agroforestry_synopsis.pdf (date of access: 17.03.2021).

3. The potential of using agroforestry as a win-win solution to climate change mitigation and adaptation and meeting food security challenges in Southern Africa / S. Syampungani, P. W. Chirwa, F. K. Akinnifesi, O. C. Ajayi // *Agric. J.* 2010. № 5. P. 80–88. DOI: 10.3923/aj.2010.80.88.

4. Agroforestry: Enhancing resiliency in U.S. agricultural landscapes under changing conditions [Electronic resource] / Ed.: M. M. Schoeneberger, G. Bentrup, T. Patel-Weynand; U. S. Department of Agriculture; Forest Service. Washington, DC, 2017. 213 p. URL: https://www.fs.fed.us/research/publications/gtr/gtr_wo96.pdf (date of access: 17.03.2021). DOI: 10.2737/WO-GTR-96a.

5. Koshkalda I. V., Tyshkovets V. V., Suska A. A. Ecological and economic basis of anti-erosion stability of forest-agrarian landscapes // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2018. № 27(3). P. 444–452. DOI: 10.15421/111868.

6. Петелько А. И., Панов В. И. Влияние основных природных факторов на формирование поверхностного стока талых вод в лесомелиорированных агроландшафтах в лесостепной и степной зонах европейской части России // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2019. Т. 43, № 1. С. 16–29. DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-1-16-29.

7. Барабанов А. Т. Роль и место агролесомелиорации в адаптивно-ландшафтном земледелии // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2015. № 2(38). С. 22–31.

8. Чекаев Н. П., Кузнецов А. Ю. Влагосберегающая роль стокорегулирующих лесных полос в структуре агролесоландшафтов // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. 2016. № 4(16). С. 109–118. DOI: 10.21685/2307-9150-2016-4-10.

9. Васенков Г. И., Будник И. П., Пициль А. О. Поверхностный сток талых вод в Житомирском Полесье // *Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс]*. 2013. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=11798> (дата обращения: 17.03.2021).

10. Противозэрозийная и экономическая эффективность лесных полос и щелевания на пастбищах в степи Приволжской возвышенности / П. Н. Проездов, Д. А. Маштаков, А. В. Розанов, О. Г. Удалова // *Нива Поволжья*. 2014. № 3(32). С. 36–43.

11. Ивонин В. М. Исследование противозэрозийной роли лесных полос на склонах // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]*. 2020. № 1(37). С. 52–73. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=646&id=650> (дата обращения: 17.03.2021). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-1-52-73.

12. Соболев С. С. Развитие эрозийных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. 305 с.

13. Ивонин В. М., Пеньковский Н. Д. Лесомелиорация ландшафтов. Ростов н/Д.: СКНЦ ВШ, 2003. 151 с.

14. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв: монография. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

15. Практикум по почвоведению / И. С. Кауричев, Н. П. Панов, М. В. Стратонович, И. П. Гречин, В. И. Савич, Н. Ф. Ганжара, А. П. Мершин; под ред. И. С. Кауричева. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1980. 272 с.

16. Сухарьков Е. А. Влияние полезащитных лесонасаждений на накопление и распределение снежного покрова в условиях Приобской лесостепи Алтайского края // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2004. № 4. С. 126–129.

17. Панов В. И. Потери атмосферных осадков с неззащищенных полей в степном засушливом субрегионе, их существенное снижение и стабилизация гидроресурсного потенциала земледелия созданием лесомелиорированных (лесоаграрных) бассейновых агроэколандшафтов // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2016. № 2(2), т. 18. С. 472–478.

References

1. Ivonin V.M., Voskoboinikova I.V., Matvienko E.Yu., 2018. Theoretical concept of adaptive forest land reclamation of agricultural landscapes. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 9, no. 13, pp. 95-103.

2. Smith J., 2010. Agroforestry: Reconciling Production with Protection of the Environment. A Synopsis of Research Literature [Electronic resource]. The Organic Research Centre, Elm Farm, 24 p., available: https://orgprints.org/18172/1/Agroforestry_synopsis.pdf (accessed 17.03.2021).

3. Syampungani S., Chirwa P.W., Akinnifesi F.K., Ajayi O.C., 2010. The potential of using agroforestry as a win-win solution to climate change mitigation and adaptation and meeting food security challenges in Southern Africa. *Agric. J.*, no. 5, pp. 80-88, DOI: 10.3923/aj.2010.80.88.

4. Schoeneberger M.M., Bentrup G., Patel-Weynand T., 2017. Agroforestry: Enhancing resiliency in U.S. agricultural landscapes under changing conditions. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC, 213 p., available: https://www.fs.fed.us/research/publications/gtr/gtr_wo96.pdf (accessed 17.03.2021), DOI: 10.2737/WO-GTR-96a.

5. Koshkalda I.V., Tyshkovets V.V., Suska A.A., 2018. Ecological and economic basis of anti-erosion stability of forest-agrarian landscapes. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, no. 27(3), pp. 444-452, DOI: 10.15421/111868.

6. Petelko A.I., Panov V.I., 2019. *Vliyanie osnovnykh prirodnikh faktorov na formirovanie poverkhnostnogo stoka talykh vod v lesomeliiorirovannykh agrolandshaftakh v lesostepnoy i stepnoy zonakh evropeyskoy chasti Rossii* [Influence of the main natural factors on the formation of surface flow of melt water in forest-reclaimed agricultural landscapes in the forest-steppe and steppe zones of the European part of Russia]. *Nauchnye ведомosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: Natural Sciences], vol. 43, no. 1, pp. 16-29, DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-1-16-29. (In Russian).

7. Barabanov A.T., 2015. *Rol' i mesto agrolesomeliioratsii v adaptivno-landshaftnom zemledelii* [The role and place of agroforestry in adaptive landscape agriculture]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. of Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education], no. 2(38), pp. 22-31. (In Russian).

8. Chekaev N.P., Kuznetsov A.Yu., 2016. *Vlagosberegayushchaya rol' stokoreguliruyushchikh lesnykh polos v strukture agrolesolandshaftov* [Moisture-saving role of runoff-regulating forest belts in the structure of agroforest landscapes]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* [Bull. Higher Educational Institutions. Volga Region. Natural Sciences], no. 4(16), pp. 109-118, DOI: 10.21685/2307-9150-2016-4-10. (In Russian).

9. Vasenkov G.I., Budnik I.P., Pitsil A.O., 2013. *Poverkhnostnyy stok talykh vod v Zhytomirskom Poles'e* [Snowmelt runoff surface of melt water in Zhytomyr Polesie]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], no. 6, available: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=11798> (accessed 17.03.2021). (In Russian).

10. Proezdov P.N., Mashtakov D.A., Rozanov A.V., Udalova O.G., 2014. *Protivoerozionnaya i ekonomicheskaya effektivnost' lesnykh polos i shchelevaniya na pastbishchakh v stepi Privolzhskoy vozvysheynosti* [Anti-erosion and economic efficiency of forest belts and meane on pastures in the steppe of the Volga Upland]. *Niva Povolzh'ya* [Grain Field of Povolzhya], no. 3(32), pp. 36-43. (In Russian).

11. Ivonin V.M., 2020. [Investigation of the anti-erosion role of forest belts on slopes]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 1(37), pp. 52-73, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=646&id=650> (accessed 17.03.2021), DOI: 10.31774/2222-1816-2020-1-52-73. (In Russian).

12. Sobolev S.S., 1948. *Razvitie erozionnykh protsessov na territorii evropeyskoy chasti SSSR i bor'ba s nimi* [Development of erosion processes on the territory of the European part of the USSR and the fight against them]. Moscow, Leningrad, Academy of Sciences of the USSR Publ., 305 p. (In Russian).

13. Ivonin V.M., Penkovsky N.D., 2003. *Lesomeliioratsiya landshaftov* [Forest Reclamation of Landscapes]. Rostov-on-Don, SKNTs VSh Publ., 151 p. (In Russian).

14. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A., 1986. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv: monografiya* [Methods of Research of Physical Properties of Soils: monography]. Moscow, Agropromizdat Publ., 416 p. (In Russian).

15. Kaurichev I.S., Panov N.P., Stratonovich M.V., Grechin I.P., Savich V.I., Ganzhara N.F., Mershin A.P., 1980. *Praktikum po pochvovedeniyu* [Workshop on Soil Science]. Moscow, Kolos Publ., 272 p. (In Russian).

16. Sukhar'kov E.A., 2004. *Vliyanie polezashchitnykh lesonasazhdeniy na nakoplenie i raspredelenie snezhnogo pokrova v usloviyakh Priobskoy lesostepi Altayskogo kraya* [Influence of field-protective afforestation on the accumulation and distribution of snow cover in the Priobskaya forest-steppe of the Altai Territory]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bull. of Altai State Agrarian University], no. 4, pp. 126-129. (In Russian).

17. Panov V.I., 2016. *Poteri atmosferykh osadkov s nezashchishchennykh poley v stepenom zasushlivom subregione, ikh sushchestvennoe snizhenie i stabilizatsiya gidroresursnogo potentsiala zemledeliya sozdaniem lesomeliorirovannykh (lesoagrarnykh) basseynovykh agroekolandshaftov* [Losses of atmospheric precipitation from unprotected fields in the steppe arid subregion, their significant decrease and stabilization of the hydropower potential of agriculture by creating forest reclamation (forest agricultural) basin agroecolandscapes]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Bull. of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], no. 2(2), vol. 18, pp. 472-478. (In Russian).

Информация об авторе

В. М. Ивонин – профессор кафедры лесоводства и лесных мелиораций, доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Information about the author

V. M. Ivonin – Professor of the Chair of Forestry and Forest Melioration, Doctor of Agricultural Sciences, Professor.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

В исследованиях принимала участие Л. В. Власова.

L. V. Vlasova took part in the research.

Статья поступила в редакцию 02.12.2020; одобрена после рецензирования 10.03.2021; принята к публикации 31.03.2021.

The article was submitted 02.12.2020; approved after reviewing 10.03.2021; accepted for publication 31.03.2021.