

МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Научная статья

УДК 631.613

doi: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-67-86

Стокорегулирующая и противозерозионная роль лесных насаждений на берегах балочных прудов, используемых для отдыха

Владимир Михайлович Ивонин

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

Аннотация. Цель: исследовать влияние рекреационной дигрессии на водоохраные функции лесных насаждений, расположенных на берегах балочных прудов. **Методы:** закладка временных пробных площадок, искусственное дождевание почв, анализ почвенных образцов. **Результаты.** Уточнены индикационные признаки пяти стадий рекреационной дигрессии лесных насаждений (четвертый-пятый класс возраста). Первой стадии соответствует воздушно-сухая масса лесной подстилки ≥ 12 т/га, плотность верхнего слоя маломощных дерновых почв $\leq 1,3$ г/см³, порозность $\geq 47,9$ %. Второй стадии соответствуют масса лесной подстилки 5,6 т/га, плотность 1,58 г/см³ и порозность 37,4 %; третьей стадии – соответственно 1,9 т/га, 1,75 г/см³ и 31,26 %; четвертой и пятой стадиям – подстилки нет, плотность – соответственно 1,87 и 1,96 г/см³, порозность – 26,9 и 23,5 %. Получены уравнения связи (полиномиальные второго – четвертого порядков и логарифмические) коэффициентов стока и модулей стока взвешенных наносов за период ливней с плотностью верхнего слоя почв, порозностью и содержанием гумуса. Сток при ливнях формируется при рекреационном уплотнении верхнего слоя почв $\geq 1,67$ г/см³, порозности верхнего слоя почв < 34 %, содержания гумуса $< 6,4$ %. При рекреации эрозия под лесным пологом не проявляется, когда плотность сложения верхнего слоя $< 1,75$ г/см³, порозность $> 29,5$ % и содержание гумуса > 5 %. **Выводы.** В процессе исследования установлено, что лесные насаждения, выполняющие водоохраные функции, деградируют под рекреационными нагрузками. В результате исследований получены экспериментальные зависимости, отражающие закономерности деградации рассматриваемых лесных насаждений и их влияние на водоохраные функции в зависимости от стадии дигрессии.

Ключевые слова: балочный пруд, лесное насаждение, рекреационная дигрессия, поверхностный сток, эрозия почв

LAND RECLAMATION, RECULTIVATION AND LAND PROTECTION

Original article

Flow-regulating and erosion-control role of forest plantations on the banks of gully ponds used for recreation

Vladimir M. Ivonin

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

Abstract. Purpose: to study the impact of recreational digression on water protection functions of forest plantations located on the banks of gully ponds. **Methods:** laying of tem-

porary test plots, artificial sprinkling of soils, analysis of soil samples. **Results.** Indicative signs of five stages of recreational digression of forest plantations (fourth-fifth age class) have been clarified. The first stage corresponds to the air-dry weight of the forest litter ≥ 12 t/ha, the density of the upper layer of thin soddy soils ≤ 1.3 g/cm³, porosity ≥ 47.9 %. The second stage corresponds to the mass of forest litter 5.6 t/ha, density 1.58 g/cm³ and porosity 37.4 %; the third stage – 1.9 t/ha, 1.75 g/cm³ and 31.26 % respectively, the fourth and fifth stages – no litter, density – 1.87 and 1.96 g/cm³, respectively, porosity – 26.9 and 23.5 %. Constraint equations (polynomials of the second – fourth orders and logarithmic) of the runoff coefficients and flow modules of suspended sediments for the rainfall period with the top soil density, porosity and humus content are obtained. Storm runoff is formed during recreational compaction of top soil ≥ 1.67 g/cm³, top soil porosity < 34 %, humus content < 6.4 %. During recreation, erosion under the forest canopy does not manifest itself when the bulk density of top soil is 1.75 g/cm³, the porosity is > 29.5 %, and the humus content is > 5 %. **Conclusions.** In the course of study, it was found that forest plantations performing water protection functions degrade under recreational loads. As a result of study, experimental dependences reflecting the patterns of degradation of the considered forest plantations and their influence on water conservation functions, depending on the stage of digression were obtained.

Keywords: gully pond, forest plantation, recreational digression, surface runoff, soil erosion

Введение. Современное состояние знаний о взаимосвязи между лесопользованием и водными ресурсами в различных странах мира представлено в Международной гидрологической программе ЮНЕСКО [1].

Наземно-водное биоразнообразие на малых лесных водосборах характеризуется в обзоре научной литературы R. T. Brooks, K. H. Nislow, W. H. Lowe, M. K. Wilson, D. I. King [2] для обоснования принципов управления водоохранными лесами.

Считают, что влияние лесов на водные ресурсы многогранно и определяется условиями окружающей среды, характеристиками лесных насаждений и другими факторами [3–7]. Поэтому важнейшей характеристикой прибрежных территорий является наличие лесных насаждений для обеспечения охраны водных объектов и поддержания качества воды.

В США считают, что среди всех видов землепользования леса обеспечивают наиболее чистый поверхностный сток, объем которого зависит от сукцессий растительности. При этом нагрузка наносов на водоем может увеличиваться, если хозяйственное возмущение нарушает инфильтрацию и приводит к эрозии почв [8].

Рекреационное водопользование – это использование водного объекта или его участка для купания, занятия спортом и отдыха. Зона рекреации кроме водного объекта (его участка) включает также берега, используемые для отдыха [9].

Следовательно, ресурсами рекреационного водопользования служат акватории и береговые территории, свойства и отдельные характеристики которых позволяют наиболее полно удовлетворять рекреационные потребности [10].

В Англии хорошее качество воды водных объектов обеспечивает повышенный спрос на рекреационные услуги (отдых по берегу, катание на лодках, рыбалку и плавание) [11].

В России насчитывается более 100 тыс. малых водоемов, которые аккумулируют водные ресурсы преимущественно в овражно-балочной сети. Их используют как в рекреационных, так и в мелиоративных целях [12].

Рекреационную привлекательность водоемов (прудов) в балках усиливают береговые лесные насаждения, созданные на маломощных дерновых почвах (МДП), которые деградируют под воздействием рекреационных нагрузок [13].

Стихийное использование береговых лесных насаждений способно не только нивелировать их водоохранные функции, но и создать опасность загрязнения водных объектов [14].

Все это указывает на необходимость исследования влияния рекреационной дигрессии лесных насаждений, расположенных на берегах балочных прудов и используемых для целей рекреации, на стокорегулирующие и противозерозионные функции этих лесных насаждений.

Материалы и методы. Исследование рекреационной дигрессии лесохозяйственных урочищ проводили на опытном объекте (большая степная балка Кадамовская в низовье р. Кадамовки, Персиановское охотхозяй-

ство на территории Октябрьского района Ростовской области). Кадамовский пруд находится в 10 км от г. Новочеркаска.

На берегу пруда оборудованы лодочная станция и пляж, что привлекает внимание не только рыбаков, но и любителей отдыха у воды. С одной стороны пруда расположен песчаный карьер, с другой – лесные насаждения, начинающиеся практически от уреза воды и примыкающие к бровке балки (аграрным урочищам).

Почвы склонов – МДП суглинистые на известняках. Характеристики проб, взятых в лесных насаждениях и на участке многолетних трав (склоны северной и северо-западной экспозиции) опытного объекта, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики пробных площадей

№ пробы	Местоположение пробы	Почва	Крутизна склона	Воздушно-сухая масса подстилки и трав, т/га
Берег пруда от уреза воды до бровки северо-западной и северной экспозиции				
4-1	Примыкание к бровке	МДП	4°	15 (подстилка сохранена)
4-2	Вблизи берега пруда (до уреза воды 10 м)	То же в зоне возможного затопления	3°	0 (подстилка вытоптана, наличие колеи транспорта, водороин)
4-3	То же, до уреза 7 м	То же	4°	0,1 (подстилка сохранилась в приствольных кругах)
4-4	То же, до уреза 3 м	То же	2,5°	7,2 (подстилка нарушена, отдельные тропы)
4-5	Ниже бровки балки	МДП	4°	0,3 (пятна подстилки)
4-6	То же	То же	4°	5,2 (тропиночная сеть)
Прибалочный склон северо-западной экспозиции				
4-7	Прибалочная лесная полоса	Слой аккумуляции мелкозема	3°	0,4 (раздавленные травы на уплотненном мелкоземе, покрывающем подстилку)
4-8	То же	То же	3°	1,0 (подстилка, раздавленные травы, мелкозем)
4-9	Пожнивные остатки люцерны	МДП	3°	0

В лесных насаждениях (таблица 1) (относятся к четвертым-пятым классам возраста) закладывали временные пробные площади, на которых определяли состав, возраст, средний диаметр и высоту древесных пород,

количество стволов и запас древесины по методикам, показанным в работе В. М. Иволина, Н. Д. Пеньковского [15].

Кроме этого, проводили искусственное дождевание и отбирали образцы из слоя почв 0–20 см, которые упаковывали (без нарушения сложения) при помощи марли и жидкого парафина для транспортирования и хранения.

В образцах определяли влажность почвы, гранулометрический и микроагрегатный состав, факторы структурного состояния, водопрочность агрегатов по Н. М. Бакшееву, содержание гумуса, физико-механические свойства (плотность твердой фазы, порозность, числа пластичности) почв по методикам ГОСТ 12071-2014¹, А. Ф. Вадюниной и др. [16], И. С. Кауричева и др. [17].

В работе применяли исследовательскую капельно-струйную дождевальную установку с размером площадок дождевания $1,43 \times 0,70$ м с использованием методики, показанной в работе В. М. Иволина, Н. Д. Пеньковского [15]. В США при аналогичных исследованиях используют мало-масштабный симулятор осадков [18].

Полученные данные обрабатывали с помощью компьютерной программы Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение. Таксационные и другие характеристики исследуемых лесных насаждений (таблица 2) показывают, что они имеют высокую полноту, I и II класс бонитета. Пробные площади 4-2, 4-3 и 4-4 представляют лесное насаждение на различном удалении от уреза воды. В составе этого насаждения участвуют тополь белый, ива белая (единично присутствуют клен ясенелистный и ясень зеленый).

На разном удалении от уреза воды часть этого насаждения спорадически затопляется при паводках и половодьях.

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

Таблица 2 – Таксационные характеристики водоохранных насаждений (полнота 0,8–1,0; бонитет I–II)

№ пробы	Состав	Порода	Возраст, лет	Среднее		Количество деревьев, шт./га	Объем модели, м ³	Запас, м ³ /га	Стадия дигрессии
				H, м	d, см				
4-1	10Вп + Гл	Вп	45	19,1	24,8	1500	0,4149	658	1
		Гл	45	9,4	16,1	271	0,0698	24	
4-2	6Тб 4Иб	Тб	45	20,9	51,0	129	1,9257	248,4	5
		Иб	45	14,5	27,5	571	0,3988	162,3	
4-3	6Тб 4Иб	Тб	45	20,9	51,0	129	1,9257	248,4	4
		Иб	45	14,5	27,5	571	0,3988	162,3	
4-4	6Тб 4Иб	Тб	45	20,9	51,0	121	1,9257	248,4	2
		Иб	45	14,5	27,5	570	0,3988	162,3	
4-5	9Кя 1Яз	Кя	45	17,7	28,7	720	0,5199	280,7	3
		Яз	45	17,9	31,2	100	0,622	31,1	
4-6	10Вп + Гл	Вп	44	20,5	26,7	650	0,494	321,1	2
		Гл	44	9,1	10,2	480	0,037	13,0	
4-7	10Рб	Рб	40	11,8	15,5	1228	0,1053	127,8	3
4-8	10Рб	Рб	40	11,8	15,5	1228	0,1053	127,8	2

Примечание – Вп – вяз приземистый; Гл – гледичия трехколючковая; Тб – тополь белый; Иб – ива белая; Кя – клен ясенелистный; Яз – ясень зеленый; Вп – вяз приземистый; Рб – робиния ложноакациевая.

Стадии рекреационной дигрессии таких насаждений выделили на основе индикационных признаков [13]: **первая стадия** – насаждения без заметных рекреационных нарушений; **вторая стадия** – нарушение лесной подстилки единичными тропинками, редкие механические повреждения стволов здоровых деревьев или (и) наличие отдельных пней деревьев, вырубленных с рекреационной целью; **третья стадия** – сохранен тонкий слой подстилки (на пикниковых полянах подстилки нет), развитая тропиновая сеть, единичные кострища, механически повреждены до 3 % стволов здоровых деревьев или (и) незначительное количество пней деревьев, вырубленных рекреантами; **четвертая стадия** – сохранились только пятна лесной подстилки вокруг отдельных деревьев, более 3 % стволов здоровых деревьев механически повреждены, не редки кострища и пни вырубленных рекреантами деревьев; **пятая стадия** – подстилки нет, водоросли, следы транспорта рекреантов, мусор, повсеместны кострища, пни, механически поврежденные стволы деревьев.

Проба 4-1 представляет первую стадию рекреационной дигрессии, пробы 4-4, 4-6 и 4-8 – вторую стадию, пробы 4-5 и 4-7 – третью, проба 4-3 – четвертую, а 4-2 – пятую стадию рекреационной дигрессии. Дигрессия лесных насаждений определяет состав и свойства дерновых почв.

Результаты исследований гранулометрического и микроагрегатного состава этих почв приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Гранулометрический и микроагрегатный состав слоя 0–20 см маломощных дерновых почв

№ пробы	Фракция, мм						Сумма < 0,01
	> 0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	
Гранулометрический состав							
4-1	0,32	28,45	40,68	3,26	16,08	11,20	30,54
4-2	0,42	16,01	39,54	5,55	19,75	18,73	44,03
4-3	0,94	15,13	4,29	4,04	16,73	21,87	42,64
4-4	0,36	14,77	41,62	7,30	17,63	18,32	43,25
4-5	0,55	16,92	42,06	5,79	19,79	14,89	40,47
4-6	0,39	24,15	47,45	4,90	24,07	8,73	37,70
4-7	0,19	12,79	45,29	7,79	22,03	11,91	41,73
4-8	0,19	12,79	45,29	7,79	22,03	11,91	41,73
4-9	1,87	17,63	30,96	7,10	19,79	14,65	41,54
Микроагрегатный состав							
4-1	2,26	22,38	47,90	4,77	20,73	1,96	27,46
4-2	5,33	12,50	59,49	4,73	14,20	3,75	22,68
4-3	3,23	23,38	51,36	4,73	14,20	3,10	22,03
4-4	5,79	17,83	56,34	4,65	13,75	1,71	20,11
4-5	6,46	26,22	49,45	4,08	12,20	1,59	17,97
4-6	8,17	31,61	44,51	5,22	9,10	1,39	15,71
4-7	7,50	19,02	55,73	5,10	10,73	1,92	17,75
4-8	7,50	19,02	55,73	5,10	10,73	1,92	17,75
4-9	6,09	29,77	46,39	5,06	10,36	2,33	17,75

По гранулометрическому составу исследуемые почвы относятся преимущественно к средним суглинкам. При этом рекреационные нагрузки не влияют на гранулометрический и микроагрегатный состав.

По данным таблицы 3 рассчитали некоторые из факторов структурного состояния верхнего слоя почв. При этом не обнаружено существенных различий по этим факторам в связи со стадиями рекреационной дигрессии насаждений.

Однако обнаружены различия в содержании гумуса и водопрочности агрегатов в верхнем слое МДП (таблица 4).

Таблица 4 – Факторы структурного состояния, содержание гумуса и водопрочность агрегатов верхнего слоя маломощных дерновых почв

В %

№ пробы	Фактор структурного состояния				Гумус	Водопрочность (содержание агрегатов > 1 мм)
	Качинского	Фагелера	Вадюниной	Бейвера и Родеса		
4-1	46,79	53,57	46,16	Не опр.	6,9	83,8
4-2	20,02	79,99	85,35	7,85	3,6	71,9
4-3	14,17	85,83	84,46	39,61	5,0	76,3
4-4	9,33	90,67	73,49	34,11	6,2	69,0
4-5	10,68	89,32	72,48	46,33	5,0	46,7
4-6	15,92	84,08	62,65	38,31	7,7	55,7
4-7	16,12	83,88	64,00	51,06	4,3	46,3
4-8	16,12	83,88	64,00	51,06	4,3	46,3
4-9	15,85	84,15	74,77	54,11	3,3	60,2

Почвы насаждений первой и второй стадий рекреационной дигрессии (пробы 4-1, 4-4 и 4-6) содержат максимальное количество гумуса в верхнем слое, а почвы насаждений пятой стадии (проба 4-2) и полевого контроля (проба 4-9) – минимальное количество. По количеству водопрочных агрегатов картина менее ясная: максимум водопрочности в пробе 4-1 (первая стадия дигрессии), минимум – в пробах 4-5 и 4-7 (третья стадия).

Физико-механические свойства этих почв (таблица 5) показывают, что характеристики пределов и чисел пластичности мало отличаются по степеням рекреационной дигрессии лесных насаждений.

Таблица 5 – Физико-механические свойства слоя 0–20 см маломощных дерновых почв

№ пробы	Влажность на границе, %		Число пластичности	Удельная масса, г/см ³	Плотность сложения, г/см ³	Порозность, %
	текучести	раскатывания				
1	2	3	4	5	6	7
4-1	48,9	37,9	11,0	2,58	1,23	52,3
4-2	50,6	41,5	9,1	2,63	1,99	24,3
4-3	51,9	42,1	9,8	2,53	1,77	30,3
4-4	52,1	42,3	9,8	2,51	1,56	37,8
4-5	52,4	39,0	13,4	2,57	1,71	33,5
4-6	55,2	46,1	9,1	2,55	1,61	36,9

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7
4-7	54,4	42,9	11,5	2,48	1,76	29,0
4-8	54,4	42,9	11,5	2,48	1,76	29,0
4-9	55,3	45,0	10,3	2,55	1,84	27,8

При этом наблюдается существенное уплотнение и сокращение порозности верхнего слоя почв по мере возрастания стадии рекреационной дигрессии насаждений.

Регрессионный анализ данных привел к уравнениям связи:

$$m = -9,308 \cdot \ln(C_d) + 12,111 \text{ при } R^2 = 0,7664, \quad (1)$$

$$\rho = 0,4064 \cdot \ln(C_d) + 1,3043 \text{ при } R^2 = 0,8546, \quad (2)$$

$$n = -15,15 \cdot \ln(C_d) + 47,907 \text{ при } R^2 = 0,7816. \quad (3)$$

В зависимостях (1)–(3) принято: m – воздушно-сухая масса лесной подстилки, т/га; C_d – стадия рекреационной дигрессии лесного насаждения; ρ – плотность сложения верхнего слоя почв, г/см³; n – порозность, %.

Графические решения уравнений (1)–(3) приведены на рисунках 1–3.

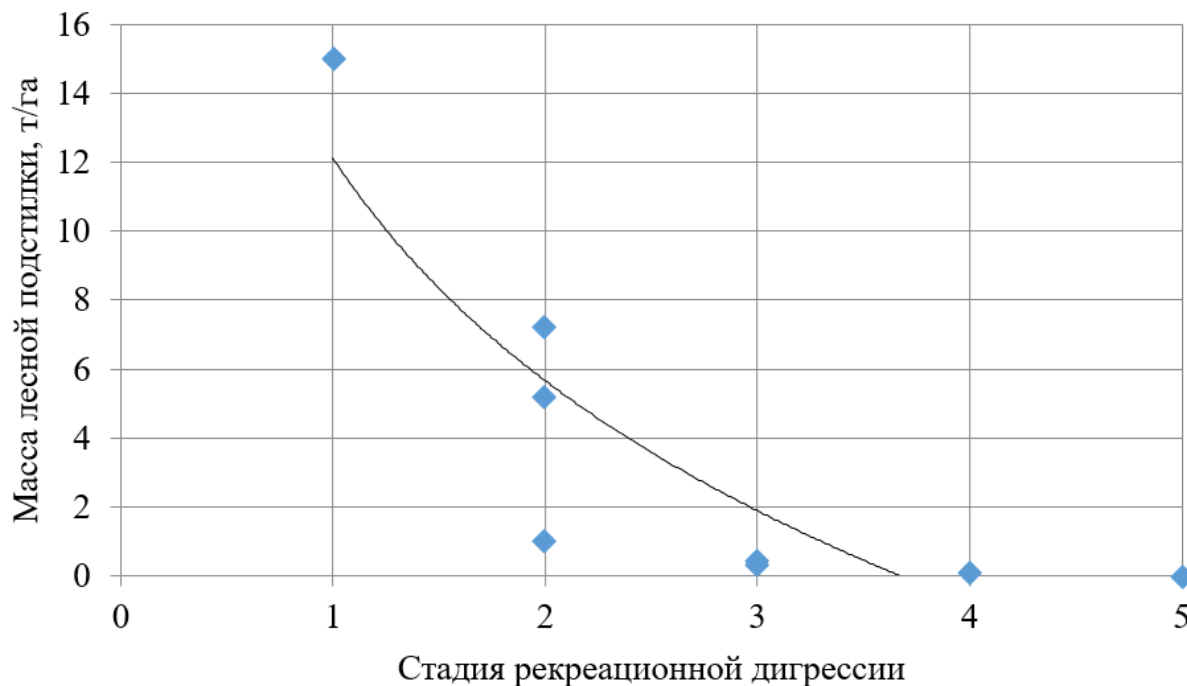


Рисунок 1 – Связь воздушно-сухой массы лесной подстилки со стадией рекреационной дигрессии лесного насаждения

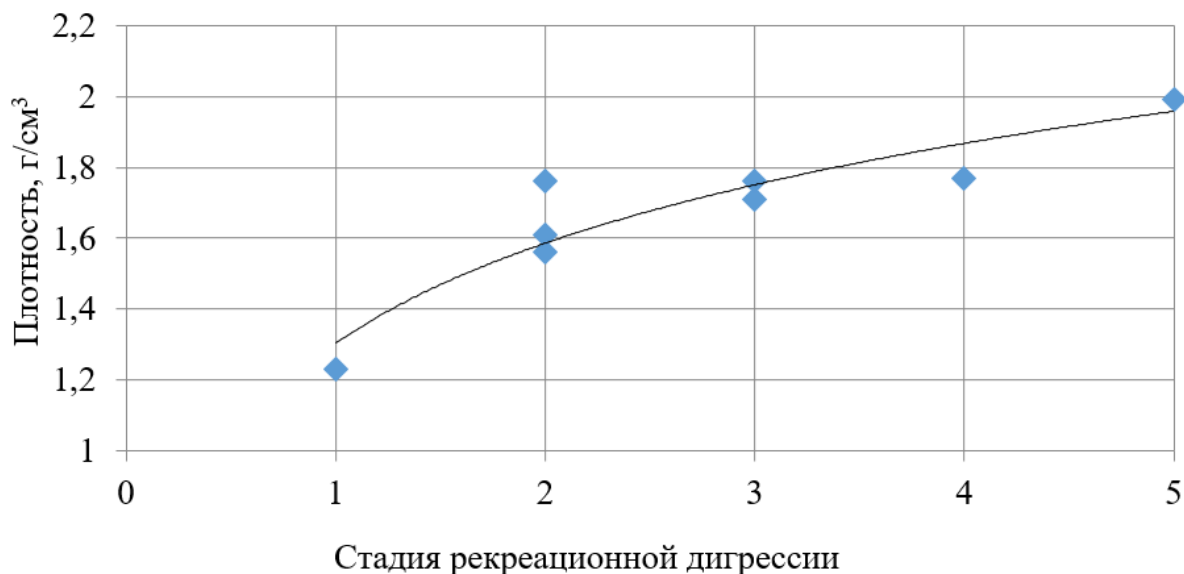


Рисунок 2 – Связь плотности сложения верхнего слоя почв со стадией рекреационной дигрессии лесного насаждения

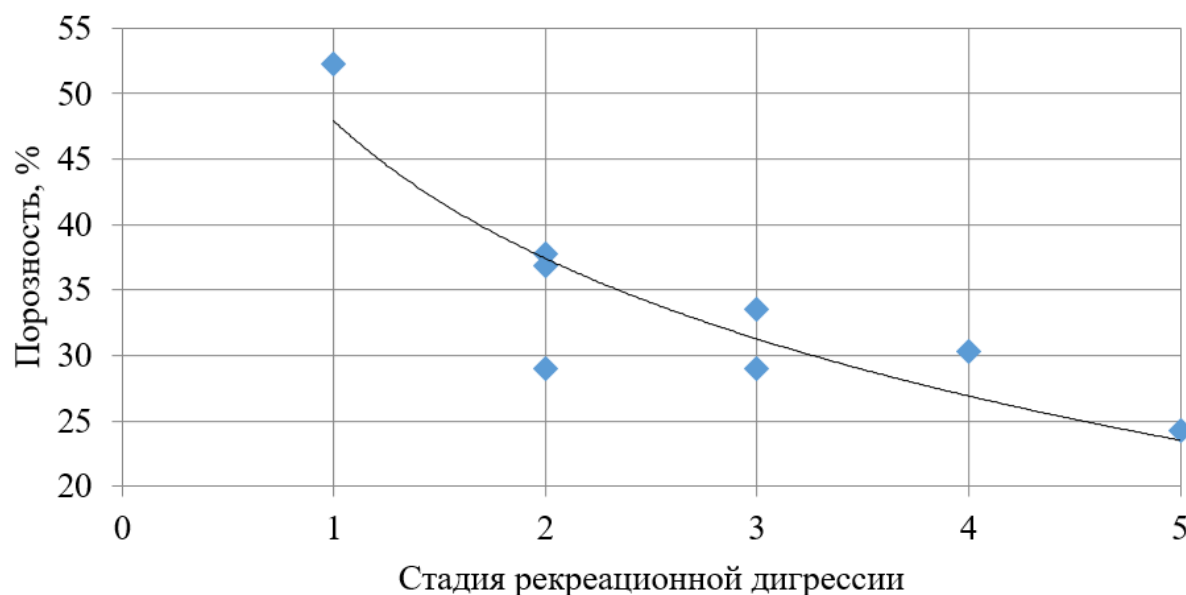


Рисунок 3 – Связь порозности верхнего слоя почв со стадией рекреационной дигрессии лесного насаждения

Анализ данных на рисунках 1–3 показывает, что при четвертом-пятом классе возраста насаждений первая стадия рекреационной дигрессии характеризуется воздушно-сухой массой лесной подстилки ≥ 12 т/га, плотностью сложения верхнего слоя МДП $\leq 1,3$ г/см³, порозностью $\geq 47,9$ %. Второй стадии рекреационной дигрессии насаждений соответствуют: масса лесной подстилки – около 5,6 т/га, плотность сложения верхнего слоя

почв – 1,58 г/см³ и порозность – около 37,4 %; третьей стадии – соответственно 1,9 т/га, 1,75 г/см³ и 31,26 %; четвертой и пятой стадиям – подстилки нет, плотность – соответственно 1,87 и 1,96 г/см³, порозность – 26,9 и 23,5 %.

Водоохранная способность лесных насаждений на берегах балочных прудов во многом определяется показателями стока и эрозии почв при ливнях (таблица 6).

**Таблица 6 – Характеристики эрозионного процесса
(слой дождевания 80 мм, интенсивность 2,66 мм/мин)**

№ пробы	Влажность верхнего слоя почв перед дождеванием, %	Слой, мм		Коэффициент стока	Средняя мутность стока, г/л	Модуль стока взвешенных наносов, т/га
		инфильтрации	стока			
4-1	18,0	80,0	0	0	0	0
4-2	17,7	30,0	50,0	0,625	13,3	6,65
4-3	16,8	64,6	15,4	0,193	0,35	0,054
4-4	31,6	80,0	0	0	0	0
4-5	16,1	79,9	0,1	0,013	0,55	0,001
4-6	23,9	80,0	0	0	0	0
4-7	13,6	79,7	0,3	0,037	0,55	0,002
4-8	13,6	80,0	0	0	0	0
4-9	9,4	48,8	31,2	0,390	2,7	0,842

Условия формирования стока были следующими. В пробах 4-1 (первая стадия рекреационной дигрессии), 4-4 и 4-8 (вторая стадия) сток полностью отсутствовал.

В пробе 4-2 (пятая стадия дигрессии) движущаяся тонкая пелена воды на поверхности почвы возникла в начале дождевания. На 15-й минуте дождя пелена преобразовалась в ручейки мутной воды, которые в своем нижнем течении образовали терраски аккумуляции. После прекращения дождя время добегаания стока составило 1 мин 45 с.

В пробе 4-3 (четвертая стадия дигрессии) ручейки стока возникли после 3 мин дождевания, затем ручейковый сток преобразовался в капельный, а на 16-й минуте дождевания – вновь в ручейковый. Это связано с образованием и разрушением в руслах ручейков плотинки из остатков под-

стилки. Время добегания стока составило 1 мин 5 с. В пробах 4-5 и 4-7 (третья стадия дигрессии) сток наблюдался в виде капель, которые появились на водосливе соответственно через 5 и 6 мин дождевания.

В пробе 4-9 (пожнивные остатки люцерны) ручейковый сток возник на 7-й минуте дождевания и продолжался до прекращения дождя (время добегания стока составило 1 мин 40 с).

Коэффициенты стока (σ) определялись главным образом плотностью сложения поверхностного слоя почв (ρ , г/см³), его порозностью (n , %) и содержанием гумуса (C , %), что характеризуют соответствующие уравнения связи:

$$\sigma = 2,5237 \cdot \rho^2 - 7,3314 \cdot \rho + 5,217 \text{ при } R^2 = 0,8696, \quad (4)$$

$$\sigma = 6E - 06 \cdot n^4 - 0,0011 \cdot n^3 + 0,0703 \cdot n^2 - 2,0283 \cdot n + 21,629$$
$$\text{при } R^2 = 0,8229, \quad (5)$$

$$\sigma = -0,547 \cdot \ln(C) + 1,0159 \text{ при } R^2 = 0,4884. \quad (6)$$

Графики уравнений (4)–(6) представлены на рисунках 4–6.

По данным зависимости (4) и рисунка 4, сток во время ливней формируется при рекреационном уплотнении верхнего слоя $\geq 1,67$ г/см³. Довольно сложное уравнение (5) имеет ограничение по значению порозности ≥ 34 %. Принимаем, что при этих значениях порозности слоя почв 0–20 см сток и коэффициенты стока при ливнях полностью отсутствуют (см. рисунок 5). Подобное же ограничение имеет и соотношение (6) (когда содержание гумуса в верхнем слое почвы превысит 6,4 % (рисунок 6)).

Это означает полное регулирование стока при ливнях, что связано с увеличением содержания гумуса в почве, возрастанием порозности, усилением инфильтрации.

Модули стока взвешенных наносов (M , т/га) также связаны с плотностью, порозностью и содержанием гумуса.

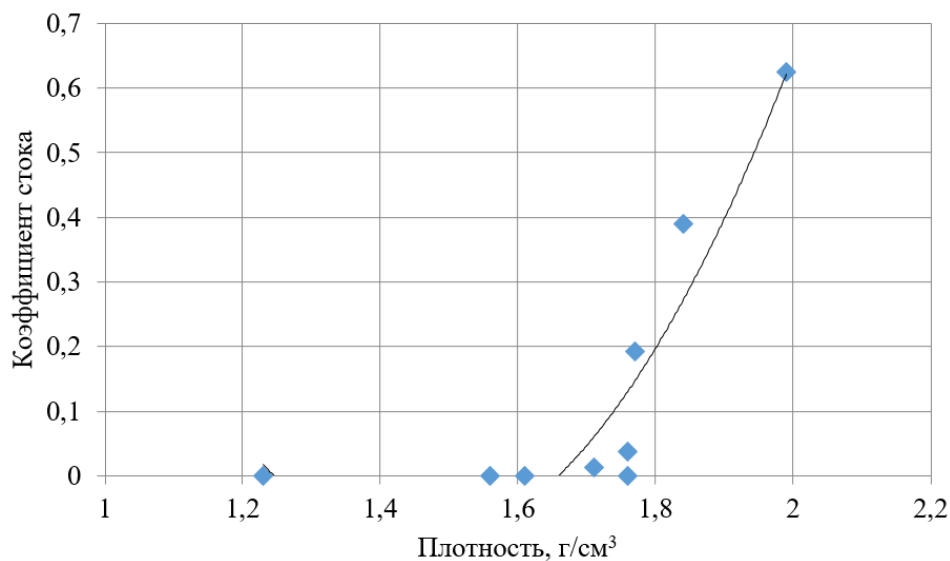


Рисунок 4 – Связь коэффициентов стока с плотностью

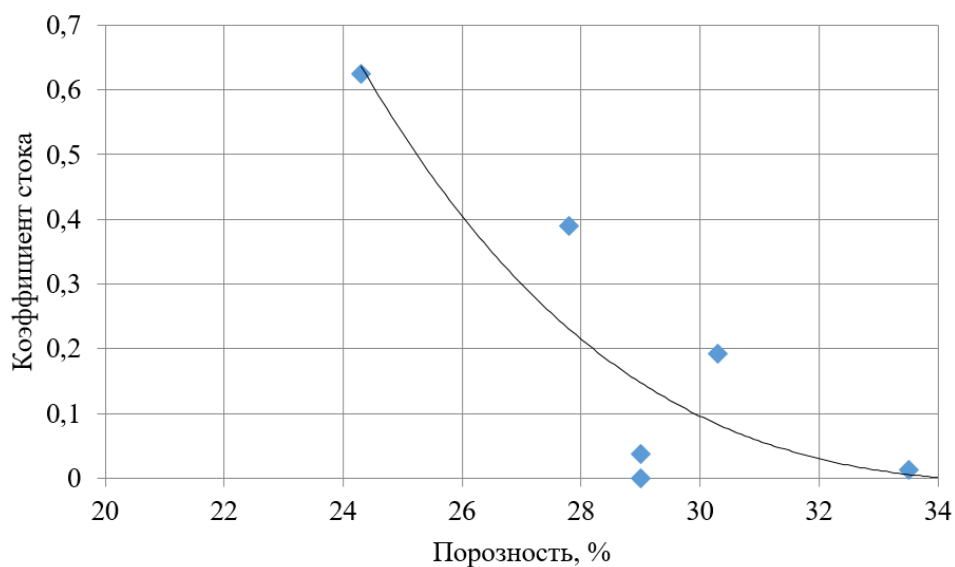


Рисунок 5 – Связь коэффициентов стока с порозностью

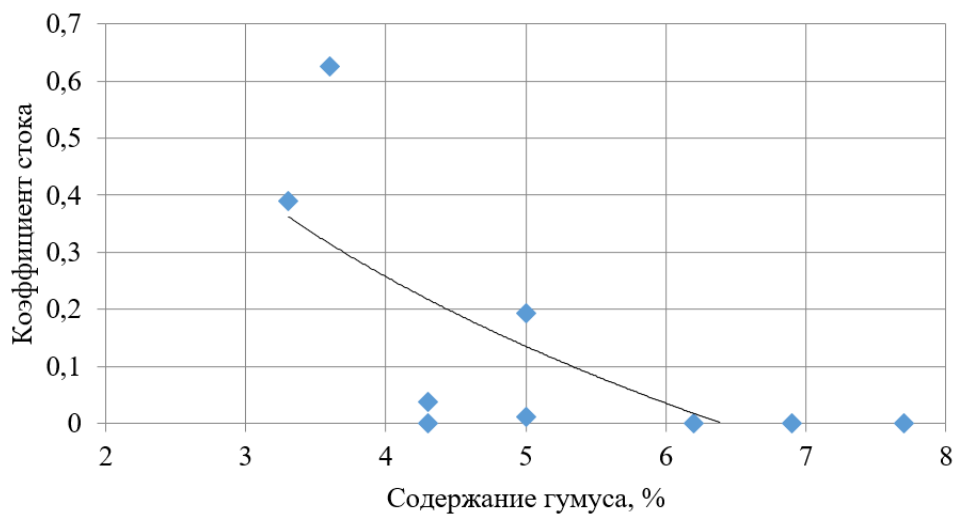


Рисунок 6 – Связь коэффициентов стока с содержанием гумуса

Соответствующие уравнения регрессии имеют вид:

$$M = 215,59 \cdot \rho^4 - 1322,6 \cdot \rho^3 + 3027,1 \cdot \rho^2 - 3061,9 \cdot \rho + 1154,2$$

при $R^2 = 0,9997$, (7)

$$M = -0,0035 \cdot n^3 + 0,4116 \cdot n^2 - 15,802 \cdot n + 197,12$$

при $R^2 = 0,9575$, (8)

$$M = -0,0657 \cdot C^3 + 1,4913 \cdot C^2 - 10,843 \cdot C + 25,236$$

при $R^2 = 0,3329$. (9)

Прогноз сложной зависимости (7) ограничен максимумом плотности сложения верхнего слоя почв $1,75 \text{ г/см}^3$ (рисунок 7). Ниже этого значения плотности эрозия почв в лесных насаждениях при ливнях отсутствует.

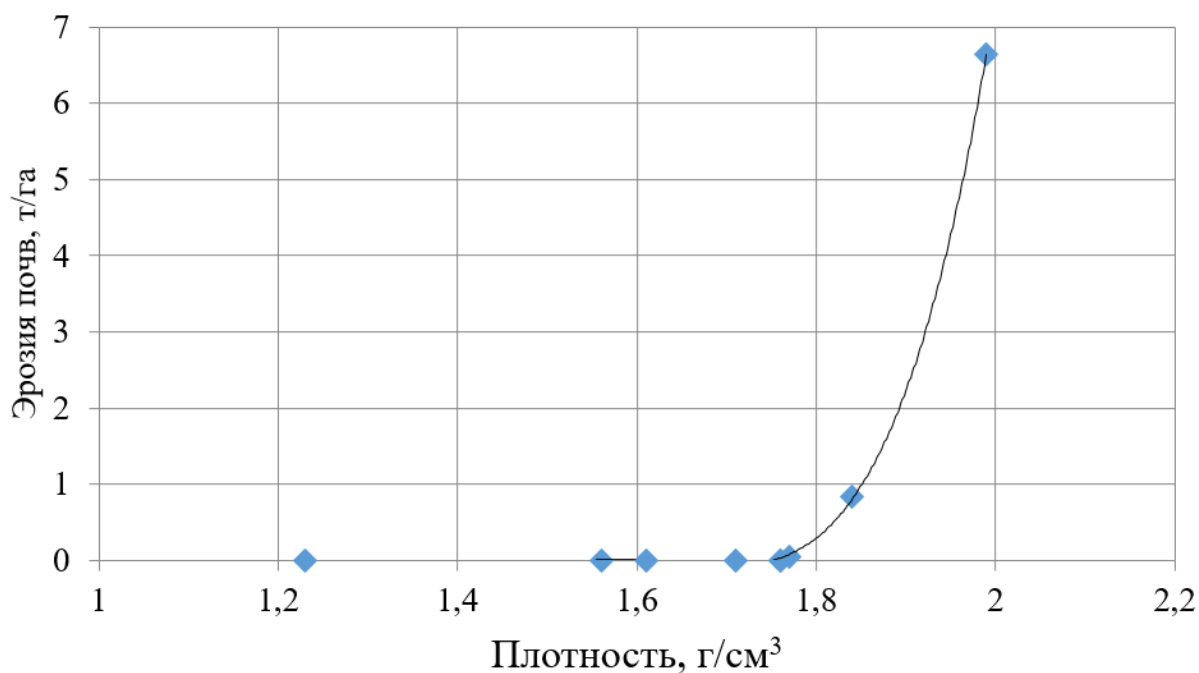


Рисунок 7 – Связь смыва с плотностью сложения верхнего слоя почв

Уравнение (8) имеет ограничение прогноза по порозности верхнего слоя почвы, равное 29,5 % (рисунок 8).

Выше этого значения порозности эрозия почв при ливнях не проявляется.

Уравнение (9) среди зависимостей (7)–(9) характеризуется менее

тесной связью. Прогноз по этому уравнению ограничен содержанием гумуса в верхнем слое почвы более 5 %, когда модули стока взвешенных наносов за период ливней полностью отсутствуют (рисунок 9).

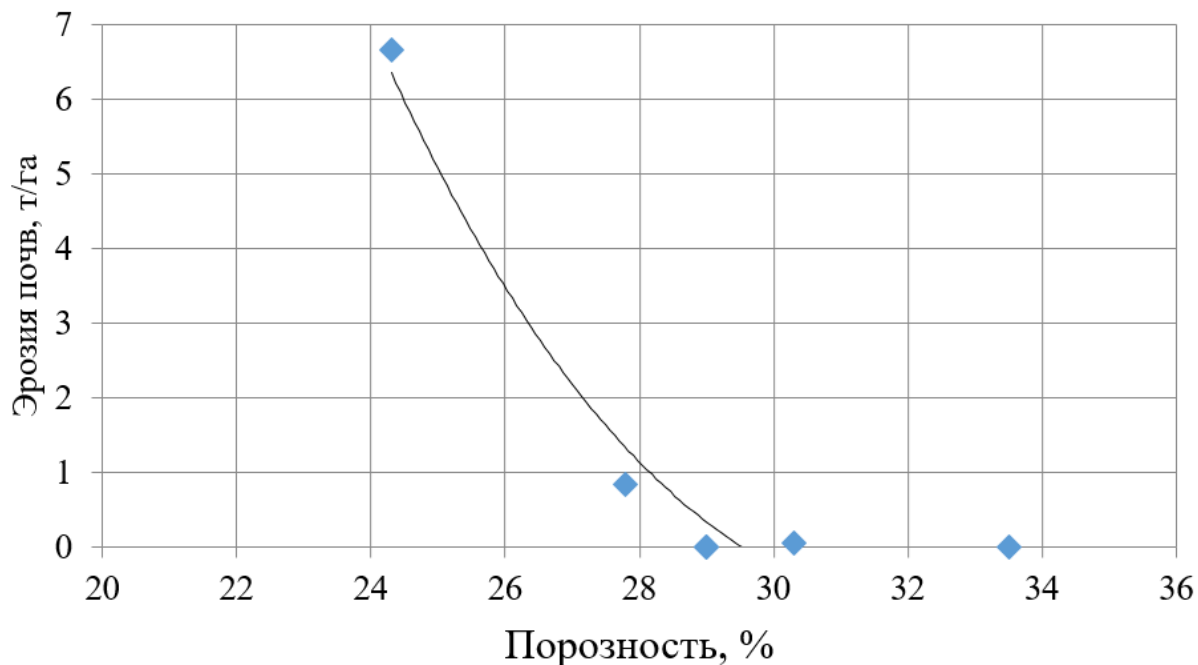


Рисунок 8 – Связь смыва с порозностью верхнего слоя почв

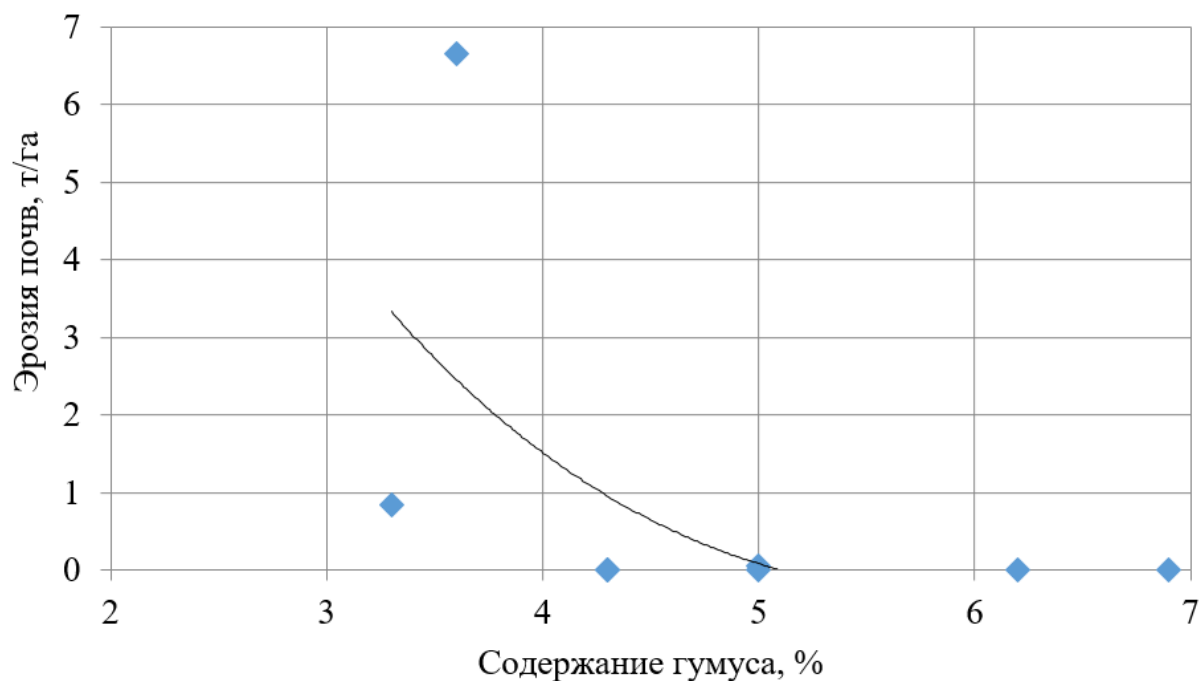


Рисунок 9 – Связь смыва с содержанием гумуса в верхнем слое почв

Это означает, что содержание гумуса в верхнем слое дерновых маломощных почв более 5 % будет предупреждать эрозию при ливнях.

Выводы. В балках степной зоны водные объекты (пруды) очень привлекательны для отдыхающих, особенно если на их берегах расположены лесохозяйственные урочища, последние, выполняя водоохранные функции, деградируют под влиянием рекреационных нагрузок.

Уточнены индикационные признаки стадий рекреационной дигрессии таких лесохозяйственных урочищ:

- первая стадия (насаждения с высокой почвозащитной и стокорегулирующей способностью) – отсутствуют заметные рекреационные нарушения, в четвертом-пятом классах возраста насаждений воздушно-сухая масса лесной подстилки ≥ 12 т/га, плотность сложения верхнего слоя неразвитых дерновых почв $\leq 1,3$ г/см³, а порозность $\geq 47,9$ %;

- вторая стадия (насаждения с высокой почвозащитной и стокорегулирующей способностью) – лесная подстилка массой около 5,6 т/га нарушена, плотность верхнего слоя почв – около 1,58 г/см³ и порозность – 37,4 %, единичные тропинки, механически повреждены отдельные стволы деревьев;

- третья стадия (пониженная почвозащитная и стокорегулирующая способность насаждений) – тонкий прерывистый слой подстилки массой около 1,9 т/га, плотность поверхностного слоя почвы около 1,75 г/см³ и порозность – 31,26 %, развитая тропиновая сеть, механически повреждены стволы здоровых деревьев, значительное количество вырубленных с рекреационной целью деревьев, единичные кострища;

- четвертая стадия (насаждения, лишенные почвозащитной и стокорегулирующей способности) – подстилки нет, сохранились лишь ее пятна вокруг стволов отдельных деревьев, плотность верхнего слоя почв около 1,87 г/см³, порозность – 26,9 %, кострища, вырубленные и (или) механически поврежденные стволы деревьев;

- пятая стадия (насаждения являются ареной проявления эрозионных процессов и источниками загрязнения водных объектов) – подстилки нет,

плотность верхнего слоя почв $\geq 1,96$ г/см³, порозность $\leq 23,5$ %, водоройны, следы автотранспорта, мусор, много кострищ, механических повреждений стволов и пней деревьев, вырубленных с рекреационной целью.

Стокорегулирующую и противозерозионную роль лесохозяйственных урочищ на берегах балочных прудов характеризуют коэффициенты стока и модули стока взвешенных наносов за период ливней, которые определяются плотностью сложения поверхностного слоя почв, его порозностью и содержанием гумуса. Сток во время ливней формируется при рекреационном уплотнении верхнего слоя почв $\geq 1,67$ г/см³, порозности верхнего слоя почв менее 34 %, содержании гумуса меньше 6,4 %. Это иллюстрируют полиномиальные (разных порядков) и логарифмические уравнения связи.

Эрозия (модули стока взвешенных наносов за период ливня) при рекреации под пологом лесохозяйственных урочищ не проявляется при плотности сложения верхнего слоя неразвитых дерновых почв $< 1,75$ г/см³, порозности $> 29,5$ % и гумусированности > 5 %, что подтверждают решения соответствующих полиномиальных уравнений четвертого и третьего порядков.

Список источников

1. Forest management and the impact on water resources: A review of 13 countries. IHP – VIII. Technical Document No. 37 / P. A. Garcia-Chevesich, D. G. Neary, D. F. Scott, T. R. Benyon. Paris, France: United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization (UNESCO), International Hydrological Program, 2017. 203 p.
2. Forest succession and terrestrial-aquatic biodiversity in small-forested watersheds: a review of principles, relationships and implications for management / R. T. Brooks, K. H. Nislow, W. H. Lowe, M. K. Wilson, D. I. King // *Forestry*. 2012. Vol. 85, № 3. P. 315–328. <https://doi.org/10.1093/forestry/cps031>.
3. Воронков Н. А. Роль лесов в охране вод. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 286 с.
4. Побединский А. В. Водоохранная и почвозащитная роль лесов. М.: Лес. пром-сть, 1979. 174 с.
5. Рахманов В. В. Гидроклиматическая роль лесов. М.: Лес. пром-сть, 1984. 240 с.
6. Юферев В. Г., Ткаченко Н. А. Эффективность стокорегулирующих и водоохраных насаждений речных бассейнов // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2020. № 1(57). С. 96–105. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-10.
7. Рыбакова Н. А. Оценка водоохраной роли агролесомелиоративных насаждений европейской лесостепи // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 2017. № 5, т. 28. С. 5–20.

8. Vose J. M. Forest and water in the 21st century: A global perspective // Journal of Forestry. 2019, Jan. Vol. 117, iss. 1. P. 80–85. <https://doi.org/10.1093/jofore/fvy054>.

9. 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.1.5.980-00: утв. Гл. гос. санитар. врачом Рос. Федерации 22.06.00: введ. в действие с 01.01.01 [Электронный ресурс]. URL: <https://legalacts.ru/doc/sanpin-215980-00-215-vodootvedenie-naselennykh-mest-sanitarnaja/> (дата обращения: 14.08.2021).

10. Ланцова И. В., Григорьева И. Л. Теоретические и методические аспекты проблем рекреационного использования водохранилищ // Туризм и региональное развитие: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. Смоленск: Универсум, 2004. С. 140–145.

11. Water quality is a poor predictor of recreational hotspots in England / G. Ziv, K. Mullin, B. Voeuf, W. Fincham, N. Taylor, G. Villalobos-Jiménez, L. Vittorelli, C. Wolf, O. Fritsch, M. Strauch, R. Seppelt, M. Volk, M. Beckmann // PLoS ONE. 2016. № 11(11). e0166950. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166950>.

12. Белов В. А., Перелыгин А. И. Обоснование целесообразности мелиораций малых водоемов и рекомендации по их проведению // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2012. № 4(08). С. 230–243. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=616> (дата обращения: 14.08.2021).

13. Ивонин В. М., Чырыев Н. С. Противоэрозионные свойства нарушенных рекреацией дерновых почв балок степной зоны // Лесоведение. 2002. № 1. С. 45–51.

14. Дмитриева В. А., Нефедова Е. Г. Гидроэкологическая роль лесных насаждений в формировании режима водных ресурсов // Лесотехнический журнал. 2015. № 3. С. 22–33. DOI: 10.12737/14150.

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

16. Вадюнина А. Ф. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

17. Практикум по почвоведению / И. С. Кауричев [и др.]; под ред. И. С. Кауричева. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1980. 272 с.

18. Zemke J. J. Runoff and soil erosion assessment on forest roads using a small-scale rainfall simulator // Hydrology. 2016. 3(3). 25. <https://doi.org/10.3390/hydrology3030025>.

References

1. Garcia-Chevesich P.A., Neary D.G., Scott D.F., Benyon T.R., 2017. Forest management and the impact on water resources: A review of 13 countries. IHP – VIII. Technical Document no. 37. Paris, France, United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization (UNESCO), International Hydrological Program, 203 p.

2. Brooks R.T., Nislow K.H., Lowe W.H., Wilson M.K., King D.I., 2012. Forest succession and terrestrial-aquatic biodiversity in small-forested watersheds: a review of principles, relationships and implications for management. Forestry, vol. 85, no. 3, pp. 315-328, <https://doi.org/10.1093/forestry/cps031>.

3. Voronkov N.A., 1988. *Rol' lesov v okhrane vod* [The Role of Forests in Water Conservation]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 286 p. (In Russian).

4. Pobedinsky A.V., 1979. *Vodookhrannaya i pochvozashchitnaya rol' lesov* [Water Protective and Soil Protective Role of Forests]. Moscow, Forest Industry Publ., 174 p. (In Russian).

5. Rakhmanov V.V., 1984. *Gidroklimaticheskaya rol' lesov* [Hydroclimatic Role of Forests]. Moscow, Forest Industry Publ., 240 p. (In Russian).

6. Yuferev V.G., Tkachenko N.A., 2020. *Effektivnost' stokoreguliruyushchikh i vodo-okhrannykh nasazhdeniy rechnykh basseynov* [Efficiency of stock-controlling and water-

protected plants of river basins]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 1(57), pp. 96-105, DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-10. (In Russian).

7. Rybakova N.A., 2017. *Otsenka vodookhranoy roli agrolesomeliorativnykh nasa-zhdeniy evropeyskoy lesostepi* [Evaluation of the water protective role of agro-forest reclamation plantations of the European forest-steppe]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [Problems of Environmental Monitoring and Ecosystem Modeling], no. 5, vol. 28, pp. 5-20. (In Russian).

8. Vose J.M., 2019. Forest and water in the 21st century: A global perspective. *Journal of Forestry*, Jan., vol. 117, iss. 1, pp. 80-85, <https://doi.org/10.1093/jofore/fvy054>.

9. *SanPiN 2.1.5.980-00. 2.1.5. Vodootvedenie naseleennykh mest, sanitarnaya okhrana vodnykh ob'ektov. Gigiyenicheskie trebovaniya k okhrane poverkhnostnykh vod. Sanitarnye pravila i normy* [Water disposal of populated areas, sanitary protection of water bodies. Hygienic requirements for the protection of surface waters. Sanitary rules and norms], available: <https://legalacts.ru/doc/sanpin-215980-00-215-vodootvedenie-naseleennykh-mest-sanitarnaja/> [accessed 14.08.2021]. (In Russian).

10. Lantsova I.V., Grigorieva I.L., 2004. *Teoreticheskie i metodicheskie aspekty problem rekreatsionnogo ispol'zovaniya vodokhranilishch* [Theoretical and methodological aspects of the problems of recreational use of reservoirs]. *Turizm i regional'noe razvitie: materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Tourism and Regional Development: Proc. of the III International Scientific-Practical Conference]. Smolensk, Universum Publ., pp. 140-145. (In Russian).

11. Ziv G., Mullin K., Boeuf B., Fincham W., Taylor N., Villalobos-Jiménez G., Vit-torelli L., Wolf C., Fritsch O., Strauch M., Seppelt R., Volk M., Beckmann M., 2016. Water quality is a poor predictor of recreational hotspots in England. *PLoS ONE*, no. 11(11), e0166950, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166950>.

12. Belov V.A., Perelygin A.I., 2012. [Substantiation of suitability for reclamation of small water bodies and recommendations for their implementation]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 4(08), pp. 230-243, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=616> [accessed 14.08.2021]. (In Russian).

13. Ivonin V.M., Chyryev N.S., 2002. *Protivoerozionnye svoystva narushennykh rekreatsiev dernovykh pochv balok stepnoy zony* [Anti-erosion properties of the steppe zone gullies disturbed by regeneration of soddy soils]. *Lesovedenie* [Forest Science], no. 1, pp. 45-51. (In Russian).

14. Dmitrieva V.A., Nefedova E.G., 2015. *Gidroekologicheskaya rol' lesnykh nasa-zhdeniy v formirovanii rezhima vodnykh resursov* [Hydroecological role of forest plantations in formation of water resource regime]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Journal], no. 3, pp. 22-33, DOI: 10.12737/14150. (In Russian).

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

16. Vadyunina A.F., 1986. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods of Study of Soil Physical Properties]. Moscow, Agropromizdat Publ., 416 p. (In Russian).

17. Kaurichev I.S. [et al.], 1980. *Praktikum po pochvovedeniyu* [Workshop on Soil Science]. 3rd ed., rev. Moscow, Kolos Publ., 272 p. (In Russian).

18. Zemke J.J., 2016. Runoff and soil erosion assessment on forest roads using a small-scale rainfall simulator. *Hydrology*, 3(3), 25, <https://doi.org/10.3390/hydrology3030025>.

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 Department of Forestry and Forest Reclamation, Doctor of Agricultural Sciences, Professor.

В исследованиях принимал участие Н. С. Чырыев.

N. S. Churyev took part in the research.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 06.08.2021; одобрена после рецензирования 08.11.2021; принята к публикации 10.11.2021.

The article was submitted 06.08.2021; approved after reviewing 08.11.2021; accepted for publication 10.11.2021.