

МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Научная статья

УДК 631.613

doi: 10.31774/2222-1816-2021-11-1-81-96

Стокорегулирующая способность лесных полос в связи с их таксационными характеристиками

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 стокорегулирующую роль лесных полос в связи с их таксационными характеристиками. **Методы:** искусственное дождевание почв под пологом лесных полос. **Результаты.** В Ростовской области (бассейн р. Кундрючья, черноземы обыкновенные) в составе лесных полос преобладает робиния ложноакациевая. К возрасту 35 лет эта порода может достигать средней высоты 12 м, средний диаметр – 12 см. Получили регрессионные уравнения связи коэффициентов стока со средней высотой робинии ложноакациевой и ее средним диаметром, запасами древесины лесных полос и площадями поперечного сечения стволов. Эти таксационные характеристики определяют интенсивность впитывания осадков через массу опада и лесной подстилки, корненасыщенность, водно-физические и химические свойства верхнего слоя почвы, которые изменяются с возрастом насаждений. При превышении возраста 20 лет лесные полосы будут полностью впитывать ливневые осадки высокой интенсивности. В этом возрасте робиния ложноакациевая превысит среднюю высоту 9,4 м, а ее средний диаметр ствола приблизится к значению 10 см. При этом запас сырой древесины лесной полосы достигнет 57 м³/га, а площадь поперечного сечения стволов – 11 м²/га. Функциональная связь эрозии почв с коэффициентами стока подтверждает тесные связи эрозии почв с основными таксационными характеристиками лесных полос. Анализ этих связей показал, что ливневая эрозия почв под лесным пологом полностью отсутствует при достижении таксационными показателями следующих величин: средняя высота робинии 9 м, средний диаметр ее ствола 9,2 см, запас древесины 46 м³/га, площадь поперечного сечения стволов 10,2 м²/га. **Выводы.** К возрасту лесных полос 20 лет сток под лесным пологом будет полностью регулироваться, а эрозия почв отсутствовать. Лесные полосы возрастом менее 20 лет нуждаются в усилении своей стокорегулирующей способности путем сочетания их по нижней опушке с простейшими гидротехническими сооружениями.

Ключевые слова: лесная полоса, агролесомелиорация, таксационные характеристики, ливневый сток, эрозия почв

LAND RECLAMATION, RECLTIVATION AND LAND PROTECTION

Original article

Flow-regulating capacity of forest belts in connection with their taxation characteristics

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 investigate the flow-regulating role of forest belts in connection with their taxation characteristics. **Methods:** artificial sprinkling of soils under the forest belts canopy. **Results.** Pseudoacacia robinia prevails in the forest belts in Rostov region (basin of the Kundryuchya river, ordinary chernozems). By the age of 35, this species can reach an average height of 12 m, an average diameter of 12 cm. Regression equations for the relationship of the runoff coefficients with the average height of Robinia pseudoacacia and its average diameter, wood reserves of forest belts and cross-sectional areas of trunks were obtained. These taxation characteristics determine the precipitation absorption intensity through the tree waste bulk and forest floor, root saturation, water-physical and chemical properties of the topsoil, which change with the age of plantings. When the age of 20 years is exceeded, the forest belts will completely absorb high intensity rainfall. At this age, the Robinia pseudoacacia will exceed the average height of 9.4 m, and its average trunk diameter will approach 10 cm. At the same time, the stock of raw wood in the forest belt will reach 57 m³/ha, and the cross-sectional area of the trunks – 11 m²/ha. The functional relationship between soil erosion and runoff coefficients confirms the close relationship between soil erosion and the main taxation characteristics of forest belts. The analysis of these relationships showed that storm erosion of soil under the forest canopy is completely absent when the taxation indicators reach the following values: the average Robinia height is 9 m, the average trunk diameter is 9.2 cm, the stock of wood is 46 m³/ha, the cross-sectional area of the trunks is 10.2 m²/ha. **Conclusions.** By the age of the forest belts 20 years, the runoff under the forest canopy will be completely regulated, and there will be no soil erosion. Forest belts older 20 years need to enhance their flow-regulating capacity by combining them along the lower edge with the simplest hydraulic structures.

Keywords: forest belt, agroforestry, taxation characteristics, storm runoff, soil erosion

Введение. В обзорной статье по эрозии почв в Средиземноморском регионе [1] особо выделены вопросы влияния эрозии на продуктивность почв и влияния растительного покрова на эрозию (корни растений и борьба с эрозией).

В восточных лесах США норма эрозии почв составляет 0,05–0,10 тонны акров в год, что меньше геологической нормы (0,18–0,30). При этом максимально допустимый смыв почвы для пашни изменяется от 1 до 5 тонн акров в год [2].

В Бразилии при создании эвкалиптовых культур оценены потери почв при водной эрозии, которые уменьшаются с увеличением возраста растений [3].

В степях России основным средством защиты почв от эрозии на пашне служат стокорегулирующие лесные полосы, предназначенные для регулирования поверхностного стока талых и ливневых вод, уменьшения смыва и размыва почвы, равномерного снегораспределения на прилегающих полях, улучшения микроклимата, повышения влажности почвы и др.

Усиленное поглощение под пологом стокорегулирующей лесной полосы подтекающей с поля воды происходит благодаря повышенной инфильтрационной способности почвы, уменьшению глубины промерзания почв и стока талых вод [4–6]. Стокорегулирующая роль лесной полосы усиливается, когда ее сочетают по нижней (стокозащищенной) опушке или в нижнем междурядье с простейшим гидротехническим сооружением – валом или валом-канавой [7, 8].

В Евросоюзе для борьбы с эрозией используют древесные посадки и простейшие инженерные устройства [9, 10].

Известно, что стокорегулирующая роль лесных полос связана с содержанием гумуса, водно-физическими и другими свойствами верхнего слоя почв на полевых участках, прилегающих к лесной полосе и под ее пологом [11]. Эти показатели играют основную роль в поглощении (впитывании) воды и снижении стока талых и дождевых вод.

Однако отсутствуют данные исследований, связывающие стокорегулирующую роль лесных полос с их таксационными показателями: средней высотой и средним диаметром пород, запасами древесины и площадями поперечного сечения стволов. Эти показатели являются косвенными, непосредственно не влияющими на поверхностный сток. Однако они наиболее полно представлены в материалах лесоустройства и инвентаризации защитных лесных насаждений и могут быть использованы для прогноза стока.

Материалы и методы. Исследования вели в лесных полосах Усть-Донецкого административного района Ростовской области (Доно-Донецкий лесомелиоративный район, бассейн р. Кундрючья). Лесомелиоративный район в соответствии с геоботаническим районированием относится к зоне типичных разнотравно-ковыльных степей на черноземах обыкновенных и южных смытых на покатых и крутых склонах. Этот район занимает 51 % площади сельскохозяйственных угодий Ростовской области и

52,6 % пашни. В составе лесных полос преобладает робиния ложноакациевая (*Robinia pseudoacacia* L.).

В таких лесных полосах (разного возраста) закладывали временные пробные площади с нахождением на каждой из них не менее 200 деревьев преобладающей породы. На пробных площадях (при сплошном перече) определяли состав, возраст, средний диаметр и высоту пород, количество стволов, площади их поперечных сечений и запас древесины.

Под пологом лесных полос, на пашне и целинном степном участке из слоя почв 0–20 см отбирали образцы с ненарушенным строением, которые упаковывали при помощи марли и жидкого парафина (воска) для транспортировки и хранения. В образцах определяли влажность почвы, гранулометрический и микроагрегатный состав, водопрочность агрегатов по Н. М. Бакшееву, количество гумуса, плотность твердой фазы почв. При этом использовали методики, изложенные в ГОСТ 12071-2014¹, а также в работах А. Ф. Вадюниной и др. [12], И. С. Кауричева и др. [13].

При исследованиях применяли мобильную исследовательскую капельно-струйную дождевальную установку с использованием площадок дождевания размером 1,43 × 0,70 м каждая. Принимали интенсивность дождевания 2 мм/мин при среднем диаметре капель 4 мм, что обеспечивало энергию среднего натурального ливня в регионе интенсивностью 0,7 мм/мин при среднем диаметре капли 2,9 мм. В США при изучении стока и эрозии в лесу используют маломасштабный стимулятор осадков [14].

Задавались слоем и интенсивностью осадков, определяя интенсивность впитывания осадков, слой стока, мутность сточной воды, эрозию почв и другие характеристики дождевания. Сток учитывали на водоприемном лотке (из листового железа) объемным способом. Необходимое давле-

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

ние воды в установке достигалось с помощью напорного бака и вентиля-регулятора с водомером.

Полученные данные обрабатывали с помощью компьютерных программ Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение. Характеристики слоя почв 0–20 см для района исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика слоя почв 0–20 см (плотность сложения изменяется в пределах 0,83–1,09 г/см³)

| Место отбора образца | Сумма фракций гранулометрического состава менее 0,01 мм, % | Водопрочность агрегатов по Бакшееву, % | Плотность твердой фазы, г/см ³ | Гумус, % |
|------------------------------|--|--|---|----------|
| Лесная полоса, возраст 5 лет | 52,42 | 54,08 | 2,54 | 2,63 |
| То же, возраст 28 лет | 55,28 | 57,18 | 2,58 | 3,46 |
| Целинный степной участок | 64,29 | 70,50 | 2,50 | 2,94 |
| Пашня | 46,96 | 47,00 | 2,53 | 3,85 |

Данные таблицы 1 показывают, что почвы района исследований характеризуются легкоглинистым гранулометрическим составом (пашня – тяжелосуглинистым). Целинный участок открытой степи характерен максимальным количеством водопрочных почвенных агрегатов, а пашня – минимальным. Отмечена тенденция возрастания молодого гумусоподобного вещества, водопрочности агрегатов с возрастом лесных полос.

Плотность твердой фазы почв по местам отбора образцов изменяется незначительно.

Исследования вели в лесных полосах разного возраста (таблица 2).

Лесные полосы, представленные таблицей 2, характеризуются плотной или ажурной конструкцией, шириной 15–18 м, междурядьями 1,5 м.

Анализ данных таблицы 2 позволил представить связь высоты (h , м) и диаметра ствола (d , см) робинии ложноакациевой с ее возрастом (n , лет):

$$h = 4,245 \cdot \ln(n) - 3,137 \text{ при } R^2 = 0,8916, \quad (1)$$

$$d = 4,171 \cdot \ln(n) - 2,726 \text{ при } R^2 = 0,8464. \quad (2)$$

Таблица 2 – Таксационная характеристика лесных полос

| № пробы | Состав | Порода | Возраст, лет | Среднее | | Количество стволов, шт./га | Запас, м ³ /га | Площадь сечения, м ² /га |
|---------|---|--------|--------------|-----------|-------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| | | | | высота, м | диаметр, см | | | |
| 52 | 9РБ1Б (п) | РБ | 5 | 3,8 | 2,6 | 1763 | 2,6 | 0,9 |
| | | Б (п) | 5 | 2,3 | 1,4 | 146 | 0,04 | 0,02 |
| Итого | | | | | | 1909 | 2,64 | 0,92 |
| 13 | 10РБ | РБ | 11 | 5,4 | 8,0 | 2033 | 34,2 | 10,17 |
| 16 | 10РБ, п/лесок Св | РБ | 11 | 8,3 | 8,9 | 1400 | 39,2 | 8,81 |
| | | Св | | 2,0 | | 622 | | |
| Итого | | | | | | 2022 | 39,2 | 8,81 |
| 15 | 10РБ, ед. Аб (о), п/лесок Лх (у), Св | РБ | 17 | 9,1 | 9,3 | 1440 | 44,2 | 9,09 |
| | | Аб (о) | 17 | 6,0 | 5,8 | 127 | 1,2 | 1,35 |
| | | Лх (у) | | | | 115 | | |
| | | Св | | | | 121 | | |
| Итого | | | | | | 1763 | 45,4 | 11,04 |
| 14 | 8РБ2Шк (б), п/лесок Ак (ж) | РБ | 31 | 11,3 | 10,5 | 1056 | 52,5 | 9,13 |
| | | Шк (б) | 31 | 5,6 | 7,0 | 583 | 12,8 | 1,69 |
| | | Ак (ж) | | 3,5 | | 309 | | |
| Итого | | | | | | 2528 | 65,3 | 10,82 |
| 32 | 10РБ, п/лесок Кл (т) | РБ | 21 | 10,0 | 9,9 | 1768 | 71,0 | 13,58 |
| | | Кл (т) | 21 | 2,0 | | 1023 | | |
| Итого | | | | | | 2791 | 71,0 | 13,58 |

Примечание – РБ – робиния ложноакациевая; Б (п) – береза повислая; Аб (о) – абрикос обыкновенный; Шк (б) – шелковица белая; Кл (т) – клен татарский; Лх (у) – лох узколистный; Св – свидина кроваво-красная; Ак (ж) – акация желтая.

Уравнения (1), (2) представлены логарифмическими зависимостями. Нижний предел их применения составляет возраст робинии ложноакациевой 3 года ($h = 1,5$ м; $d = 1,8$ см).

Графические решения этих уравнений (рисунки 1, 2) показывают, что к возрасту робинии ложноакациевой 35 лет ее средняя высота достигает 12 м, средний диаметр – 12 см, а к возрасту возобновительной спелости (70 лет) – соответственно 14,5 м и 15 см.

Рассмотрим, каким образом изменяются показатели ливневого стока и эрозии почв под пологом лесных полос разного возраста (таблица 3).

В контрольном варианте (черный пар) сток начался через 5 мин 37 с после начала дождя, когда под ударами дождевых капель поверхность пашни заплывала и микрорельеф выравнился. Руслу ручейков сливались друг с другом у водоприемного лотка стоковой площадки. Высокая мутность

воды наблюдалась с течение всего периода стока. После прекращения дождя время добегаания воды составило 27 с. Сток равнялся 41,6 мм, модуль стока взвешенных наносов – 60,92 т/га.

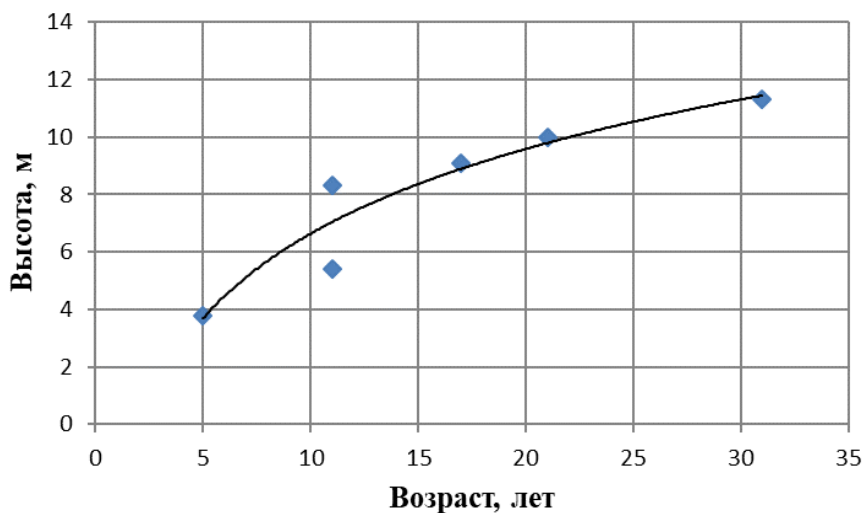


Рисунок 1 – Связь высоты робинии с возрастом

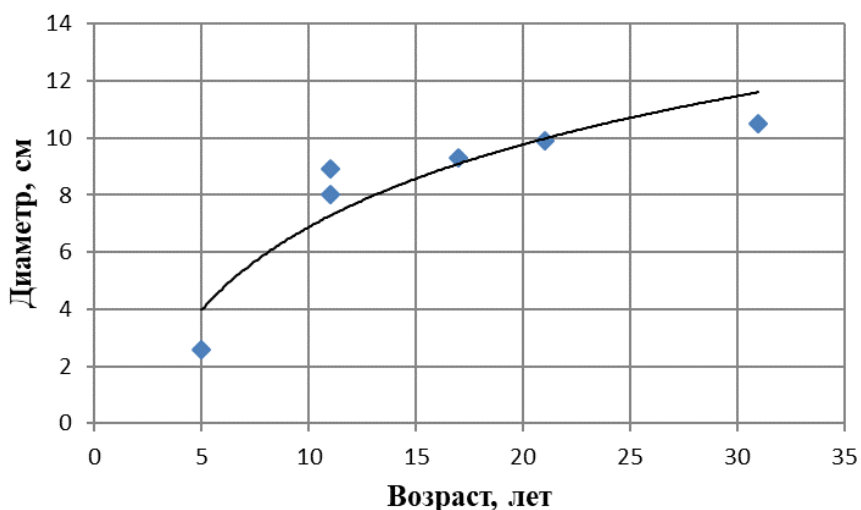


Рисунок 2 – Связь диаметра ствола робинии с возрастом

**Таблица 3 – Показатели искусственного дождевания почв
 (слой дождя 80 мм, интенсивность дождя
 2 мм/мин, крутизна склона 1,5–2,0°)**

| № пробы | Вариант | Влажность слоя почвы 0–20 см, % | Слой, мм | | Коэффициент стока | Средняя мутность стока, г/л | Модуль стока взвешенных наносов, т/га |
|---------|-----------------------|---------------------------------|----------|---------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| | | | стока | ин-фильтрации | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 52 | Лесная полоса, 5 лет | 16,68 | 40,5 | 39,5 | 0,506 | 141,38 | 57,25 |
| 13 | То же, возраст 11 лет | 8,25 | 12,5 | 67,5 | 0,156 | 0,56 | 0,07 |
| 16 | То же | 20,06 | 0,9 | 79,1 | 0,011 | 0,24 | 0,002 |

Продолжение таблицы 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----|-----------------------|-------|------|------|-------|--------|-------|
| 15 | То же, возраст 17 лет | 14,82 | 0,2 | 79,8 | 0,002 | 0 | 0 |
| 14 | Лесная полоса, 31 год | 10,56 | 0 | 80 | 0 | 0 | 0 |
| | Пашня (контроль) | 20,68 | 41,6 | 38,4 | 0,520 | 146,44 | 60,92 |

В междурядье несомкнувшейся лесной полосы возрастом 5 лет (проба 52, опад и травы отсутствуют ввиду продолжающихся уходов за почвой) сток на водосливе появился через 3 мин 50 с после начала дождя. Мутность воды в течение стока практически не отличалась от мутности в контрольном варианте. Время добегаания воды равнялось 31 с, слой стока – 40,5 мм, эрозия почв – 57,25 т/га.

В пробе 13 под пологом лесной полосы возрастом 11 лет (редкие травы в междурядьях, лесная подстилка – в приствольных кругах) струйчатый сток на водосливе появился после 8-й минуты дождевания, время добегаания воды составило 59 с, сток 12,5 мм, эрозия почв – 0,07 т/га. В пробе 16 (возраст лесной полосы 11 лет, масса лесной подстилки около 6 т/га) капельный сток на водосливе появился через 24 мин 55 с, ручейковый сток – через 38 мин 5 с после начала дождя. Время добегаания стока после прекращения дождя равнялось 23 с, сток был равен 0,9 мм, эрозия – 0,002 т/га. Проба 15 (возраст лесной полосы 17 лет, масса лесной подстилки около 8 т/га) характеризовалась появлением капельного стока через 36 мин 45 с, а ручейкового – через 38 мин 30 с. Добегаания стока не зафиксировано. Слой стока составил всего 0,2 мм, эрозия не наблюдалась. В лесной полосе возрастом 31 год (проба 14) воздушно-сухая масса лесной подстилки составляла около 13 т/га, а сток при дождевании полностью отсутствовал.

При обработке данных эксперимента получили логарифмическую зависимость коэффициентов стока (σ) от средней высоты робинии ложноакациевой (h , м):

$$\sigma = -0,46 \cdot \ln(h) + 1,0333 \text{ при } R^2 = 0,8563. \quad (3)$$

Графическое решение зависимости (3) приведено на рисунке 3.

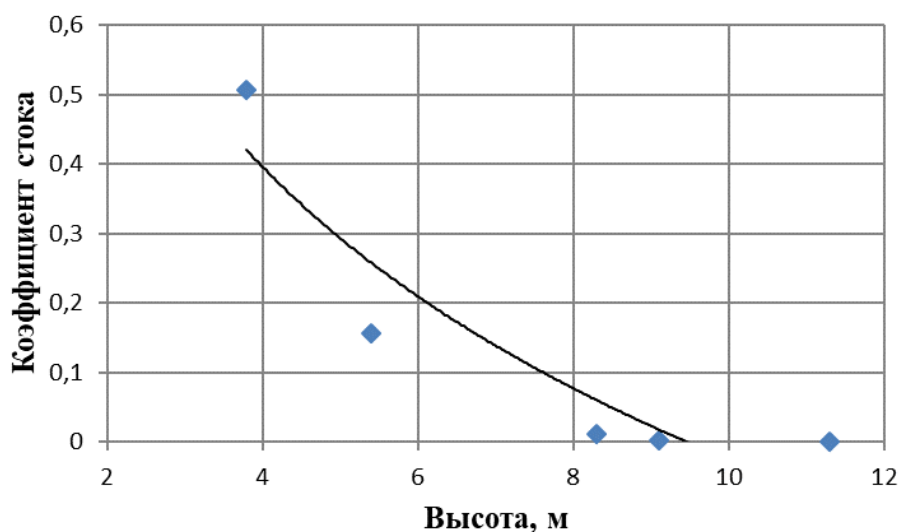


Рисунок 3 – Связь коэффициентов стока со средней высотой робинии

Анализ зависимости (3) и данных рисунка 3 позволяет утверждать, что лесная полоса практически полностью поглощает сток при превышении робинией средней высоты 9,4 м.

Зависимость между коэффициентами стока и диаметрами стволов (d , см) представлена рисунком 4 и логарифмическим равенством с высокой теснотой связи:

$$\sigma = -0,374 \cdot \ln(d) + 0,8691 \text{ при } R^2 = 0,9628. \quad (4)$$

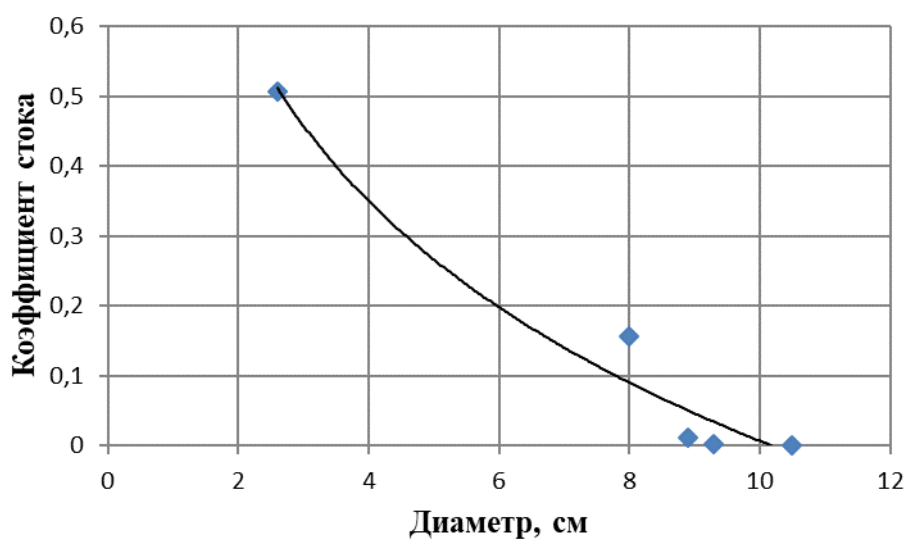


Рисунок 4 – Связь коэффициентов стока со средним диаметром ствола робинии

Анализ данных рисунка 4 и соотношения (4) показывает, что ливневый сток полностью регулируется лесной полосой, у которой средний диаметр ствола робинии ≥ 10 см.

Важнейшей таксационной характеристикой лесных полос, которая может определять их стокорегулирующую способность, является запас сырой древесины. Связь между коэффициентами стока и запасами исследуемых лесных полос (θ , м³/га) определяется логарифмической зависимостью:

$$\sigma = -0,165 \cdot \ln(\theta) + 0,6675 \text{ при } R^2 = 0,95. \quad (5)$$

В графическом виде соотношение (5) представлено на рисунке 5.

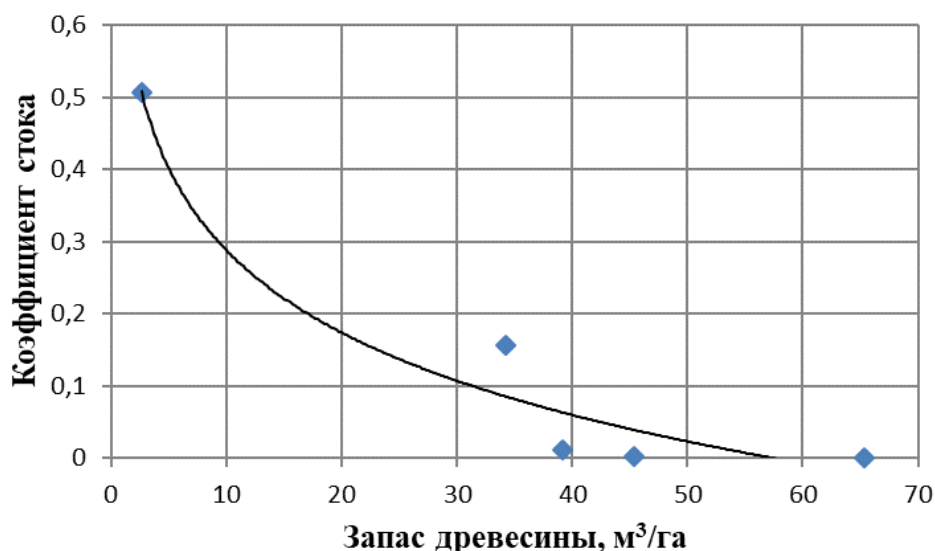


Рисунок 5 – Связь коэффициентов стока с запасом сырой древесины лесной полосы

Анализируя уравнение (5) и данные рисунка 5, полагаем, что лесная полоса с запасом древесины ≥ 57 м³/га будет полностью поглощать сток при заданных параметрах дождя.

Стокорегулирующую способность лесных полос могут определять их площади поперечных сечений стволов (S , м²/га). Это иллюстрирует линейная зависимость:

$$\sigma = -0,0481 \cdot S + 0,5368 \text{ при } R^2 = 0,8806. \quad (6)$$

Графическое решение зависимости (6) приведено на рисунке 6.

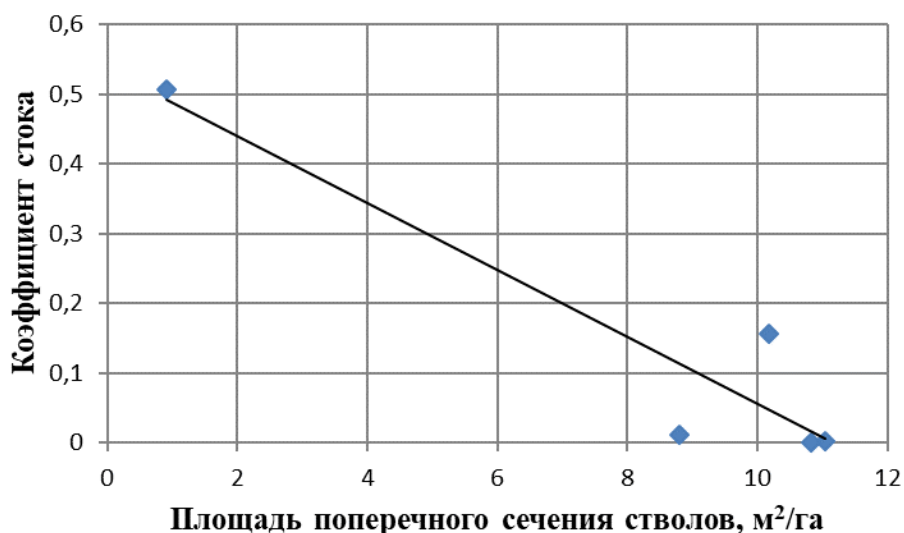


Рисунок 6 – Связь коэффициентов стока с площадями поперечного сечения стволов лесных полос

Анализ уравнения (6) и данных рисунка 6 показывает, что полное регулирование ливневого стока может происходить в лесной полосе, у которой площадь поперечного сечения стволов будет превышать 11 м²/га.

Таким образом, стокорегулирующая способность лесных полос зависит от тех таксационных характеристик, которые определяют интенсивность впитывания осадков через массу опада и лесной подстилки, корневую насыщенность, водно-физические и химические характеристики верхних слоев почв и другие показатели, связанные с возрастом насаждений.

Это представлено логарифмической зависимостью коэффициентов стока от возраста лесных полос (n , лет):

$$\sigma = -0,274 \cdot \ln(n) + 0,8287 \text{ при } R^2 = 0,7086. \quad (7)$$

Графическое решение соотношения (7) показывает, что лесные полосы из робинии старше 20 лет будут полностью впитывать ливневые осадки высокой интенсивности (рисунок 7).

К этому возрасту робиния ложноакациевая в лесных полосах превысит высоту 9,4 м, а диаметр ствола приблизится к значению 10 см (см. рисунки 1 и 2). При этом запас сырой древесины достигнет 57 м³/га, а площадь поперечного сечения стволов 11 м²/га.

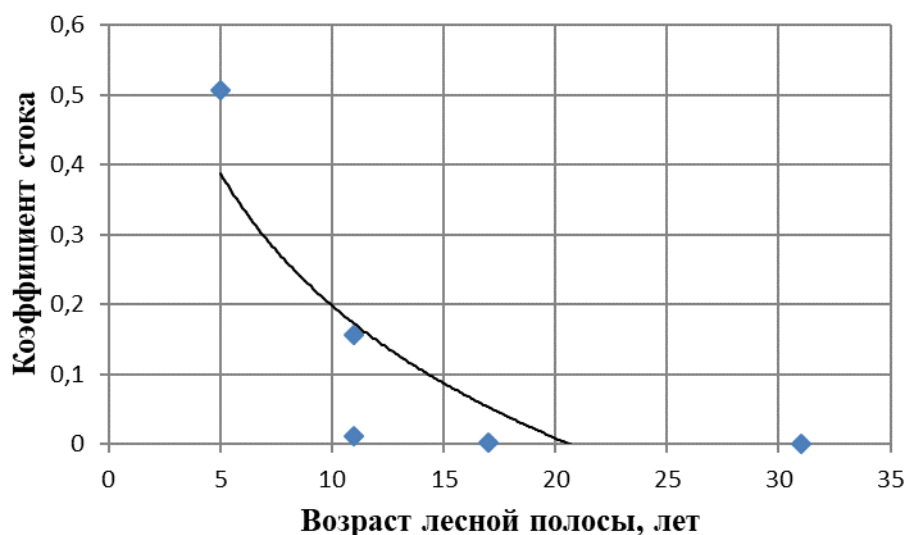


Рисунок 7 – Связь коэффициентов стока с возрастом лесных полос

Поверхностный сток под пологом лесных полос функционально связан с эрозией почв (ω , т/га):

$$\omega = 647,6 \cdot \sigma^3 - 106,74 \cdot \sigma^2 + 1,347 \cdot \sigma - 0,001 \text{ при } R^2 = 1. \quad (8)$$

Уравнение (8) представляет собой функцию в виде полинома третьего порядка (рисунок 8).

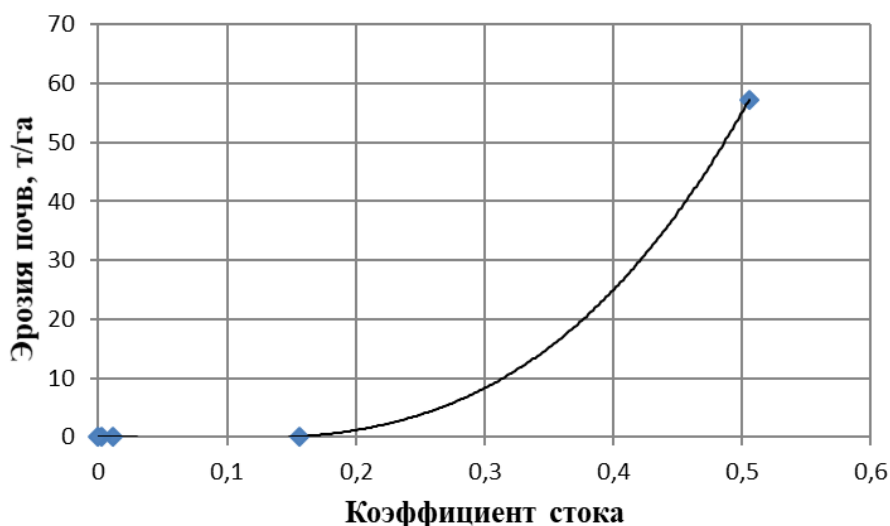


Рисунок 8 – Связь эрозии почв с коэффициентами стока

Функциональная связь эрозии почв с коэффициентами стока указывает на существующие связи эрозии почв с основными таксационными характеристиками лесных полос, в составе которых преобладает робиния ложноакациевая:

- средняя высота: $\omega = -46,21 \cdot \ln(h) + 101,77$ при $R^2 = 0,6255$; (9)

- средний диаметр: $\omega = -44,24 \cdot \ln(d) + 98,187$ при $R^2 = 0,9711$; (10)

- запас древесины: $\omega = -19,53 \cdot \ln(\theta) + 74,608$ при $R^2 = 0,9652$; (11)

- площади сечений: $\omega = -23,66 \cdot \ln(S) + 54,97$ при $R^2 = 0,9933$. (12)

Анализ логарифмических уравнений (9)–(12) показывает, что ливневая эрозия почв под лесным пологом полностью отсутствует при достижении таксационными показателями следующих величин: средняя высота робинии 9 м, средний диаметр ее ствола 9,2 см, запас древесины лесной полосы 46 м³/га, площадь поперечного сечения ее стволов 10,2 м²/га.

Таким образом, лесные полосы возрастом ≥ 20 лет, приобретая определенные таксационные характеристики, полностью впитывают подтекающие ливневые осадки высокой интенсивности и предотвращают эрозию почв под своим пологом. Лесные полосы младше 20 лет нуждаются в усилении стокорегулирующей способности путем сочетания их по нижней опушке с простейшими гидротехническими сооружениями.

Выводы. Район исследований (Ростовская область, бассейн р. Кунд-рючья, черноземы обыкновенные) характеризуется лесными полосами, в составе которых преобладает робиния ложноакациевая. К возрасту 35 лет средняя высота этой породы может достигать 12 м, средний диаметр – 12 см, а к возрасту возобновительной спелости (70 лет) – соответственно 14,5 м и 15 см. С возрастом в верхнем слое почв лесных полос отмечена тенденция возрастания количества молодого гумусоподобного вещества и водопрочности агрегатов.

При высокой интенсивности ливней стокорегулирующая способность лесных полос определяется их таксационными показателями (средние высота и диаметр главной породы, запас древесины и площадь поперечного сечения стволов). Эти показатели, изменяясь с возрастом насаждений, косвенным образом влияют на интенсивность впитывания осадков и поверх-

ностный сток через накопление массы опада и лесной подстилки, корнеленность, водно-физические и химические свойства верхнего слоя почвы. Такие косвенные показатели наиболее полно представлены в материалах лесоустройства и инвентаризации защитных лесных насаждений и могут быть использованы для прогноза их стокорегулирующей роли.

К возрасту лесных полос из робинии ложноакациевой 20 лет сток под лесным пологом будет полностью регулироваться, а эрозия почв отсутствовать. Лесные полосы возрастом < 20 лет нуждаются в усилении своей стокорегулирующей способности путем сочетания их по нижней опушке с простейшими гидротехническими сооружениями.

В исследованиях принимала участие Л. В. Власова.

Список использованных источников

1 Zuazo, V. H. D. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review / V. H. D. Zuazo, C. R. R. Pleguezuelo // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2008. – Vol. 28(1). – P. 65–86. – DOI: 10.1051/agro:2007062.

2 Patric, J. H. Soil erosion in the eastern forest / J. H. Patric // *Journal of Forestry*. – 1976. – Vol. 74, iss. 10. – P. 671–677. – DOI: 10.1093/JOF/74.10.671.

3 Water erosion in soils under eucalyptus forest as affected by development stages and management systems / A. H. Oliveira, M. L. N. Silva, N. Curi, J. C. Avanzi, G. Klinke Neto, E. F. Araújo // *Ciênc. Agrotec.* – 2013, Mar./Apr. – Vol. 37, № 2. – DOI: 10.1590/S1413-70542013000200007.

4 Барабанов, А. Т. Роль стокорегулирующих лесополос в регулировании снегоотложения и промерзания почв в европейской части РФ / А. Т. Барабанов, А. В. Кулик // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. – 2017. – № 2(46). – С. 85–89.

5 Петелько, А. И. Влияние стокорегулирующей лесной полосы комбинированной конструкции с низкорослым кустарником на эрозионно-гидрологические процессы / А. И. Петелько, А. В. Выпова // *Земледелие*. – 2019. – № 5. – С. 3–7. – DOI: 10.24411/0044-39132019-10501.

6 Противозерозионная 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.

7 Ивонин, В. М. Лесомелиорация ландшафтов. Лесные насаждения для улучшения функционирования, сохранения и рекультивации природно-антропогенных ландшафтов: учебник / В. М. Ивонин. – Новочеркасск: Лик, 2018. – 206 с.

8 Полуэктов, Е. В. Мониторинг биоинженерного сооружения по регулированию стока талых вод / Е. В. Полуэктов, Ж. В. Рощина // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]*. – 2020. – № 2(38). – С. 56–70. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=660&id=664>. – DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-56-70.

9 Florineth, F. Pflanzen statt Beton: Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik / F. Florineth. – Verlag: Patzer, 2004. – 272 s.

10 Hacker, E. Ingenieurbiologie / E. Hacker, R. Johannsen. – Stuttgart (Hohenheim): Ulmer, 2012. – 383 s.

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

12 Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

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

14 Zemke, J. J. Runoff and soil erosion assessment on forest roads using a small scale rainfall simulator / J. J. Zemke // Hydrology. – 2016. – 3(3). – 25. – DOI: 10.3390/hydrology3030025.

References

1 Zuazo V.H.D., Pleguezuelo C.R.R., 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 28(1), pp. 65-86, DOI: 10.1051/agro:2007062.

2 Patric J.H., 1976. Soil erosion in the eastern forest. *Journal of Forestry*, vol. 74, iss. 10, pp. 671-677, DOI: 10.1093/JOF/74.10.671.

3 Oliveira A.H., Silva M.L.N., Curi N., Avanzi J.C., Klinke Neto G., Araújo E.F., 2013. Water erosion in soils under eucalyptus forest as affected by development stages and management systems. *Ciênc. Agrotec., Mar./Apr.*, vol. 37, no. 2, DOI: 10.1590/S1413-70542013000200007.

4 Barabanov A.T., Kulik A.V., 2017. *Rol' stokoreguliruyushchikh lesopolos v regulirovaniy snegootlozheniya i promerzaniya pochv v evropeyskoy chasti RF* [Effect of flow-regulating forest belts in regulation of snow deposition and soils freezing in the European part of the Russian Federation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. of Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 2(46), pp. 85-89. (In Russian).

5 Petelko A.I., Vypova A.V., 2019. *Vliyanie stokoreguliruyushchey lesnoy polosy kombinirovannoy konstruksii s nizkoroslym kustarnikom na erozionno-gidrologicheskie protsessy* [Influence of a flow-regulating forest belt on a combined structure with Dwarf Shrubbery on erosion-hydrological processes]. *Zemledelie* [Agriculture], no. 5, pp. 3-7, DOI: 10.24411/0044-39132019-10501. (In Russian).

6 Proezdov P.N., Mashtakov D.A., Rozanov A.V., Udalova O.G., 2014. *Pro-tivoerozionnaya i ekonomicheskaya effektivnost' lesnykh polos i shchelevaniya na past-bishchakh v stepi Privolzhskoy vozvyshennosti* [Anti-erosion and economic efficiency of forest belts and crevices on pastures in the steppe of the Volga Uplands]. *Niva Povolzh'ya* [Niva Povolzh'ya], no. 3(32), pp. 36-43. (In Russian).

7 Ivonin V.M., 2018. *Lesomelioratsiya landshaftov. Lesnye nasazhdeniya dlya uluchsheniya funktsionirovaniya, sokhraneniya i rekul'tivatsii prirodno-antropogennykh landshaftov: uchebnyk* [Forest Reclamation of Landscapes. Forest Plantations to Improve the Functioning, Preservation and Reclamation of Natural-Anthropogenic Landscapes: textbook]. NovoCherkassk, Lik Publ., 206 p. (In Russian).

8 Poluektov E.V., Roshchina Zh.V., 2020. [Bioengineering structure monitoring for regulating snowmelt runoff]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(38), pp. 56-70, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=660&id=664>, DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-56-70. (In Russian).

9 Florineth F., 2004. Pflanzen statt Beton: Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik. Verlag, Patzer, 272 p. (In German).

10 Hacker E., Johannsen R., 2012. Ingenieurbiologie. Stuttgart (Hohenheim), Ulmer, 383 p. (In German).

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

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

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

14 Zemke J.J., 2016. Runoff and soil erosion assessment on forest roads using a small scale rainfall simulator. *Hydrology*, 3(3), 25, DOI: 10.3390/hydrology3030025.

Ивонин Владимир Михайлович

Ученая степень: доктор сельскохозяйственных наук

Ученое звание: профессор

Должность: профессор

Место работы: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет»

Адрес организации: ул. Пушкинская, 111, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346428

E-mail: Ivoninforest@yandex.ru

Ivonin Vladimir Mikhaylovich

Degree: Doctor of Agricultural Sciences

Title: Professor

Position: Professor

Affiliation: Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University

Affiliation address: st. Pushkinskaya, 111, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346428

E-mail: Ivoninforest@yandex.ru

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 12.10.2020; одобрена после рецензирования 14.12.2020; принята к публикации 25.12.2020.

The article was submitted 12.10.2020; approved after reviewing 14.12.2020; accepted for publication 25.12.2020.