

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.459.2:631.445.4

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-29-43

Ливневая эрозия на обыкновенных черноземах

Евгений Валерьянович Полуэктов¹, Георгий Трифонович Балакай²,
Александр Павлович Тищенко³

¹Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск,
Российская Федерация

²Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

³Крымский филиал Российского научно-исследовательского института проблем
мелиорации, Симферополь, Российская Федерация

¹rekngma@magnet.ru

²balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

³simvfiliat@mail.ru

Аннотация. Цель: установить величину смыва почвы в зависимости от интенсивности ливней под различными сельскохозяйственными культурами и агрофонами, в т. ч. при применении почвозащитных приемов и мероприятий. **Материалы и методы:** закладка полевых опытов на склонах с различными сельскохозяйственными культурами и чистым паром, искусственное дождевание, учет смыва почвы методом замера водоростков, визуальные и инструментальные наблюдения за величиной проективного покрытия поверхности почвы растениями. Изучение водно-физических свойств почв по общепринятым методикам. **Результаты.** По результатам натурных наблюдений с 1973 по 2021 г. и искусственного дождевания в опытах установлена зависимость величины смыва почвы на чистом пару и в посевах сельскохозяйственных культур от интенсивности дождя. Осуществлена группировка сельхозкультур по противоэрозионной устойчивости, выведены поправочные коэффициенты на смыв почвы в зависимости от степени проективного покрытия почвы растениями. Выявлено, за счет каких факторов осуществляется защита почв от смыва при контурно-полосном размещении чистого пара и пропашных с культурами сплошного сева. **Выводы.** Масса смытой почвы от эрозии при ливневых дождях достигает 65,5 т/га на парах, 38,6 т/га на пропашных культурах и 0,3–2,4 т/га на многолетних травах, зависит от уклона поверхности, величины проективного покрытия почвы растениями, применяемых почвозащитных приемов, агротехнических мероприятий и агрофонов, создания нанорельефа на поверхности чистого пара и в междурядьях пропашных культур.

Ключевые слова: смыв почвы, интенсивность ливня, проективное покрытие почвы растениями, контурно-полосное размещение культур и агрофонов, нанорельеф

Для цитирования: Полуэктов Е. В., Балакай Г. Т., Тищенко А. П. Ливневая эрозия на обыкновенных черноземах // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 3. С. 29–43. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-29-43>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Storm erosion on ordinary chernozem



Evgeniy V. Poluektov¹, Georgiy T. Balakay², Alexander P. Tishchenko³

¹Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

²Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

³Crimean Branch of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Simferopol, Russian Federation

¹rekngma@magnet.ru

²balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

³simvfilial@mail.ru

Abstract. Purpose: to determine the amount of soil loss depending on rainfall intensity under various crops and agricultural backgrounds, including applying soil protection methods and measures. **Materials and methods:** field experiments on slopes with various agricultural crops and bare fallow, artificial sprinkling, considering soil loss by measuring ravines, visual and instrumental observations for the amount of soil projective cover by plants. Study of the water-physical properties of soils according to generally accepted methods. **Results.** According to the results of field observations from 1973 to 2021 and artificial sprinkling in the experiments, the dependence of the amount of soil loss on bare fallow and in crops on rain intensity was established. A grouping of agricultural crops according to erosion resistance was fulfilled, correction factors for soil loss were derived depending on the degree of projective soil cover by plants. It was revealed, due to which factors the soil protection from washout is carried out with the contour-strip cropping of bare fallow and row crops with continuous seeding crops. **Conclusions.** The bulk of washed-out soil from erosion during rain showers reaches 65.5 t/ha on fallows, 38.6 t/ha on row crops and 0.3–2.4 t/ha on perennial grasses, depending on the surface slope, the value of projective soil cover by plants, applied soil protection methods, agrotechnical measures and agricultural backgrounds, creation of a nanorelief on the surface of bare fallow and inter row-spacing row crops.

Keywords: soil loss, rainfall intensity, projective soil cover by plants, contour-strip placement of crops and agrob backgrounds, nanorelief

For citation: Poluektov E. V., Balakay G. T., Tishchenko A. P. Storm erosion on ordinary chernozem. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(3):29–43. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-29-43>.

Введение. Защита от ливневой эрозии реализуется на принципах и условиях, отличающихся от борьбы с эрозией, вызываемой талыми водами [1, 2]. Несмотря на то, что почва в период выпадения интенсивных дождей обладает высокой водопроницаемостью, сток ливневых вод возникает из-за высокой интенсивности ливней и воздействия удара капель о поверхность почвы [3]. Чем больше масса и скорость дождевой капли, тем больше ее кинетическая энергия и тем большие эрозионные разрушения она причиняет почве [4].

Согласно исследованиям, проведенным учеными в ливнеопасных регионах нашей страны, на эрозию почвы большое влияние оказывают вод-

но-физические и агрофизические свойства [5, 6], почвозащитные мероприятия [7] и состояние почвы [8], мелиоративные защитные лесные насаждения [9], биологические особенности сельскохозяйственных культур [10–12], условия увлажнения почвы, проективное покрытие ее поверхности растениями [13, 14] и др.

Наши исследования и анализ литературных источников показывают, что масса смытой почвы заметно снижается на почвах с высокой водопроницаемостью; при величине проективного покрытия (Пп) от 30 до 45 % смыв был минимальным и отсутствовал вообще, когда проективное покрытие поверхности почвы составляло 80 % и более, как, например, у многолетних трав. Для ослабления процессов эрозии применяются различные агротехнические мероприятия: контурно-полосное размещение культур и агрофонов, создание нанорельефа на поверхности чистого пара и в междурядьях пропашных культур, направленные на удержание воды на поверхности почв и инфильтрацию ее в почву. В статье авторы ставили задачи провести анализ многолетних полевых исследований и получить уравнения и зависимости величины смыва почвы от интенсивности ливней под различными сельскохозяйственными культурами и агрофонами, от водопроницаемости почвы, величины проективного покрытия, применения почвозащитных приемов и мероприятий.

Цель исследований – установить величину смыва почвы в зависимости от интенсивности ливней под различными сельскохозяйственными культурами и агрофонами, в т. ч. при применении почвозащитных приемов и мероприятий.

Материалы и методы. Закладка полевых опытов по изучению стока дождевых вод осуществлялась на стационарном участке п. Рассвет Ростовской области на черноземах обыкновенных в посевах различных сельскохозяйственных культур и на чистом пару в период 1973–2021 гг. Различная интенсивность искусственного дождевания осуществлялась устройством,

разработанным в ФГБНУ «РосНИИПМ», для учета дождевой воды использовались мерные сосуды этого же института. Масса смытой почвы в зависимости от интенсивности дождя определялась на стоковых площадках, а на полях – методом замера водоросин [4, 5]. Величину проективного покрытия поверхности почвы растениями определяли инструментальными и визуальными методами. Изучение водно-физических свойств почв осуществлялось по общепринятым методикам.

Результаты и обсуждение. Реальная водопроницаемость почвы определяется особенностью микрорельефа, степенью рыхлости поверхностного слоя, величиной проективного покрытия поверхности почвы растительным покровом или мульчей. Все эти показатели обеспечивают увеличение площади контакта почвы с водой, а растительный покров и мульча предохраняют структуру почвы от разрушения каплями дождя, замедляют скорость водных потоков. В результате увеличивается реальное время поглощения выпавших осадков. Наблюдения показали, что в наибольшей степени процессам эрозии подвержены почвы под чистым паром и пропашными культурами, т. е. там, где растительность отсутствует или находится в минимуме. На основании натурных исследований и искусственного дождевания на участках со склонами от 3 до 5° установлена зависимость величины смыва почвы на чистых парах ($Y_{чп}$), под различными сельскохозяйственными культурами (пропашными – $Y_{пр}$, зерновыми колосовыми – $Y_{зк}$, многолетними травами – $Y_{мн}$) от интенсивности дождя. Уравнения взаимосвязи приведены на рисунке 1.

Как видно из данных рисунка 1, на чистом пару ($Y_{чп}$) интенсивность смыва почвы заметно возрастала (в 2,9–5,9 раза) при увеличении интенсивности ливней с 0,5 до 1,5 мм/мин и максимальные потери почвы до 65,5 т/га имели место при интенсивности ливней 2,5 мм/мин. В отличие от чистого пара, на посевах сельскохозяйственных культур величина смыва почвы во многом зависела от проективного покрытия поверхности почвы расте-

ниями. Даже при интенсивности ливня до 2,5 мм/мин смыв почвы на посевах пропашных культур ($Y_{\text{ПР}}$) был в 1,7 раза, зерновых колосовых ($Y_{\text{ЗК}}$) в 2,7 раза и многолетних трав ($Y_{\text{МН}}$) в 27 раз меньше, чем на чистом пару. Все зависело от величины проективного покрытия почвы растениями.

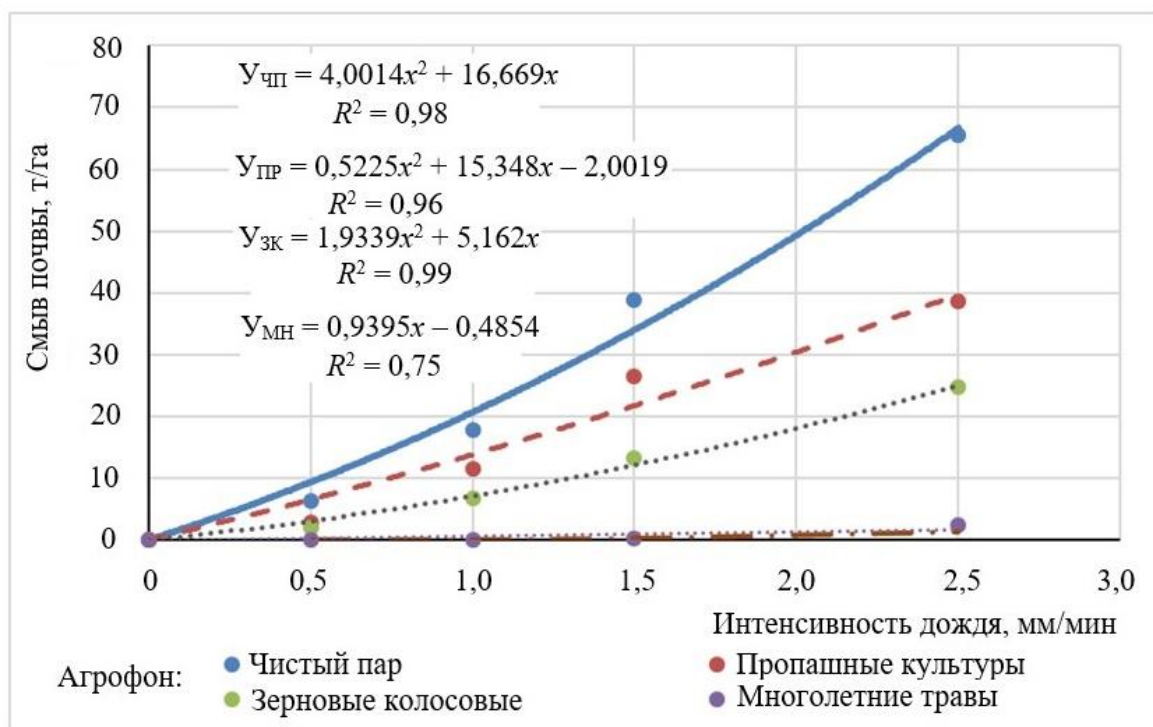


Рисунок 1 – Зависимость смыва почвы от интенсивности дождя и агрофона на склонах 3–5° (2009–2021 гг.)

Figure 1 – Dependence of soil loss on rainfall intensity and agricultural background on slopes 3–5° (2009–2021)

На основании многолетних наблюдений на черноземах обыкновенных разработан понижающий коэффициент эрозии ($K_{\text{пон.}}$) для изучаемых сельскохозяйственных культур. Культуры были сгруппированы по срокам вегетации с минимальными и максимальными величинами проективного покрытия ($Пп$) поверхности почвы культурой. Было установлено, что чем выше проективное покрытие, тем выше показатель противоэрозионной устойчивости культуры ($Эу.к.$) по сравнению с паром, коэффициент устойчивости которого принят равным 1,0 (таблица 1).

Ожидаемую массу смыва почвы от эрозии, например для многолетних трав ($Эу.к.$ для мн. тр.), можно определить, зная понижающий коэф-

фициент эрозии (Кпон. для мн. тр.) и массу смытой почвы на парах (Мс.п., например, Мс.п. = 65,5 т/га (см. рисунок 1)), по уравнению:

$$\text{Эу.к. для мн. тр.} = \text{Кпон. мн. тр.} \cdot \text{Мс.п.} = 0,05 \cdot 65,5 = 3,28 \text{ т/га.}$$

Таблица 1 – Группировка агрофонов и сельскохозяйственных культур по их противозерозионной устойчивости к смыву почвы, 1973–2021 гг.

Table 1 – Classification of agricultural backgrounds and agricultural crops according to their anti-erosion resistance to soil loss, 1973–2021

Агрофон, сельскохозяйственная культура, Кпк	Период вегетации	Min проективного покрытия (месяц, %)	Мах Пп, месяц, %	Понижающий коэффициент эрозии (Кпон.)
Чистый пар (Кпар)	–	1,0	1,0	1,0
Подсолнечник, кукуруза (Кпроп.)	май – сентябрь	май – июнь, 5–30	июль – сентябрь, 40–70	0,70–0,80
Соя (широкорядный посев, 0,7 м) (Ксоя, проп.)	май – сентябрь	май – июнь, 5–35	июль – сентябрь, 50–80	0,70
Соя (рядовой посев, 0,15 м) (Ксоя ряд.)	май – сентябрь	май – июнь, 10–50	июль – сентябрь, 60–90	0,40–0,45
Яровые колосовые (Кяр. пш.)	апрель – июль	апрель – май, 10–40	июнь – июль, 50–80	0,50–0,60
Зернобобовые (Кз. боб.)	апрель – июль	апрель – май, 10–40	июнь – июль, 60–90	0,40–0,45
Озимые колосовые (Коз. пш.)	сентябрь – июль	сентябрь – апрель, 10–40	май – июль, 50–100	0,30–0,35
Многолетние травы (Кмн. тр.)	весь год	сентябрь – апрель, 20–30	май – август, 60–100	0,01–0,05

В практическом плане увеличение показателя проективного покрытия обеспечивает защиту почвы и снижение эрозии. Естественно, чем выше показатель проективного покрытия поверхности почвы культурой (Кмн. тр.) по сравнению с паром (Кпар.), тем надежнее почва защищена от эрозионных процессов за счет снижения коэффициента стока и смыва почвы. Нами установлена связь между проективным покрытием почвы у яровых колосовых, однолетних трав, пропашных культур и коэффициентом стока ливневых вод (рисунок 2). Взаимосвязь выражается уравнением вида:

$$Y = 0,004x^2 - 0,0092x + 05156,$$

с высоким коэффициентом аппроксимации $R^2 = 0,81$.

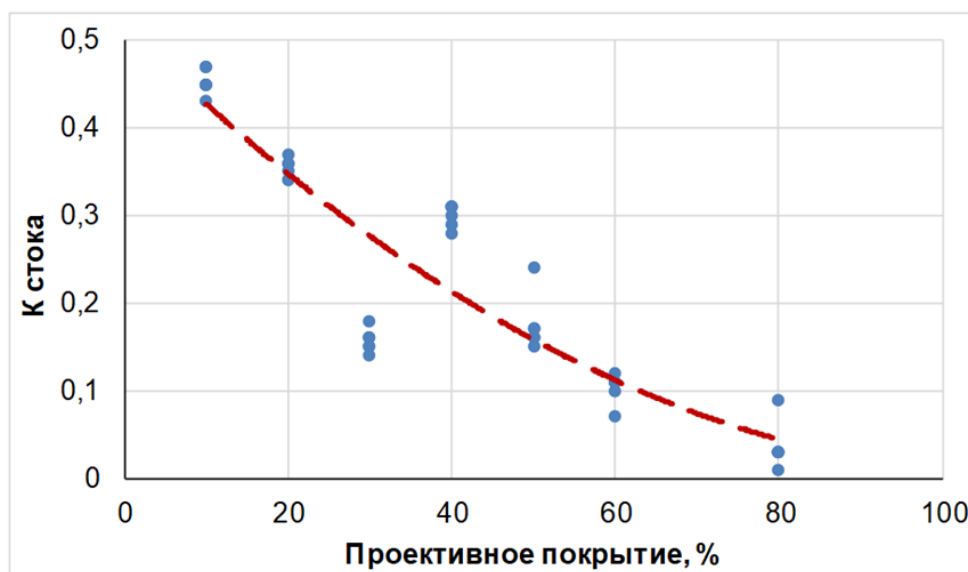


Рисунок 2 – Взаимосвязь величины проективного покрытия и коэффициента стока на черноземах обыкновенных (выборка данных за период 1973–2021 гг.)

Figure 2 – The relationship between the value of the projective cover and runoff coefficient on ordinary chernozems (data sample for the period 1973–2021)

Как следует из представленных данных, чем выше проективное покрытие, тем меньше коэффициент стока, например, при коэффициенте покрытия 10 % коэффициент стока составляет 0,42–0,47, а при коэффициенте покрытия 80 % – всего 0,01–0,09.

Также для снижения эрозии имеют значение сроки вегетации растений. Так, пропашные культуры обеспечивают удовлетворительную защиту почв от смыва ливневыми дождями во второй половине лета, яровые колосовые с конца мая до середины июля, озимые колосовые с конца апреля до уборки (вторая половина июля). Под многолетними травами практически весь ливнеопасный период почва надежно защищена от смыва.

Данное обстоятельство было положено в основу ряда почвозащитных приемов.

На чистом пару, посевах пропашных интенсивность водопоглощения невысока, что связано с уплотнением почвы во время проведения механических обработок, число которых может составлять от пяти до восьми.

На посевах зерновых колосовых культур, многолетних трав водопроницаемость значительно выше, что объясняется скрепляющим и дренирующим действием корневых систем. Вместе с тем высокая водопроницаемость может быть обусловлена наличием разветвленной сети трещин на поверхности почвы, которые обычно появляются на юге европейской территории России в июне-июле.

Трещины возникают вследствие процессов высыхания почвы в летний период (июнь, июль). В результате этого происходит ее усадка преимущественно в горизонтальном направлении и растрескивание. Появление трещин также зависит от плотности почвы. При уплотнении почвенной толщи возрастает как вероятность формирования, так и размеры трещин. Почвы тяжелого гранулометрического состава, такие как черноземы, сильно трескаются при высыхании. Этому способствует пластинчатый характер почвообразующей породы монтмориллонита, составляющего основу их минералогического состава.

Возникновение трещин обусловлено не только большими потерями влаги на испарение с поверхности почвы и транспирацией растений, но и ее уплотнением. На пропашных культурах при обработке междурядий образуются культиваторные подошвы. При этом почва ниже глубины обработки при высыхании растрескивается. Наиболее распространенная форма трещин – по прямой линии вдоль междурядий с редкими короткими разветвлениями, заканчивающимися в пределах междурядий.

Для многолетних трав и зерновых колосовых культур характерно бессистемное расположение трещин. Инструментальные измерения показали, что ширина их равна 2–4 см, глубина 18–35 см (таблица 2).

Различие форм и размеров трещин объясняется, по-видимому, разнотипностью уплотнения почвы. На основе этого предположения можно объяснить наблюдаемые формы трещин следующим образом. При чередовании уплотненных ходовыми системами междурядий пропашных

культур с уплотненными полосами рядов почва растрескивается преимущественно вдоль междурядья. Трещина имеет змеевидную форму. При чередовании же уплотненных ходовыми системами междурядий с уплотненными полосами рядов растрескивание почвы происходит и в том и в другом случае. При обработке почвы в двух направлениях плотность почвы в ряду и междурядье не отличается, поэтому и растрескивание хаотично с образованием трещин различных форм и размеров, в большинстве случаев не имеющих линейных характеристик. Аналогичное явление наблюдается и на посевах многолетних трав (Н. И. Болокан, 1986) [10].

Таблица 2 – Наличие трещин и их размеры под различными сельскохозяйственными культурами

Table 2 – The presence of cracks and their sizes under various crops

Культура	Длина трещин, м/м ²	Ширина трещин, см	Глубина трещин, см
Озимая пшеница	4,96	2–3	18–26
Яровой ячмень	5,42	2–4	25–35
Кукуруза на силос	1,76	3–4	15–25
Многолетние травы	2,08	2–4	15–27

Суммарный объем трещин на зерновых колосовых культурах может составлять 0,035 м³ и более, на пропашных 0,012 м³ на 1 м². Наименьший объем трещин наблюдается, когда образуется только продольная трещина. Объем трещин, приходящийся на 1 га поля, под высокостебельными культурами достигает 120–140 м³, под зерновыми колосовыми от 200 до 500 м³.

Следовательно, на посевах указанных культур трещины могут теоретически вместить от 120 до 500 м³ воды или до 12–50 мм осадков на 1 га. Для люцерны вместимость трещин составляет 110–130 м³ воды.

Но это только расчетный метод. Реальное положение вещей может показать инструментальное их измерение и определение водопроницаемости под различными сельскохозяйственными культурами. При растрескивании водопроницаемость почвы увеличивается в разы в связи с ростом площади поглощения воды на поверхности и по глубине почвы (рисунок 3).

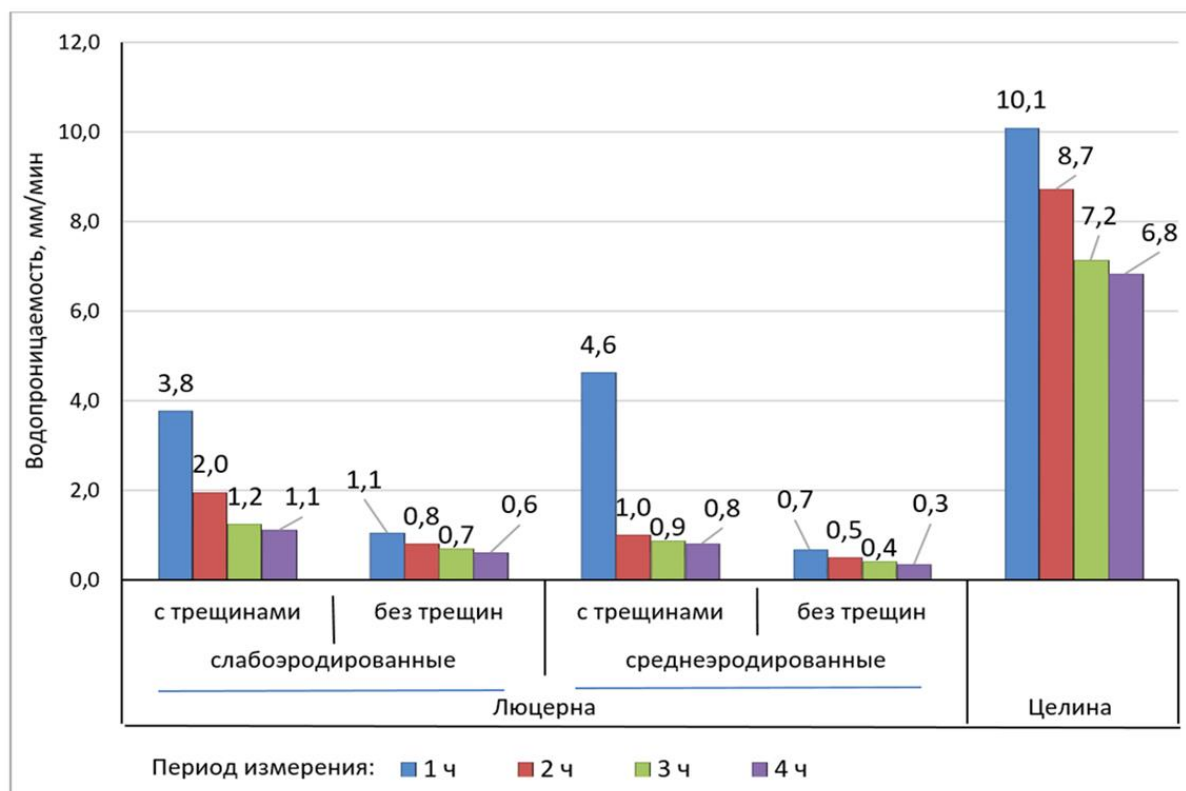


Рисунок 3 – Водопроницаемость почвы на посевах люцерны и на целинном участке (2012–2020 гг.)

Figure 3 – Water permeability under alfalfa seeding and on virgin land (2012–2020)

Как показали результаты исследований, в первый час наблюдений на посевах люцерны водопроницаемость составила на слабоэродированных участках с трещинами 3,8 мм/мин, на среднеэродированных – 4,6 мм/мин, постепенно снижаясь с продолжительностью наблюдений, и за 4 ч уже составила соответственно 1,1 и 0,6 мм/мин на слабоэродированных и 0,8 и 0,3 мм/мин на среднеэродированных почвах. В посевах люцерны на слабоэродированных черноземах на участках без трещин водопроницаемость в среднем за 4 ч составила 0,6 мм/мин, на среднеэродированных 0,3 мм/мин, а с трещинами – 1,1 и 0,8 мм/мин соответственно, т. е. в 2,0–2,7 раза больше.

Повышение водопроницаемости в результате образования трещин объясняется увеличением суммарной площади контакта воды с почвой, а также увеличением напорного градиента вследствие заполнения трещин водой [13]. Кроме того, немаловажную роль играет тот факт, что трещины

способствуют проникновению влаги в более глубокие слои почвенного горизонта. Это обстоятельство очень важно для черноземов, так как вода поступает в более водопроницаемые слои почвы, которые в данный период имеют лучшую структуру и менее уплотнены, чем верхние горизонты.

Невысокие показатели инфильтрации воды в почву на многолетних травах на участках без трещин можно объяснить уплотнением верхней части пахотного слоя во время уборки и заготовки люцерны на сено. Следует также обратить внимание на резкое снижение величины водопроницаемости на участках с трещинами после первого часа эксперимента, что, несомненно, важно при выпадении затяжных дождей с переменной интенсивностью. Для сравнения приведем показатели водопроницаемости на целинном участке при стопроцентной величине проективного покрытия поверхности почвы растительным покровом и наличии степного войлока мощностью 1,5–2,0 см. Естественно, в таких условиях об образовании трещин под мульчей (степным войлоком) речи не идет, а величина водопроницаемости составила за первый час наблюдений 10,1 мм/мин, а в среднем за 4 ч – 8,20 мм/мин.

Большое влияние на водопроницаемость почвы, а следовательно, и интенсивность стока ливневых вод оказывает структурно-агрегатный состав пахотного слоя, и прежде всего количество водопрочных агрегатов. Анализ структурного состава пахотного слоя эродированного обыкновенного чернозема в июне 2012–2017 гг. показал, что он во многом зависит от возделываемой культуры. Оптимальное сложение пахотного слоя наблюдается под многолетними травами, особенно третьего года жизни, структура имеет комковато-зернистое сложение и содержит 82–91 % водопрочных агрегатов. Количество водопрочных агрегатов в пахотном слое чистого пара вдвое меньше. Пахотный слой под посевами озимой пшеницы содержит от 10 до 15 % глыбистой фракции. Количество водопрочных агрегатов выше, чем на чистом пару (58–63 %), но ниже, чем на посевах люцерны.

В соответствии с изменением структурно-агрегатного состава колебалась и скорость фильтрации (рисунок 4).

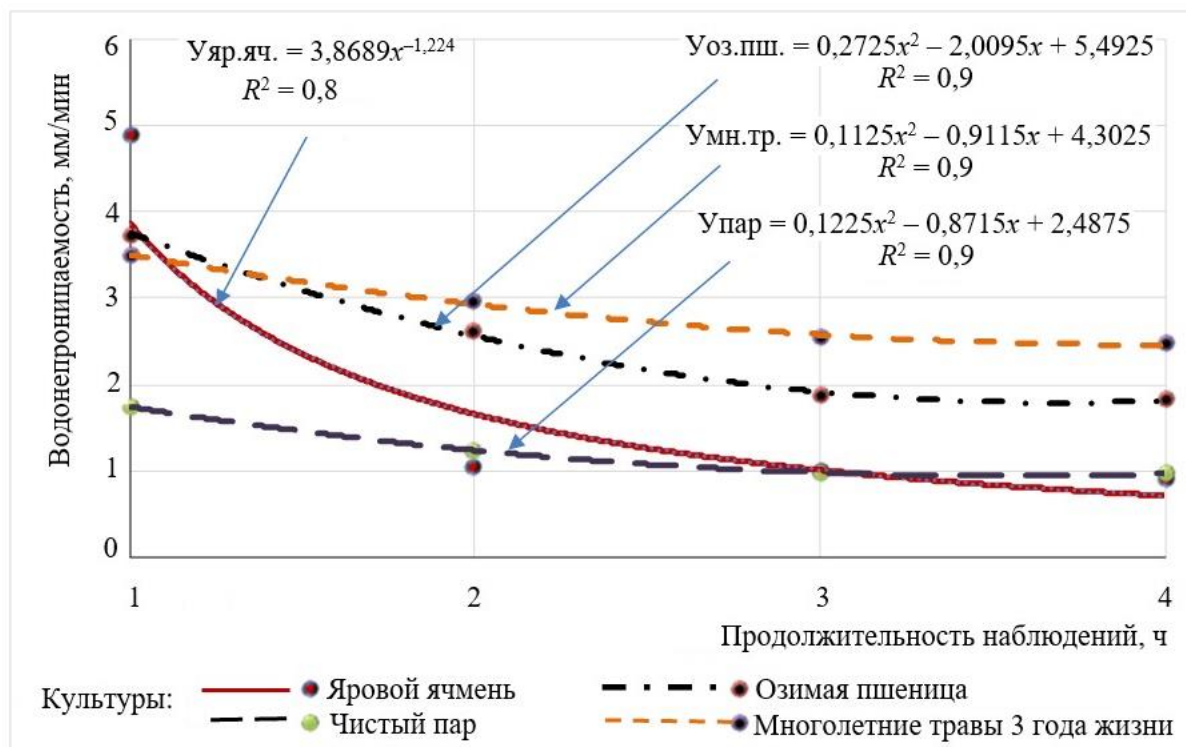


Рисунок 4 – Водопроницаемость почвы под различными сельскохозяйственными культурами, 2012–2016 гг.

Figure 4 – Water permeability under various crops, 2012–2016

Более равномерной скоростью водопоглощения характеризуются многолетние травы третьего года жизни. Несмотря на то, что в первый час наибольшая скорость впитывания наблюдается под зерновыми культурами, в дальнейшем величина водопроницаемости под ними снижалась быстрее, чем под травами, и уже во второй час наблюдений значительно уступала им. Следовательно, под зерновыми культурами лучше будут поглощаться дожди малой продолжительности, а под травами – затяжные дожди с большей интенсивностью и продолжительностью.

Выводы. На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1 В наибольшей степени эрозия почвы проявляется под чистым паром и пропашными культурами, т. е. там, где растительность отсутствует

или находится в минимуме, смыв почвы заметно возрастает при интенсивности ливней от 0,9 до 1,5 мм/мин и более. На посевах сельскохозяйственных культур смыв заметно снижается при величине проективного покрытия почвы растениями от 30 до 40 % и минимальные потери наблюдаются при 80 % и выше.

2 По результатам наблюдений сельскохозяйственные культуры были сгруппированы по срокам вегетации с минимальными и максимальными величинами проективного покрытия поверхности почвы, на основании чего были выведены поправочные коэффициенты на величину смыва почвы в зависимости от степени проективного покрытия почвы растениями. В наибольшей степени почвозащитными свойствами обладают многолетние травы с понижающими коэффициентами эрозии 0,01–0,05 в сравнении с паром.

Список источников

1. Soil erosion: An important indicator for the assessment of land degradation neutrality in Russia / P. Tsymbarovich, G. Kust, V. Golosov, O. Andreeva, M. Kumani // International Soil and Water Conservation Research. 2020. Vol. 8, № 4. P. 418–429. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.06.002>.
2. Полуэктов Е. В., Сухомлинова Н. Б. Защита почв от эрозии и дефляции в Ростовской области (рекомендации). Новочеркасск, 2017. 66 с.
3. Егоров И. Е. Капельно-дождевая эрозия – рельефообразующее значение и методы изучения // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. 2015. Т. 25, № 2. С. 159–166.
4. Грызлов Е. В. Почвозащитная система земледелия. Ростов н/Д.: Рост. кн. изд-во, 1975. 136 с.
5. Заславский М. Н. Эрозиоведение. М.: Высш. шк., 1983. 283 с.
6. Константинов И. С. Защита почв от эрозии при интенсивном земледелии. Кишинев: Штиинца, 1987. 240 с.
7. Региональные особенности борьбы с эрозией земель / А. В. Донцов, Д. П. Гостищев, Т. А. Соколова, Н. В. Хватыш // Московский экономический журнал. 2017. № 4. С. 493–509.
8. Волосянко В. И. Влияние эрозии на гранулометрический состав почв в колхозе им. Ленина Новоалександровского района // Молодой исследователь: возможности и перспективы: сб. науч. ст. по материалам всерос. науч.-практ. конф. 2019. С. 49–51.
9. Ивонин В. М. Лесомелиорация ландшафтов: учебник. Новочеркасск: Лик, 2018. 206 с.
10. Болокан Н. И. Воздействие сельскохозяйственных культур и агротехнических приемов на водопроницаемость почвы. Кишинев: Штиница, 1986. 148 с.
11. Условия формирования поверхностного стока. Прогноз причиняемого ущер-

ба. Компенсационные мелиоративные мероприятия: монография / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Е. В. Полуэктов, Н. И. Балакай. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 450 с.

12. Полуэктов Е. В. Эрозия почв и плодородие: монография. Новочеркасск: Лик, 2020. 229 с.

13. The effects of vegetation on runoff and soil loss: Multidimensional structure analysis and scale characteristics / J. Liu, G. Gao, S. Wang, L. Jiao, X. Wu, B. Fu // J. Geogr. Sci. 2018. 28(1). P. 59–78. <https://doi.org/10.1007/s11442-018-1459-z>.

14. Колясев Ф. Е. Дифференциальная влажность почвы, ее теория и применение в земледелии // Сборник трудов по агрономической физике. Л., 1951. Вып. 4. С. 79–85.

References

1. Tsymbarovich P., Kust G., Golosov V., Andreeva O., Kumani M., 2020. Soil erosion: An important indicator for the assessment of land degradation neutrality in Russia. International Soil and Water Conservation Research, vol. 8, no. 4, pp. 418-429, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.06.002>.

2. Poluektov E.V., Sukhomlinova N.B., 2017. *Zashchita pochv ot erozii i deflyatsii v Rostovskoy oblasti (rekomentatsii)* [Soil Protection from Erosion and Deflation in Rostov Region (recommendations)]. Novocherkassk, 66 p. (In Russian).

3. Egorov I.E., 2015. *Kapel'no-dozhddevaya eroziya – rel'efoobrazuyushchee znachenie i metody izucheniya* [Raindrip erosion - relief-forming significance and study methods]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Nauki o Zemle* [Bulletin of Udmurt University. Series: Biology. Earth Sciences], vol. 25, no. 2, pp. 159-166. (In Russian).

4. Gryzlov E.V., 1975. *Pochvozashchitnaya sistema zemledeliya* [Soil Protection System of Agriculture]. Rostov-on-Don, Rost. Book Publ., 136 p. (In Russian).

5. Zaslavsky M.N., 1983. *Eroziovedenie* [Erosion Study]. Moscow, Higher School Publ., 283 p. (In Russian).

6. Konstantinov I.S., 1987. *Zashchita pochv ot erozii pri intensivnom zemledelii* [Soil Protection from Erosion during Intensive Farming]. Kishinev, Shtiintsa Publ., 240 p. (In Russian).

7. Dontsov A.V., Gostishchev D.P., Sokolova T.A., Khvatysh N.V., 2017. *Regional'nye osobennosti bor'by s eroziyey zemel'* [Regional features of combating land erosion]. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal* [Moscow Economic Journal], no. 4, pp. 493-509. (In Russian).

8. Volosyanko V.I., 2019. *Vliyanie erozii na granulometricheskij sostav pochv v kolchoze im. Lenina Novoaleksandrovskogo rayona* [Influence of erosion on soil granulometric composition in the collective farm named after Lenin Novoaleksandrovsky district]. *Molodoy issledovatel': vozmozhnosti i perspektivy: sbornik nauchnykh statey po materialam vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Young Researcher: Opportunities and Prospects: Proc. of All-Russian Scientific-Practical Conference], pp. 49-51. (In Russian).

9. Ivonin V.M., 2018. *Lesomelioratsiya landshaftov: uchebnik* [Forest Landscape Reclamation: textbook]. Novocherkassk, Lik Publ., 206 p. (In Russian).

10. Bolokan N.I., 1986. *Vozdeystvie sel'skokhozyaystvennykh kul'tur i agrotekhnicheskikh priemov na vodopronitsaemost' pochvy* [The Impact of Agricultural Crops and Agro-technical Practices on Soil Water Permeability]. Kishinev, Shtinitza Publ., 148 p. (In Russian).

11. Shchedrin V.N., Balakai G.T., Poluektov E.V., Balakai N.I., 2016. *Usloviya formirovaniya poverkhnostnogo stoka. Prognoz prichinyaemogo ushcherba. Kompensatsionnye meliorativnye meropriyatiya: monografiya* [Conditions for the Formation of Surface Runoff. Forecast of the Damage Caused. Compensatory Land Reclamation Measures: monograph]. Novocherkassk, RosNIIPM Publ., 450 p. (In Russian).

12. Poluektov E.V., 2020. *Eroziya pochv i plodorodie: monografiya* [Soil Erosion and Fertility: monograph]. Novocherkassk, Lik Publ., 229 p. (In Russian).

13. Liu J., Gao G., Wang S., Jiao L., Wu X., Fu B., 2018. The effects of vegetation on

runoff and soil loss: Multidimensional structure analysis and scale characteristics. J. Geogr. Sci., 28 (1), pp. 59-78, <https://doi.org/10.1007/s11442-018-1459-z>.

14. Kolyasev F.E., 1951. *Differentsial'naya vlazhnost' pochvy, ee teoriya i primeneniye v zemledelii* [Differential soil moisture, its theory and application in agriculture]. *Sbornik trudov po agronomicheskoy fizike* [Coll. of Scientific Works on Agronomic Physics]. Leningrad, iss. 4, pp. 79-85. (In Russian).

Информация об авторах

Е. В. Полуэктов – заведующий кафедрой почвоведения, орошаемого земледелия и геодезии, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

Г. Т. Балакай – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

А. П. Тищенко – начальник отдела, доктор сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

E. V. Poluektov – Head of the Chair of Soil Science, Irrigated Agriculture and Geodesy, Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

G. T. Balakay – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

A. P. Tishchenko – Head of Department, Doctor of Agricultural Sciences.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 11.04.2022; одобрена после рецензирования 22.06.2022; принята к публикации 27.06.2022.

The article was submitted 11.04.2022; approved after reviewing 22.06.2022; accepted for publication 27.06.2022.