

МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Научная статья

УДК 631.459:631.445.4:631.432.3

doi: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-158-173

Мониторинг водопроницаемости и эрозионных процессов при различных способах основной обработки черноземов юга России

Евгений Валерьянович Полуэктов¹, Иван Владимирович Батищев²

^{1,2}Федеральный Ростовский аграрный научный центр, Рассвет, Российская Федерация

¹rekngma@magnet.ru

²nerbat@ya.ru

Аннотация. Цель: анализ водопроницаемости почвы и стокорегулирующей способности способов основной обработки почвы на черноземах юга европейской территории России. **Материалы и методы.** Объект исследований – чернозем обыкновенный на эрозионно опасном склоне опытного стационара федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (ФГБНУ ФРАНЦ). Используются методы, общепринятые в почвоведении, эрозиоведении, земледелии (С. В. Астапова, 1958; В. Н. Дьякова, 1974; Е. В. Полуэктова, 1982; Б. А. Доспехова, 1985), обобщения и анализа данных, полученных в полевых опытах. **Результаты.** Проанализированы полученные результаты исследований способов основной обработки почвы: отвальная, плоскорезная, чизельная, поверхностная, за период с 1975 по 2017 г. Установлена зависимость водопроницаемости от способов основной обработки, начиная с момента ее осуществления до уборки сельскохозяйственной культуры. Обращено особое внимание на водопроницаемость почвы в период снеготаяния, так как в этот период формируется сток талых вод и смыв почвы, взаимосвязь между которыми достаточно тесная. Наиболее интенсивно эрозионные процессы проявляются на отвальной вспашке, далее следует поверхностная обработка. Более высокая почвозащитная способность характерна для участков, обработанных чизелем. **Выводы.** Согласно полученным данным, в осенний период сток дождевых вод и смыв почвы может быть как исключение, особенно если основная обработка почвы проведена на глубину 25–29 см. В зимний период при промерзании почвы водопроницаемость резко снижается, особенно на поверхностной обработке, что создает предпосылки для формирования талых вод. Максимальный сток талых вод формируется на поверхностной обработке, далее следует плоскорезная, замыкает список отвальная и чизельная. По смыву почвы на первом месте идет отвальная вспашка, далее – способы обработки, оставляющие на поверхности стерню и растительные остатки: поверхностная, плоскорезная, чизельная.

Ключевые слова: водопроницаемость, способы обработки почвы, сток талых и дождевых вод, смыв почвы, чернозем обыкновенный, эрозионные процессы

LAND RECLAMATION, RECULTIVATION AND LAND PROTECTION

Original article

Monitoring of water permeability and erosion processes at different methods of primary tillage of chernozem in southern Russia

Yevgeniy V. Poluektov¹, Ivan V. Batishchev²

^{1,2}Federal Rostov Agricultural Research Centre, Rassvet, Russian Federation

¹rekngma@magnet.ru

²nerbat@ya.ru



Abstract. Purpose: analysis of soil water permeability and runoff-regulating ability of methods of basic soil tillage on chernozems in the south of the European territory of Russia. **Materials and methods.** The object of research is ordinary chernozem on the erosion-hazardous slope of the experimental station of the Federal State Budget Scientific Institution “Federal Rostov Agricultural Research Centre” (FSBSI FRARC). The methods used are generally accepted in soil science, erosion science, agriculture (S. V. Astapov, 1958; V. N. Dyakov, 1974; E. V. Poluektov, 1982; B. A. Dospekhov, 1985), generalized analysis and analysis of data obtained in field experiments. **Results.** The results of studies of the methods of basic tillage: moldboard, flat-cut, chisel, surface, for the period from 1975 to 2017 are analyzed. The dependence of water permeability on the methods of basic tillage starting from the moment of its implementation until harvesting of agricultural crops is established. Particular attention is paid to soil permeability during the period of snow melting, since during this period the flow of melt water and soil washout are formed, the relationship between which is quite close. The most intense erosion processes are manifested during moldboard plowing, followed by surface tillage. A higher soil conservation capacity is typical for areas tilled with chisel. **Conclusion.** According to the data obtained, in autumn period, rainwater runoff and soil washout can be an exception, especially if the basic tillage is carried out to a depth of 25–29 cm. In winter, when the soil freezes, the permeability decreases sharply, especially on surface cultivation, which creates preconditions for melt water formation. The maximum snowmelt runoff is formed on surface tillage, followed by a flat-cut one, and a moldboard and a chisel one close the list. In terms of soil washout, moldboard plowing is in the first place, followed by cultivation methods that leave stubble and plant residues on the surface: surface, flat-cut, chisel.

Keywords: water permeability, soil cultivation methods, melt and rainwater runoff, soil washout, ordinary chernozem, erosion processes

Введение. Борьба с эрозией – важная часть системы земледелия, обеспечивающая сохранение плодородия почвенного покрова и охрану окружающей среды. Водная эрозия проявляется более чем на 30 % почв области, и в значительной части это – пашня [1]. Она формируется со стоком талых и дождевых вод, смывая плодородный слой почвы, что приводит к потере продуктивности эродированных земель. Устойчивость пашни к деградационным процессам в эрозионно опасном агроландшафте определяется выбором почвозащитной обработки почвы, имеющей наивысшую водопроницаемость и обеспечивающей снижение величины поверхностного стока за счет накопления влагозапасов. Вместе с тем влагообеспеченность посевов является одним из главных лимитирующих факторов стабильности сельскохозяйственного производства, поэтому полное поглощение и продуктивное накопление влаги является важнейшей задачей почвозащитного земледелия. Обработка почвы может существенно увеличить накопление

в ней влаги при возделывании культур в аридных районах за счет увеличения водопроницаемости и впитывающей способности почвы [2–5].

Исследования, посвященные изучению водной эрозии, и мониторинг деградационных процессов велись в почвенно-климатических условиях Саратовского Правобережья, где наибольшее снижение смыва почвы (0,09 и 0,12 т/год) наблюдалось по мелкой плоскорезной обработке. Приведены многолетние данные о влиянии почвозащитных приемов основной обработки почвы на запасы воды в снеге, сток талых вод, смыв почвы в условиях изменяющегося климата за 1971–2017 гг. Установлено, что применение гребнекульной обработки почвы на склонах позволяет повысить накопление снега на пашне на 10 % и сократить до 30 % поверхностный сток и до 42 % смыв почвы относительно отвальной вспашки [6, 7].

За рубежом проводились исследования, посвященные изучению функции проницаемости для растрескавшегося грунта с учетом изменения объема трещины во время высыхания, а также лабораторные испытания с постоянным и падающим напором на неповрежденных или восстановленных образцах с использованием нескольких методов [8, 9]. Однако результаты этих исследований ограничены пределами применения в конкретных почвенно-климатических условиях.

В связи с этим возникла необходимость детального анализа факторов, формирующих сток и смыв почвы в условиях юга России.

Целью работы является анализ водопроницаемости почвы и стокорегулирующей способности способов основной ее обработки на черноземах юга европейской территории России.

Материалы и методы. Многолетние исследования основной обработки почвы на склоновых землях проводились на эрозионно опасном склоне опытного стационара ФГБНУ ФРАНЦ (Ростовская область). Объектом исследований является чернозем обыкновенный. В стационарных опытах проводились наблюдения и учеты в течение всего года, касающиеся

ся водопроницаемости почвы, показателей стока талых и дождевых вод, смыва почвы. При этом учитывались такие показатели, как запасы воды в снеге перед началом снеготаяния, осадки в период таяния снега, влажность в слое почвы 0–10 см, глубина промерзания почвы и изменение водопроницаемости по мере оттаивания верхнего слоя почвы.

Задачи исследований включали определение водопроницаемости свежеработанной почвы под зябь на склонах различной крутизны и величины смыва почвы ливневыми дождями при различных способах обработки зяби, динамики водопроницаемости на ранней отвальной зяби и ее изменения по мере оттаивания верхнего слоя за годы наблюдений, величины стока талых вод и смыва почвы при разных способах обработки зяби.

Исследования проводились с использованием методов, общепринятых в почвоведении, эрозиоведении, земледелии (С. В. Астапов, 1958; В. Н. Дьяков, 1974; Е. В. Полуэктов, 1982; Б. А. Доспехов, 1985), на основании системного изучения, сравнения, обобщения и анализа данных, полученных в полевых опытах [10–14].

Схема опытов включала следующие варианты: на склоне крутизной 0,5–1,5° – отвальная обработка почвы плугом на глубину 20–22 см, отвальная обработка почвы плугом на глубину 28–30 см, безотвальная (плоскорезная) обработка на глубину 28–30 см; на склоне крутизной 2,5–3° – отвальная обработка почвы плугом на глубину 20–22 см, поверхностная обработка КПП-2 на глубину 10–12 см, безотвальная (с 1985 г. чизельная), нулевая обработка.

Результаты и обсуждение. По результатам исследований 1975–1978 гг., подтвержденным и в последующие годы, установлено, что свежевспаханная под зябь почва имеет огромное количество некапиллярных пор и пустот. Через три дня после вспашки водопроницаемость по классификации Н. А. Качинского характеризовалась как провальная. Это объясняется тем, что преобладающее количество воды проходило по крупным некапилляр-

ным порам. Разница в величине фильтрации между неэродированными и среднеэродированными почвами при глубине вспашки 20–22 см практически не наблюдалась (таблица 1).

Таблица 1 – Водопроницаемость свежеработанной почвы под зябь [15]
В мм/мин

Время наблюдения	Склон крутизной 0,5–1,5°			Склон крутизной 2,5–3°		
	вспашка на глубину 20–22 см	вспашка на глубину 28–30 см	плоскорезная обработка на глубину 28–30 см	вспашка на глубину 20–22 см	обработка КПП-2,2 на глубину 10–12 см	нулевая обработка
1-й час	9,18	12,23	15,23	8,50	3,07	1,00
2-й час	5,29	8,72	12,04	5,67	2,63	0,81
3-й час	4,45	7,52	10,04	5,16	2,44	0,79
4-й час	3,91	7,39	8,71	4,91	2,22	0,77
Среднее за 4 ч	5,71	8,96	11,50	6,06	2,74	0,84

Увеличение глубины вспашки с 20–22 до 28–30 см на неэродированных обыкновенных черноземах повысило водопроницаемость более чем в 1,5 раза. Рыхление среднеэродированного обыкновенного чернозема КПП-2,2 на глубину 10–12 см снизило водопроницаемость по сравнению с рыхлением неэродированного аналога на глубину 28–30 см в 3,8 раза.

При выпадении ливневых дождей в августе и сентябре на свежевспаханную зябь сток воды может быть лишь исключением, особенно если вспашка глубокая (таблица 2).

Таблица 2 – Смыв почвы ливневыми дождями при различных способах обработки зяби

Способ обработки зяби	Склон, градусы	Количество смытой почвы, г/га
Ранняя отвальная зябь, глубина вспашки 20–22 см	2–3	Смыва нет
То же	4,5	2,6
Ранняя отвальная зябь, глубина вспашки 20–27 см	4,5	Смыва нет
Мелкая обработка КПП-2,2 на глубину 10–12 см	2–3	5,8
Черный пар	2–3	15,5
То же	4,5	53,2

Такие дожди в этот период выпадают редко. Однако 7 сентября 1977 г. наблюдался случай, когда в течение 3 ч выпало 55,8 мм осадков, т. е. 1,5 месячной нормы. Интенсивность дождя в отдельные периоды времени достигала в районе исследований 0,8 мм/мин. Незначительный смыв отме-

чался на ранней отвальной зяби, вспаханной за неделю до выпадения ливня, несколько больший – на делянках с мелкой обработкой КПП-2,2. Для сравнения скажем, что смыв почвы на черном пару колебался от 15 до 53 т/га.

Большой интерес представляет изменение величины водопроницаемости во времени. Изучение водопроницаемости ранней отвальной зяби [5] показало, что скорость фильтрации воды находится в прямой зависимости от сроков ее поднятия и числа обработок, проводимых на почве. В течение осени ранняя зябь под влиянием осадков и других природных факторов, а также механических обработок оседает, уплотняется. Культивация зяби в значительной степени преобразует сложение поверхностного слоя пашни и резко уменьшает впитывающую способность почвы. Если через неделю после вспашки на ранней зяби водопроницаемость составляла 5,64 мм/мин, то по истечении 2,5 месяцев и после проведения на ней двух культиваций водопроницаемость уменьшилась до 1,84 мм/мин (таблица 3).

Таблица 3 – Динамика водопроницаемости на ранней отвальной зяби (среднее за 1976–1978 гг.) [3]

Время наблюдения	В мм/мин			
	Через неделю после вспашки	После проведения двух культиваций, перед уходом в зиму	В зимний период	Летом следующего года
1-й час	7,42	2,65	1,10	1,46
2-й час	5,37	1,91	0,25	1,20
3-й час	4,98	1,42	–	1,12
4-й час	4,77	1,39	–	1,09
Среднее за 4 ч	5,64	1,84	0,71	1,21

Из-за плотной упаковки почвенных агрегатов в верхнем слое впитывающая способность почвы еще больше уменьшается в мерзлом состоянии. В среднем за 3 года исследований водопроницаемость на ранней отвальной зяби составила 0,71 мм/мин с колебаниями по годам от 0,08 до 1,34 мм/мин.

Летом следующего года фильтрация воды в почву уже на посевах ярового ячменя характеризовалась как удовлетворительная. Несмотря на невысокие показатели величины водопроницаемости, смыв почвы

от ливневых дождей наблюдается очень редко, что во многом объясняется почвозащитной ролью растительного покрова.

Из всего этого массива данных в течение года наибольший интерес представляет величина водопроницаемости во время прохождения стока талых вод, когда почва находится в мерзлом состоянии. Интенсивность фильтрации воды в мерзлую почву определяется влажностью и льдистостью ее верхнего слоя 0–10 см. Чем выше влажность, а соответственно и закупорка льдом свободных пор, тем менее проницаемы почвы для выпадающих осадков [3–5].

На величину водопроницаемости мерзлых обыкновенных черноземов большое влияние оказывают погодные условия зимнего периода. В годы с возвратом положительных температур зимой, что на юге европейской территории России наблюдается довольно часто, сильно увлажненные с поверхности почвы после очередного замерзания имеют низкую фильтрационную способность, а в отдельных случаях совсем водонепроницаемы на короткий период времени, что являлось причиной стока талых вод. Так было в наших исследованиях в 1976, 1985, 2003, 2017 гг. и в ряде других лет. Повышению фильтрационной способности способствовало оттаивание почвы с поверхности. Согласно многолетним исследованиям в среднем с увеличением мощности талого слоя на 1 см фильтрация воды в почву возрастала на 0,067 мм/мин с колебаниями по годам от 0,0004 до 0,24 мм/мин (таблица 4).

Таблица 4 – Изменение водопроницаемости зяби по мере оттаивания верхнего слоя за годы наблюдений

Год наблюдения	Дата	Глубина промерзания почвы, см	Толщина талого верхнего слоя, см	Водопроницаемость, мм/мин
1	2	3	4	5
1976	19.03	72	0	0,001
	24.03	68	2	0,12
	30.03	41	10	1,33
	12.04	0	0	1,71
1977	04.03	48	1	1,07

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	
1978	02.02	46	3	0,87	
	17.11	12	9	1,39	
2003	30.01	71	0	0,0001	
		69	1	0,0002	
	31.01	6,7	1,3	0,0003	
	02.02	63	1,8	0,0006	
	13.03	55	2,3	0,13	
2017	21.02	45	0,3	0,0004	
			0,5	0,0005	
	23.02	43	1,1	0,0005	0,0007
				0,26	0,49
	24.02	20	4,3		
		14	5,0		

Разные способы обработки почвы оказывали неодинаковое влияние на величину водопроницаемости в зимний период. Рыхлое сложение пахотного горизонта на поздней гребнистой зяби способствовало достаточно высокой инфильтрации талой воды в мерзлую почву, что связано с большим объемом пор и пустот. Часть из них даже при сильном увлажнении пахотного слоя остаются свободными ото льда, способствуя впитыванию и фильтрации талой воды.

Основной причиной, препятствующей впитыванию воды в почву в вариантах ранней отвальной, плоскорезной и особенно поверхностной зяблевых обработок, является переувлажнение и закупорка льдом водопроводящих пор в верхней толще пахотного слоя 0–10 см. Так, перед снеготаянием в 2003 г. влажность верхнего слоя 0–10 см на отвальной зяби составляла 40,8 %, поверхностной – 43,7 %, чизельной – 36,1 %. Повышение интенсивности снеготаяния или выпадение в это время жидких осадков приводит к увеличению доли потерь воды со стоком. Так было в годы с оттепелями, прерываемыми резким похолоданием (1985, 2003, 2017 гг.). На поверхности почвы формировалась ледяная корка, и в дальнейшем потери воды со стоком составляли 70–85 % от ее запасов в снеге (таблица 5).

Таблица 5 – Сток талых вод и смыв почвы при разных способах обработки зяби за 1976–2017 гг.

Способ обработки зяби	Запас воды в снеге, мм	Сток, мм	Коэффициент стока	Смыв почвы, т/га
1976 г.				
Отвальная	26,8	6,4	0,23	2,8
Плоскорезная	30,9	6,7	0,21	1,2
Поверхностная	31,4	10,4	0,33	1,6
1978 г.				
Отвальная	13,1	1,6	0,12	1,3
Плоскорезная	26,8	5,7	0,21	1,4
Поверхностная	27,2	9,5	0,34	2,1
1985 г.				
Отвальная	196,6	90,9	0,46	13,9
Плоскорезная	195,7	95,7	0,48	10,6
Чизельная	197,3	84,5	0,43	8,3
Поверхностная	192,7	106,8	0,55	12,4
2003 г.				
Отвальная	83,8	63,2	0,75	39,6
Плоскорезная	87,4	51,3	0,59	23,4
Чизельная	87,9	46,2	0,52	20,6
Поверхностная	86,9	69,7	0,80	32,3
2017 г.				
Отвальная	46,0	20,3	0,44	23,0
Чизельная	48,8	18,7	0,38	19,6
Поверхностная	47,5	26,3	0,55	18,8
Примечание – Смыв почвы учитывался по объему водоросин [7].				

Согласно многолетним исследованиям, практически во всех приведенных данных за период с 1976 по 2017 г. максимальный сток талых вод наблюдался на зяби с глубиной обработки до 10–12 см (поверхностная).

Величина стока при поверхностной обработке превышала сток при отвальной вспашке в среднем на 8 мм с колебаниями в отдельные годы до 4–16 мм. Приблизительно равным оказался сток талых вод при отвальной и бесплужной обработках при большем запасе воды в снеге на последних. До 1985 г., когда наблюдения проводились после плоскорезной обработки, сток талых вод на ней всегда был больше в связи с тем, что стерня и пожнивные остатки, остающиеся после обработки, накапливали больше снега. После того, как почву начали обрабатывать чизелем, улучшились водно-физические свойства пахотного горизонта за счет рыхления плуж-

ной подошвы. Сток талых вод в данном варианте обработки под зябь заметно сократился. Это связано с повышением водопроницаемости почвы. В целом наблюдается достаточно тесная связь между водопроницаемостью почвы и стоком талых вод при коэффициенте корреляции 0,71–0,84.

Также установлена достаточно тесная связь между величиной стока талых вод и запасами воды в снеге, имеющая форму полинома, с достоверностью аппроксимации 0,959 (рисунок 1). Анализ тех же показателей с дифференциацией по способам обработки почвы позволил выявить более тесную взаимосвязь между ними, выраженную достоверностью аппроксимации 0,97–0,99 с большими значениями при чизельной основной обработке.

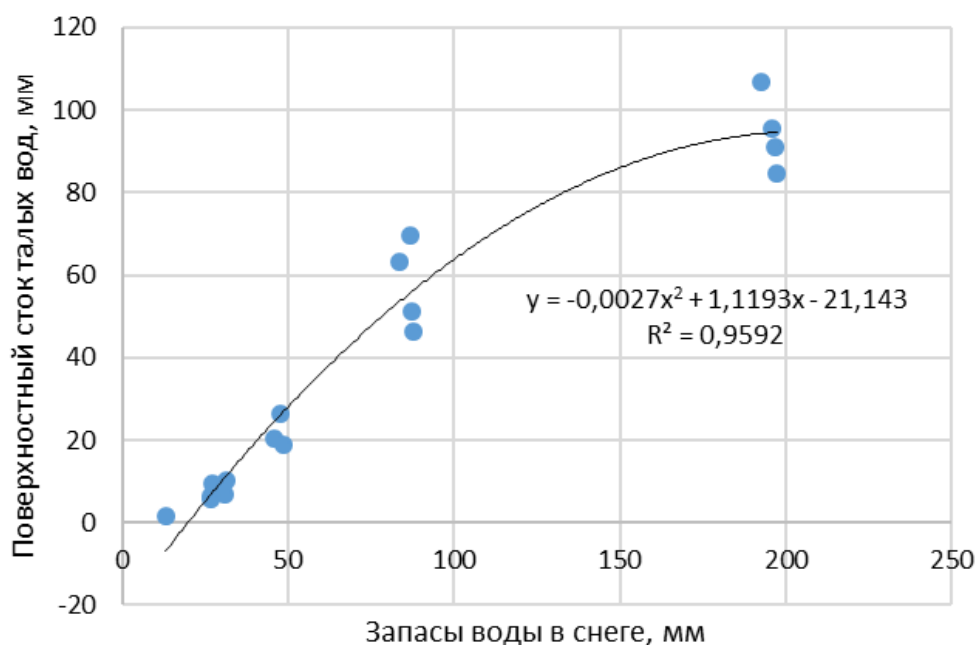


Рисунок 1 – Зависимость стока талых вод от запасов воды в снеге

В то же время часть поверхностного стока поглощается почвой в зависимости от водопроницаемости последней, которая также дифференцируется по способам основной обработки почвы. Ниже приведены зависимости коэффициента стока от водопроницаемости почвы при отвальной и поверхностной ее обработке, которые подтверждают эту взаимосвязь. Коэффициент стока при поверхностной обработке превышает его значения при отвальной обработке на 0,05–0,22 в различные годы по влагообеспе-

ченности. При этом достоверность аппроксимации зависимости коэффициента стока от водопроницаемости почвы при поверхностной обработке почвы, имеющей характер степенной функции, гораздо выше, чем при отвальной, имеющей характер логарифмической кривой: 0,956 против 0,865 (рисунки 2 и 3).

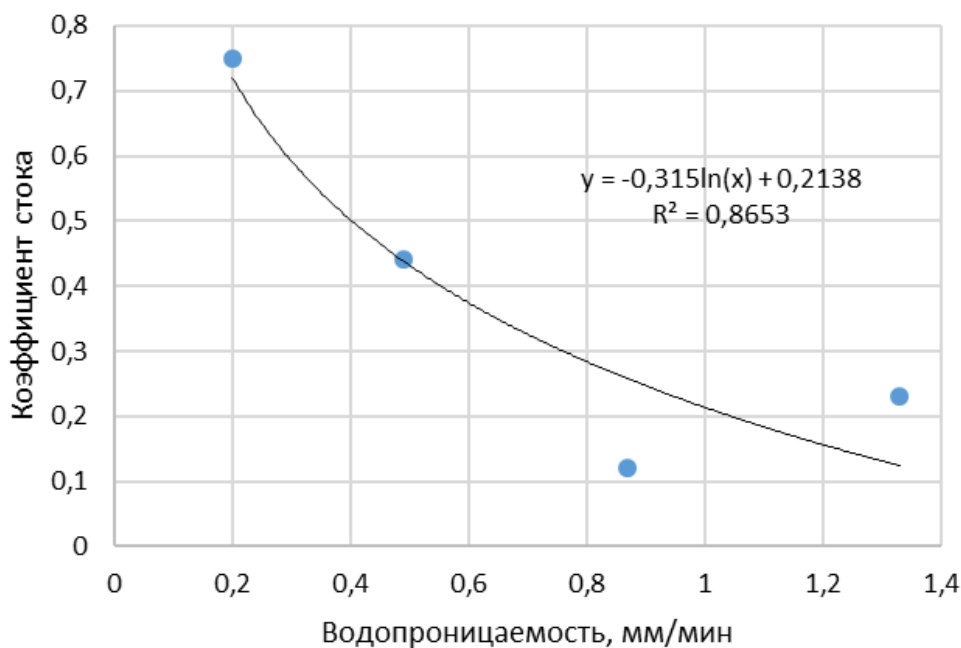


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента стока от водопроницаемости почвы при отвальной основной обработке

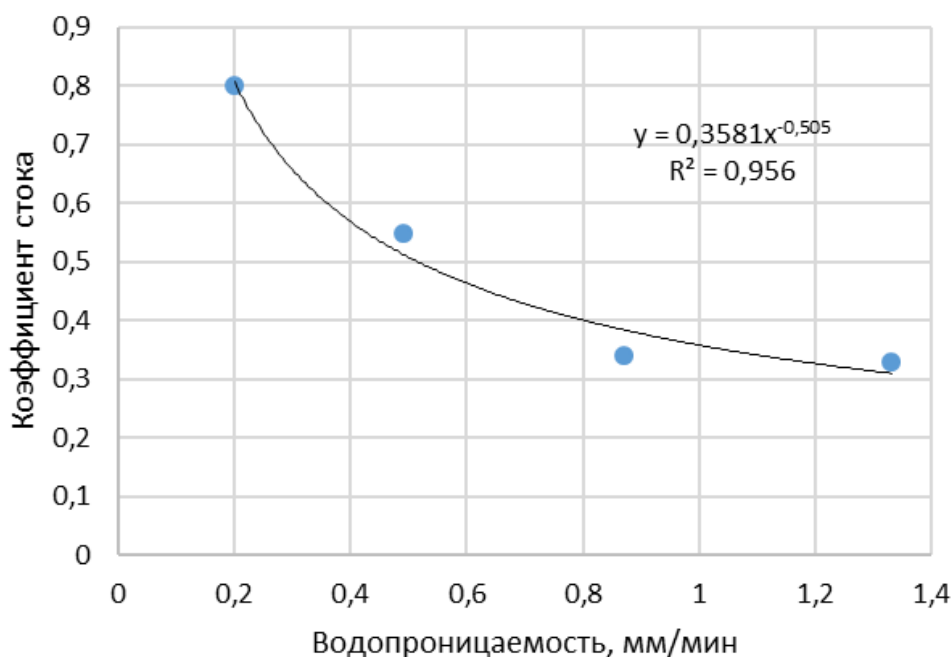


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента стока от водопроницаемости почвы при поверхностной обработке

Большой интерес представляют данные об объемах смыва почвы в зависимости от способа обработки. Максимальным он всегда был на отвальной вспашке. Наличие стерни и пожнивных остатков на поверхности почвы после безотвальных обработок, а их количество может составлять перед уходом в зиму 1,2–2,3 т/га, способствовало снижению скорости водных потоков при снеготаянии. Струи воды, наталкиваясь на препятствия в виде стоячей и лежащей стерни, заметно теряли кинетическую составляющую энергии, в результате чего смыв почвы заметно ослаблялся по отношению к отвальной вспашке, где потоки воды практически не встречали на своем пути никаких препятствий [16, 17].

Подтверждением вышесказанного является показатель затрат количества воды в миллиметрах, пошедших на смыв 1 т почвы. Согласно проведенным расчетам, на вспашке потеря 1 т мелкозема сопровождалась стоком талой воды от 0,9 до 6,5 мм. На плоскорезной обработке – от 4,0 до 9,0 мм, поверхностной – от 2,2 до 10,0 мм и чизельной – от 0,95 до 10,2 мм. В среднем смыв 1 т почвы по вспашке сопровождался потерей 2,3 мм, чизельной – 3,0 мм, поверхностной – 3,3 мм.

Широкий разброс данных по безотвальным обработкам можно объяснить разным количеством лет исследований, а следовательно, неодинаковыми условиями формирования и прохождения стока талых вод. В целом же тенденция сокращения смыва почвы на безотвальных способах обработки прослеживается достаточно четко.

Аналогичные данные приводит И. Н. Листопадов [2], по его данным, при чизельной обработке черноземов обыкновенных смыв почвы был на 18,4 % ниже, чем при обычной зональной (отвальной) вспашке.

Выводы

1 Водопроницаемость обыкновенных эродированных черноземов на пашне зависит от способов основной обработки почвы. Свежевспаханная под зябь почва обладает провальной водопроницаемостью, в связи

с чем сток ливневых вод и смыв почвы осенью на ней бывают как исключение, особенно при глубокой обработке.

2 В течение осени пахотный слой на зяби под влиянием осадков и других природных факторов, а также механических обработок уплотняется. Водопроницаемость его сокращается в отдельных случаях более чем в 3 раза. Еще больше снижается скорость фильтрации воды в почву в зимний период при ее промерзании.

3 Водопроницаемость мерзлых почв резко падает при переувлажнении пахотного слоя и закупорке льдом свободных пустот и пор. Данное явление наиболее выражено при оттепелях, сменяющихся резким похолоданием. В большей степени это касается участков с поверхностной обработкой.

4 Сток талых вод находится в прямой зависимости от величины водопроницаемости при различных способах основной обработки почвы. Максимальным за годы исследований он был при поверхностной (10–12 см) обработке, далее идет плоскорезная, и приблизительно равным он оказался при отвальной и чизельной обработках при больших запасах воды в снеге на последней.

5 Установлена достаточно тесная связь между величиной стока талых вод и запасами воды в снеге, имеющая форму полинома, с достоверностью аппроксимации 0,959. Установлена зависимость коэффициента стока от водопроницаемости почвы при отвальной и поверхностной ее обработках, соответственно имеющая характер степенной и логарифмической функции, с большей достоверностью аппроксимации (0,956) при поверхностной основной обработке почвы.

6 Смыву почвы от стока талых вод больше всего подвержены участки, обработанные плугом. Здесь на смыв 1 т почвы затрачивалось от 0,9 до 6,5 мм талой воды, на плоскорезной обработке – от 4,0 до 9,0 мм, поверхностной – от 2,2 до 10,0 мм и чизельной – от 0,95 до 10,2 мм. Сниже-

ние смыва почвы на безотвальных обработках связано с наличием на поверхности пашни стерни и пожнивных остатков.

Список источников

1. Зональные системы земледелия Ростовской области (на период 2013–2020 гг.). В 3 ч. Ч. 1 / А. П. Авдеенко, Е. В. Агафонов, К. С. Артохин, Н. Ф. Гайворонская, А. В. Гринько, И. Н. Ильинская, А. В. Лабынцев, О. Г. Назаренко, Т. Г. Пашковская, Е. В. Полуэктов, В. И. Продан, А. В. Титаренко, О. А. Целуйко; М-во сел. хоз-ва и продовольствия Рост. обл. Ростов н/Д., 2012. 233 с.
2. Листопадов И. Н. Севообороты южных регионов. Ростов н/Д., 2005. 276 с.
3. Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней. Л., 1976. 256 с.
4. Барабанов А. Т. Закономерности формирования поверхностного слоя талых вод, его прогноз и регулирование // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 1(33). С. 65–68.
5. Условия формирования поверхностного стока. Прогноз причиняемого ущерба. Компенсационные мелиоративные мероприятия / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Е. В. Полуэктов, Н. И. Балакай. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 450 с.
6. Мониторинг деградационных процессов на склоновых агроландшафтах / Н. М. Жолинский, В. А. Тарбаев, А. В. Молочко, А. В. Аркадьева // Известия Саратовского университета. Науки о Земле. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 79–82. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-2-79-82>.
7. Современные тенденции изменения водной эрозии почвы на склоновых агроландшафтах Саратовского Правобережья / Н. М. Жолинский, И. Н. Кораблёва, В. А. Тарбаев, Р. Р. Гафуров, А. А. Аркадьева, А. П. Несват // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 4(78). С. 34–37.
8. Li J. L., Zhang L. M. Soil-water characteristic curve and permeability function for unsaturated cracked soil // Canadian Geotechnical Journal. 2011, July. 48(7). P. 1010–1031. DOI: 10.1139/t11-027.
9. Elhakim A. F. Estimation of soil permeability // Alexandria Engineering Journal. 2016, Aug. Vol. 55, iss. 3. P. 2631–2638. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.07.034>.
10. Астапов С. В. Мелиоративное почвоведение: практикум. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Сельхозгиз, 1958. 367 с.
11. Дьяков В. Н. Совершенствование метода учета смыва почв по водородинам // Почвоведение. 1984. № 3. С. 146–148.
12. Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почвы при изучении водной эрозии. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 88 с.
13. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
14. Полуэктов Е. В. Водопроницаемость эродированных североприазовских черноземов // Почвоведение. 1982. № 4. С. 81–85.
15. Полуэктов Е. В. Противоэрозионные мероприятия мелиорации земель. Новочеркасск: Лик, 2011. 251 с.
16. Желнакова Л. И., Петрова Н. В. Некоторые вопросы борьбы с ветровой и водной эрозией на Ставрополье // Научные основы обработки почв на Ставрополье. Ставрополь, 1983. С. 73–88.
17. Системы земледелия нового поколения Ставропольского края / В. В. Кулинцев [и др.]. Ставрополь: АГРУС, 2013. 520 с.

References

1. Avdeenko A.P., Agafonov E.V., Artokhin K.S., Gaivoronskaya N.F., Grinko A.V., Pyinskaya I.N., Labyntsev A.V., Nazarenko O.G., Pashkovskaya T.G., Poluektov E.V.,

Prodan V.I., Titarenko A.V., Tseluiko O.A., 2012. *Zonal'nye sistemy zemledeliya Rostovskoy oblasti (na period 2013–2020 gg.)* [Zonal Farming Systems of Rostov Region (for the period 2013–2020)]. In 3 parts, part 1, Ministry of Agriculture and Food of Rostov region, Rostov-on-Don, 233 p. (In Russian).

2. Listopadov I.N., 2005. *Sevooboroty yuzhnykh regionov* [Crop Rotations of Southern Regions]. Rostov-on-Don, 276 p. (In Russian).

3. Surmach G.P., 1976. *Vodnaya eroziya i bor'ba s ney* [Water Erosion and Its Control]. Leningrad, 256 p. (In Russian).

4. Barabanov A.T., 2012. *Zakonomernosti formirovaniya poverkhnostnogo sloya talykh vod, ego prognoz i regulirovanie* [Patterns of formation of the surface melt water runoff, its forecast and regulation]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bull. of Orenburg State Agrarian University], no. 1(33), pp. 65-68. (In Russian).

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

6. Zholinsky N.M., Tarbaev V.A., Molochko A.V., Arkadieva A.V., 2019. *Monitoring degradatsionnykh protsessov na sklonovykh agrolandshaftakh* [Monitoring of degradation processes on slope agrolandscapes]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Nauki o Zemle* [Bull. of Saratov University. Earth Sciences], vol. 19, no. 2, pp. 79-82, <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-2-79-82>. (In Russian).

7. Zholinsky N.M., Korableva I.N., Tarbaev V.A., Gafurov R.R., Arkadieva A.A., Nesvat A.P., 2019. *Sovremennye tendentsii izmeneniya vodnoy erozii pochvy na sklonovykh agrolandshaftakh Saratovskogo Pravoberezh'ya* [Current trends of changes in soil water erosion on slope agro-landscapes of Saratov Right Bank]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bull. of Orenburg State Agrarian University], no. 4(78), pp. 34-37. (In Russian).

8. Li J.L., Zhang L.M., 2011. Soil-water characteristic curve and permeability function for unsaturated cracked soil. *Canadian Geotechnical Journal*, July, 48(7), pp. 1010-1031, DOI: 10.1139/t11-027.

9. Elhakim A.F., 2016. Estimation of soil permeability. *Alexandria Engineering Journal*, Aug., vol. 55, iss. 3, pp. 2631-2638, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.07.034>.

10. Astapov S.V., 1958. *Meliorativnoe pochvovedenie: praktikum* [Reclamation Soil Science: workshop]. 2nd ed., rev. and add., Moscow, Selkhozgiz Publ., 367 p. (In Russian).

11. Dyakov V.N., 1984. *Sovershenstvovanie metoda ucheta smyva pochv po vodoroinam* [Improving the method of registering soil washout by water bodies]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 3, pp. 146-148. (In Russian).

12. *Metodicheskie rekomendatsii po uchetu poverkhnostnogo stoka i smyva pochvy pri izuchenii vodnoy erozii* [Guidelines for accounting for surface runoff and soil washout in the study of water erosion]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975, 88 p. (In Russian).

13. Dospikhov B.A., 1985. *Metodika polevogo opyta* [Method of Field Experiment]. Moscow, Agropromizdat Publ., 351 p. (In Russian).

14. Poluektov E.V., 1982. *Vodopronitsaemost' erodirovannykh severopriazovskikh chernozemov* [Water permeability of the eroded Severo-Azov chernozems]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 4, pp. 81-85. (In Russian).

15. Poluektov E.V., 2011. *Protivoerozionnye meropriyatiya melioratsii zemel* [Erosion Preventing Land Reclamation Measures]. Novocherkassk, Lik Publ., 251 p. (In Russian).

16. Zhelnakova L.I., Petrova N.V., 1983. *Nekotorye voprosy bor'by s vetrovoy i vodnoy eroziy na Stavropol'e* [Some issues of wind and water erosion control in the Stavropol

territory]. *Nauchnye osnovy obrabotki pochv na Stavropol'e* [Scientific Bases of Soil Cultivation in Stavropol Territory]. Stavropol, pp. 73-88. (In Russian).

17. Kulintsev V.V. [et al.], 2013. *Sistemy zemledeliya novogo pokoleniya Stavropol'skogo kraja* [Agricultural Systems of a New Generation of Stavropol Territory]. Stavropol, AGRUS Publ., 520 p. (In Russian).

Информация об авторах

Е. В. Полуэктов – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

И. В. Батищев – младший научный сотрудник.

Information about the authors

E. V. Poluektov – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

I. V. Batishchev – Junior Researcher.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 25.01.2021; одобрена после рецензирования 25.03.2021; принята к публикации 31.03.2021.

The article was submitted 25.01.2021; approved after reviewing 25.03.2021; accepted for publication 31.03.2021.