

**Влияние климатических изменений на юге России
на скважность и влагоемкость глубоко разрыхленных почв**

Андрей Андреевич Михайлин¹, Михаил Александрович Бандурин²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова», г. Новочеркасск, Россия

e-mail: landreymih@gmail.com

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты исследований скорости впитывания воды и изменения возможной предельной влагоёмкости почвы, глубоко разрыхленных равнинных и склоновых участках обыкновенного (пред кавказского) чернозема с учетом климатических изменений на юге России. Сложившееся состояние климата и показатели физико-механических свойств почвы обрабатываемых равнинных и склоновых земель требуют разработки новых технологий и технических средств для создания необходимых условий увеличения водопроницаемости обрабатываемых почв. Для исследований использовали обрабатываемые земли ФГБУ ВО УНПК Донской «Учхоз Зерновое» ДГАУ, Ростовская область, Зерноградский р-н. Коэффициент природной увлажненности варьирует от 0,30–0,35 в преимущественно сухой год до 0,7–0,9 во влажный год. Осадки за вегетационный период – 310–470 мм. Затраты тепла на их испарение составляют 80–118 кДж/см². Дефицит увлажнения почвы – 400–550 мм, в то время как испаряемость составляет 1050–1200 мм. Дефицит водопотребления 300–390 мм. Преимущественно с последней декады июня наблюдается существенный недостаток внутрисочвенной влаги. Обработка данных выполнялась с применением стандартных и специальных методик. На поле, обработанном вспашкой на 0,20–0,25 м на глубине 0,30 м, вода почвой впитывалась в среднем на 38 % хуже, чем на участке, обработанном глубоким рыхлением до 0,60 м инновационным чизелем ГНЧ-0,6М в режиме «Обработка равнинных участков». На вспашке влагоемкость метрового слоя почвы примерно в 1,5 раза ниже по сравнению с глубоким рыхлением. Использование инновационного чизеля-глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М в режиме «Обработка равнинных участков» позволяет: во-первых, в 1,5 раза увеличивать возможную предельную влагоемкость метрового горизонта обрабатываемых земель в сравнении с вспашкой; во-вторых, снизить влияние поверхностного стока воды; в-третьих, в метровом слое почвы более чем на 50 % увеличить запасы продуктивной влаги.

Ключевые слова: влажность; влагоёмкость; скорость впитывания; переуплотнение; глубокое рыхление; чизель; климатические изменения.

Для цитирования: Михайлин А. А., Бандурин М. А. Влияние климатических изменений на юге России на скважность и влагоемкость глубоко разрыхленных почв // Аграрный научный журнал. 2023. № 11. С. 171–180. <http://10.28983/asj.y2023i11pp171-180>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Research of the borehole moisture capacity of deeply loosened soils
in the south of the Rostov region**

Andrey A. Mikhaylin¹, Mikhail A. Bandurin²

¹Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)”, Rostov Region, Novocherkassk, Russia.

e-mail: landreymih@gmail.com

²Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia.

Annotation. The article presents the results of studies of the water absorption rate and the change in the possible limiting moisture capacity of the soil, deeply loosened flat and sloping areas of ordinary (Pre-Caucasian) chernozem, taking into account climatic changes in southern Russia. The current state of the climate and indicators





of the physical and mechanical properties of the soil of cultivated flat and sloping lands require the development of new technologies and technical means to create the necessary conditions for increasing the water permeability of cultivated soils. For research, cultivated lands of the Federal State Budgetary Institution of Higher Education UNPK Donskoy "Uchkhoz Grain" DGAU, Rostov Region, Zemogradsky District were used. The coefficient of natural moisture varies from 0.30–0.35 in a predominantly dry year to 0.7–0.9 in a wet year. Precipitation during the growing season – 310–470 mm. The heat consumption for their evaporation is in the range from 80 to 118 kJ/cm². Soil moisture deficit is 400–550 mm, while evaporation is 1050–1200 mm. The deficit of water consumption is 300–390 mm. Mostly since the last ten days of June, there has been a significant lack of soil moisture. Data processing was carried out using standard and special techniques. On the field cultivated by plowing to 0.20–0.25 m at a depth of 0.30 m, water was absorbed by the soil on average 38 % worse than in the area cultivated by deep loosening up to 0.60 m with the innovative chisel GNCh-0.6M in mode "Processing flat areas". On plowing, the moisture capacity of a meter layer of soil is approximately 1.5 times lower compared to deep loosening. The use of the innovative chisel-subsoiler GNCH-0.6M in the "Treatment of flat areas" mode allows: firstly, to increase the maximum moisture capacity of a meter horizon of cultivated land by 1.5 times in comparison with plowing; secondly, to reduce the impact of surface water runoff; thirdly, in a meter layer of soil to increase the reserves of productive moisture by more than 50 %.

Keywords: humidity; moisture capacity; absorption rate; overconsolidation; deep loosening; chisel; climate change.

For citation: Mikhaylin A. A., Bandurin M. A. Research of the borehole moisture capacity of deeply loosened soils in the south of the Rostov region // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(11):171–180. (In Russ.). <http://10.28983/asj.y2023i11pp171-180>.

Введение. Согласно опубликованным данным «Климатического центра Росгидромета» в XXI веке, на территории юга России будет продолжаться увеличение мощности выпадения атмосферных осадков как ливней, так и снегопадов, при одновременном уменьшении их количества. В течение 50–60 лет будет фиксироваться нарастание негативных погодных явлений: сильных паводков и наводнений, штормовых ветров, температурных «качелей» – поочерёдных колебаний холодных и теплых периодов. При этом на территории ЮФО и Ставропольского края отмечается возрастание количества суток в зимний период с аномально большим количеством осадков, а летом – их значительное снижение. В среднем, преимущественно за летний сезон в некоторых южных регионах России предполагается снижение интенсивности экстремальных осадков. Но, при таком развитии климатической ситуации, в отдельные дни количество экстремальных осадков летом может превышать предельные значения исторических рекордов [1].

С 70-х гг. XX в. показатели плотности почвы стали увеличиваться и в среднем возросли на 20 % из-за действия энергонагруженной сельскохозяйственной мобильной техники [2]. Использование такой техники на полях приводит к созданию предпосылок для накопления остаточных деформаций и развития уплотнений в метровом слое обрабатываемых земель. В результате такого воздействия на глубине 0,60–0,70 м возникают так называемые «ядра уплотнения» – малые области в толще почвы с сверхпереуплотнением – до 2,2 г/см³. Спустя непродолжительное время при дальнейшем воздействии энергонагруженной сельскохозяйственной техники «ядра уплотнения» консолидируются с градиентом роста – к дневной поверхности и образуют переуплотнённый слой – «плужную подошву». Данный переуплотнённый слой препятствует ускоренной фильтрации вглубь почвы воды обильных атмосферных осадков. Также на орошаемых землях при больших поливных нормах возникают условия для создания переуплотнённых горизонтов почвы. Приведенные негативные факторы приводят к нерациональной потере влаги на испарение при высоких дневных летних температурах воздуха или в период засухи. Возникает поверхностный сток, резко отрицательно воздействуя на склоновые земли. Особенно в предкавказских чернозёмах, отягощённых переуплотнением, резко снижается скорость капиллярного притока влаги из нижних слоев почвы к поверхностному слою толщиной 0–0,10 м.

В результате переуплотнения обрабатываемых земель в почве возникает слой, плотность которого от 1,7 до 1,9 г/см³ на глубине 0,25–0,60 м, а в некоторых местах достигает и 2,1 г/см³ (плотность хорошо укатанной грунтовой дороги). Создавшийся переуплотненный горизонт снижает коэффициент фильтрации и воздухопроницаемости почвы в 5–15 раз. Происходит повышение температуры до 30 °C в верхнем 0–0,25 м слое почвы, что создаёт некомфортные условия для примерно 40 % корневой массы посевных культур (например, пшеница), которые находится



в данном слое [3–5]. Такое состояние физико-механических показателей 0–60 см слоя обрабатываемых равнинных и склоновых земель негативно влияет на все почвообразовательные процессы в нём и, как следствие, приводит к резкому снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

Сложившееся состояние климата на юге России и показатели физико-механических свойств 0–60 см слоя почвы обрабатываемых равнинных и склоновых земель требуют разработки новых технологий и технических средств для создания необходимых условий увеличения водопроницаемости обрабатываемых почв. Создание универсальных почвообрабатывающих орудий для равнинных и склоновых земель с соответствующей архитектурой рабочих органов пассивного типа необходимо, чтобы переуплотненные горизонты почвы крошились на почвенные комки необходимых размеров для требуемой интенсивности фильтрационной способности полей. Получаемый урожай или биологическая продуктивность почвы является интегральным показателем экономических функций обрабатываемых сельскохозяйственных земель. Следовательно, повышению биологической продуктивности обрабатываемых земель способствует главным образом применение различных видов мелиораций. В рассматриваемом случае имеет место мелиорация переуплотненных равнинных и склоновых земель, которые после рыхления получают новое эволюционное развитие и возможность реализации новых технологических процессов, как предпосылок для обеспечения глобальной цели – повышения урожайности обрабатываемых орошаемых и богарных, равнинных и склоновых сельскохозяйственных угодий. Исходя из этого, для почвообработки склонов на глубину до 0,60 м необходимо применение наиболее подходящего технического приема – новые способы их обработки с использованием специальных безотвальных глубоких рыхлителей по качественному улучшению плодородия склоновых земель. Их применение будет способствовать аккумуляции атмосферных осадков или оросительной воды в толще обрабатываемого слоя до 0,6 м в доступной форме для корней сельскохозяйственных растений.

Методика исследований. В исследовании использовали обрабатываемые земли ФГБУ ВО УНПК Донской «Учхоз Зерновое» ДГАУ, Ростовская область, Зерноградский р-н. Место исследований – Ростовская область, её юго-западная часть и частично Манычская впадина. Климатические условия на данной территории – умеренно континентальные, жаркие. Среднегодовое значение температуры воздуха – 9,6 °С. Влажность воздуха – 56–57 %. Коэффициент природной увлажненности варьирует от 0,30–0,35 в преимущественно сухой год до 0,7–0,9 во влажный год. Осадки за вегетативный период – 310–470 мм. Затраты тепла на их испарение составляют от 80 до 118 кДж/см². Количество осадков в среднем за год – 560–600 мм. В начале вегетационного периода запасы влаги равны 140–180 мм – 55–65 % от НВ. Дефицит увлажнения почвы – 400–550 мм, в то время как испаряемость составляет 1050–1200 мм. Дефицит водопотребления 300–390 мм. Данная территория относится к 3-му природно-мелиоративному району. Почвенный покров региона, где проводили исследования, представлен обыкновенными (предкавказскими) черноземами. Содержание гумуса 3,2–3,3 %. Преимущественно с последней декады июня наблюдается



Рис. 1. ГНЧ-0,6М



Рис. 2. Глубокое рыхление и вспашка + дискование



существенный недостаток внутрипочвенной влаги. Поле, на котором проводилось исследование, располагается на юго-западном склоне и имеет уклон – до 5 град. [2]. Глубокое рыхление проводили инновационным универсальным навесным чизелем для безотвальной глубокой обработки равнинных и склоновых земель до 0,6 м – глубокорыхлителем ГНЧ-0,6М. Данное орудие, оборудованное для обработки равнинных земель [6], представлено на рис. 1. Исследование скважности проводили на двух видах глубокой обработки почвы – для равнинных и склоновых земель [7, 12].

Безотвальное глубокое рыхление для равнинных участков показано на рис. 2. Представлено для сравнения два способа обработки почвы, слева – вид опытного участка, возделанного глубоким рыхлением в режиме «Обработка равнинных участков» на глубину 0,55–0,60 м, справа – подготовленный участок вспашкой (глубина обработки 0,22–0,25 м) + дискование.

На рис. 3 показан процесс обработки земли глубоким рыхлением в режиме «Обработка склонов» и вид обработанного поля после применения инновационного универсального чизеля навесного ГНЧ-0,6М [12].

Вид поперечной проекции глубоко разрыхленной почвы представленным экспериментальным орудием в режиме «Обработка склонов» представлен на рис. 4.

Исследования для натурального эксперимента по определению скорости впитывания и влагоёмкости проводили на общем поле, которое было разделено на опытные участки. Площадь опытных участков, отведённых для глубокой безотвальной обработки почвы на глубину 0,55–0,6 м в режиме «Обработка равнинных участков» и в режиме «Обработка склонов», составляла по 16 га, площадь контрольного варианта (вспашка на глубину 0,22–0,25 м) – примерно 70 га. В последующем на этом поле планировалось возделывание в ярового ячменя. Глубокое рыхление опытного участка проводили в октябре 2016 г.

Натурные исследования по сравнению скорости впитывания и влагоёмкости обработанного поля рассматриваемыми способами проводили в ноябре 2016 г. Планом проведения исследований предусматривалось:

- 1) изготовить приспособление для лабораторно-полевого определения скважности почвы на нескольких видах её обработки;
- 2) установить зависимость скорости впитывания воды от разных способов обработки почвы;
- 3) определить влагоёмкость почвы при разных способах ее обработки для равнинных и склоновых земель.

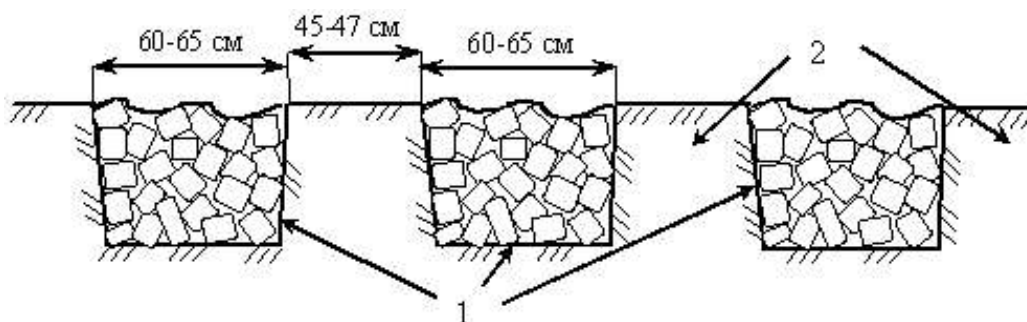


Рис. 4. – Поперечная проекция разрыхленного слоя почвы в режиме «Обработка склонов»: 1 – разрыхленные промежутки на глубину до 0,60 м; 2 – переуплотнённые необработанные промежутки – «целяк»

На рис. 5 показано экспериментальное приспособление для лабораторно-полевого определения скважности почвы.

По мере изменения уровня воды с течением времени в приспособлении снимают показания мерной линейки в определённые промежутки времени – 10 мин, 30; 60; 100; 150; 210; 280 и 360 мин соответственно. Замеры в эксперименте проводили с трёхкратной повторностью. Обработку данных производили согласно стандартным и специальным методикам.

Результаты исследований. Исследования скорости впитывания воды почвой на участках обработанных вспашкой (глубина обработки 0,20–0,25 м) – контроль и глубоким рыхлением (глубина обработки до 0,60 м) инновационным чизелем ГНЧ-0,6М, проведенные в Ростовской области Зерноградского района на полях УНПК «Учхоз Зерновое» ФГБУ ВО Донской ГАУ, показали, что при глубоком рыхлении инновационным орудием в режиме «Обработка равнинных участков» и вспашки на глубину 0,20–0,25 м в скорости оседания столба жидкости в слое почвы 0–0,05 м различий не зафиксировано. Отставания в скорости впитывания воды на контрольном участке, обработанном вспашкой на глубину 0,20–0,25 м, начали фиксировать со слоя 0,25–0,30 м и глубже (табл. 1.).

Из результатов эксперимента по определению скважности почвы на участке, обработанном вспашкой на 0,20–0,25 м и безотвальным рыхлением на глубину до 0,60 м инновационным чизелем ГНЧ-0,6М в режиме «Обработка равнинных участков», видно, что на участке с глубоким рыхлением в установленном режиме в первый период времени – 10 мин – на глубине 0,20 м оседание столба воды составляло 8 см, а на вспашке 3,2 см. Во второй период времени спустя 30 мин после старта столб воды в экспериментальной установке осел до значения 12,7 см на глубоком рыхлении и до 7,4 см на вспашке. В третий период времени – через 60 мин после начала измерений, на разрыхленном участке столб воды осел до 15,5 см, а на вспашке – до 10,2 см. После 1 ч 40 мин от начала измерений столб воды осел на вспашке до величины 15,0 см, в то время как на глубоком рыхлении до 19,7 см. Спустя 2,5 ч на опытном участке, обработанном вспашкой, воды оставалось ещё около 6,5 см в лабораторном приспособлении, в то время как на участке с применением глубокого рыхления инновационным чизелем ГНЧ-0,6М вода в экспериментальном приспособлении впиталась полностью.

На рис. 6 показаны результаты полученных экспериментальных данных, в дальнейшем получены регрессионные зависимости. Установлено, что вода на равнинном участке, обработанном вспашкой на глубину 0,20–0,25 м, в слое почвы на глубине 0,30 м вода впитывалась в среднем на 38 % хуже, чем на участке, обработанном рыхлением на глубину до 0,60 м инновационным чизелем.

Таблица 1

Влияние способа обработки равнинного участка почвы на скорость впитывания воды, см (ноябрь 2016 г.)

Способ обработки почвы	Слой почвы, м	Величина оседания столба жидкости, см							
		10 мин	30 мин	60 мин	100 мин	150 мин	210 мин	280 мин	360 мин
Вспашка	0–0,05	10,2	14,7	18,8	25,0	–	–	–	–
	0,25–0,30	3,2	7,4	10,2	15,0	18,5	22,0	25,0	–
	0,40–0,45	Уровень воды без изменений							
Рыхление в режиме «Обработка равнинных участков»	0–0,05	9,7	14,0	17,0	25,0	–	–	–	–
	0,25–0,30	8,0	12,7	15,5	19,7	25,0	–	–	–
	0,40–0,45	4,0	7,7	12,0	15,2	17,1	20,2	25,0	–

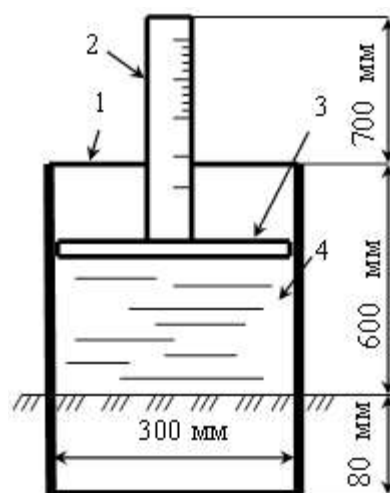


Рис. 5. Приспособление для определения в полевых условиях скважности почвы: 1 – корпус в виде квадратной трубы, толщина стенок которой составляет 3 мм; 2 – мерная линейка; 3 – поплавок





лем ГНЧ-0,6М в режиме «Обработка равнинных участков». В слое почвы на глубине 0,45 м столб воды на глубоком рыхлении осел полностью только через 4 ч 40 мин, при этом на вспашке уровень воды в лабораторном приспособлении не менялся более 6 ч.

В рамках исследований необходимо было проверить реологические свойства скважности почвы разрыхленных равнинных участков. В октябре 2017 г. и 2018 г. проводили исследования влияния глубокого безотвального рыхления на скорость впитывания воды на равнинном участке, которое было проведено в 2016 г. Полученные значения приведены в табл. 3, 4. Анализ данных табл. 3 показывает, что на равнинном участке, обработанном глубоким рыхлением инновационным навесным чизелем ГНЧ-0,6М, скорость впитывания воды в слое почвы 0,25–0,30 м замедляется в среднем на 20,3 %. При этом вода в лабораторной установке полностью впиталась спустя 230 мин с начала отсчёта, что больше на 2,3 ч, чем годом ранее на этом же участке. В слое почвы на глубине 0,45 м вода стала впитываться в среднем на 40 % медленнее и полностью впиталась спустя 410 мин, это более чем на 2 ч дольше, чем годом ранее.

Анализ данных табл. 4 показывает, что показатели скорости впитывания на участке, обработанном глубоким рыхлением до 0,6 м инновационным ГНЧ-0,6Мв режиме «Обработка равнинных участков» 2 года ранее, на глубине 0,45 м практически не отличаются от показателей на участке, обработанном вспашкой. На глубине 0,30 м показатели скорости впитывания на участке с глубоким рыхлением приобретают уверенную тенденцию к идентичности с данными на участке с вспашкой. Следовательно, последствие проведённого глубокого рыхления в предлагаемом виде оканчивается осенью 2019 г.

Таблица 3

Влияние способа обработки равнинного участка почвы на скорость впитывания воды, см (октябрь 2017 г.)

Способ обработки почвы	Слой почвы, м	Величина оседания столба жидкости, см							
		10 мин	30 мин	60 мин	100 мин	150 мин	210 мин	280 мин	410 мин
Вспашка	0–0,05	10,0	14,5	18,5	25,0	–	–	–	–
	0,25–0,30	3,3	7,7	10,1	15,2	18,4	19,5	25,0	–
	0,40–0,45	Уровень воды без изменений							
Рыхление в режиме «Обработка равнинных участков»	0–0,05	9,9	14,5	18,8	25,0	–	–	–	–
	0,25–0,30	5,9	10,2	12,7	16,1	20,3	22,6	25,0	–
	0,40–0,45	2,0	4,8	7,4	10,0	13,2	16,1	20,7	25

Таблица 4

Влияние способа обработки равнинного участка почвы на скорость впитывания воды, см (октябрь 2018 г.)

Способ обработки почвы	Слой почвы, м	Величина оседания столба жидкости, см							
		10 мин	30 мин	60 мин	100 мин	150 мин	210 мин	280 мин	410 мин
Вспашка	0–0,05	10,0	14,5	18,5	25,0	–	–	–	–
	0,25–0,30	3,3	7,7	10,3	15,5	18,2	19,4	25,0	–
	0,40–0,45	Уровень воды без изменений							
Рыхление в режиме «Обработка равнинных участков»	0–0,05	10,1	14,4	18,6	25,0	–	–	–	–
	0,25–0,30	3,4	7,9	12,7	15,6	18,6	20,6	25,0	–
	0,40–0,45	0,5	0,8	1,1	Уровень воды без изменений				

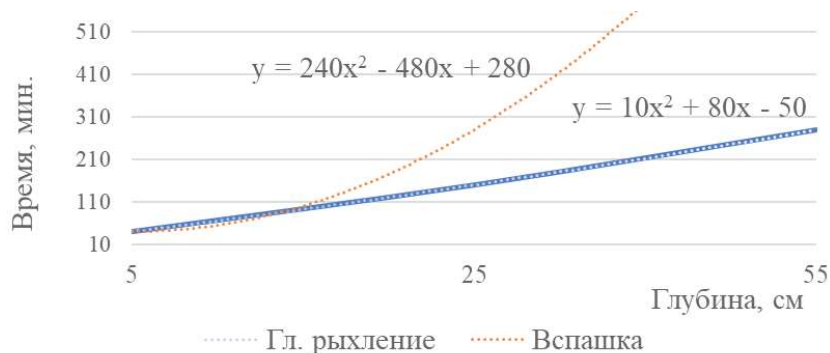


Рис. 6. График впитывания воды почвой на равнинном участке (ноябрь 2016 г.)

Учитывая вышеизложенное можно утверждать, что проведённое глубокое рыхление до 0,6 м инновационным чизелем ГНЧ-0,6М позволяет проводить эту обработку периодичностью через каждые 2 года для поддержания улучшенных характеристик скважности, возделываемых таким видом обработки полей в данной климатической зоне с приведенной почвенной разностью. При рыхлении почвы в режиме «Обработка склонов» экспериментальным глубокорыхлителем ГНЧ-0,6М исследованиями предусматривалось определение скважности почвы в разрыхленных областях и сравнение полученных результатов с данными при рыхлении в режиме «обработка равнинных участков». Результаты исследований по скорости впитывания воды, на участке, обработанном вспашка/глубокое рыхление в режиме «Обработка склонов», приведены в табл. 5.

Таблица 5

**Влияние глубокой обработки почвы в режиме «Обработка склонов»
на величину оседания столба воды (ноябрь 2016 г.)**

Слой почвы, м	Значение высоты столба воды в установке, см							
	10 мин	30 мин	60 мин	100 мин	150 мин	210 мин	240 мин	360 мин
0–0,05	9,3	14,0	16,2	25,0	–	–	–	–
0,25–0,30	7,5	12,0	15,0	19,0	24,0	25,0	–	–
0,40–0,45	3,5	6,0	11,0	14,0	16,5	18,0	25,0	–

Из полученных данных по скважности почвы, обработанной экспериментальным рыхлителем в режиме «Обработка склонов», разрыхленных областей видно, что на глубине 30 см замедляется скорость оседания столба воды. Отставание происходит в среднем на 0,68 см. Оседание столба воды в слое почвы на глубине 0,30 м полностью произошло на 40 мин дольше в сравнении с разрыхленной почвой в режиме «Обработка равнинных участков», это увеличило временной промежуток полного впитывания воды почти на 21 %. В то время как в слое почвы на глубине 0,45 м скорость оседания столба воды в экспериментальной установке возросла на 10,7 %. Учитывая, что процесс впитывания закончился почти на 35 мин раньше, чем на участке, обработанном в режиме «Обработка равнинных участков», можно утверждать, что удельно скважность области разрыхления, образованной от стойки инновационного глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М, практически не меняется.

Как показали многочисленные исследования российских учёных, показатели предельной влагоемкости почвы зависят от её механических характеристик, в частности значений по плотности, на которые непосредственно оказывают влияние различные виды обработок [4, 5, 8, 9]. Многими исследователями установлено, что значение скважности пахотного слоя почвы составляет 45–55 %. Ниже пахотного слоя плотность почвенных горизонтов резко возрастает, при этом скважность почвы снижается до 10 % [3, 8–11, 13]. При глубоком рыхлении (до 0,6 м) увеличивается объем почвы и резко повышается скважность, следовательно, и влагоемкость почвы. Отсюда приведём расчёт предельной влагоемкости метрового слоя почвы 1 м² поля при его обработке вспашкой на глубину 0,25 м и глубоким рыхлением до 0,60 м инновационным рыхлителем навесным чизельного типа ГНЧ-0,6М.

Пахотный слой предкавказского чернозема имеет плотность 1,1 г/см³, а скважность 45 %. Положим, что ниже пахотного слоя, на глубине 0,75 м, почва имеет плотность в среднем 1,8 г/см³, а скважность около 10 %. Определим возможную влагоемкость почвы пахотного слоя в состоянии предельной влагонасыщенности:

$$W_1^H = \rho h V; w_1^H = 1,1 \cdot 0,25 \cdot 0,45 = 0,113 \text{ м}^3.$$

где W_1^H – возможная влагоемкость на вспашке; ρ – плотность почвы на обрабатываемом участке; h – глубина обработки; V – скважность почвы на обрабатываемом участке.

Следовательно, возможная предельная влагоемкость слоя 0,25–1,0 м почвы площадью 1 м² равнинного участка пахоты:

$$w_1^H = 1,1 \cdot 0,75 \cdot 0,1 = 0,075 \text{ м}^3.$$



Влагодность равнинного участка площадью 1 м² слоя почвы глубиной 1 м на вспашке:

$$W_1 = W_1^{\text{н}} + W_1^{\text{г}} = 0,113 + 0,075 = 0,188 \text{ м}^3.$$

Отсюда, на равнинном участке площадью 1 га, обработанного вспашкой, возможная предельная влагодность в слое почвы глубиной 1 м составляет 1880 м³/га.

В зоне проведения исследований в слое почвы 0,6 м при её глубоком рыхлении плотность составляет 1,25–1,3 г/см³, а скважность 40 %. Отсюда полагаем, что возможная предельная влагодность разрыхленного 0,6 м слоя почвы равнинного участка площадью 1 м² и глубиной 1 м составит:

$$W_2^{\text{р}} = 1,1 \cdot 0,6 \cdot 0,4 = 0,240 \text{ м}^3.$$

Ниже разрыхленного слоя (0,60–1,0 м) влагодность почвы равнинного участка площадью 1 м² глубиной 1 м:

$$W_2^{\text{н}} = 1,1 \cdot 0,4 \cdot 0,1 = 0,040 \text{ м}^3.$$

В целом влагодность равнинного участка площадью 1 м² при глубоком рыхлении в слое почвы глубиной 1 м составит:

$$W_2 = W_2^{\text{р}} + W_2^{\text{н}} = 0,280 \text{ м}^3.$$

Следовательно, предельная возможная влагодность глубоко разрыхленного равнинного участка площадью 1 га в слое 1 м составит 2800 м³ воды.

В табл. 6 показаны результаты расчета послойной влагодности 1 м² равнинного участка на глубину 1 м при обработке вспашкой на 0,20–0,25 м и глубоким рыхлением до 0,6 м.

Исходя из представленных в табл. 6 значений послойной влагодности равнинных земель следует, что на влагодность метрового слоя равнинного поля в данной зоне проведения исследований существенное влияние оказывает обработка глубоким рыхлением до 0,60 м с использованием инновационного чизеля ГНЧ-0,6М. Возникает значительная разница с участком, обработанным вспашкой на 0,20–0,25 м, в показателях послойной влагодности. Влагодность метрового слоя почвы при глубокой безотвальной обработке возрастает почти в 1,5 раза, по сравнению со вспашкой (рис. 7). Учтем также, что денежные средства и производительность труда, затраченные на обработку поля, будут практически одинаковыми как при глубоком безотвальном рыхлении до 0,60 м инновационным ГНЧ-0,6М, так и при вспашке на глубину 0,20–0,25 м [14, 15].

Заключение. В результате натурных исследований установлено, что глубокое рыхление почвы до 0,60 м в режимах «Обработка равнинных участков» и «Обработка склонов» экспериментальным глубокорыхлителем ГНЧ-0,6М способствует более быстрому впитыванию воды в слоях почвы 5–25 см, чем на участке, обработанном вспашкой на глубину 0,20–0,25 м. При этом на вспашке продвижение воды практически останавливается на глубине 50 см. Последствие

Таблица 6

Послойная влагодность метрового слоя равнинных земель

Способ обработки	Слой почвы, см	Плотность почвы, г/см ³	Скважность, %	Влагодность, м ³ /м ³
Без обработки	0–25	1,60	10	0,100
	25–60			
	60–100			
	Всего			0,100
Вспашка глубиной 0,20–0,25 м	0–25	1,10	45	0,113
	25–60	1,60	10	0,075
	60–100			
	Всего			0,188
Глубокое рыхление (ГНЧ-0,6М) (до 0,6 м)	0–25	1,25	40	0,240
	25–60	1,60	10	0,040
	60–100			
	Всего			0,280





Рис. 7. Влияние способов обработки почвы на возможную предельную влагоёмкость метрового слоя почвы равнинных участков

ных показал, что глубокое рыхление равнинных земель способствует увеличению влагоёмкости метрового слоя почвы почти в 1,5 раза в сравнении со вспашкой, если рыхление проводилось инновационным чизелем ГНЧ-0,6М в режиме «Обработка равнинных участков». В то время как при глубоком рыхлении склоновых земель чизелем ГНЧ-0,6М в режиме «Обработка склонов» влагоёмкость метрового слоя почвы в 1,3 раза больше, чем на вспашке. Такие показатели предельной возможной влагоёмкости способствуют уменьшению поверхностного стока воды в условиях возрастания мощности выпадения атмосферных осадков в южных регионах России. Также запасы продуктивной влаги метрового слоя глубоко разрыхленных земель (глубина обработки – до 0,60 м) увеличиваются на 50 % и более.

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 22-17-20001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрофизические процессы формирования запасов продуктивной влаги в почве / Е. П. Денисов [и др.] // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2014. № 8. С. 10–15.
2. Влияние приемов основной обработки почвы и удобрений на агрохимические свойства черноземов / Т. А. Трофимова [и др.] // Аграрный научный журнал. 2019. № 4. С. 38–44. DOI 10.28983/asj.y2019i4pp38-44.
3. Михайлин А.А. Разуплотнение подпахотного слоя почвы в зоне орошения глубокорыхлителем чизельного типа: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Новочеркасск, 2003. 176 с.
4. Ветохин В. И. Системные и физико-механические основы проектирования рыхлителей почвы: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Киев; М., 2010. 40 с.
5. Борисенко И.Б. Совершенствование ресурсосберегающих и почвозащитных технологий и технических средств обработки почвы острозасушливых условиях Нижнего Поволжья: дис. ... д-ра техн. наук. Волгоград, 2006. 402 с.
6. Пат. 2694571 Российская Федерация МПК A01B 13/14. Универсальный глубокорыхлитель навесной чизельный / Михайлин А.А.; заявитель и патентообладатель Михайлин А.А. заявл. 21.11.2017; опубл. 21.05.2019, Бюл. № 15. 5 с.
7. Пат. 2255450 Российская Федерация МПК A01B 13/16. Способ обработки склоновых почв / Михайлин А.А.; заявитель и патентообладатель Михайлин А.А. заявл. 29.03.2002; опубл. 10.07.2005, Бюл. № 19. 5 с.
8. Божко И. В., Пархоменко Г. Г., Громаков А. В., Камбулов С. И., Рыков В. Б. Разработка комбинированного рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 8. С. 3–6.
9. Ovchinnikov A. S., Mezhevova A. S., Fomin S. D., Pleskachev Y. N., Borisenko I. B., Vorontsova E. S., Zvolinsky V. P., Tyutyuma N. V., Novikov A. E. Energy and agrotechnical indicators in the testing of machine-tractor units with subsoiler // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12. No. 24. P. 7150–7160.
10. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Skorobogatchenko D. A., Borisenko I. B., Chernyavsky A. N., Abezin V. G., Ryadnov A. I., Shaprov M. N., Kuznetsov N. G., Nekhoroshev D. A., Sedov A. V., Grigorov S. M., Fomin S. D., Ol'garenko V. I. The optimum geometrical form modeling of the «striegel» type harrow // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13. No. 23. P. 9138–9144.





11. Novikov A., Borisenko I., Chamurliiev O., Chamurliiev G., Plyushchikov V. Wave destruction of closed soils // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. P. 012010.
12. Михайлин А.А. Натурные испытания инновационного глубокорыхлителя в режиме “обработка склонов” // *Вестник НГИЭИ*. 2021. № 1. С. 5–16.
13. Bandurin M. A., Volosukhin V. A., Vanzha V. V. Technology for water economy monitoring of technical state of closed drainage on irrigation systems. *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931. P. 214–218.
14. Продуктивность яровых колосовых культур в зависимости от способа основной обработки почвы в зернопаропропашном севообороте / А. П. Солодовников [и др.] // *Аграрный научный журнал*. 2019. № 11. С. 31–35. DOI 10.28983/asj.y2019i11pp31-35.
15. Поляков Д. П., Тютюма А. В. Влияние способов основной обработки почвы на урожайность ячменя в Нижнем Поволжье // *Аграрный научный журнал*. 2020. № 11. С. 43–47. DOI 10.28983/asj.y2020i11pp43-47.

REFERENCES

1. Agrophysical processes of formation of stocks of productive moisture in the soil / E.P. Denisov et al. *The Agrarian Scientific Journal*. 2019;11: 31–35. DOI 10.28983/asj.y2019i11pp31-35. (In Russ.).
2. The influence of the methods of the main tillage and fertilizers on the agrochemical properties of chernozem / T.A. Trofimova et al. *The Agrarian Scientific Journal*. 2019;11: 40–45. DOI 10.28983/asj.y2019i11pp40-45. (In Russ.).
3. Mikhailin A.A. Decompression of the subsurface soil layer in the irrigation zone with a chisel-type deep-ripper: Ph. D. dis. Novocherkassk, 2003. 176 p. (In Russ.).
4. Vetokhin V. I. System and physico-mechanical foundations of soil loosening design: Ph. D. abstract. Kiev; Moscow, 2010. 40 p. (In Russ.).
5. Borisenko I.B. Improvement of resource-saving and soil-protective technologies and technical means of tillage in the acutely arid conditions of the Lower Volga region. Ph. D. dissertation. Volgograd, 2006. 402 p. (In Russ.).
6. Pat. 2694571 Russian Federation IPC A01B 13/14. Universal chisel-mounted deep miner / Mikhaylin A.A.; applicant and patent holder Mikhaylin A.A. application. 21.11.2017; publ. 21.05.2019, Bul. No. 15. 5 p.
7. Pat. 2255450 Russian Federation IPC A01B 13/16. Method of processing slope soils / Mikhaylin A.A.; applicant and patent holder Mikhaylin A.A. application. 29.03.2002; publ. 10.07.2005, Byul. № 19. 5 p.
8. Bozhko I. V., Parkhomenko G. G., Gromakov A.V., Kambulov S. I., Rykov V. B. Development of a combined working body for layer-by-layer non-tillage tillage. *Tractors and agricultural machines*. 2016;8: 3–6. (In Russ.).
9. Ovchinnikov A. S., Mezheva A. S., Fomin S. D., Pleskachev Y. N., Borisenko I. B., Vorontsova E. S., Zvolinsky V. P., Tyutyuma N. V., Novikov A. E. Energy and agrotechnical indicators in the testing of machine-tractor units with subsoiler. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017;12;24: 7150–7160.
10. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Skorobogatchenko D. A., Borisenko I. B., Chernyavsky A. N., Abezin V. G., Ryadnov A. I., Shaprov M. N., Kuznetsov N. G., Nekhoroshev D. A., Sedov A. V., Grigorov S. M., Fomin S. D., Ol'garenko V. I. The optimum geometrical form modeling of the «striegel» type harrow. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018; 13; 23: 9138–9144.
11. Novikov A., Borisenko I., Chamurliiev O., Chamurliiev G., Plyushchikov V. Wave destruction of closed soils. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019: 012010.
12. Mikhaylin A.A. Full-scale tests of innovative deep-ripper in the “slope treatment” mode. *Vestnik NGIEI*. 2021; 1: 5–16. (In Russ.).
13. Bandurin M. A., Volosukhin V. A., Vanzha V. V. Technology for water economy monitoring of technical state of closed drainage on irrigation systems. *Materials Science Forum*. 2018; 931: 214–218.
14. Productivity of spring grain crops depending on the method of basic treatment of the soil in the grain-cultivated crop rotation / A.P. Solodovnikov et al. *The Agrarian Scientific Journal*. 2019; 11: 31–35. DOI 10.28983/asj.y2019i11pp31-35. (In Russ.).
15. Polyakov D.P., A.V. Tyutyuma Influence of main tillage methods on barley yield in The Lower Volga Region. *The Agrarian Scientific Journal*. 2020; 11: 43–47. DOI 10.28983/asj.y2020i11pp43-47. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 15.05.2023; одобрена после рецензирования 7.06.2023; принята к публикации 17.06.2023.
The article was submitted 15.05.2023; approved after reviewing 7.06.2023; accepted for publication 17.06.2023.