

doses in the forest-steppe zone of the region was studied. Indicators were obtained when soil disking (without treatment) in compare with the variant with application of 30 t/ha manure, where the humus content increased by almost 9%, the nitrogen supply increased 2.5 times, phosphorus by 57% – to the average level, and 32% for potassium – to an elevated level. At the same time, the aggregative state of the soil was improved, while in the soil layer of 0-25 cm and 25-50 cm, soil moisture during disking was higher on average by 1.5-2.0% as compared to processing by other aggregates, the bulk density (soil density) decreased by 8.8%, the number of agronomically valuable structural aggregates of the soil increased by 10.4%, and their water resistance increased by 8.2%. Under application of 45 t/ha manure, slight improvement in the studied parameter was observed. While chisel processing values of used parameters were relatively worse, but better than under the plowing.

The obtained results allowed to develop methods of tillage, ensuring the effective use of organic fertilizers, which in turn helps to increase crop productivity, preserve and reproduce soil fertility.

It should also be noted that these studies are the scientific basis for the research work planned in 2019 in the agriculture department of the Chechen Research Institute of Agriculture for the development of a scientifically based resource-saving tillage system for sustainable crop production, conservation and reproduction of soil fertility on typical chernozem of North Caucasus region.

Key words: methods of tillage, agroecological assessment, fertility, doses of organic fertilizers, resource saving.

УДК:631.43.632.125 (470.620)

ДИНАМИКА ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ АЗОВО-КУБАНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ ПРИ РАЗВИТИИ ГИДРОМЕТАМОРФИЗМА

**В.П. Власенко, д.с.-х.н., А.В. Осипов, к.с.-х.н., В.В. Костенко, Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина
Россия, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина 13.
8(918)-478-36-33. E-mail: kirsanovi@mail.ru**

**Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 19-44-230008
и администрации Краснодарского края**

Показано, что гидрометаморфизм почв Азово-Кубанской низменности приводит к изменениям деградиационного характера, что определяет физическое состояние почв. Приведены результаты исследования динамики показателей физического состояния гидрометаморфизованных почв, корреляционные зависимости между факторными и результативными признаками гидрометаморфизма и предложен новый критерий наличия и степени выраженности процесса. Новизна метода исследования процесса состоит в переходе от сравнения дискретных наборов показателей физического состояния почв по схеме "весна-осень", "пахня-залежь" и т.д. к анализу непрерывной характеристики их динамики в процессе изменения влажности от полевой влагоемкости (ПВ) до абсолютно сухой с целью получения графиков зависимости и дальнейшей их математической обработки. В результате исследования образцов установлена зависимость амплитуды колебаний плотности почв при изменении их влажности от величины удельной поверхности, гранулометрического состава, усадки почв. Выявлена связь между водопроницаемостью почв и степенью выраженности гидрометаморфизма.

Ключевые слова: плотность почв, водопроницаемость, удельная поверхность, корреляция, гидрометаморфизм.

DOI: 10.25680/S19948603.2019.110.08

Почвы черноземного типа, преобладающие в структуре почвенного покрова Северо-Западного Кавказа, подвержены деградиационным процессам вследствие одновременного воздействия негативных природных явлений и техногенного (антропогенного) воздействия. Гидрометаморфизм почв (черноземов) региона в последние полвека только на территории Краснодарского края привел к снижению производственной ценности и способности почв выполнять свои экологические функции на площади 116 тыс. га [5, 7].

Термин «гидрометаморфизм» не является общепризнанным, хотя многие авторы полагают, что это «совокупность двух взаимообусловленных и, как правило, одновременно протекающих процессов – гидроморфизма и слитогенеза» [2]. По нашим наблюдениям, в слитых почвах всегда присутствуют признаки гидроморфизма, но не всем гидроморфным почвам характерны признаки слитогенеза. При этом неизбежно возникает вопрос о соподчиненности данных процессов. Такой неопределенностью объясняется сравнительно широкий набор свойств и критериев, по которым можно было бы отличать почвы гидрометаморфизованные от их автоморфных аналогов.

Поскольку основными почвообразовательными процессами, составляющими суть гидрометаморфизма, являются слитогенез и оглеение, то вполне логично определить показатели физического состояния почв и исследовать их динамику по критериям, относящимся к их диагностическим признакам.

Плотность почвы традиционно, хоть и не вполне обоснованно, является главным показателем её физического состояния, но вследствие большой изменчивости и зависимости от многих факторов, в частности влажности, трудноприменима, особенно для почв с высокой способностью к усадке и набуханию.

В связи с этим представляется целесообразным получение информации о плотности различных горизонтов исследуемых почв в виде непрерывного ряда сопряженных пар (плотность – влажность) с возможностью дальнейшего построения графиков зависимости исследуемых характеристик почв на основе изучения образцов, отобранных при влажности НВ (наименьшая влагоемкость) в процессе их медленной поэтапной сушки с учетом усадки.

Поскольку почва является пористым телом, в котором влага находится в движении, то можно предполо-

жить, что динамика водопроницаемости почв находится в определенной функциональной связи с некоторыми изменяющимися свойствами твердой фазы, к которым можно отнести ее удельную поверхность и пористость. При этом «...попытки раскрыть функциональную зависимость пока не привели к желаемым результатам» [2], и в настоящее время водопроницаемость изучают в природных условиях, хотя некоторую информацию о ней, вероятно, можно получить и методом математического моделирования, например, рассчитать распределение пор по размерам.

Методика. В качестве объектов исследования выступили почвы, принадлежащие в геоморфологическом отношении к Азово-Кубанской низменности.

Анализ изменений показателей физического состояния гидрометаморфизованных почв выполнялся на основе сравнения материалов почвенных съёмок института «КубаньНИИгипрозем» в 1955-1999 гг., государственного почвенного мониторинга 2003 г. и собственных исследований 2005-2016 гг. В качестве наиболее типичных (представительных) полигонов для наблюдения за динамикой физического состояния почв выбраны Ейский, Тимашевский районы и земли г. Краснодара.

Ранее описанные подходы к решению аналогичных задач были использованы учеными [3, 6], которые применяли сушку в термостатах с повышением температуры поэтапно от 40 до 105°C, а также, с некоторыми особенностями в методике, Ю. Димитровой и Н.Б. Хитрова. В отличие от них нами одновременно проводились замеры диаметра (по двум) и высоты образца (по четырем осям) штангенциркулем с целью расчета его объема. Допущением в исследовании явилось предположение о неизменности геометрической формы тела (образец-цилиндр const.) в процессе высушивания.

Удельная поверхность твердой фазы определялась по методу БЭТ [1].

Результаты и их обсуждение. Анализ литературных источников по проблемам, аналогичным нашим исследованиям позволил сформулировать следующую рабочую гипотезу:

- степень зависимости плотности почв от их влажности определяется гранулометрическим составом, удельной поверхностью, усадкой почв;
- в процессе гидрометаморфизма зависимость плотности почв от влажности изменяется;
- существует некоторый критерий, отражающий степень влияния гидрометаморфизма на плотность почв, как показатель ее физического состояния.

Динамика плотности почв. Исследование динамики плотности почв при различной влажности (в процессе высушивания) позволило получить информацию для построения кривых, характеризующих корреляционные зависимости плотности почв от их влажности (рис. 1).

Исследованиями установлено: максимальная плотность наблюдается в образцах лугово-чернозёмных слитых почв, при влажности 5% она достигает 1,8-2,05 г/см³, у лугово-чернозёмных уплотнённых почв – не превышает 1,6-1,8 г/см³, еще меньше она у чернозёмов выщелоченных при той же влажности (1,6-1,7 г/см³). Амплитуда динамики плотности относительно первоначальной также максимальна у лугово-чернозёмных слитых почв (75%), меньше в уплотнённых почвах (64%), еще меньше у чернозёмов, не затронутых гидрометаморфизмом (61%).

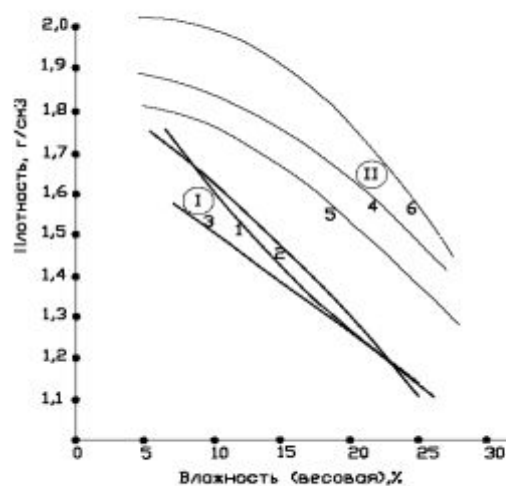


Рис. 1. Зависимость плотности почв от их влажности:
I – черноземы выщелоченные (1 – 10-15 см, 2 – 30-35; 3 – 50-60 см),
II – лугово-чернозёмные слитые почвы (4 – 10-15 см, 5 – 30-35; 6 – 50-60 см)

Угол наклона графика зависимости имеет высокую степень корреляции с удельной поверхностью твердой фазы почв, в первую очередь у почв с выраженными признаками гидрометаморфизма – коэффициент корреляции 0,70-0,98 при уровне вероятности 0,95, что согласуется с результатами исследований [5, 6] и других авторов по аналогичной тематике. Предполагаемая связь между углом наклона кривой и гранулометрическим составом оказалась средней силы ($r=0,38-0,58$) и лишь у лугово-чернозёмных слитых почв – сильной ($r=0,99$).

Отмеченное ослабление корреляционной связи (линейной) по мере развития гидрометаморфизма связано, вероятно, с увеличением содержания гидрофильных смешанослойных набухающих минералов, приводящим к усложнению корреляционной зависимости. Это выражается в увеличении степени кривизны графиков лугово-чернозёмных слитых почв.

Водопроницаемость. Вследствие динамичности факторов, определяющих физическое состояние гидрометаморфизованных почв корреляционная зависимость между показателями физического состояния и водопроницаемостью (табл. 1) для луговато- и лугово-чернозёмных уплотнённых и слитых почв низменно-западных агроландшафтов Азово-Кубанской низменности имеет только среднюю силу (коэффициент детерминации 0,51).

Исследованиями установлена средняя корреляционная зависимость водопроницаемости от содержания физической глины (коэф. детерминации 0,41-0,45 и 0,48). При этом выявлена высокая корреляционная зависимость между водопроницаемостью и содержанием илистой фракции (коэф. детерминации 0,85), однако этот факт требует дополнительного изучения и обоснования.

В процессе передвижения влаги в профиле почв обычно выделяют два этапа: впитывание и фильтрация. Скорость впитывания (коэффициент впитывания – Кв) постепенно снижается по мере насыщения почвы влагой, величина же коэффициента фильтрации (Кф) является постоянной и служит важнейшей характеристикой водопроницаемости.

1. Корреляционная зависимость между водопроницаемостью и физическими свойствами почв

Почвы	Водопроницаемость, мм/мин	Физические свойства почв			
		общая пористость, %	удельная поверхность, м ² /г	содержание частиц (%) размером, мм	
				<0,01	<0,001
Черноземы обыкновенные	0,221	50,4	112	63,5	38,8
Лугово-черноземные уплотненные	0,039	49,8	120	64,7	39,4
Лугово-черноземные слитые	0,012	42,5	123	61,2	45,2
Солоди лугово-степные	0,006	42,0	125	50,1	50,1
Коэффициенты корреляции / детерминации		0,72/0,51	-0,83/0,70	-0,64/0,41	0,92/0,85

Установлено, что период впитывания на черноземах обыкновенных Ейского района длится 4 ч в течение которых Кв изменяется от 1,212 мм/мин в первый час до 0,245 мм/мин (рис. 2). В последующие 6 ч опыта средняя скорость водопроницаемости (фильтрации) остается постоянной – 0,221 мм/мин.

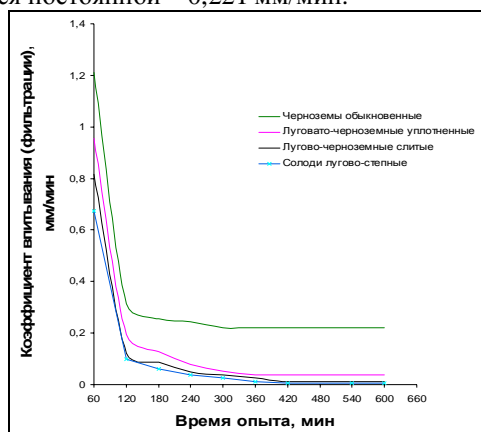


Рис. 2. Водопроницаемость почв низменно-западинных агроландшафтов

За 1 ч поглощается и фильтруется 13 мм влаги, такая водопроницаемость оценивается как повышенная. Это означает, что почвы могут поглощать влагу сильных дождей без застоя её на поверхности.

У лугово-черноземных уплотненных почв установлена высокая начальная скорость впитывания, при том, что они характеризуются грубой (порошисто-глыбистой) структурой и значительным уплотнением пахотного слоя. Однако, данные почвы обладают более быстрым и значительным падением скорости водопроницаемости во времени по сравнению с черноземами. Это связано главным образом с наличием в их профиле иллювиальных (гидрометаморфизованных) горизонтов.

Этап впитывания у лугово-черноземных уплотненных почв (Тимашевский район) протекает несколько иначе, чем у черноземов обыкновенных. В первый час наблюдений зафиксирована высокая скорость впитывания (0,956 мм/мин), но весь этап оказался короче, чем у черноземов (5 ч).

При полном насыщении почвы водой наступает следующий этап – фильтрация, который характеризуется коэффициентом фильтрации 0,039 мм/мин. За 1 ч поглощается и фильтруется менее 3 мм влаги, что соответствует интенсивности осадков умеренных дождей.

Превышение интенсивности осадков (или норм полива) неизбежно приводит к временному переувлажнению почв и повреждению посевов сельскохозяйственных культур.

Для лугово-черноземных слитых почв характерна еще более выраженная динамика, скорость впитывания в течение первого часа наблюдений составляет 0,815 мм/мин, а к концу этапа снижается в 33 раза – до 0,025 мм/мин.

Установившаяся скорость фильтрации (0,012 мм/мин) позволяет пропускать 1 мм/ч влаги. Вследствие этого осадки, интенсивностью выше легких, приводят к застою атмосферной влаги на поверхности почв, вызывая гибель посевов сельскохозяйственных культур. Особенно актуально это для почв микропонижений в холодный период года, в связи с чем лугово-черноземные слитые почвы не рекомендуется использовать под озимые культуры.

Представляет интерес специфический характер кривой водопроницаемости лугово-черноземных слитых почв с ясно выраженными ступенями, которые свидетельствуют о постоянном расходе в определенные моменты времени. Возможно, их наличие связано с необходимостью создания избыточного гидростатического давления для «продавливания» влаги через уплотненные слои пониженной водопроницаемости.

Различий в усадке по горизонтам чернозёмов выщелоченных не обнаружено и в целом она составляет 16-18% (табл. 2).

2. Корреляция между объёмной усадкой и физическими свойствами почв

Почвы	Глубина образца, см	Объёмная усадка, %	Коэффициенты корреляции / детерминации наклона кривой с физическими свойствами почв	
			удельная поверхность	содержание частиц ила
Чернозёмы выщелоченные (залежь)	10-15	15	0,67/0,45	0,92/0,85
	30-35	16	0,65/0,42	0,95/0,90
	55-60	15	0,68/0,46	0,95/0,90
Чернозёмы выщелоченные (пашня)	10-15	18	0,70/0,49	0,94/0,88
	30-35	18	0,68/0,46	0,96/0,92
	55-60	16	0,69/0,48	0,97/0,94
Лугово-чернозёмные уплотнённые	10-15	19	0,95/0,90	0,93/0,86
	30-35	20	0,97/0,94	0,95/0,90
	55-60	22	0,99/0,98	0,94/0,88
Лугово-чернозёмные слитые	10-15	22	0,90/0,81	0,92/0,85
	30-35	26	0,91/0,83	0,91/0,83
	55-60	30	0,88/0,77	0,80/0,64

В количественном отношении усадка исследованных почв весьма различается, в почвах отрицательных элементов рельефа усадка значительно выше, чем у черноземов, причём отмечается её рост с глубиной от 19% в верхнем (10-15 см) слое лугово-чернозёмных почв до 30% у лугово-чернозёмных слитых на глубине 55-60 см.

В верхней части профиля наблюдаются средняя корреляционная зависимость объёмной усадки от удельной поверхности у чернозёмов ($r^2=0,42-0,49$) и сильная в гидрометаморфизованных аналогах ($r^2=0,76-0,98$) (см. табл. 2).

Связь между объёмной усадкой и содержанием илистой фракции сильная для всех горизонтов исследованных полугидроморфных почв ($r^2=0,64-0,94$).

Влияние гидрометаморфизма на плодородие почв. Изменения агрофизических свойств почв приводят к снижению их производственной ценности, что связано

как с уменьшением потенциального плодородия, так и с ухудшением технологических свойств.

Исследовали динамику физического состояния почв (плотность, структуру порового пространства почв). Технологические свойства (удельное сопротивление почв обработке), напрямую связанные с физическим состоянием почв, выходят за рамки наших исследований, поэтому ограничимся установлением зависимости между показателями плодородия почв (урожайность) и их физического состояния (плотность и водопроницаемость почв).

3. Оценочные показатели почв

Почвы	Балл бонитета и нормативная урожайность											
	Озимые зерновые		Кукуруза на зерно		Сахарная свекла		Подсолнечник		Многолетние травы		Однолетние травы	
	балл	ц/га	балл	ц/га	балл	ц/га	балл	ц/га	балл	ц/га	балл	ц/га
Черноземы выщелоченные	80	56,8	85	73,1	82	460,8	85	28,4	86	68,1	82	63,1
Лугово-черноземные уплотненные	40	40,1	54	52,1	62	328,8	53	20,05	57	48,1	59	45,1
Лугово-черноземные слитые	9	21,8	12	49,6	19	178,7	14	10,9	17	26,1	18	20,1

На основании результатов анализа пришли к выводу, что более высокая степень адекватности у модели Карманова. В связи с этим ее использовали для «оценки возможного (недополученного) дохода вследствие проявления гидрометаморфизма» и произвели расчет «нормативной урожайности» по всему набору оцениваемых культур. Ущерб (в ценах 2016 г. по озимым зерновым) от ухудшения физического состояния почв в результате гидрометаморфизма за счет недополученной продукции с учетом динамики площадей почв за 60 лет составляет 9836000 тыс. руб.

Заключение. Динамика плотности исследованных почв связана с динамикой их влажности, амплитуда изменения определяется степенью выраженности гидроморфизма и слитизации: у незатронутых гидрометаморфизмом черноземов выщелоченных она ниже (64%), у лугово-черноземных слитых выше (75%). Установлена корреляционная зависимость средней силы усадки почв от удельной поверхности твердой фазы их ($r^2=0,42-0,49$) и сильная ($r^2=0,76-0,96$) у лугово- и лугово-черноземных слитых почв.

Выявлена сильная связь между объемной усадкой и содержанием ила во всех горизонтах исследованных почв ($r^2=0,64-0,94$).

Угол наклона кривой (критерий Т) определяется удельной поверхностью твердой фазы почв, в первую очередь гидрометаморфизованных, и может являться

показателем наличия гидрометаморфизма и в целом – физической деградации почв.

Ущерб (около 10 млрд. руб.) от физической деградации наиболее плодородных почв России (черноземов) вследствие их гидрометаморфизма свидетельствует о существующей экономической угрозе. Требуется безотлагательная разработка мер по регулированию деградационных процессов в почвах.

Литература

1. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв и грунтов / Вадюнина, А.Ф., Корчагина З.А. - М.: Высшая школа, 1986. – 347 с.
2. Деградация и охрана почв / Под ред. акад. РАН Г.В. Добровольского. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 654 с.
3. Розанов Б.Г., Зависимость плотности набухающей почвы от влажности / Зборишук Н.Г., Куст Ю.Л., Мешалкина Г.С // Почвоведение. – 1985. – №7. – С 125-132.
4. Сапожников П.М. Связь набухания некоторых почв с категориями удельной поверхности и энергетикой почвенной влаги / П.М. Сапожников // Почвоведение. – 1985. – №3. – С. 40-43.
5. Хитров Н.Б. География вертисолов и вертиковых почв Кубано-Приазовской низменности / Н. Б. Хитров, В. П. Власенко, Д. И. Рухович, А.В. Брызжев, Н.В. Калинина, Л.В. Роговнева // Почвоведение. – 2015. – № 7. – С. 771–790.
6. Черниченко И.Д. Влияние переувлажнения на свойства черноземов в условиях Краснодарского края / И.Д. Черниченко, В.П. Суев // Проблемы охраны и повышения плодородия почв на Северном Кавказе в современных условиях. Тез. докл. на научной конф. – Краснодар. – С.46-48.
7. Khitrov 1997. N. B. Statistic indices for bowl-and diapir-like morphostructures of vertisols in vorontsovo depression (padi) / N. B. Khitrov, V. P Vlasenko, L. V. Rogovneva // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. Вып. 77, 2015.

THE DYNAMICS OF THE SOILS PHYSICAL CONDITION IN AZOV-KUBAN LOWLANDS UNDER DEVELOPING HYDROMETAMORPHISM

V.P. Vlasenko, A.V. Osipov, V.V. Kostenko

Kuban State Agrarian University named after I.T.Trubilin, Kalinina ul 13, 350044 Krasnodar, Russia, E-mail: kirsanovi@mail.ru

Hydrometamorphism of the Azov-Kuban lowland soils leads to degradation what determines the physical condition of soils. In this article we show the dynamics of indicators of hydrometamorphism soils physical condition, correlations between factor and effective signs of Hydrometamorphism. We also discuss a new criterion of the presence and severity of process. The novelty of the method of the study process is the transition from discrete sets of indicators to compare the physical condition of soils according to the scheme "spring and autumn", "arable land-Lea", etc. to the analysis of continuous characteristics in their dynamics under the process of changing humidity from the marginal field capacity (OPV) to completely dry for the purpose of obtaining graphs dependency and further mathematical analysis. Study of samples demonstrates the dependence of the density amplitude whenever there is a change in humidity from the magnitude of the specific surface area, particle size distribution, soil shrinkage. Revealed the relationship between soil water permeability and degree of severity of hydrometamorphism.

Keywords: soil density, permeability, specific surface area, correlation