

УДК 631.43

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ МАКРОСТРУКТУРЫ ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА

Р.Х. Нурисламов, Л.В. Мельников

Аннотация

В статье приведен сравнительный анализ макроструктурного состава погребенных почв под оборонительными валами средневекового городища и залежного аналога чернозема выщелоченного. Показано, что почвы, оказавшиеся в иных термодинамических условиях после погребения, существенно отличаются как по структурному состоянию и водоустойчивости агрегатов, так и по их механической прочности.

Ключевые слова: черноземы, палеопочвы, водопрочные агрегаты, средневзвешенный диаметр.

Введение

Исследование почвенных разновидностей археологических комплексов дает возможность установить устойчивость макроагрегатов почв во времени. Согласно В.В. Медведеву [1] существует два пути образования макроагрегатов почвы. Первый путь заключается в том, что происходит последовательное вовлечение и закрепление механических элементов в микро-, а затем в макроагрегатах. Второй же путь характерен для макроагрегатов размером больше 5 мм и состоит в том, что сначала происходит слипание первичных элементов, а затем дробление образовавшейся массы путем объемных изменений [1]. Среди факторов, определяющих структурный состав почв, существенную роль здесь играют процессы увлажнения – высушивания, замерзания – оттаивания, воздействие корневой системы [2].

По Р.Э. Вески [3], почва не может быть самостоятельным компонентом природы, поскольку взаимодействует с корнями растений и ими же определяется. Свою же самостоятельность она получает тогда, когда уже не является почвой, а развивается как более простое биогеологическое образование, когда-то созданное растениями как первичными продуцентами [3]. Можно предположить, что в почвах, изолированных насыпями оборонительных сооружений, условия и механизмы агрегации из-за отсутствия контакта между растениями и почвой отличались от фоновых (целинных и залежных) почв. Таким образом, особенно актуальным является вопрос структурного состояния погребенных почв, исследование которого позволяет выявить различия в механизмах агрегации без вклада органических веществ и непосредственного контакта с корневыми системами растений.

Цель настоящей работы – оценить различия в прочности структуры погребенных и фоновых черноземных почв археологического комплекса. В задачи

исследования входило: сравнение геометрических характеристик и оценка водоустойчивости макроагрегатов, выявление отсутствия влияния корневых систем в погребенных почвах на прочность по сравнению с целинным аналогом; установление влияния гидрологического фактора на прочность агрегатов в погребенной почве в нижней части склона по сравнению с автоморфной погребенной почвой в его верхней части.

1. Объекты и методы

Исследовали прочность структурных отдельностей из верхней части гумусовых горизонтов погребенных почв под фортификационными сооружениями археологического комплекса – Больше-Кляринского городища (VIII – X вв.). Городище, расположенное на слабопологом склоне, представляет собой фортификационную систему, состоящую из сопряженных 3-х линий валов и рвов [4].

Образцы погребенных почв отбирались под периферийным валом. На обследованном участке в нижней части склона был заложен археологический раскоп, и варианты отбора проб были следующими: внешняя сторона вала (а), центральная часть насыпи (б) и часть насыпи, обращенная ко рву городища (в). При полевом обследовании данного участка были обнаружены признаки гидрогенной трансформации: в гумусовом горизонте новообразования железа и в иллювиальном – пятна оглеения по граням отдельностей, максимальное проявление которых наблюдалось под центральной частью насыпи. Источником избыточного увлажнения является поверхностный сток талых вод, скапливающихся во рву в нижней части склона, вследствие особенности фортификационных сооружений. В верхней части склона был заложен разрез и отобрана погребенная под валом автоморфная почва. Объект сравнения – залежная разновидность выщелоченного среднетяжелого чернозема.

С целью сравнительного исследования физических свойств почв в результате погребения были проведены определения структурно-агрегатного состава по Савинову (сухое и мокрое просеивание) [5]. На коническом пластометре Ребиндера определяли механическую прочность агрегатов из фракций сухого просеивания (10–7, 7–5, 5–3, 3–2, 2–1 мм) при 15–20-кратной повторности. Результаты прочности выражали в кг/см².

Статистическую обработку проводили с помощью программного обеспечения Statgraphics Centurion XV. Все результаты приведены для уровня значимости 5%.

2. Результаты и их обсуждение

Согласно полученным данным структурный состав изученных почв отличается друг от друга (табл. 1), особенно это заметно по содержанию фракции > 10 мм в автоморфном аналоге погребенной почвы, где ее содержание самое низкое. В фоновом аналоге имеется максимум. Таким образом, можно заключить, что в погребенной почве наблюдается дефрагментация крупных агрегатов.

Причина таких различий в основном определяется различными термодинамическими условиями, в которые попали погребенные черноземы.

Табл. 1

Структурно-агрегатный состав выщелоченного чернозема (в числителе результаты сухого просеивания, в знаменателе – мокрого)

Горизонт	Глубина, см	Размер фракций, мм								
		> 10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0.5	0.5–0.25	< 0.25
Выщелоченный чернозем, залежь										
А1	5–15	47	8	5	$\frac{7}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{12}{9}$	$\frac{4}{23}$	$\frac{6}{26}$	$\frac{9}{34}$
	15–25	50	5	4	$\frac{7}{4}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{13}{10}$	$\frac{2}{18}$	$\frac{5}{22}$	$\frac{9}{44}$
	25–35	26	7	6	12	$\frac{8}{1}$	$\frac{18}{8}$	$\frac{4}{23}$	$\frac{7}{30}$	$\frac{12}{37}$
	35–46	31	10	8	$\frac{14}{2}$	$\frac{8}{2}$	$\frac{15}{8}$	$\frac{4}{18}$	$\frac{5}{28}$	$\frac{7}{43}$
АВ	46–59	46	6	7	$\frac{12}{1}$	$\frac{7}{1}$	$\frac{11}{7}$	$\frac{3}{18}$	$\frac{4}{30}$	$\frac{4}{43}$
В1	59–83	26	9	10	$\frac{15}{1}$	$\frac{9}{2}$	$\frac{18}{8}$	$\frac{4}{13}$	$\frac{6}{26}$	$\frac{5}{50}$
В2к	83–106	31	9	8	$\frac{13}{2}$	$\frac{7}{3}$	$\frac{15}{5}$	$\frac{3}{9}$	$\frac{7}{23}$	$\frac{6}{58}$
ВСк	106–136	34	11	9	13	7	15	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{90}$
Ск	> 136	36	10	9	13	7	15	4	$\frac{5}{3}$	$\frac{2}{96}$
Автоморфный аналог погребенной почвы										
[А1]	27–37	18	7	7	15	$\frac{10}{2}$	$\frac{20}{6}$	$\frac{6}{17}$	$\frac{8}{36}$	$\frac{10}{39}$
	37–47	11	7	7	15	$\frac{13}{1}$	$\frac{28}{4}$	$\frac{5}{13}$	$\frac{5}{35}$	$\frac{8}{47}$
	47–57	13	9	9	$\frac{17}{1}$	$\frac{10}{2}$	$\frac{20}{10}$	$\frac{6}{13}$	$\frac{9}{35}$	$\frac{9}{40}$
	57–65	8	10	11	$\frac{16}{1}$	$\frac{9}{3}$	$\frac{20}{10}$	$\frac{6}{15}$	$\frac{9}{25}$	$\frac{10}{46}$
[АВ]	65–75	9	12	15	$\frac{22}{6}$	$\frac{11}{5}$	$\frac{17}{20}$	$\frac{4}{15}$	$\frac{5}{19}$	$\frac{6}{35}$
Варианты отбора	Гидроморфный аналог погребенной почвы									
[А1], (а)		27	7	6	$\frac{13}{1}$	$\frac{13}{2}$	$\frac{22}{17}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{5}{30}$	$\frac{4}{38}$
[А1], (б)	134–144	35	6	7	14	12	$\frac{15}{3}$	$\frac{3}{6}$	$\frac{5}{30}$	$\frac{3}{61}$
[А1], (в)		36	8	8	17	$\frac{12}{2}$	$\frac{13}{20}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{2}{25}$	$\frac{2}{44}$

Особенностью наших объектов является характер изоляции почв, погребенных под насыпями, от внешних воздействий. Известно, что на процессы агрегации в почвах оказывают влияние процессы замерзания – оттаивания. Так, по Воронину [2], степень и характер влияния промораживания почвы на образование агрегатов зависят от многих факторов и, прежде всего, от степени увлажнения. В этом отношении наиболее контрастными являются автоморфный и гидроморфный аналоги погребенных почв, а залежный аналог занимает промежуточное положение. В автоморфном и гидроморфном аналогах почв это

влияние минимальное. При средней же степени увлажнения вода находится в порах капиллярных размеров и образует кристаллы льда больших размеров, чем размер пор, что и приводит к разрыву связей между частицами и микроагрегатами, образованию трещин и расчленению почвы на структурные отдельности [2].

Почвы располагаются в следующей последовательности в порядке уменьшения степени увлажнения: гидроморфный аналог погребенной почвы > залежная разновидность > автоморфный аналог погребенной почвы.

По Тисдалю и Оадису [8], одним из важных факторов, влияющих на механизмы образования макроагрегатов, является воздействие корневых систем. Корни физически скрепляют агрегаты, проявляют осушающее воздействие и выделяют органические вещества. Непосредственное воздействие корней на скрепление агрегатов высоко при участии корневых систем травянистых растений с почвой. По убыванию содержания корней травянистых растений почвы располагаются в следующей последовательности: залежная разновидность > автоморфный аналог погребенной почвы > гидроморфный аналог погребенной почвы.

Таким образом, результат взаимодействия двух этих факторов (гидрологического и влияния корневых систем) привел к тому, что по количеству агрегатов оптимального размера (0.25–10 мм) почвы располагаются следующим образом: автоморфный аналог погребенной почвы > гидроморфный аналог погребенной почвы > залежная разновидность.

Водоустойчивость залежного аналога выщелоченного чернозема уменьшается вниз по профилю, о чем свидетельствует возрастание фракции < 0.25 мм по результатам мокрого просеивания. Наибольшее содержание этой фракции (61%) характерно для варианта (б) гидроморфного аналога, что мы связываем с максимальным скоплением дождевых и талых вод под центральной частью оборонительного вала.

В табл. 2 представлены показатели макроструктурного состояния. Среди приведенных данных особый интерес представляет средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов. Минимальная водоустойчивость в гумусовых горизонтах наблюдается под центральной частью оборонительного вала гидроморфного аналога. Водопрочность возрастает в автоморфном аналоге и приобретает максимальное значение в верхнем горизонте фоновой почвы. Средневзвешенный диаметр сухих агрегатов имеет минимальное значение в автоморфном аналоге, возрастает в гидроморфном и достигает максимального значения в залежном аналоге чернозема.

Де Линеер и де Бодт [9] впервые предложили считать разницу MWD после сухого и мокрого просеивания. Водяницким [10] был предложен показатель энтропии распределения частиц по размеру. Корень суммы квадратов данных показателей дает показатель неустойчивости макроструктуры почвы R_{ws} (water stable), что и было предложено Хитровым и Чечуевой [6]. Как мы видим, самая устойчивая макроструктура характерна для автоморфного аналога. Далее наблюдается возрастание неустойчивости в гидроморфном аналоге, которая непосредственно зависит от гидрологического фактора, то есть от степени удаленности почвы от рва с водой. Максимальное значение показатель неустойчивости макроструктуры приобретает в залежной разновидности.

Табл. 2

Показатели макроагрегатного состава

Горизонт	Глубина, см	0.25–10 мм, %	K	A , %	Rws	MWDs, мм	MWDws, мм
Выщелоченный чернозем, залежь							
A1	5–15	44.4	0.8	524	7.9	8.6	0.7
	15–25	41.1	0.7	529	8.2	8.8	0.6
	25–35	62.1	1.6	458	5.4	5.8	0.5
	35–46	62.3	1.7	545	6.4	6.9	0.5
AB	46–59	49.3	1.0	756	8.3	8.7	0.5
B1	59–83	69.8	2.3	404	5.9	6.3	0.4
B2к	83–106	65.3	1.7	300	6.4	7.1	0.5
BCк	106–136	62.2	1.6	128	7.5	7.6	0.2
Cк	> 136	62.2	1.6	41	7.7	7.7	0.1
Автоморфный аналог погребенной почвы							
[A1]	27–37	72.0	2.6	375	4.6	5.0	0.4
	37–47	81.2	4.3	459	3.8	4.1	0.4
	47–57	78.1	3.6	323	4.0	4.4	0.5
	57–65	81.5	4.4	268	3.6	4.0	0.5
[AB]	65–75	85.6	6.0	362	3.8	4.7	0.9
Гидроморфный аналог погребенной почвы							
варианты							
[A1], (а)	134–144	69.2	2.2	464	5.7	6.2	0.6
[A1], (б)		61.7	1.6	493	7.1	7.3	0.3
[A1], (в)		61.7	1.6	826	7.4	7.8	0.6

Примечание: 0.25–10 мм – количество агрегатов оптимального размера [5], K – коэффициент структурности [5], A – критерий водопрочности по АФИ [5], Rws – показатель неустойчивости макроструктуры по Хитрову [6], MWDs и MWDws – средневзвешенные диаметры сухих и водопрочных агрегатов соответственно по Ван Бавелю [7].

Важным количественным параметром почвенной структуры является механическая прочность агрегатов, которую можно рассматривать как интегральную характеристику процесса агрегирования твердых фаз.

Наиболее приемлемым показателем в нашем случае является механическая прочность (P), выраженная в $\text{кг}/\text{см}^2$. Анализ полученных данных показывает, что между P и d (диаметром агрегата) в целом наблюдается отрицательная корреляция (рис. 1). Все расчеты проводились с помощью непараметрических методов вследствие отсутствия нормального распределения во всех случаях. Ранговый коэффициент корреляции Спирмена в погребенных почвах равен -0.84 ($t_f = 26.36 > t_f = 1.96$ при $\alpha = 0.05$) в гидроморфном аналоге и -0.83 ($t_f = 14.50 > t_f = 1.98$ при $\alpha = 0.05$) в автоморфном варианте. Наличие корней в фоновом образце изменяет эту зависимость. Коэффициент корреляции залежного чернозема равен -0.89 ($t_f = 19.32 > t_f = 1.98$ при $\alpha = 0.05$).

Тест сравнения медиан Манна – Уитни (Уилкоксона) показал достоверное возрастание прочности в автоморфном аналоге погребенной почвы по сравнению с залежью для фракций 10–7 мм ($W = -168.0$, $p < 0.05$) и 7–5 мм ($W = -147.0$, $p < 0.05$). Мы полагаем, что корневые окончания, проникая в крупные агрегаты, после разложения создают сеть внутренних макро- и мезопор. Подтверждением этого явилось снижение механической прочности крупных агрегатов залежного чернозема.

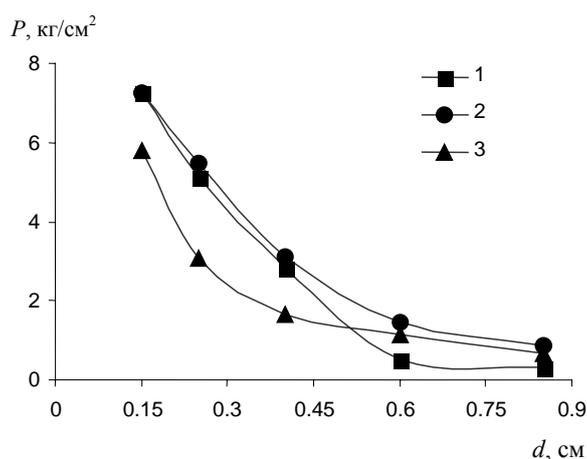


Рис. 1. Зависимость механической прочности (приведены значения медиан) от диаметра агрегата: 1 – залежная разновидность; 2 – автоморфный аналог погребенной почвы; 3 – гидроморфный аналог погребенной почвы

В образцах гидроморфной почвы во фракциях агрегатов 10–7 мм ($W = 201.5$, $p < 0.05$), 5–3 мм ($W = 241.5$, $p < 0.05$) и 3–2 мм ($W = 271.5$, $p < 0.05$) прочность достоверно меньше, чем в образцах автоморфной почвы. Следовательно, гидрологический фактор уменьшает механическую прочность агрегатов, особенно крупных фракций. Никаких различий между вариантами (а) и (в) выявлено не было. Центральная же часть погребенной почвы (б) с максимальным проявлением гидроморфизма отличалась достоверно меньшими значениями прочности агрегатов фракции 10–7 мм ($W = 59.5$, $p < 0.05$), чем в варианте (в), а также достоверно меньшими значениями фракции 2–1 мм ($W = 81.0$, $p < 0.05$) по сравнению с вариантом (а). В данном случае гидрологический фактор оказывал также влияние, уменьшающее механическую прочность агрегатов.

Заключение

Структурный состав погребенных почв отличается от залежной разновидности. Выявлена дефрагментация макроагрегатов в погребенных почвах. Особенно это явление выражено в автоморфном аналоге. Низкая водоустойчивость агрегатов в гумусовых горизонтах наблюдается под центральной частью оборонительного вала гидроморфного аналога, которая возрастает в автоморфном аналоге и достигает максимального значения в верхней части гумусового профиля фоновой почвы. Средневзвешенный диаметр сухих агрегатов имеет минимальное значение в автоморфном аналоге, возрастает в гидроморфном, его максимальное значение отмечено в фоновом черноземе.

Показано, что в погребенных черноземных почвах между механической прочностью (усилием разрушения) и диаметром агрегата в целом наблюдается отрицательная корреляция. Наличие корневых систем в гумусовых горизонтах залежной разновидности и отчасти в автоморфной погребенной почве уменьшает механическую прочность агрегатов в крупных фракциях. Установлено влияние гидрологического фактора, оказывающего отрицательное воздействие на механическую прочность агрегатов из погребенной гидроморфной почвы.

Авторы признательны старшему научному сотруднику кафедры физики и мелиорации почв Московского государственного университета Д.Д. Хайдаповой за предоставленную возможность лабораторных исследований и старшему научному сотруднику кафедры генетики Казанского государственного университета А.Г. Закирову за ценные консультации.

Summary

R.H. Nurislamov, L.V. Melnikov. Estimation of Leached Chernozem Macrostructure Stability.

Comparative analysis of a macrostructural composition of the buried soils under defensive shafts of a medieval settlement site and lealand analogue of leached chernozem is yielded. It is shown that the soils that have appeared in other thermodynamic conditions after burial essentially differ both in structural state and water stability of aggregates and in their mechanical strength.

Key words: chernozems, paleosoils, waterstable aggregates, mean weight diameter.

Литература

1. *Медведев В.В.* Механизмы образования макроагрегатов черноземов // Почвоведение. – 1994. – № 11. – С. 24–30.
2. *Воронин А.Д.* Основы физики почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та. 1986. – 244 с.
3. *Вески Р.Э.* О некоторых путях дальнейшего развития учения о почвах // Почвоведение. – 1985. – № 3. – С. 79–86.
4. *Губайдуллин А.М.* Фортификация городищ Волжской Булгарии. – Казань: Ин-т истории АН РТ, 2002. – 232 с.
5. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
6. *Хитров Н.Б., Чечуева О.А.* Способ интерпретации данных макро- и микроструктурного состояния почвы // Почвоведение. – 1994. – № 2. – С. 84–92.
7. *Van Bavel C.* Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation // Soil Sci. Soc. Am. Proc. – 1949. – V. 14. – P. 20–23.
8. *Tisdall J.M., Oades J.M.* Organic matter and water-stable aggregates in soils // J. Soil Sci. – 1982. – V. 33. – P. 141–163.
9. *De Leenheer L., De Boedt M.* Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter // Proc. of the Intern. Symposium on Soil Structure. – Ghent, Belgie: Rijkslandouwhogeschool, 1959. – P. 290–300.
10. *Водяницкий Ю.Н.* Оценка механического состава почв с помощью энтропии // Докл. ВАСХНИЛ. – 1986. – № 6. – С. 14–16.

Поступила в редакцию
25.10.07

Нурисламов Риназ Хусаинович – аспирант кафедры почвоведения Казанского государственного университета.

E-mail: rinazn@rambler.ru

Мельников Леонид Валентинович – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры почвоведения Казанского государственного университета.

E-mail: konf75@ksu.ru