

УДК 631.34:631.434:631.435:631.434.5

ДИНАМИКА ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВ ЛУГОВОГО РЯДА КАМЕННОЙ СТЕПИ

© 2024 г. Ю. И. Чевердин^{1*}, Т. В. Титова¹, И. Ф. Поротиков¹¹Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева

397463 Воронежская обл., Таловский р-н, пос. 2-го участка Института им. Докучаева, кварт. 5, 81, Россия

*E-mail: cheverdin62@mail.ru

Провели сравнительный анализ физических свойств почв лугового ряда в агролесоландшафтах Центрального Черноземья за длительный промежуток времени. Исследование проводили на почвах сезонно-переувлажненного комплекса. По классификации 2004 г. эти почвы относятся к агрочерноземам гидрометаморфизованным и гумусово-гидрометаморфическим засоленным почвам. Гранулометрический состав почв зависел от характера увлажнения почв. В черноземах автоморфных отмечено снижение доли илистой фракции гумусовых горизонтов. Гидроморфные почвы характеризовались повышенным содержанием ила. В карбонатных горизонтах роль ила существенно возрастала. В структурно-агрегатном состоянии отмечено увеличение доли глыбистой фракции в годы с количеством осадков, превышающим среднегодовое показатели. В составе агрономически ценных агрегатов фракцией-доминантом были агрегаты 5–10 мм. На долю мелких пылеватых отдельностей приходилась незначительная часть. Применение химических мелиорантов на луговых почвах улучшало структурное состояние луговых почв. Отмечен рост коэффициента структурности. Все изученные почвенные разности характеризовались высокой водопрочностью структурных отдельностей.

Ключевые слова: сезонно переувлажненные почвы, гранулометрический состав, физические параметры почвы, мелиоранты.

DOI: 10.31857/S0002188124100019, **EDN:** ANVEVW

ВВЕДЕНИЕ

Сезонно-переувлажненные почвы в настоящее время относятся к основным компонентам современных агроландшафтов степной части России [1–6]. Со второй половины прошлого столетия в Каменной степи начали отмечать прогрессирующие процессы усиления гидроморфности исходно автоморфных почв [1, 7–11].

Увеличение степени гидроморфизма сказывается на величине концентрации солей [12]. Потенциальную опасность на характеристики и свойства черноземов Каменной степи могут оказывать влияние сульфатно-натриевые грунтовые воды [9, 13].

Сельскохозяйственное использование черноземов приводит к существенным изменениям направленности почвенных процессов, что, в свою очередь, может служить одной из причин переувлажнения черноземов [14, 15].

В гидроморфных почвах отмечен отличный гранулометрический состав по отношению к фоновым почвам, деструкция фракций [16–18]. Гранулометрический состав во многом определяет водно-физические, агрохимические, физико-химические свойства почв [19].

Проявление сезонного переувлажнения многие исследователи относят к негативным факторам, снижающим плодородие черноземов. Ведутся исследования оценки деградации почвенного покрова и поиск путей рационального использования этих почв в Краснодарском крае [20], Белгородской [21], Тамбовской [3, 22], Ростовской [5] обл.

В условиях усиления гидроморфизма наиболее быстро изменяются физические свойства почв [23]. Отмечено увеличение плотности, снижение пористости [24].

Изучение изменения структурно-агрегатного состояния сезонно-переувлажненных почв весьма актуально при оценке процессов агрегации в течение длительного временного периода. При этом необходимо дать объективную оценку физических показателей, отражающих их изменение в различных условиях увлажнения. Цель работы – изучение изменений физических параметров почв лугового ряда Каменной степи.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в Воронежском ФАНЦ им. В.В. Докучаева (Каменная степь). Объектами

исследования служил комплекс сезонно-переувлажненных почв западнее лесополосы № 131 (рис. 1).

Опытный участок представлен следующими почвами, расположенными на приводораздельной верхней части склона к балке Таловая: 1 — лугово-черноземные почвы на выпуклой части склона, не затопляемой поверхностными водами весной (**Р-2**), 2 — черноземно-луговые солончаковатые слабозасоленные почвы на равнинном понижении на переходе от выпуклой к вогнутой части склона с коротким периодом поверхностного затопления (**Р-1**), 3 — черноземно-луговые солончаковатые слабозасоленные почвы в ложбинообразном понижении на вогнутой части склона, подвергающемуся длительному сезонному затоплению (**Р-3**).

По классификации 1977 г. название объектов исследования следующее: Р-2 — лугово-черноземная среднемошная среднегумусная легкоглинистая почва на лессовидных глинах, подстилаемых коричневатобурыми плотными покровными глинами, Р-1 и Р-3 — черноземно-луговая среднемошная среднегумусная солончаковатая слабозасоленная легкоглинистая пахотная почва на лессовидных глинах, подстилаемых коричневатобурыми плотными покровными глинами.

По классификации 2004 г. эти почвы относятся к агрочернознам гидрометаморфизованным (Р-2) и гумусово-гидрометаморфическим засоленным почвам (Р-1, Р-3).

Для изучения эффективности гипса и дефеката на почвенных разностях заложен полевой опыт для

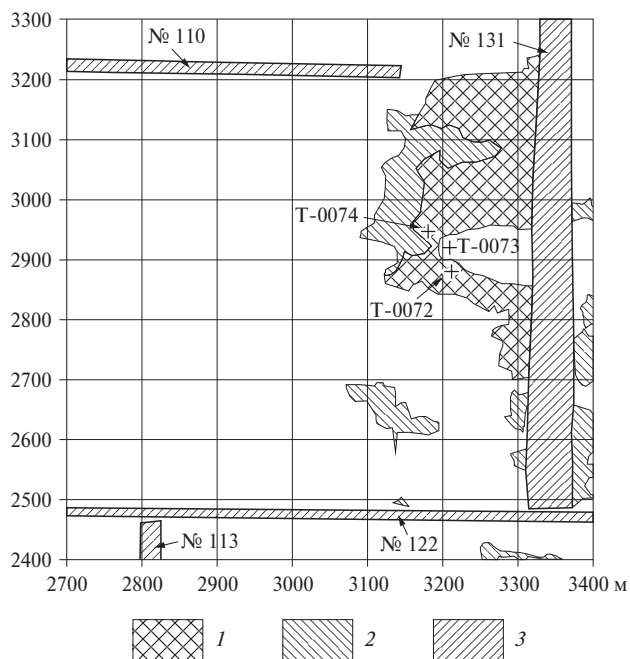


Рис. 1. Схема расположения объектов исследования [25], местоположение разрезов Т-0074 (Р-1), Т-0073 (Р-2) и Т-0072 (Р-3): 1 — ареалы, затопленные весной 2006 г., 2 — ареалы, переувлажненные весной 2006 г., 3 — лесополосы (указан номер).

изучения химической мелиорации. Варианты опыта: 1 — контроль, 2 — гипс 5 т/га, 3 — дефекат 5 т/га, 4 — гипс + дефекат по 2.5 т/га. Мелиоранты внесены осенью 2020 г. под вспашку. Площадь делянки 20 м² в трехкратной повторности.

Исследования и анализы проводили следующими методами: структурный состав почв определяли по Саввинову [26], водопрочность почвенных агрегатов — прибором Бакшеева. При анализе гранулометрического состава использовали пиррофосфатный метод [26]. Определяли содержание 6-ти фракций — 1–0.25, 0.25–0.05, 0.05–0.01, 0.01–0.005, 0.005–0.001, <0.001 мм по Качинскому [27, 28].

Средневзвешенный диаметр частиц при сухом просеивании определяли расчетным способом Хитрова по формуле: $D = \sum d_i a_i / \sum a_i$, где D — средневзвешенный диаметр частиц, a_i — содержание i -й фракции агрегатов, имеющих диаметр от $d_i \min$ до $d_i \max$, %; $d_i = (d_i \max - d_i \min) / 2$ — средний диаметр агрегатов i -й фракции, мм [29]. Экспериментальные данные подвергали статистической обработке с помощью прикладных формул Microsoft Excel.

Исследование проведено в различные по погодным условиям годы с 2005 по 2022 г. (табл. 1).

Период с 2007 по 2009 г. и 2014 г. можно характеризовать близкими к среднемуголетним или более величинам по количеству выпавших осадков. В 2005, 2006, 2015 и 2022 г. величина атмосферного увлажнения существенно превышала климатическую норму. При этом за холодный период года количество осадков превышало средние показатели во все годы наблюдений. В теплый период года также можно отметить увеличение влажности в большинстве лет. Температурный режим отличался повышенным фоном во всем временном периоде.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гранулометрический состав. Луговые почвы исследованных объектов характеризовались тяжелым гранулометрическим составом. Отмечена четкая дифференциация содержания крупной пыли и ила в зависимости от характера увлажнения. Можно отметить общую для этих почв закономерность постепенного увеличения с глубиной количества ила при соответствующем снижении доли крупной пыли. При этом выделялись обедненные илом гумусовые горизонты. В верхних гумусовых горизонтах количество илистой фракции отмечено в пределах 29–39%, в нижележащих карбонатных постепенно оно повышалось до 40–44% (табл. 2).

Минимальное количество крупной пыли в луговых почвах прослежено в ложбинообразном понижении, которого было по всему профилю <30%, в то

Таблица 1. Метеорологические показатели в годы исследования

Год исследования	Осадки, мм			Температура, °С		
	за год	холодный период (сентябрь—апрель)	теплый период (май—август)	Среднегодовой показатель	холодный период (сентябрь—апрель)	теплый период (май—август)
2005	683	370	317	7.55	0.76	19.18
2006	611	312	264	6.45	0.16	18.75
2007	446	388	154	8.29	3.13	20.38
2008	441	285	146	8.08	2.18	18.70
2009	405	256	169	7.76	2.09	18.85
2014	455	359.8	229.3	7.43	2.49	19.02
2015	562	254.6	237.7	8.26	1.58	19.60
2022	750	355.0	245.0	7.89	2.38	19.08
1894–1959	433.2	218.6	220.2	5.2	–1.0	17.8
1894–2019	471.4	261.3	213.2	5.9	–0.2	18.1

время как в почвах равнинного понижения и повышения оно превышало этот показатель.

Для луговых почв при схожем гранулометрическом составе можно отметить различия в вертикальном распределении количества илистой фракции в зависимости от подтипа почв и расположения в мезо рельефе. В черноземно-луговых и лугово-черноземной солонцеватых почвах наблюдали выраженный эффект элювиально-иллювиального перераспределения ила. В агрочерноземе такой четкой закономерности не установлено. Увеличение фракции ила в нижних почвенных горизонтах являлось одной из причин проявления гидроморфизма луговых почв.

В агрочерноземах, не подверженных сезонному переувлажнению, можно отметить обеднение илистой фракцией, особенно четко прослеженное в гумусовом горизонте. Существенное увеличение ила начинало проявляться с глубины 70 см и ниже. По количеству крупной пыли эти почвы характеризовались заметным меньшим количеством по сравнению с гидроморфными. В черноземе сегрегационном содержание крупной пыли отмечено на уровне 17.1–29.0% с более высокими показателями в гумусовой толще. В луговых почвах фракция крупной пыли достигала при этом 27.8–33.8%.

Более высоким количеством средней пыли характеризовался агрочернозем сегрегационный (автоморфный) с максимумом в гумусовой толще — 12.4–18.3%. В переувлажненных почвах количество средней пыли было заметно меньше и составляло 9.1–13.2%. По количеству мелкой пыли также можно отметить преимущество непереувлажненного чернозема, ее содержание изменялось в пределах 18.4–20.6%. Более высокие показатели были характерны для верхних горизонтов. В почвах лугового ряда количество мелкой пыли уступало автоморфному чернозему.

Фракция крупного песка (1–0.25 мм) в исследованных почвах составляла 0.3–0.8%. Заметных различий этого показателя от степени увлажнения не установлено. Более существенные различия можно отметить в содержании мелкого песка (0.25–0.05 мм). В луговых почвах его содержание уступало автоморфному чернозему.

По объему физической глины (частиц <0.01 мм) преимущество имел автоморфный сегрегационный чернозем. Ее величина варьировала в пределах 60.7–71.0%, в то время как в почвах лугового ряда в гумусовых почвенных горизонтах — в пределах 58.8–64.5%. В карбонатных горизонтах луговых солонцеватых почв доля физической глины увеличивалась до 62.7–67.4%, причем более высокие показатели были характерны для почв понижений. Таким образом, эти почвы преимущественно можно отнести к классу средней и тяжелой глины [28]. Автоморфный чернозем классифицировали как почву с легкоглинистым гранулометрическим составом. По международной классификации анализированные почвенные разности относятся к пылевой глине [30].

Утяжеление гранулометрического состава переувлажненных почв в верхних гумусовых горизонтах в условиях повышенной влажности, близкой к предельно-полевой (ППВ), приводит к недостатку воздуха и угнетению культурных растений [31].

Гранулометрический состав луговых почв Каменной степи свидетельствовал о наличии признаков профильного перераспределения фракций, обусловленных фактором избыточного увлажнения и близкого уровня грунтовых вод (УГВ). Актуальным остается вопрос гранулометрической дифференциации некоторых почвенных горизонтов в условиях продолжающегося антропогенного влияния и изменения условий увлажнения в рукотворных агролесоландшафтах.

Таблица 2. Гранулометрический состав почв сезонно переувлажненных комплексов

Слой почвы, см	Диаметр фракции, мм								
	Песок		Пыль			Ил	Физическая глина	Сумма песка	Сумма пыли
			крупная	средняя	мелкая				
	1–0.25	0.25– 0.05	0.05–0.01	0.01– 0.005	0.005– 0.001	<0.001	<0.01	1–0.05	0.05– 0.001
Черноземно-луговая солончаковатая слабозасоленная на равнинном понижении									
0–20	0.5	5.1	33.8	12.4	16.8	31.5	60.7	5.6	63.0
20–40	0.2	6.8	32.1	11.9	9.8	39.3	61.0	7.0	53.8
40–60	0.5	7.6	30.4	10.8	9.9	40.8	61.6	8.1	51.1
80–100	0.4	3.1	30.9	15.4	12.5	37.8	65.6	3.5	58.8
140–160	0.5	5.0	31.5	10.5	10.8	41.7	63.0	5.5	52.8
180–200	0.8	6.2	26.5	10.6	17.6	38.3	66.6	7.0	54.7
Лугово-черноземная на равнинном повышении									
0–20	0.4	10.8	29.8	9.1	15.7	34.2	59.0	11.2	54.6
20–40	0.4	8.9	32.7	11.5	14.6	31.9	58.0	9.3	58.8
40–60	0.3	7.4	27.8	13.4	13.5	37.6	64.5	7.7	54.7
80–100	0.3	6.7	30.2	11.0	20.8	30.9	62.7	7.0	62.0
140–160	0.4	4.3	32.2	7.8	13.9	41.4	63.1	4.7	53.9
180–200	0.3	10.1	24.8	5.4	15.7	43.7	64.8	10.4	45.9
Черноземно-луговая солончаковатая слабозасоленная в ложбиннообразном понижении									
0–20	0.5	11.7	29.0	13.2	11.2	34.4	58.8	12.2	53.4
20–40	0.6	9.9	29.4	11.9	18.7	29.4	60.0	10.5	60.0
40–60	0.5	8.9	29.0	11.0	12.0	38.5	61.5	9.4	52.0
80–100	0.5	9.0	27.0	7.9	16.4	39.1	64.4	9.4	51.3
140–160	0.5	4.4	27.9	12.3	17.0	37.8	67.2	4.9	57.2
180–200	0.6	8.2	27.3	8.4	19.5	36.0	63.9	8.8	55.2
	Агрочернозем сегрегационный								
0–10	1.4	14.6	23.3	15.3	20.6	24.9	60.7	16.0	59.2
10–20	0.6	10.7	23.0	18.3	8.3	39.0	65.7	11.3	49.6
20–30	0.5	7.6	29.0	12.4	20.2	30.2	62.8	8.1	61.6
30–40	0.8	7.9	28.6	12.6	19.0	33.1	64.7	8.7	60.2
40–50	0.6	6.7	26.4	11.0	18.4	37.0	66.3	7.3	55.8
50–60	0.4	14.1	17.1	16.0	19.6	32.7	68.3	14.5	52.7
60–70	0.5	10.5	18.1	17.9	18.8	34.2	71.0	11.0	54.8
70–80	0.6	9.0	21.0	10.8	18.6	39.9	69.4	9.6	50.4
80–90	0.3	6.7	27.0	11.4	18.7	35.9	66.0	7.0	57.1
90–100	0.4	6.3	27.4	7.1	20.6	38.2	65.8	6.7	55.1

Структурный состав. Качественный структурный состав относится к основным показателям плодородия. Он обеспечивает удержание влаги в межагрегатных порах, тем самым сохраняя хорошую обеспеченность растений влагой.

Проведенная оценка изменения структурного состояния сезонно-переувлажненных почв Каменной степи в течение длительного периода позволила выявить изменения, обусловленные характером увлажнения конкретного года. Необходимо отметить быструю перестройку соотношения основных

агрегатов в изученных почвах. Это проявлялось в существенном увеличении доли глыбистых агрегатов (>10 мм) в годы с повышенным уровнем атмосферного увлажнения. За счет этого, естественно, снижалось количество агрономически ценных структурных отдельностей. В лугово-черноземной почве равнинного понижения и повышения доля глыбистой фракции во влажные годы варьировала в основном в пределах 25.0–35.2% (табл. 3).

В годы с уровнем осадков, близким к среднеголетним показателям, доля глыбистой фракции не

Таблица 3. Структурный состав черноземно-луговой солончаковатой слабозасоленной почвы на равнинном понижении (Р-1), лугово-черноземной почвы на равнинном повышении (агрочернозем гидрометаморфизованный) (Р-2) и черноземно-луговой солончаковатой слабозасоленной почвы в ложбинообразном понижении (Р-3) (2005–2022 гг.)

Фракции, мм	Годы исследования							
	2005	2006	2007	2008	2009	2014	2015	2022
Черноземно-луговая солончаковатая слабозасоленная почва на равнинном понижении (Р-1)								
>10	31.5	19.5	19.1	9.4	19.2	24.1	35.2	30.1
10–5	28.0	27.4	27.6	23.5	31.9	21.0	20.2	19.1
5–3	15.7	21.6	18.8	23.3	17.4	10.0	16.3	10.5
3–2	9.8	15.7	15.9	20.9	14.1	13.9	13.1	14.5
2–1	11.5	13.2	14.7	16.4	10.6	14.3	12.0	13.3
1–0.5	1.0	0.8	2.1	1.8	3.9	9.7	1.0	6.4
0.5–0.25	1.5	1.2	1.1	3.5	1.6	3.7	1.4	4.2
<0.25	1.0	0.7	0.7	1.3	1.3	3.4	0.8	2.0
$\Sigma 10-0.25$	67.6	79.9	80.2	89.4	79.5	72.5	64.1	68.0
$\Sigma 10 + <0.25$	32.4	20.1	19.8	10.6	20.5	27.5	35.9	32.0
Kc^*	2.1	4.0	4.1	8.4	3.9	2.6	1.8	2.1
Лугово-черноземная почва на равнинном повышении (агрочернозем гидрометаморфизованный) (Р-2)								
>10	25.0	18.2	17.4	14.2	11.6	12.3	16.9	32.5
10–5	25.1	28.8	27.4	26.5	18.9	16.6	11.4	16.4
5–3	17.1	18.0	18.8	20.7	24	11.4	12.5	9.6
3–2	11.3	16.9	16.2	17.3	26.6	22.8	15.9	14.0
2–1	16.2	14.6	15.9	15.5	15.4	23.1	25.8	15.6
1–0.5	1.4	1.2	1.8	2.6	3.1	8.6	3.1	7.7
0.5–0.25	2.5	1.5	2.1	2.2	0.2	1.7	9.5	3.3
<0.25	1.4	0.9	0.6	1	0.2	3.4	4.9	1.0
$\Sigma 10-0.25$	73.6	81.0	82.1	84.8	88.2	84.3	78.2	66.5
$\Sigma >10 + <0.25$	26.4	19.1	17.9	15.2	11.8	15.7	21.8	33.5
Черноземно-луговая солончаковатая слабозасоленная почва в ложбинообразном понижении (Р-3)								
>10	14.5	18.4	13.7	5.9	12.6	37.5	18.8	31.4
10–5	20.0	43.1	26.3	15.4	24.7	17.9	18.7	20.7
5–3	20.8	17.7	18.1	15.8	19.7	10.1	14.5	10.1
3–2	14.2	11.9	19.1	20.4	22.1	12.7	15.9	12.3
2–1	17.0	7.9	19	28.3	18.2	14.1	22.9	13.9
1–0.5	2.4	0.4	1.3	4.8	1.4	4.0	2.5	4.9
0.5–0.25	6.7	0.5	1.7	5.4	0.8	1.9	4.9	4.4
<0.25	4.5	0.2	0.8	4	0.5	1.9	1.9	2.4
$\Sigma 10-0.25$	81.0	81.3	85.5	90.1	86.9	60.6	79.4	66.2
$\Sigma 10 + <0.25$	19.0	18.7	14.5	9.9	13.1	39.4	20.6	33.8
Kc^*	4.3	4.4	5.9	9.1	6.6	1.5	3.8	2.0

* Kc – коэффициент структурности. То же в табл. 4.

превышала 19.2%. В черноземно-луговой солончаковой слабозасоленной почве в ложбинообразном понижении, не смотря на внешнее ярко выраженное худшее физическое состояние поверхности, количество крупных агрегатов (>10 мм) на протяжении всего периода исследования было меньше. В основном их величина изменялась в пределах 11.6–25.0% (табл. 3). В этом случае проявлялась диспергирующая роль минерализованных вод с высоким содержанием солей. По наши данным, величина минерализации увеличивалась в отдельные годы до 3–5 г/л [32]. Доля мелкой фракции <0.25 мм (пыли) была незначительной и не зависела от таксономической принадлежности почв. В основном ее содержание не превышало 1.5–2.2 %. Можно отметить тенденцию к увеличению этой фракции в годы с избыточным увлажнением. Количество пыли повышалось до уровня $>4.0\%$.

В составе агрономически ценных агрегатов фракцией-доминантом служат структурные отдельности 5–10 мм. Более низкий уровень их содержания был характерен для лугово-черноземной почвы равнинного повышения. В почвах понижений (равнины и ложбины) количество агрегатов этой размерности увеличивалось. Аналогично изменялась и величина фракции в интервале 3–5 мм. Общей закономерностью для этих двух важных фракций почвенной структуры было постепенное их уменьшение за рассмотренный временной промежуток во всех почвенных разностях.

В нормальные по увлажнению годы повышалась доля агрегатов 1–3 мм. В годы с большим количеством атмосферных осадков их количество, как правило, снижалось. Содержание агрегатов фракции <1 мм было незначительным и не оказывало влияние на структурное состояние почв.

Следствием изменения соотношения фракций почвенной структуры было изменение коэффициента

структурности (K_c) — отношения суммы агрономически ценных фракций (0.25–10.0 мм) к сумме глыбистых (>10 мм) и пылеватых (<0.25 мм) отдельностей. Более высокие коэффициенты структурности отмечены в годы с влажностью, близкой к среднегодовому показателю. При повышении атмосферного увлажнения K_c снижался. Эта закономерность прослежена во всех почвенных разностях. Можно отметить меньшую степень варьирования коэффициента структурности в лугово-черноземной почве равнинного повышения по годам. Величина K_c изменялась от 2.0 до 7.5. В черноземно-луговой почве равнинного понижения K_c был на уровне 1.8–8.4. Еще большей вариабельностью этого показателя характеризовалась черноземно-луговая почва ложбинообразного понижения — от 1.5 до 9.1. Таким образом, в почвах отчетливо прослежены особенности изменения структурного состояния от характера грунтового увлажнения.

В 2020 г. на почвах, подверженных сезонному переувлажнению, был заложен опыт изучения действия химической мелиорации. Для оценки изменения физических свойств почв в 2022 г. отобраны почвенные образцы для структурного анализа. Максимальное количество глыбистых частиц отмечено в варианте без применения мелиорантов не зависимо от почвенной разности. Варьирование доли структурных отдельностей >10 мм выявлено в пределах 30.5–32.5% (табл. 4).

Применение приемов химической мелиорации луговых почв существенным образом изменило соотношения фракций структурных отдельностей. Наиболее было заметно снижение глыбистой фракции при внесении гипса, ее количество снижалось до 17.3–23.4%. Минимальное содержание отмечено в лугово-черноземной почве равнинного повышения. В черноземно-луговой почве эффект применения

Таблица 4. Структурный состав луговых почв в вариантах мелиорации, %

Почва	Вариант	Фракции, мм					K_c^*
		>10	10–5	5–1	1–0.25	<0.25	
Черноземно-луговая солончаковая слабозасоленная почва на равнинном понижении	Контроль	30.5	19.1	37.3	11.1	2.0	2.1
	Гипс	23.4	19.8	37.6	17.0	2.2	2.9
	Дефекат	27.1	19.2	37.2	14.1	2.4	2.4
	Дефекат + гипс	22.2	14.3	40.7	20.3	2.5	3.1
Лугово-черноземная почва на равнинном повышении	Контроль	32.5	16.4	39.6	10.9	0.6	2.0
	Гипс	17.3	11.6	45.3	20.4	5.4	3.4
	Дефекат	25.8	19.9	39.9	12.1	2.3	2.6
	Дефекат + гипс	23.9	17.2	44.3	13.5	1.1	3.0
Черноземно-луговая солончаковая слабозасоленная почва в ложбинообразном понижении	Контроль	31.4	20.6	36.3	9.3	2.4	2.0
	Гипс	22.4	19.4	47.1	10.1	1.0	3.3
	Дефекат	25.3	22.1	38.8	12.0	1.8	2.7
	Дефекат + гипс	19.8	18.4	47.9	12.3	1.6	3.7

гипса был менее выражен. При использовании дефеката отмечено также снижение доли глыбистой фракции, но оно было меньше.

Среди агрономически ценных агрегатов лидирующее положение принадлежит фракции 1–5 мм. На ее долю приходилось 36.3–45.3%. Более высокие показатели отмечены в вариантах с применением гипса как в чистом виде, так и в комплексе с дефекатом. В то же время под воздействием мелиорантов увеличивалась доля мелкой фракции с размером частиц 0.25–1.0 мм. Не удалось установить четкой закономерности изменения содержания крупной фракции 5–10 мм. Во всех вариантах ее количество было близким.

Естественным результатом изменения соотношения фракций является повышение величины коэффициента структурности при мелиорации луговых почв. Более высокие показатели отмечены при использовании гипса и его сочетания с дефекатом. Структурообразующая роль последнего выражена в меньшем размере. По отношению к автоморфным черноземам Каменной степи коэффициент структурности был меньше нижнего порога, характерного для фоновых почв [13].

На основе анализа структурного состояния луговых почв можно отметить быструю дезинтеграцию, переорганизацию и изменение соотношения структурных отдельностей, обусловленную характером атмосферного увлажнения. В годы с количеством осадков, превышающим среднегодовое показатели, увеличивалась доля глыбистых частиц. Но при этом сезонно-переувлажненные почвы по существующей классификации характеризовались высокой структурностью. Сезонная изменчивость для агрегированности является решающим фактором, в отличие от агрогенного [33]. Структурообразованию способствуют лабильные гумусовые вещества, которые определяют биохимические процессы в почве [34]. По содержанию гумуса лугово-черноземные почвы Каменной степи характеризуются довольно высоким стабильным его содержанием (табл. 5).

Можно констатировать, что гумусовое состояние луговых почв пришло в равновесное состояние с условиями функционирования этих почв. Можно отметить более высокий уровень гумусированности

черноземно-луговой почвы ложбинообразного понижения с повышением содержания гумуса за период исследований на 0.42%. Довольно стабильное структурное состояние лугово-черноземных почв может быть также обусловлено структурообразующей ролью гуминовых кислот. Состав гумуса исследованных почв гуматный [13]. Гуминовые кислоты, как правило, имеют более высокий порог коагуляции и повышенную структурообразующую роль [34].

Установлено влияние условий увлажнения и таксономической принадлежности почвы на средневзвешенный диаметр агрегатов при сухом и мокром просеивании. В луговых почвах равнинного понижения и повышения увеличение размера агрегатов отмечено в годы с повышенным количеством атмосферных осадков. При снижении влагообеспеченности диаметр почвенных частиц, как правило, уменьшался. Исключением в этом ряду была черноземно-луговая почва ложбинообразного понижения. Четкой закономерности для этой почвы от количества осадков выявить не удалось. В данном случае проявлялась диспергирующая роль более высокой концентрации солей в грунтовых водах и составе водной вытяжки.

Использование приемов химической мелиорации способствовало изменению размера агрегатов во всех почвах. При сухом просеивании в лугово-черноземной почве равнинного повышения их линейный размер снижался с 5.76 до 3.98–5.29 мм, при мокром – с 1.69 до 1.44–1.58 мм (табл. 6).

Более высокая эффективность отмечена в вариантах с использованием гипса. Действие дефеката было менее выражено. В равнинном понижении черноземно-луговой почвы при сухом просеивании размер агрегатов снижался с 5.60 до 3.67–5.26 мм, мокром – с 1.75 до 1.63–1.70 мм. Аналогичная закономерность отмечена в черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения, но при более высоких показателях средневзвешенного диаметра почвенных частиц. При сухом просеивании максимальный размер частиц в контроле (без мелиорантов) был равен 5.80 мм, при внесении гипса и его сочетания с дефекатом – снижался до 5.02 и 4.75 мм. В варианте с одним дефекатом отмечено формирование агрегатов размером 5.65 мм. При мокром просеивании размер агрегатов равнялся 1.82, 1.60, 1.46 и 1.61 мм соответственно варианту опыта. Таким образом,

Таблица 5. Содержание гумуса в слое 0–20 см почв, %

Почва	Год		
	1992	2006	2022
Черноземно-луговая солончаковатая слабозасоленная почва на равнинном понижении	7.42	7.58	7.28
Лугово-черноземная почва на равнинном повышении	7.42	7.50	7.27
Черноземно-луговая солончаковатая слабозасоленная почва в ложбинообразном понижении	7.75	7.85	8.17

Таблица 6. Средневзвешенный диаметр агрегатов, мм

Год	Вариант					
	Р-1		Р-2		Р-3	
	1	2	1	2	1	2
2005	6.37	1.44	6.48	1.61	3.23	1.57
2006	5.77	1.69	4.07	1.65	5.5	1.55
2007	5.41	1.57	5.23	1.75	4.88	1.10
2008	4.48	1.22	4.98	1.48	3.51	1.33
2009	5.63	1.57	4.47	1.64	4.76	1.51
2014	5.21	1.19	4.06	1.16	6.18	1.24
2015	6.25		3.20		4.73	
2022						
<i>a</i>	5.6	1.75	5.76	1.69	5.80	1.82
<i>б</i>	4.97	1.77	3.98	1.44	5.02	1.60
<i>в</i>	5.26	1.70	5.29	1.58	5.65	1.61
<i>г</i>	3.67	1.63	4.86	1.54	4.75	1.46

Примечания. 1. В графе 1 – сухое, 2 – мокрое просеивание. 2. Р-1 – черноземно-луговая солончаковатая слабозасоленная почва на равнинном понижении, Р-2 – лугово-черноземная почва на равнинном повышении (агрочернозем гидрометаморфизованный), Р-3 – черноземно-луговая солончаковатая слабозасоленная почва в ложбинообразном понижении (гумусово-гидрометаморфическая засоленная почва). 3. Варианты опыта с мелиорантами (на луговых почвах западнее л.п. № 131, 06.08.2022 г.): *a* – контроль, *б* – гипс 5 т/га, *в* – CaCO₃ 5 т/га, *г* – гипс + CaCO₃ (2.5 + 2.5 т/га).

химические мелиоранты в разных подтипах почв оказывали положительное влияние на уменьшение средневзвешенного диаметра агрегатов при сухом и мокром просеивании. Это свидетельствовало, с одной стороны, о снижении доли глыбистой фракции при структурном анализе, с другой, – об увеличении агрономически ценных структурных отдельностей, не разрушающихся при внешнем воздействии водой (при мокром просеивании).

Проведенный анализ статистической обработки экспериментальных данных показал существенное различие средневзвешенного диаметра при сухом и мокром просеивании при уровне вероятности $P = 0.95$. При сравнении влияния климатических особенностей года HCP_{05} равнялась 0.56 и 0.08 мм соответственно сухого и мокрого просеивания, при химической мелиорации почв HCP_{05} составил 0.31 и 0.04 мм.

Для оценки равномерности распределения агрегатов по фракциям был использован расчетный показатель энтропии. Более высокие показатели были характерны для условий сухого просеивания. В черноземно-луговых почвах понижения энтропия в контроле (без мелиорантов) при сухом просеивании равнялась 2.67 и 2.64 (табл. 7).

В лугово-черноземной почве равнинного повышения энтропия снижалась до 2.59. При мокром просеивании более высокий показатель энтропии отмечен, наоборот, в почве равнинного повышения – 2.48.

Снижение показателя энтропии распределения количества агрегатов при мокром просеивании могло свидетельствовать о повышении доли более мелких фракций. В вариантах с приемами мелиорации отмечено увеличение энтропии. В черноземно-луговой почве равнинного понижения в контроле (без мелиорантов) энтропия была равна 2.67, что на 2.6–6.0% меньше вариантов с сочетанием гипса и дефеката. В черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения энтропия в контроле отмечена на уровне 2.64, под влиянием мелиорантов она повышалась на 1.9–4.2%. Более существенные изменения энтропии были характерны для лугово-черноземной почвы равнинного повышения. Энтропия в контроле составила 2.59, при внесении гипса и дефеката увеличивалась на 4.6–11.6%. Более высокая энтропия в лугово-черноземной почве свидетельствовала о повышении равномерности распределения агрегатов по фракциям.

Таким образом, складывавшиеся метеорологические особенности лет опыта приводили к изменению размера структурных отдельностей. Увеличение количества осадков, повышение увлажненности почвенного профиля, близкое стояние уровня грунтовых вод способствовали росту средневзвешенного диаметра агрегатов при мокром и сухом просеивании. Снижение атмосферного увлажнения уменьшало риски негативного влияния и благоприятно влияло на физическое состояние черноземов лугового ряда. Внесение гипса и дефеката нивелировало негативное

Таблица 7. Показатели энтропии при сухом и мокром просеивании

Почва	Вариант мелиорации	Эс	Эм
Черноземно-луговая солончаковатая слабозасоленная почва на равнинном понижении (Р-1)	Контроль	2.67	2.43
	Гипс	2.80	2.41
	Дефекат	2.74	2.45
	Дефекат + гипс	2.83	2.37
Лугово-черноземная почва на равнинном повышении (агрочернозем гидрометаморфизованный) (Р-2)	Контроль	2.59	2.48
	Гипс	2.89	2.50
	Дефекат	2.74	2.38
	Дефекат + гипс	2.71	2.43
Черноземно-луговая солончаковатая слабозасоленная почва в ложбинообразном понижении (гумусово-гидрометаморфическая засоленная почва) (Р-3)	Контроль	2.64	2.37
	Гипс	2.69	2.51
	Дефекат	2.72	2.49
	Дефекат + гипс	2.75	2.50

Примечание. Эс – энтропия при сухом, Эм – при мокром просеивании.

действие избыточного увлажнения и формировало почвенную массу с агрегатами меньшего размера. Это могло служить подтверждением доминантной роли агрегатов меньшего диаметра (в том числе при анализе структуры сухого просеивания) и агрегации большего количества агрономически ценных структурных отдельностей, которые формируются при оптимизации физических параметров почвы.

Оценку водоустойчивости структуры лугово-черноземных почв проводили по результатам мокрого просеивания (табл. 8).

Во всех вариантах структура обладала отличной водопрочностью (по Саввинову). Количество водопрочных агрегатов варьировало в пределах 80–85%. Более низкое содержание водоустойчивой структуры характерно для лугово-черноземной почвы равнинного повышения – 71–83%. В черноземно-луговой почве понижений оно отмечено на более высоком уровне – 82–87%. Применение мелиорантов не оказало существенного влияния на агрегацию почвенных частиц. Исключением была лугово-черноземная почва с тенденцией к снижению количества водопрочных

Таблица 8. Агрегатный состав почв при мокром просеивании, %

Почва	Вариант	Размер фракций, мм							
		>3	3–2	2–1	1–0.5	0.5–0.25	<0.25	>3–0.25	3–0.5
Черноземно-луговая солончаковатая слабозасоленная почва на равнинном понижении (Р-1)	Контроль	27	17	26	9	7	15	85	51
	Гипс 5 т/га	32	14	22	9	7	16	84	45
	Дефекат 5 т/га	26	17	25	8	8	16	84	50
	Дефекат 2.5 + гипс 2.5 т/га	16	21	34	6	8	15	85	62
Лугово-черноземная почва на равнинном повышении (агрочернозем гидрометаморфизованный) (Р-2)	Контроль	24	20	22	10	7	17	83	52
	Гипс 5 т/га	17	13	27	13	10	20	80	53
	Дефекат 5 т/га	26	18	14	8	5	29	71	40
	Дефекат 2.5 + гипс 2.5 т/га	22	13	27	9	7	22	78	49
Черноземно-луговая солончаковатая слабозасоленная почва в ложбинообразном понижении (гумусово-гидрометаморфическая засоленная почва) (Р-3)	Контроль	35	21	23	6	3	13	87	49
	Гипс 5 т/га	21	21	26	9	7	17	83	55
	Дефекат 5 т/га	30	16	22	8	7	17	83	46
	Дефекат 2.5 + гипс 2.5 т/га	18	20	29	8	8	18	82	56

агрегатов, минимальная величина которого отмечена в варианте с дефектом — 71% (контроль — 83%).

Фракциями-доминантами, по результатам мокрого просеивания, были агрегаты размером >3 и 2–1 мм. Остальные агрегаты занимали подчиненное положение. Установлена высокая водопрочность почвенной структуры. Наличие значительного количества цементирующего материала (высокое содержание гумуса и обменных катионов) способствовало повышению устойчивости к разрушающему действию воды [35].

ВЫВОДЫ

Формирование сезонно-переувлажненных почв изменяло их гранулометрический состав. Отмечено перераспределение фракций, заметный рост доли физической глины за счет увеличения илистой фракции. В агрочерноземах гумусовая толща характеризовалась снижением доли ила и большим содержанием песчаной фракции.

Переувлажнение черноземных почв приводило к изменению структурного состояния и увеличению глыбистой части почвенных фракций. В годы с большим количеством атмосферных осадков отмечено снижение коэффициента структурности. Приемы химической мелиорации лугово-черноземных почв способствовали улучшению показателей структурного состояния. Более высокая эффективность в этом отношении отмечена при использовании гипса и его сочетания с дефектом. Высокое содержание органического вещества способствовало сохранению водостойчивой структуры на уровне фоновых почв. Изменение агрегатного состояния при мокром просеивании происходило медленно и постепенно и было обусловлено реальными почвенными режимами.

Средневзвешенный диаметр агрегатов при мокром и сухом просеивании определялся условиями атмосферного увлажнения. Большие показатели характерны в годы с количеством осадков, превышающим среднемноголетние нормы. Внесение гипса и дефектата оптимизировало структурно-агрегатное состояние луговых почв и приводило к снижению средневзвешенного диаметра частиц.

Более высокие показатели энтропии после сухого просеивания были характерны для вариантов химической мелиорации луговых почв с высокой долей достоверности ($P = 0.95$): для вариантов с гипсом — 2.69–2.89, с дефектом — 2.72–2.74, сочетания гипса и дефектата — 2.71–2.83. В контроле энтропия была равна 2.59–2.67, при мокром просеивании: 2.41–2.51, 2.38–2.49, 2.37–2.50 и 2.37–2.48 соответственно. Таким образом, фракции структурных отдельностей при химической мелиорации черноземно-луговых почв распределялись более равномерно по отношению к контролю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахтырцев А.Б.* Лугово-черноземные почвы центральных областей Русской равнины. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1981. 174 с.
2. *Минаков Р.Б., Ахтырцев А.Б.* Динамика гидроморфного процесса лесостепи Центрально-Черноземного региона // Вестн. Воронеж. ГАУ. 2011. № 2(29). С. 151–155.
3. *Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С., Степанцова Л.В., Красина Т.В., Красин В.Н.* Эколого-гидрологические и генетические особенности почв Тамбовской низменности // Почвоведение. 2014. № 4. С. 387–400.
4. *Новых Л.Л., Пелехоце Е.А., Смирнова Л.Г., Чуйкова Е.Г.* Вторичный гидроморфизм как актуальное направление трансформации черноземов // Научн. вед-ти БелгородГУ. Сер. Естеств. науки. 2016. № 25(246). С. 94–102.
5. *Новикова Н.М., Волкова Н.А., Назаренко О.Г.* К методике мониторинга локального переувлажнения агроэкосистем в степной зоне // Экосистемы: экол. и динамика. 2022. Т. 6. № 3. С. 48–67. DOI: 10.24412/2542-2006-2022-3-48-67
6. *Адерихин П.Г.* Происходит ли засоление почв в Каменной степи? // Почвоведение. 1953. № 6. С. 63–66.
7. *Исаев В.А., Баранова О.Ю.* Современные направления эволюции агроландшафтов Каменной степи // Мат-лы научн. сессии РАСХН “Научное наследие В.В. Докучаева и современное земледелие”. Ч. 1. М., 1992.
8. *Исаев В.А., Иванов А.Л.* Обзор исследований периодически избыточно-увлажненных почв Каменной Степи // Вестн. Рос. сел.-хоз. науки. 2020. № 1. С. 17–23. DOI: 10.30850/vrsn/2020/1/17-23
9. *Исаев В.А., Белобров В.П., Юдин С.А., Воронин А.Я., Фомин Д.С., Ермолаев Н.Р., Духанин Ю.А., Иванов А.Л., Чевердин Ю.И., Беспалов В.А.* Почво-грунтовые воды (верховодка) в черноземах Каменной степи // Вестн. Рос. сел.-хоз. науки. 2021. № 3. С. 54–60. DOI: 10.30850/vrsn/2021/3/54-60
10. *Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И.* Почвы Каменной Степи от времени В.В. Докучаева до наших дней // Жив. и биокосн. сист. 2016. № 16. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-16/article-2>
11. *Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И.* Сезонно переувлажненные черноземные почвы Каменной Степи. М.: АПР, 2012. С. 64–89.
12. *Муромцев Н.А., Панов Г.А., Шуравилин А.В., Семёнов Н.А.* Эволюция свойств чернозема выщелоченного под влиянием мелиорации в культурном ландшафте // Мелиорац. и водн. хоз-во. 2011. № 3. С. 9–12.

13. *Чевердин Ю.И., Титова Т.В.* Гидроморфные почвы Каменной Степи: Монография. Воронеж: Изд-во "Истоки", 2020. 253 с.
14. *Исаев В.А., Баранова О.Ю.* Влияние экологической обстановки на мелиорированные почвы Центрального Черноземья. М.: АПР, 1994. С. 196–200.
15. *Лебедева И.И.* Гидрологические профили южных черноземов и агрочерноземов // Почвоведение. 2004. № 7. С. 837–846.
16. *Щеглов Д.И., Семенова Л.А.* Влияние уровня грунтовых вод на свойства и плодородие почв // Перспективы науки. 2011. № 5(20). С. 18–20.
17. *Котова Е.В.* Влияние степени гидроморфизма на гранулометрический состав и соотношение фракций черноземов лесостепной части Воронежской области // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития. Сб. научн. тр. по мат-лам Международ. научн. экол. конф. Сост.: Л.С. Новопольцева / Под ред. И.С. Белюченко. Краснодар: КубанГАУ им. И.Т. Трубилина, 2020. С. 92–95.
18. *Саинчук А.М., Стекольников К.Е.* Влияние антропогенной эволюции на потенциальное плодородие чернозема обыкновенного в условиях Каменной степи // Вестн. ВоронежГАУ. 2020. № 4(67). С. 220–227.
DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.4.220
19. *Кузиев Р.К., Собитов У.Т., Абдурахмонов Н.Ю., Мирсодиқов М.М.* Изменение почвенных свойств в орошаемом земледелии // Научн. обзор. 2020. № 3. С. 49–55.
20. *Власенко В.П., Костенко В.В.* Структура почвенного покрова Тимашевского района в условиях гидроморфной деградации почв // Научно-технологическое обеспечение агропромышленного комплекса России: проблемы и решения. Сб. тез. по мат-лам IV Нац. конф / Отв. за выпуск А.Г. Кошцаев. Краснодар: КубанГАУ им. И.Т. Трубилина, 2019. С. 23–24.
21. *Смирнова Л.Г., Тютюнов С.И., Лебедева И.И., Базыкина Г.С., Гребенников А.М., Исаев В.А.* Глубинный гидроморфизм миграционно-мицеллярных агрочерноземов Белгородской области // Аграрн. Россия. 2016. № 3. С. 9–15.
22. *Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С., Степанцова Л.В., Красин В.Н.* Методы количественной оценки степени гидроморфизма черноземовидных почв (на примере почв севера Тамбовской равнины) // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 2012. № 1. С. 11–17.
23. *Зайдельман Ф.Р., Тюльпанов В.П., Ангелов Е.Н., Давыдов А.И.* Почвы мочарных ландшафтов (формирование, агроэкология и мелиорация). М.: Изд-во МГУ, 1998. 160 с.
24. *Красина Т.В., Степанцова Л.В., Красин В.Н.* Агрофизические свойства типичного чернозема, черноземовидных почв и солонцов черноземовидных юга Тамбовской равнины // Вестн. МичуринскГАУ. 2012. № 4. С. 42–48.
25. *Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И.* Распространение сезонно переувлажненных и затопленных почв в Каменной Степи // Каменная Степь: проблемы изучения почвенного покрова: науч. тр. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2007. С. 121–133.
26. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
27. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
28. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
29. *Хитров Н.Б., Чечуева О.А.* Способ интерпретации данных макро- и микроструктурного состояния почв // Почвоведение. 1994. № 2. С. 84–92.
30. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources. Rep. № 106. Rome: FAO.
31. *Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С., Степанцова Л.В., Волохина В.П.* Темно-серые почвы на двучленных отложениях севера Тамбовской равнины: агроэкология, свойства и диагностика // Почвоведение. 2012. № 5. С. 515–529.
32. *Чевердин Ю.И., Беспалов В.А., Титова Т.В.* Особенности формирования солевого профиля сезонно переувлажненных почв Каменной Степи // Агрохимия. 2022. № 11. С. 13–25.
DOI: 10.31857/S0002188122110047
33. *Быстрицкая Т.Л., Герасимова М.И.* О годовом цикле современного черноземного процесса // Почвоведение. 1988. № 6. С. 5–15.
34. *Караева Н.А., Лебедева И.И., Скворцова Е.Б., Герасимова М.И.* Географо-генетическая концепция пахотных горизонтов и опыт их типизации // Почвоведение. 2003. № 12. С. 1413–1421.
35. *Тищенко С.А., Безуголова О.С., Морозов И.В.* Особенности физических свойств почв локально переувлажненных ландшафтов Нижнего Дона // Почвоведение. 2013. № 3. С. 328–334.
DOI: 10.7868/S0032180X13030106
36. *Лебедева И.А., Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Гребенников А.М., Маркина Л.Г.* Структурное состояние миграционно-мицеллярных (типичных) агрочерноземов Каменной Степи в условиях разновозрастной пашни // Почвоведение. 2017. № 2. С. 227–238.
DOI: 10.7868/S0032180X17020095

Dynamics of Physical Parameters of Soils of the Meadow Range of the Stone Steppe

Yu. I. Cheverdin^{a, #}, T. V. Titova^a, I. F. Porotikov^a

^a V.V. Dokuchaev Voronezh FASC, pos.2 division of the Dokuchaev Institute,
quart. 5, 81, Voronezh region, Talovsky district 397463, Russia

[#] E-mail: cheverdin62@mail.ru

A comparative analysis of the physical properties of meadow soils in agroforestry landscapes of the Central Chernozem region over a long period of time was carried out. The study was carried out on the soils of a seasonally waterlogged complex. According to the 2004 classification, these soils belong to hydrometamorphosed agrochernozems and humus-hydrometamorphic saline soils. The granulometric composition of the soils depended on the nature of soil moisture. In automorphic chernozems, a decrease in the proportion of the silty fraction of humus horizons was noted. Hydromorphic soils were characterized by an increased content of silt. Its role in carbonate horizons increased significantly. In the structural and aggregate state, an increase in the proportion of the lumpy fraction was noted in years with precipitation exceeding the long-term average. As part of the agronomically valuable aggregates, 5–10 mm aggregates were the dominant fraction. The share of small dusty aggregates accounted for an insignificant part. The use of chemical meliorants on meadow soils improved the structural condition of meadow soils. An increase in the structural coefficient was noted. All studied soil differences were characterized by high water resistance of structural separations.

Keywords: seasonally waterlogged soils, granulometric composition, physical parameters of the soil, meliorants.