

УДК 631.41:631.445.1:630*116.24(470.324)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОЛЕВОГО ПРОФИЛЯ СЕЗОННО ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ ПОЧВ КАМЕННОЙ СТЕПИ¹

© 2022 г. Ю. И. Чевердин^{1,*}, В. А. Беспалов¹, Т. В. Титова¹

¹ Воронежский федеральный аграрный научный центр имени В.В. Докучаева
397463 Воронежская область, Таловский район, пос. 2-го участка Института им. Докучаева, квар. 5, д. 81, Россия

*E-mail: cheverdin62@mail.ru

Поступила в редакцию 13.04.2022 г.

После доработки 23.06.2022 г.

Принята к публикации 12.08.2022 г.

Изучили изменения солевых характеристик сезонно переувлажненных почв в агролесоландшафтах Центрального Черноземья (Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева). Проведен сравнительный анализ формирования солевого профиля водорегулирующей лесной полосы и смежно расположенных с ней сезонно переувлажненных почв Каменной Степи. Лесная полоса шириной 48 м посажена в 1949–1950 гг. и представляет собой лесное насаждение из дуба, березы, ясеня и клена. Оценку проводили по составу водной вытяжки, активности иона натрия и химического состава грунтовых вод. Характер формирования солевого профиля различался и зависел от степени проявления гидроморфизма, а также складывающихся гидротермических условий года. В черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения (Разрез-3) сформировался засоленный почвенный горизонт с глубины 80 до 140 см. Лугово-черноземная почва (Разрез-2) содержала минимальное содержание солей из всех вариантов вдоль всего профиля почвы. Отмечено увеличение концентрации солей под лесной полосой. Наиболее мощный солевой горизонт был характерен для центральной части лесной полосы, где он растянулся на 180 см глубиной с 80 до 260 см. На западной опушке мощность глубоководного горизонта была меньше, чем в центре полосы на 80 см, но концентрация солей была больше. Минимальная величина мощности солевого горизонта (20 см) отмечена на восточной опушке водорегулирующей лесной полосы, но с максимальной концентрацией солей (0.98%).

Ключевые слова: лесная полоса, сезонно переувлажненные почвы, солевой профиль, натрий, токсичные соли, Каменная степь.

DOI: 10.31857/S0002188122110047

ВВЕДЕНИЕ

В Центрально-Черноземном регионе одним из основных направлений антропогенного воздействия в течение прошлого столетия стало агролесомелиоративное обустройство территории посредством посадки сети лесных полос. Одной из базовых моделей по изменению естественного ландшафта послужила Каменная Степь. На ее примере в течение последних ста лет изучали эволюционные изменения характеристик и свойств почвенного покрова под влиянием широкомаштабного агрогенного воздействия [1–6].

Отмечено, что на состояние почвенного покрова влияет не только антропогенное, но и лесомелиоративное воздействие. Много работ посвящено агроэкологической роли лесных полос в преобразовании ландшафтов [7–13]. Проведен-

ные исследования в Каменной Степи показали положительную роль лесных насаждений на физические и физико-химические свойства черноземов [14–17].

Помимо положительного влияния лесных полос на свойства черноземов, отмечена и их негативная роль, которая проявляется в увеличении площадей гидроморфных и сезонно переувлажненных почв [18–25].

В последнее время в Каменной Степи отмечено увеличение площади участков сезонно переувлажненных почв. Это говорит о серьезном изменении состояния агролесоландшафта по сравнению с его состоянием в конце XIX – начале XX вв. Переувлажнение территории Каменной Степи связано с повышением уровня грунтовых вод [23, 24].

Гидроморфизм почв является комплексным воздействием не только природного, но и антропогенного факторов. За природный фактор отве-

¹ Работа выполнена в рамках программы по тематике государственного задания на 2021–2024 гг.

чают увеличение атмосферных осадков, особенности рельефа, литология почвогрунтов. Непосредственные мероприятия по накоплению и перераспределению влаги в агроландшафте во многом зависят от человеческого фактора (посадки лесополос, орошения, возведения прудов и водохранилищ, строительства дорог) [26].

Многолетние наблюдения в Каменной Степи указывают на то, что переувлажнению свойственно циклическое изменение. За последние 100 лет в Каменной Степи установлены циклы подъема и спада уровня грунтовых вод, которые напрямую зависели от изменений климатических условий в регионе [18].

На современном этапе активное использование почвенного покрова с осложненной гидроморфизмом структурой приводит во многих случаях к активизации деградационных процессов (засолению, соленакоплению), затрагивающих и глубокие горизонты почв [26–31]. Эта тема актуальна в современном почвоведении, поэтому поставлена задача, выяснить на данном этапе, как влияет вторичный гидроморфизм черноземных почв на накопление солей в агролесомелиоративных ландшафтах.

Цель работы – оценка процессов соленакопления в сезонно переувлажненных почвах в условиях влияния агролесомелиоративного комплекса.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в Воронежском ФАНЦ им. В.В. Докучаева (Каменная Степь). Объектами исследования были почвы водорегулирующей лесной полосы № 131 и комплекс сезонно переувлажненных почв западнее лесополосы № 131 (рис. 1). Комплекс представлен следующими почвами, расположенными на приводораздельной верхней части склона к балке Таловая: 1 – лугово-черноземные почвы на выпуклой части склона, не затапливаемой поверхностными водами весной (**Р-2**), 2 – черноземно-луговыми солончаковатыми слабозасоленными почвами на равнинном понижении на переходе от выпуклой к вогнутой части склона с коротким периодом поверхностного затопления (**Р-1**), 3 – черноземно-луговыми солончаковатыми слабозасоленными почвами в ложбинообразном понижении на вогнутой части склона, подвергающемуся длительному сезонному затоплению (**Р-3**). Рельеф исследованного участка характеризуется уклоном 1–3° в направлении с запада на восток.

Лесополоса № 131 высажена по границе прибалочного склона и водораздела и является водорегулирующей. Чтобы ее воздействие на поверхностный сток было эффективным, ей была определена значительная ширина – 48 м. Лесная

полезащитная полоса № 131 расположена в направлении с севера на юг. Автор посадки – Зубович Н.Ф., год посадки – 1949/1950, длина 884 м, ширина 48 м, площадь 4 га, возраст полосы на момент проведения исследования – 71 год. Состав древостоя – 2ДЗБ1Кя1Яп+Ко (дуб черешчатый, береза повислая, клен ясенелистный, ясень пушистый и клен остролистный) [7].

Образцы почв отбирали ручным буром сплошной колонкой с глубины: 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100, 100–120, 120–140, 140–160, 160–180, 180–200, 200–220, 220–240, 240–260, 260–280 и 280–300 см. Общее количество образцов составило 170 шт. В образцах почв производили выделение генетических горизонтов, а также определяли принадлежность к почвенной разности.

Активность ионов натрия определяли ион-селективным методом в пасте при 50%-ной влажности на иономере И-150, общее содержание и качественный состав легкорастворимых солей – в водной вытяжке при соотношении почва : вода = 1 : 5 [32].

Определение химизма почвенно-грунтовых вод проводили по ГОСТ 26423-85, катионно-анионного состава водной вытяжки – по ГОСТ 26428-85.

Для пространственного отображения двумерного распределения солей использовали геостатистические возможности пакета Surfer – V. 9.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Складывающиеся метеорологические условия являются мощным фактором, определяющим характер изменения увлажненности отдельных компонентов современных агролесомелиоративных ландшафтов. Общей закономерностью является довольно существенное изменение отдельных составляющих, характеризующих температурный режим воздуха и атмосферное увлажнение в последние десятилетия. Необходимо отметить существенное варьирование показателей от средне-многолетних показателей в ту или иную сторону.

По количеству выпавших атмосферных осадков в большинстве лет исследования отмечено превышение средне-многолетних показателей. При среднем количестве осадков за год на уровне 438.4 мм (1893–1959 гг.) в настоящее время отмечен их существенный рост. Превышение по отношению к средне-многолетним нормам составляет от 11.5 до 183.8 мм (табл. 1). Наибольшим количеством осадков характеризовались 2013 и 2016 гг. Величина их составила соответственно 601 и 622 мм. Близкими, с незначительным превышением средне-многолетних норм, можно отметить условия 2010, 2014 и 2019 гг. При этом наиболее экс-

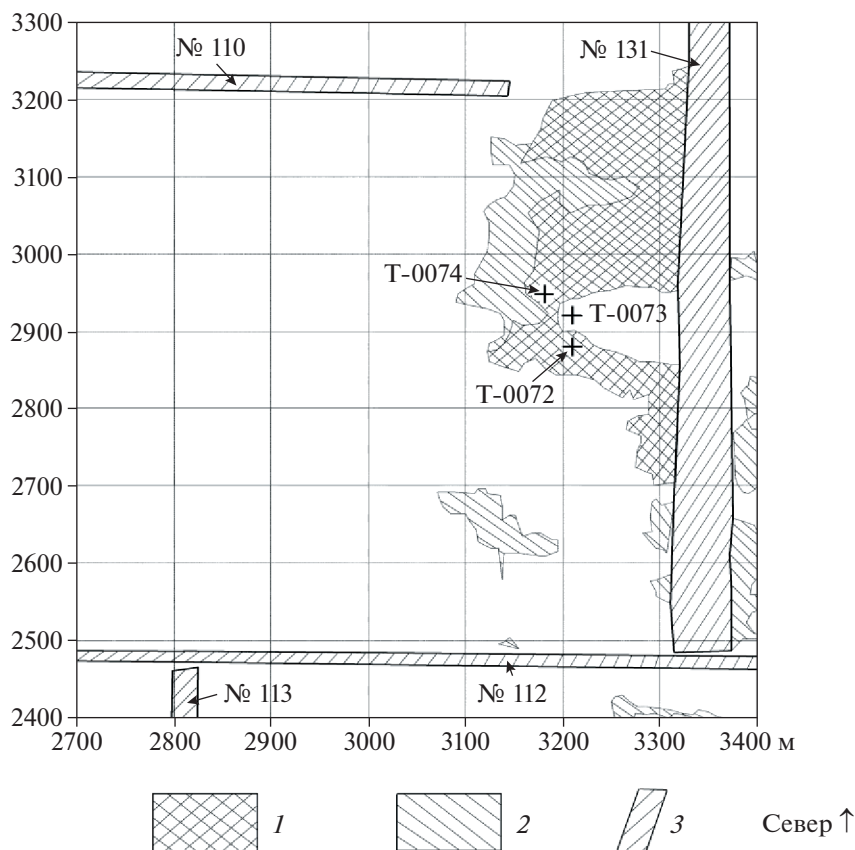


Рис. 1. Схема расположения объектов исследования [23] – местоположение разрезов Т-0074 (Разр-1), Т-0073 (Разр-2) и Т-0072 (Разр-3); 1 – ареалы, затопленные весной 2006 г., 2 – ареалы, переувлажненные весной 2006 г., 3 – лесополосы (указан номер), 4 – трансекта скважин с востока на запад.

тремально по климатическим параметрам характеризовались условия 2010 и 2020 гг.

В 2010 г. количество атмосферных осадков было близким к среднегодовым показателям – 454,1 мм, но характер их распределения был совсем иной. Если в зимние месяцы и в начале весны (январь–март) выпало 122 мм осадков, то отличительной особенностью летнего периода 2010 г. был существенный недостаток атмосферных осадков.

По годовой сумме атмосферных осадков с минимальным показателем отличались условия 2020 г. В годовом исчислении их выпало всего 382 мм. При этом наиболее острый дефицит влаги отмечен во 2-м полугодии. В целом за 2-е полугодие 2020 г. отмечено существенное снижение атмосферного увлажнения. По сравнению со среднегодовыми показателями недостаток осадков составил 124 мм.

К отличительным особенностям температурного режима в последние десятилетия можно отнести его повышенный фон. Например, среднегодовая температура воздуха превышала среднегодовые показатели на 1,17–3,72°C (табл. 2). Экстремально высокими показателями характе-

ризовался 2010 и 2020 гг. Средняя температура воздуха составила 8,73 и 9,12°C, при норме 5,19°C. В ряду рассмотренных лет минимальная годовая температура воздуха отмечена в 2006 г. – 6,45°C, но она все же превышала среднегодовую норму.

В годовом ходе температур отмечена такая же закономерность – повышенный температурный фон практически во все временные периоды. Особенно необходимо отметить условия последних 2-х лет. При среднегодовой температуре воздуха в январе – 9,82°C, фактически она составила всего –1,2°C в 2020 г. и –4,1°C в 2021 г., в феврале – –1,1 и –7,7°C соответственно при норме –9,73°C. Очень теплые условия с ранним приходом весны были характерны для марта. Летние месяцы температурный режим характеризовался повышенным фоном, что негативно отразилось на росте и формировании продуктивности растений. Для июня при среднегодовой норме 18,0°C в 2020–2021 гг. температура воздуха составила 21,2–21,3°C, в июле и августе также были превышены среднегодовые показатели на 2–4°C. Можно констатировать более высокие температуры воздуха в течение летнего сезона 2021 г.

Таблица 1. Количество атмосферных осадков, мм

Год	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Сумма за год
2006	20.1	27.5	48.3	31.9	66.6	92.7	11.6	92.7	49.9	63.6	90	16.7	611.6
2007	80.0	36.0	15.1	36.5	49.0	43.5	42.3	19.8	15.0	32.2	54.7	22.4	446.5
2008	33.1	46.7	44.5	36.6	44.4	43.4	47.6	10.8	50.9	45.7	24.1	13.3	441.1
2009	38.4	46.8	29.2	8.4	40.6	50.5	69.4	8.7	2.2	31.3	32.4	48.0	405.9
2010	45.7	42.7	33.6	9.5	30.2	2.5	19.8	26.1	23.6	79.5	73.2	67.7	454.1
2011	53.6	35.0	9.4	24.6	34.0	80.9	37.8	51.4	22.6	51.5	29.3	51.9	482.0
2012	44.7	36.7	31.0	47.9	39.9	38.8	80.5	62.8	29.0	65.4	26.6	43.0	546.3
2013	26.6	14.9	51.8	5.4	84.6	50.0	58.7	85.1	151	44.4	17.4	11.2	601.3
2014	62.1	16.1	27.5	29.9	43.0	133	4.1	49.1	6.6	16.4	6.0	61.5	455.4
2015	20.9	49.7	2.0	89.6	45.8	108	78.6	5.0	4.0	41.3	82.8	33.9	561.9
2016	64.4	39.9	41.7	98.3	52.0	76.5	20.5	53.2	51.9	31.1	58.9	33.8	622.2
2017	31.3	25.4	28.7	32.8	48.5	50.0	53.5	38.8	48.7	52.7	54.1	53.5	518.0
2018	53.6	27.3	56.3	58.5	19.2	3.1	135.1	10.9	60.4	27.4	8.1	48.2	508.1
2019	58.9	13.0	36.8	18.1	40.3	34.2	108.2	38.8	24.6	39.6	14.8	22.6	449.9
2020	35.8	42.0	17.3	49.8	42.1	53.3	44.8	20.5	5.3	13.2	25.7	32.2	382.0
2021	58.1	49.0	14.6	26.8	54.6	75.7	58.4	46.6	73.5	7.9	34.4	38.5	538.1
Средне-многолетние показатели*	19.5*	16.7	18.5	29.2	44.7	58.0	62.4	54.4	38.7	38.5	32.1	25.5	438.4

*Среднемноголетние показатели за 1892–2000 гг.

Таблица 2. Температура воздуха среднемесячная, °С

Год	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Средне-годовая
2006	-13.0	-12.5	-2.9	7.6	14.7	20.0	18.6	21.7	14.7	8.0	1.1	-0.5	6.45
2007	-0.2	-7.7	2.7	7.0	17.5	19.1	21.0	23.9	15.4	8.0	-1.5	-5.7	8.29
2008	-9.7	-4.2	3.7	11.4	13.9	17.7	20.9	22.3	13.6	9.4	2.5	-4.5	8.08
2009	-6.6	-4.5	-0.5	7.3	14.4	21.0	22.3	17.7	16.8	9.3	2.1	-6.2	7.76
2010	-14.0	-7.2	-1.7	9.1	17.7	23.4	26.8	26.1	16.2	4.9	6.1	-2.6	8.73
2011	-9.7	-13.2	-4.5	7.0	17.1	19.6	23.8	20.6	14.3	6.7	-2.2	-0.7	6.57
2012	-8.1	-13.5	-3.5	13.0	18.6	20.4	22.1	21.0	14.9	10.2	2.3	-6.2	7.60
2013	-5.8	-4.1	-3.1	10.1	19.9	20.5	20.3	20.9	11.8	6.7	4.27	-3.2	8.19
2014	-9.1	-5.0	1.9	10.9	14.0	17.9	21.9	22.2	14.6	5.6	-1.9	-4.1	7.43
2015	-6.2	-4.5	0.7	8.27	16.0	20.9	20.2	19.1	18.5	4.7	2.1	-0.8	8.26
2016	-8.1	0.0	3.0	10.5	15.1	19.3	22.8	22.5	12.4	5.7	-1.5	-7.2	7.88
2017	-6.9	-6.8	3.1	8.0	13.3	17.2	21.0	22.1	15.3	6.4	0.4	0.7	7.80
2018	-6.1	-8.0	-6.4	8.5	18.2	19.1	22.4	21.7	17.7	9.4	-2.0	-5.5	7.42
2019	-7.3	-3.8	0.4	9.9	17.1	22.2	19.4	19.1	14.2	10.5	1.0	-0.8	8.49
2020	-1.2	-1.1	5.1	7.0	13.6	21.2	22.5	19.9	16.9	11.6	0.7	-6.8	9.12
2021	-4.1	-7.7	-1.5	9.1	16.7	21.3	23.9	23.8	13.8	7.2	2.5	-4.7	8.36
Средне-многолетнее	-9.95	-9.73	-4.53	5.73	14.07	17.9	20.0	18.9	12.88	5.61	-1.49	-7.18	5.19

Таблица 3. Состав грунтовых вод переувлажненных почв Каменной Степи

Объект	Анионы (А)				ΣА	Катионы (К)				ΣК	Сухой остаток, мг/л
	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		
	ммоль (экв)/100 г										
2015 г.											
P-1	0	4.8	0.56	9.25	14.61	9.3	2.9	3.48	0.15	15.83	1175
P-2	0	4.6	0.40	8.48	13.48	4.1	1.7	7.57	0.05	13.42	930
P-3	0	4.5	0.56	37.35	42.41	21.6	8.4	12.7	0.15	42.70	3045
2020 г.											
P-1	0.1	9.5	0.48	7.53	17.56	5.7	3.6	8.05	0.03	17.38	1120
P-2	0.1	8.2	0.44	10.28	18.97	6.2	7.6	5.22	0.02	19.04	1205
P-3	0.1	8.5	0.52	48.69	57.76	18.3	12.3	27.36	0.02	57.98	4185

Сочетание вышеуказанных климатических особенностей способствовали созданию большого разнообразия условий увлажнения почвенной толщи. Особенности накопления, поступления и расхода влаги в почвах различной степени гидроморфизма в комплексе сезонно переувлажненных почв западнее лесополосы № 131 формировали характерный для каждого объекта исследования солевой профиль.

Опытным путем определено, что накопление карбонатов происходит биогенным и гидрогенным направлениями. Количество карбонатов напрямую зависит от интенсивности испарения и минерализации грунтовых вод. В свою очередь содержание карбонатов в почвенных горизонтах находится в обратной зависимости от степени засоления этих горизонтов [31].

От режима и состава грунтовых вод во многом зависит солевой режим черноземных почв. В зоне распространения черноземных почв в настоящее время отмечен резкий подъем уровня грунтовых вод, что может резко изменить условия почвообразования. Это в свою очередь способствует переходу почв из автоморфного ряда в гидроморфный. Происходит процесс формирования черноземно-луговых и лугово-черноземных почв. Из-за этого проявляется усиление признаков осолонцевания и засоления черноземных почв [26].

Нами был определен химизм почвенно-грунтовых вод переувлажненных участков с интервалом 5 лет — в 2015 и в 2020 гг. соответственно. Анализ грунтовых вод показал различия их катионно-анионного состава (табл. 3).

По степени засоления грунтовые воды характеризуются как слабоминерализованные. По динамике изменения количества солей можно отметить увеличение сухого остатка в грунтовых водах черноземно-луговой солончаковой слабозасоленной почвы ложбинообразного понижения. В данной почве (P-3) количество анионов и катионов было в 3 раза больше, чем в черноземно-лу-

говой почве равнинного понижения (P-1) и лугово-черноземной почве равнинного повышения (P-2). Данная закономерность прослежена и в первый, и во второй срок определения химизма засоления грунтовых вод.

Можно отметить некоторые особенности содержания катионов в грунтовых водах почв лугового ряда. Одна из них — повышенное содержание иона натрия во всех почвах, что характерно для данных переувлажненных участков, но в черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения (P-3) его оказалось в 2–3 раза больше, чем в других почвенных разностях. К тому же его содержание через пять лет на объектах P-1 и P-3 увеличилось в 2 раза. На объекте P-3 увеличилась также общая минерализация — с 3.0 до 4.1 г/л. Это свидетельствовало о варьировании состава солей грунтовых вод во времени. В аналогичной зависимости находились и ионы магния. За 5 лет их содержание также увеличилось, причем во всех вариантах. Для данных почв характерно низкое содержание ионов кальция. Минимальное его количество отмечено в лугово-черноземной почве равнинного повышения (P-2) — 4.1 ммоль (экв)/100 г в 2015 г. В 2020 г. его содержание увеличилось до 6.2 ммоль (экв)/100 г на объекте P-2, в то время, как на объектах P-1 и P-3, наоборот, уменьшилось.

Среди анионов отмечено отсутствие карбонатов в 2015 г., в 2020 г. — обнаружены их небольшие следы. Но если количественное содержание гидрокарбоната и хлора во всех почвах оказалось близким по величине, то для содержания сульфата отмечено существенное различие. В черноземно-луговой почве в ложбинообразном понижении (P-3) содержание сульфатов в 2015 г. было в 3–4 раза больше, чем в остальных объектах исследования, в 2020 г. — в 5–6 раз.

Катионно-анионный состав грунтовых вод сезонно переувлажненных почв позволил определить химизм их засоления по величинам содержания катионов и анионов: химизм засоления грун-

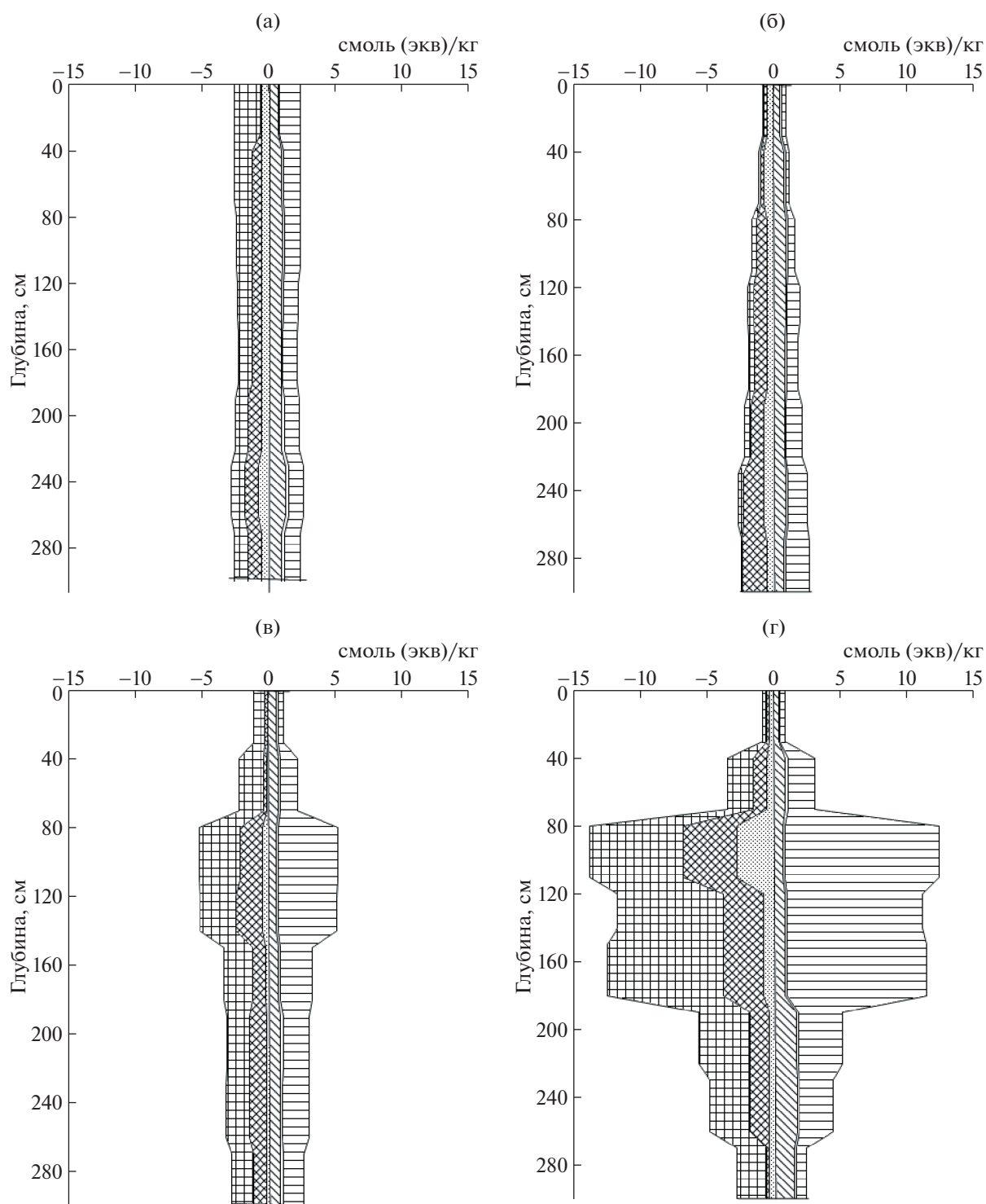


Рис. 2. Солевые профили объектов исследования (2020 г.): (а) – Р-1, (б) – Р-2, (в) – Р-3, (г) – западная опушка лесополосы № 131, (д) – центр лесополосы № 131, (е) – восточная опушка лесополосы № 131.

товых вод всех объектов по катионам – натриево-кальциевый, по анионам – сульфатный.

Качественный состав солей исследованных переувлажненных почв оценивали по составу водной вытяжки 1 : 5 (рис. 2). Характер формиро-

вания солевого профиля различался и зависел от степени проявления гидроморфизма, элементов ландшафта, а также складывающихся гидротермических условий года. В лугово-черноземной почве на выпуклой части склона, не затопливае-

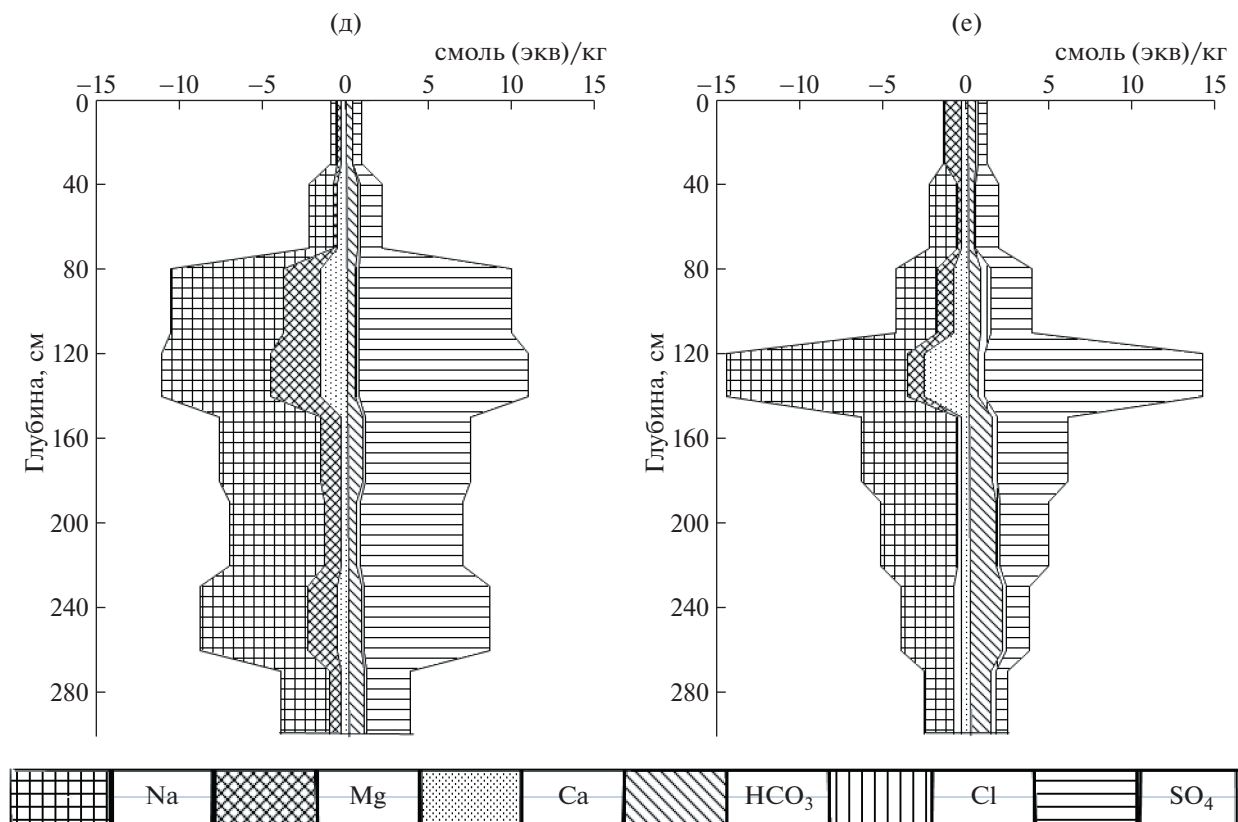


Рис. 2. Окончание.

мой поверхностными водами весной (P-2), гумусовая толща характеризовалась отсутствием легкорастворимых солей. До глубины 100 см общая сумма солей варьировала в интервале от 0.05 до 0.09%. Эти показатели характерны для фоновых почв Каменной Степи – черноземов типичных. Далее с глубины 100 до 300 см концентрация солей незначительно увеличивалась до 0.16%. Содержание токсичных солей в почвенной толще лугово-черноземной почвы равнинного понижения (P-2) изменялось вниз по профилю от 0.02 до 0.14%, что при сульфатно-гидрокарбонатном типе засоления соответствует незасоленной почве. Лугово-черноземная почва (P-2) содержала минимальное количество солей из всех вариантов по всему профилю почвы.

По степени усиления проявления гидроморфизма далее следует черноземно-луговая почва на равнинном понижении с коротким периодом поверхностного затопления (P-1). Водный режим сложился таким образом, что солевой профиль данной почвы равномерно растянулся по всей исследованной глубине (300 см). Общая сумма солей вниз по профилю варьировала в очень узком интервале – 0.13–0.15%. Сумма токсичных солей также мало изменялась с глубиной и составляла 0.11–0.13%. В данном случае тип засоления поч-

венного профиля также относится к сульфатно-гидрокарбонатному типу, поэтому величины суммы токсичных солей соответствуют незасоленной почве.

Самой переувлажненной исследованной почвой из всех вариантов была черноземно-луговая почва ложбинообразного понижения (P-3), подвергавшаяся длительному сезонному затоплению. Верхний гумусовый горизонт в данном варианте был практически не засоленный. Концентрация солей была на уровне 0.07%. С глубиной отмечено существенное увеличение засоленности почв. Например, на глубине 40–80 см концентрация солей увеличилась в 2 раза до 0.13%. В нижележащих почвенных горизонтах, с глубины 80 см, в отличие от первых 2-х вариантов P-1 и P-2, сформировался глубоководный засоленный горизонт мощностью 60 см с высокой концентрацией солей – 0.33–0.34%. Сумма токсичных солей в данном горизонте была максимальной среди всех исследованных пахотных почв – 0.31–0.32%. При сульфатно-гидрокарбонатном типе засоления почвенного горизонта данные показатели соответствуют градации среднего засоления.

Существенный интерес представляет анализ изменения степени засоления пахотных переувлажненных черноземов непосредственно в поч-

Таблица 4. Профильное изменение содержание натрия (2020 г.)

Глубина, см	Объекты исследования					
	Лесополоса № 131, западная опушка	Лесополоса № 131, центр	Лесополоса № 131, восточная опушка	P-1	P-2	P-3
	Na, ммоль/л					
0–20	3.25	3.56	1.68	9.84	0.71	8.41
20–40	9.02	6.84	2.61	10.64	0.74	15.92
40–60	19.01	18.45	10.14	14.32	1.45	24.72
60–80	20.00	29.85	25.00	16.14	3.67	32.81
80–100	34.91	46.34	36.39	13.49	5.14	37.33
100–120	70.63	111.69	81.66	12.47	6.22	46.34
120–140	108.39	129.72	103.99	11.04	6.35	36.06
140–160	85.51	139.00	83.37	11.27	6.73	38.73
160–180	98.40	106.41	94.84	11.40	6.34	34.67
180–200	109.65	115.61	80.17	11.22	6.35	36.56
200–220	79.25	102.80	60.81	10.84	6.01	29.11
220–240	87.90	105.44	67.61	13.12	6.34	32.73
240–260	73.79	109.14	55.46	14.03	6.95	27.04
260–280	57.54	106.91	54.33	12.56	7.94	30.20
280–300	41.21	74.99	33.50	11.32	7.41	27.80

вах под водорегулирующей лесной полосой. Отмечено, что посадка лесных полос в степных условиях изменяет характер распределения осадков в агроландшафте [7].

В лесной полосе были отобраны образцы почв из 3-х точек опробования: по центру лесной полосы, на западной и восточной опушках. Отметим, что во всех 3-х точках опробования верхний гумусовый горизонт оставался незасоленным. Далее на глубине с 40 до 80 см (рис. 2) начиналось резкое возрастание концентрации легкорастворимых солей: на западной опушке – с 0.05 до 0.20, по центру – с 0.06 до 0.14, на восточной – с 0.07 до 0.13%.

По центру лесной полосы и на западной опушке с глубины 80 см начинался засоленный почвенный горизонт с максимальной концентрацией солей по профилю. Наиболее вытянутый солевой горизонт был характерен для центра лесной полосы, где он растянулся на 180 см, глубиной с 80 до 260 см. Концентрация солей в этом случае составила 0.68–0.73%. Сумма токсичных солей находилась в интервале 0.59–0.64%. При сульфатно-гидрокарбонатном типе засоления данный горизонт считается сильнозасоленным. С глубиной под лесной полосой возрастало количество ионов натрия, достигая максимума на глубине 180 см. По катионам засоление в этом случае шло по магниевое-натриевому типу. На опушке к западу мощность засоленного горизонта была меньше, чем в центре полосы на 80 см, но концентрация

солей была больше и составила 0.75–0.85%. Сумма токсичных солей также была больше, чем в центральной части лесной полосы, и составила 0.67–0.75%. В этом случае также горизонт считается сильнозасоленным.

На восточной опушке водорегулирующей лесной полосы оказалась самая низкая мощность солевого горизонта (20 см). Отличительной особенностью данного горизонта оказалась максимальная концентрация солей из всех объектов исследования – 0.98%. Максимальной была и сумма токсичных солей – 0.82%, что по градации является сильнозасоленным горизонтом при сульфатно-гидрокарбонатном типе засоления по анионам. Данное обстоятельство можно связать с тем, что на восточной опушке в связи с определенной розой ветров в зимние месяцы накапливалось максимальное количество снега по сравнению с остальной частью лесной полосы. Накопление солей именно на данной глубине происходило за счет иссушения грунтовых вод, которые в весенние месяцы располагаются на уровне 1.5–2.0 м.

Таким образом, величины содержания токсичных солей в глубокосолевых горизонтах всех точек опробования в лесной полосе при сульфатно-гидрокарбонатном типе засоления соответствовали градации сильного почвенного засоления. Высокие показатели водопроницаемости лесной полосы способствовали хорошему погло-

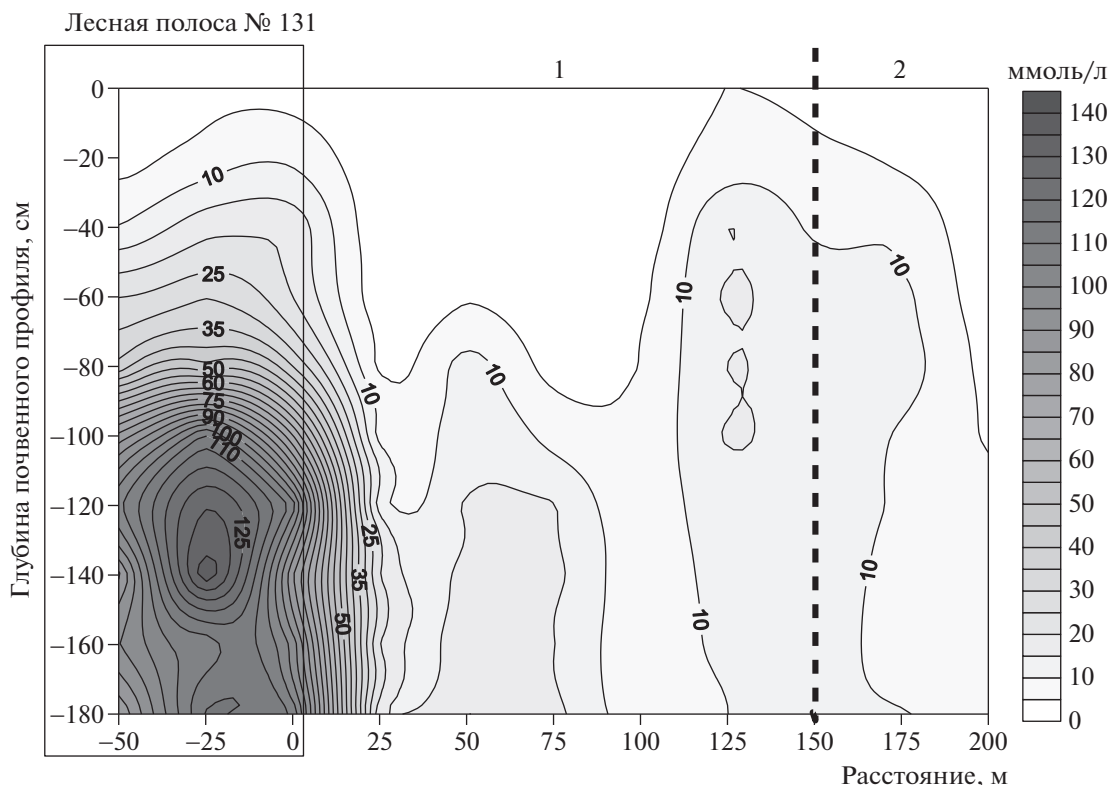


Рис. 3. Картограмма двумерного распределения активности ионов натрия в координатах “расстояние-глубина” (2020 г.), ммоль/л: 1 – пашня, подверженная сезонному переувлажнению, 2 – пашня, не подверженная сезонному переувлажнению.

шению зимних твердых осадков и многолетнему накоплению солей [28]. Отметим также, что с глубиной ниже залегания засоленного горизонта степень засоления уменьшалась. К глубине 300 см величины содержания токсичных солей опускались до градации слабого засоления на всех точках обследования в лесной полосе (рис. 2).

Дополнительно для оценки изменения засоленности черноземов под влиянием лесной полосы была заложена трансекта перпендикулярно к лесной полосе с закладкой скважин глубиной до 200 см. Буровые скважины заложены на удалении 0, 25, 50, 75, 100, 125 м от лесной полосы, под лесной полосой в центральной части, на западной и восточной опушках. Определяющим фактором при изменении активности иона натрия под лесной полосой послужило место отбора почвенных проб (центр полосы, западная или восточная опушка). Для комплекса переувлажненных почв определяющим фактором послужила степень переувлажнения данных участков и их ландшафтная принадлежность. Уровень грунтовых вод для данных почв в последний год обследования, когда он повсеместно опустился, находился на глубине 2.0–2.2 м. Ранее грунтовые воды поднимались значительно выше, до глубины 1.2 м.

В лугово-черноземной почве на выпуклой части склона, не затопляемой поверхностными водами весной (P-2), гумусовая толща характеризовалась наличием незначительного количества ионов натрия – 0.71–0.74 ммоль/л, т.е. формально гумусовый горизонт не был засоленным. С глубины 40–60 см активность ионов натрия возросла уже в 2 раза, на глубине 60–80 – еще в 2 раза. Далее ниже 80 см вплоть до глубины 300 см шло постепенное нарастание активности ионов натрия до максимума с 5.14 до 7.94 ммоль/л (табл. 4).

По степени проявления сезонного переувлажнения далее шла черноземно-луговая почва на равнинном понижении с коротким периодом поверхностного затопления (P-1). В гумусовом горизонте в этом случае в отличие от лугово-черноземной почвы активность ионов натрия была больше в 13 раз, достигая 9.84–10.6 ммоль/л. Это было максимальным показателем в гумусовом горизонте среди всех исследованных почв. На глубине 40–80 см активность ионов натрия достигла максимума для данной скважины – 14.3–16.1 ммоль/л. Промывной режим сложился таким образом, что ниже глубины 80 см вниз по профилю данной почвы содержание ионов натрия

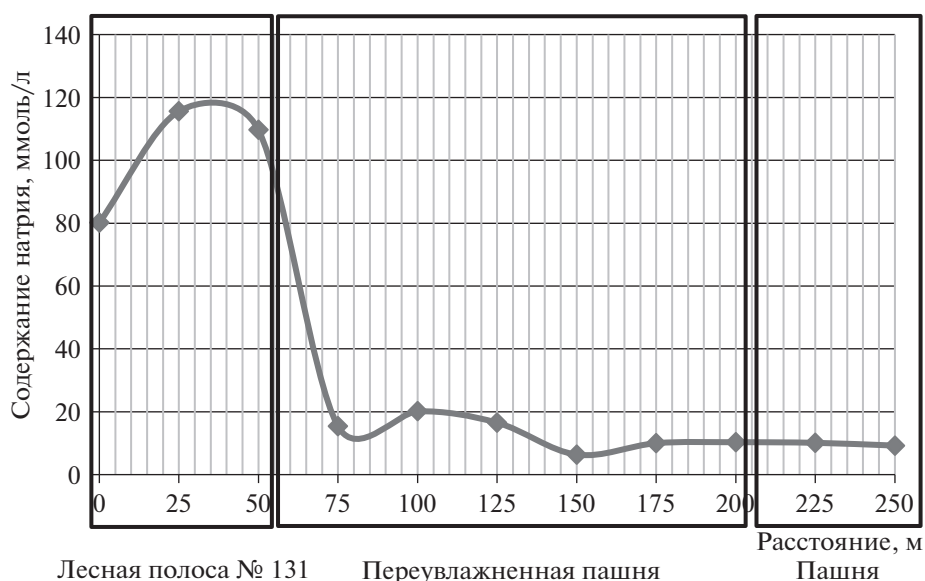


Рис. 4. Содержание натрия на глубине 180–200 см на объектах исследования, ммоль/л.

равномерно распределилось по всей исследованной глубине, находясь в интервале 11–14 ммоль/л.

Похожая закономерность распределения ионов натрия вниз по глубине отмечена для черноземно-луговой почвы ложбинообразного понижения (Р-3), подвергавшаяся длительному сезонному затоплению. В верхнем гумусовом горизонте так же, как и на Р-1, отмечена высокая активность ионов натрия. В слое почвы 0–40 см интервал изменения активности натрия составил 8.41–15.92 ммоль/л, что в 1.5 раза больше, чем для такой же почвы равнинного понижения (Р-1). Это обстоятельство, по нашему мнению, напрямую связано с наибольшим повышенным переувлажнением данного участка из всех исследованных вариантов. Далее вниз по профилю до глубины 120 см происходило максимальное нарастание активности ионов натрия до величины 46.34 ммоль/л. После этой глубины вплоть до 300 см происходило планомерное уменьшение данного показателя до 27.80 ммоль/л.

Рассматривая активность ионов натрия в лесной полосе, отметим, что в верхнем гумусовом горизонте она была меньше, чем в черноземно-луговых вариантах Р-1 и Р-3 прилегающей пашни. Минимум отмечен для восточной опушки лесной полосы. Для слоя почвы 0–40 см интервал изменения активности натрия составил 1.68–2.61 ммоль/л. На западной опушке и в центре лесной полосы эти показатели были в 2–3 раза больше и составили 3.25–9.02 ммоль/л. С глубиной во всех вариантах в лесной полосе происходило резкое нарастание активности ионов натрия. Отметим, что на опушках происходило равномерное увеличение

этого показателя, который достигал максимума на глубине 120–140 см. Для западной и восточной опушек эти показатели составили 108 и 104 ммоль/л соответственно. Эти данные хорошо согласуются с визуальным отображением солевых профилей, где на данной глубине отмечено максимальное засоление (рис. 2). Ниже данной глубины происходило уменьшение активности натрия, причем на восточной опушке уменьшение шло более быстрыми темпами, достигая 33 ммоль/л на глубине 300 см. Для данной глубины это минимум из всех 3-х исследованных вариантов в лесной полосе.

Центр лесной полосы отмечен максимальными показателями содержания натрия, начиная с глубины 60–80 см (46.34 ммоль/л). Далее, с глубины 100 см отмечено резкое увеличение концентрации ионов натрия, которая превысила 100 ммоль/л. Максимум (139 ммоль/л) достигнут в горизонте 140–160 см. Отметим, что это наивысшая активность ионов натрия среди всех исследованных вариантов. В целом горизонт с максимальным засолением (концентрация натрия >100 ммоль/л) растянулся до глубины 280 см. Эти данные совпадали с визуальным отображением солевого профиля в центре лесной полосы (рис. 2). На последней исследованной глубине 280–300 см произошло небольшое уменьшение активности ионов натрия до 75 ммоль/л, что также было максимумом для данной глубины среди всех исследованных объектов.

В лесостепных и степных условиях посадка лесных полос изменяет характер распределения снега в агроландшафте. Под лесными насаждениями почва отличается большими поступлениями

влаги на питание грунтовых вод и десукцию [7]. В степной зоне за счет более высокого температурного фона увеличивается испаряемость, следовательно и концентрация легко растворимых солей в зоне аэрации почвенной толщи [33]. Проанализируем изменение активности ионов натрия в центре лесной полосы, на западной и восточной опушках, а также на переувлажненной пашне на различном удалении от лесной полосы. Нами были пробурены скважины до глубины 200 см в центре полосы и на опушках. Далее по этой же линии скважины были пробурены на расстоянии 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 и 200 м от лесной полосы в западном направлении (рис. 1). Данный ряд скважин проходит точно в варианте Р-2 – лугово-черноземной почвы, и последние 2 скважины заходят на типичный чернозем смежно расположенного поля. Чтобы наглядно продемонстрировать пространственное распределение активности ионов натрия вниз по профилю почвы как в лесной полосе, так и на различном удалении от нее, была построена двумерная картограмма распределения данного показателя в пространстве (рис. 3).

Обнаружена следующая закономерность изменчивости активности ионов натрия в пространстве. Максимальное содержание ионов натрия обнаружено по центру лесной полосы, немного снижаясь к опушкам. Вблизи от лесной полосы, вплоть до удаления от нее на 25 м, отмечен четко выраженный незасоленный гумусовый горизонт. Далее вниз по профилю происходило постепенное нарастание засоленности с образованием глубоководного горизонта с глубины 100–120 см, т.е. данные были аналогичными с опущенной частью лесной полосы, где, по-видимому, происходил похожий процесс накопления солей с глубиной под действием проникающих осадков и засоленных грунтовых вод.

По мере удаления от лесной полосы с 25 до 100 м влияние ее ослабевало. В данном интервале весь профиль был слабозасоленным. На удалении 75 м от лесной полосы расположена скважина Р-2. В этом случае с глубины 80 см происходило постепенное незначительное нарастание активности ионов натрия. Данные показатели близки к фоновым почвам Каменной Степи (черноземам типичным), на смежное поле которых попали максимально удаленные от лесной полосы две скважины (рис. 3).

На удалении 125–150 м решающим фактором усиления активности ионов натрия становилась степень переувлажнения участка. На черноземно-луговой почве выявлено наличие засоленного горизонта на глубине 60–100 см, но с гораздо меньшей концентрацией солей, чем под лесной

полосой (рис. 3). Для демонстрации изменения концентрации натрия представлен график (рис. 4), где показано снижение содержания натрия на глубине 180–200 см при переходе от лесной полосы к прилегающей пашне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенности накопления, поступления и расхода влаги в почвах различной степени гидроморфизма в комплексе сезонно переувлажненных почв западнее лесополосы № 131 формировали характерный для каждого объекта исследований солевой профиль.

Характер формирования солевого профиля различался и зависел от степени проявления гидроморфизма, а также складывавшихся гидротермических условий года. В черноземно-луговой почве ложбинообразного понижения (Р-3) сформировался засоленный почвенный горизонт с глубины 80 до 140 см. Лугово-черноземная почва равнинного повышения (Р-2) содержала минимальное содержание солей из всех вариантов вдоль всего профиля почвы. Наиболее вытянутый солевой горизонт был характерен для центра лесной полосы, где он растянулся на 180 см глубиной с 80 до 260 см. На опушке к западу мощность глубоководного горизонта была меньше, чем в центре полосы на 80 см, но концентрация солей была больше. Самой низкой по мощности солевого горизонта (20 см) отмечена восточная опушка водорегулирующей лесной полосы, но с максимальной концентрацией солей 0.98%.

В лесной полосе содержание токсичных солей в глубоководных горизонтах всех точек опробования соответствовало градации сильного почвенного засоления. Отметим также, что с глубиной ниже залегания засоленного горизонта степень засоления уменьшалась. К глубине 300 см содержание токсичных солей уменьшилось до градации слабого засоления на всех точках обследования в лесной полосе.

Определяющим фактором при изменении активности иона натрия для лесной полосы послужило место отбора почвенных проб (центр полосы, западная или восточная опушка). Для комплекса переувлажненных почв определяющим фактором послужила степень переувлажнения данных участков и их ландшафтная принадлежность.

Изменение активности ионов натрия в почве переувлажненной пашни в зависимости от удаления от лесной полосы подчинено некоторой зависимости. Вблизи от лесной полосы, вплоть до удаления от нее на 50 м, обнаружен глубоководный горизонт с глубины 120 см, т.е. данные

были аналогичными с опушечной частью лесной полосы. По мере удаления от лесной полосы с 50 до 100 м влияние ее ослабевало. Далее решающим фактором усиления активности ионов натрия становилась степень переувлажнения участка с образованием сильнозасоленного горизонта.

Рассмотрев катионно-анионный состав грунтовых вод сезонно переувлажненных почв с интервалом 5 лет (в 2015 и в 2020 гг.), определили, что химизм их засоления по катионам и анионам за данный период не претерпел серьезных изменений. Анализ грунтовых вод объектов исследования показал различия по катионно-анионному составу среди вариантов, различавшихся по степени переувлажнения. Химизм засоления грунтовых вод всех объектов по катионам оказался натриево-кальциевый, по анионам — сульфатный.

Изучение изменения солевого профиля под лесными полосами и в прилегающих к ним пашнях в условиях постоянной смены погодных условий и уровня грунтовых вод — тема, недостаточно изученная для Центрально-Черноземного региона. По нашему мнению, накоплено еще недостаточное количество материала для определения наиболее вероятного прогноза изменения солевого профиля исследуемых почв на дальнюю перспективу. К этому вопросу следует подходить аккуратно. Возможно, потребуются провести ряд исследований в данном направлении. Единственно, можно предположить, что в ближайшем будущем накопление солей под старовозрастными лесными полосами будет продолжаться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лебедева И.И., Королева И.Е., Гребенников А.М.* Концепция эволюции черноземов в условиях агроэкосистем // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 71. С. 18–26.
2. Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв / Под ред. И.В. Иванова, А.Л. Александровского, А.О. Макеева. М.: Изд-во ГЕОС, 2015. 925 с.
3. *Королева И.Е.* Освоение черноземов как фактор агроэволюции (их плодородия) в формате зонально-подзональных природных условий // Мат-лы докл. VI съезда общ-ва почвоведов им. В.В. Докучаева. Кн. 2. Петрозаводск, 2012. С. 480–481.
4. *Назаренко О.Г.* Современные процессы развития локальных гидроморфных комплексов в степных агроландшафтах: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2002. 46 с.
5. *Иванов А.Л., Лебедева И.И., Гребенников А.М.* Факторы и условия антропогенной трансформации черноземов, методология изучения эволюции почвообразования // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 72. С. 26–46.
6. *Королева И.Е., Лебедева И.И., Гребенников А.М.* Гумусное и азотное состояние целинных и пахотных черноземов // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 71. С. 27–35.
7. *Турусов В.И., Чеканышкин А.С., Тищенко В.В.* Агроэкологическая роль лесных полос в преобразовании ландшафтов (на примере Каменной Степи). Каменная Степь, 2012. 191 с.
8. *Чендев Ю.Г., Беспалова Е.С.* Оценка роли лесополос в оптимизации почв и ландшафтов: литературный обзор сведений // Научн. ведомости БелгородГУ. Сер. Естеств. науки. 2019. Т. 43. № 2. С. 124–133.
9. *Кулик К.Н.* Защитные лесные насаждения — основа экологического каркаса агротерриторий // Вестн. Рос. сел.-хоз. науки. 2018. № 1. С. 18–21.
10. *Свищов И.П., Шмыков В.А., Шабарина Е.В., Тищенко В.В.* Роль лесных полос в мелиорации агроландшафтов в условиях речных долин Среднерусской лесостепи // Плодородие. 2013. № 2. С. 31–33.
11. *Чендев Ю.Г., Геннадиев А.Н., Лукин С.В., Соэр Т.Д., Заздравных Е.А., Белеванцев В.Г., Смирнова М.А.* Изменение лесостепных черноземов под влиянием лесополос на юге Среднерусской возвышенности // Почвоведение. 2020. № 8. С. 934–947.
12. *Чеве́рдин Ю.И., Вавин В.С., Ахтямов А.Г., Воронин Д.А.* Роль лесных насаждений в изменении свойств черноземов // Достиж. науки и техн. АПК. 2014. № 2. С. 11–14.
13. *Смирнова М.А., Геннадиев А.Н., Чендев Ю.Г., Ковач Р.Г.* Влияние полеззащитных лесных насаждений на локальное разнообразие почв (Белгородская область) // Почвоведение. 2020. № 9. С. 1031–1042.
14. *Королев В.А., Громовик А.И., Йонко О.А.* Изменение физических свойств почв Каменной Степи под влиянием полеззащитных лесных полос // Почвоведение. 2012. № 3. С. 299–308.
15. *Тимченко Ю.В.* Переувлажнение и эрозия почв в ООО СПФ «Юбилейное–Кавказ» Краснодарского края // Аграрная наука, творчество, рост. V Международ. научн.-практ. конф. Краснодар, 2015. С. 173–175.
16. *Беспалов В.А.* Пространственно-временное варьирование основных показателей плодородия черноземов Каменной Степи: дис. ... канд. биол. наук. Каменная Степь, 2012. 209 с.
17. *Чеботарев П.М.* Земли сельскохозяйственного назначения и их использование в условиях деградации: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Воронеж, 2012. 24 с.
18. *Чеве́рдин Ю.И., Титова Т.В., Беспалов В.А.* Особенности формирования гидрологического режима сезонно переувлажненных почв Каменной Степи // Агрохимия. 2019. № 2. С. 80–93.
19. *Кудеяров В.Н.* Оценка питательной деградации пахотных почв России // Вестн. РАН. 2015. Т. 85. № 9. С. 771–775.
20. *Минаков Н.Р., Ахтырцев А.Б.* Динамика гидроморфного процесса лесостепи Центрально-Черноземного региона // Вестн. ВГАУ. Сер. Землеустройство и кадастр. 2011. № 2 (29). С. 151–155.

21. Хитров Н.Б., Назаренко О.Г. Распространение переувлажненных почв в исходно автоморфных агроландшафтах Ростовской области при ведении “сухого” земледелия // Дegradaция богарных и орошаемых черноземов под влиянием переувлажнения и их мелиорации. Научн. тр. М.: Изд-во РПА “АПР”, 2012. С. 125–167.
22. Разумова Н.В., Разумов В.В., Молчанов Э.Н. Переувлажнение и подтопление почв и земель в Центральном регионе России // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2016. № 82. С. 3–27.
23. 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.
24. Хитров Н.Б. Теоретические и методические основы предотвращения переувлажнения почв, подтопления и заболачивания земель // Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. М., 2013. С. 134–212.
25. Ачканов А.Я., Николаева С.А. Вторичный гидроморфизм почв степных ландшафтов западного Предкавказья // Почвоведение. 1999. № 12. С. 1424–1432.
26. Исаев В.А., Поротиков И.Ф. Солонцы Каменной Степи: история изучения и современные проблемы // Генезис и мелиорация почв солонцовых комплексов. М.: РАСХН, 2008. С. 106–107.
27. Хитров Н.Б., Горохова И.Н., Кравченко Е.И. Комбинация засоленных почв северного склона возвышенности Ергени после прекращения орошения // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 97. С. 52–90.
28. Чевердин Ю.И., Чевердин А.Ю. Современное соленакопление в черноземах под старовозрастными лесополосами Каменной Степи // Агрохимия. 2022. № 2. С. 65–75.
29. Чевердин Ю.И., Сауткина М.Ю. Роль искусственных лесных насаждений в изменении солевых характеристик черноземов степной зоны // Лесные почвы и функционирование лесных экосистем: Мат-лы VIII Всерос. научн. конф. с международ. участием. М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. С. 85–87.
30. Хамерзокова Р.Ю. Подтопление и переувлажнение земель как фактор снижения плодородия сельскохозяйственных угодий и деградации почв Республики Адыгея // Вестн. Адыг. гос. ун-та. Сер. 4: Естественно-математ. и техн. науки. 2013. № 1 (116). С. 54–57.
31. Досбергенов С.Н. Карбонатное соленакопление в почвах месторождений Караарна и Восточная коркара // Почвоведение и агрохимия. 2013. № 4. С. 24–31.
32. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
33. Нестеренко Ю.М. Водная компонента аридных зон: экологическое и хозяйственное значение. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 286 с.

Features of the Formation of the Salt Profile of Seasonally Waterlogged Soils of the Stone Steppe

Yu. I. Cheverdin^{a,*}, V. A. Bepalov^a, and T. V. Titova^a

^aVoronezh Federal Agrarian Scientific Center named after V.V. Dokuchaev, pos 2 division of the Institute Dokuchaev quart. 5, 81, Voronezh region, Talovsky district 397463, Russia

^{*}E-mail: cheverdin62@mail.ru

We studied changes in salt characteristics of seasonally waterlogged soils in agroforestry landscapes of the Central Chernozem region (Voronezh FASC named after V.V. Dokuchaev). A comparative analysis of the formation of the salt profile of the water-regulating forest strip and seasonally waterlogged soils of the Stone Steppe adjacent to it is carried out. The 48 m wide forest strip was planted in 1949–1950 and is a forest plantation of oak, birch, ash and maple. The assessment was carried out according to the composition of the water extract, the activity of sodium ion and the chemical composition of groundwater. The nature of the formation of the salt profile differed and depended on the degree of manifestation of hydromorphism, as well as the developing hydrothermal conditions of the year. In the chernozem-meadow soil of the hollow-shaped depression (Section-3), a saline soil horizon was formed from a depth of 80 to 140 cm. Meadow-chernozem soil (Section-2) contained the minimum salt content of all variants along the entire soil profile. An increase in the concentration of salts under the forest strip was noted. The most powerful salt horizon was characteristic of the central part of the forest strip, where it stretched 180 cm deep from 80 to 260 cm. On the western edge, the thickness of the deep-saline horizon was less than in the center of the strip by 80 cm, but the concentration of salts was greater. The minimum thickness of the salt horizon (20 cm) is marked on the eastern edge of the water-regulating forest strip, but with a maximum salt concentration (0.98%).

Key words: forest strip, seasonally waterlogged soils, salt profile, sodium, toxic salts, Stone Steppe.