

УДК 631.41:631.445.4(470.32)

## ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМОВ СЕГРЕГАЦИОННЫХ В АГРОЛЕСОЛАНДШАФТАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ<sup>1</sup>

© 2021 г. В. А. Беспалов

Воронежский федеральный аграрный научный центр имени В.В. Докучаева  
397463 Воронежская обл., Таловский р-н, пос. 2-го участка Института им. Докучаева, кварт. 5, 81, Россия  
E-mail: vabespalov@bk.ru

Поступила в редакцию 11.03.2021 г.

После доработки 07.04.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

Проведено изучение эволюционных изменений основных свойств черноземов Центрального Черноземья в условиях агроценозов и ненарушенных экосистем в зависимости от влияния агрогенных и агролесомелиоративных факторов. Агрогенное влияние рассматривали на примере степных (залежных) угодий, введенных в сельскохозяйственное производство. Под лесомелиоративным воздействием понимали влияние полезной лесной полосы на почвенный покров. Показано, что черноземы Каменной Степи характеризуются значительным пространственным варьированием основных показателей почвенного плодородия. Увеличение длительности антропогенного использования черноземов приводило к существенному снижению гумусового потенциала почв с одновременным уменьшением пространственного варьирования, обусловленного гомогенизацией пахотного горизонта. Коэффициент вариации содержания гумуса в слое 0–10 см почвы уменьшался на пашне по сравнению с залежью и лесной полосой соответственно с 7.21 и 8.12 до 3.63%. Содержание гумуса на пашне в слое 0–10 см почвы уменьшилось с 11.0 до 7.42% по сравнению с залежью. Агрогенное и лесомелиоративное воздействие сопровождалось изменением состава гумуса исследованных черноземных почв. В верхних слоях почвы (0–10 и 10–20 см) отношение  $C_{ГК} : C_{ФК}$  увеличивалось на пашне и в лесной полосе до 4.78–6.71 по сравнению с залежью, в нижних слоях (20–40 см), наоборот, происходило уменьшение этого отношения. Отмечено также уменьшение содержания негидролизующего остатка (в % от общего углерода) в почвах пашни по сравнению с залежью в среднем с 30 до 10%. Степень гумификации в лесной полосе и на пашне увеличивалась по сравнению с залежью с 56 до 58 и 75% соответственно. При введении залежи в сельскохозяйственное и лесомелиоративное использование отмечено перераспределение состава обменных оснований почвы не только в пространстве, но и с глубиной. В верхних слоях (0–10 см) максимальное содержание обменного кальция выявлено в почвах лесной полосы, минимальное – на пашне. С глубиной (20–40 см) минимальное содержание магния отмечено в залежи. Длительное агрогенное и лесомелиоративное воздействие на черноземные почвы сопровождалось определенными изменениями кислотности почв. Во всех исследованных объектах, кроме пашни, реакция почвенной среды за несколько десятилетий смещалась в щелочную сторону на 0.07–0.55 ед. рН. Были рассчитаны некоторые статистические характеристики распределения основных физико-химических показателей и показателей гумусного состояния черноземов. На их основе были построены изоплеты двумерного распределения показателей основных свойств черноземных почв изученного опытного участка.

**Ключевые слова:** чернозем, гумус, состав гумуса, обменные основания, показатели кислотности, Каменная Степь.

DOI: 10.31857/S0002188121120048

### ВВЕДЕНИЕ

Проведенные исследования последних лет в Центрально-Черноземном регионе России показали, что сельскохозяйственное использование почв приводит к существенным изменениям их состава и ряда свойств, что отражается на главном

почвенном качестве – плодородии [1–10]. Изучение влияния длительности сельскохозяйственного использования актуально и является частью проблемы трансформации свойств и режимов почв в результате различных антропогенных воздействий, которые до настоящего времени недостаточно изучены [11, 12].

Особенно остро эта проблема стоит в Центрально-Черноземной зоне (ЦЧЗ) с длительным

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках государственного задания на 2018–2020 гг.

периодом антропогенного воздействия и высокой распаханностью территории. Почвы региона подвержены периодическим стрессовым антропогенным и природным нагрузкам. Не является исключением и Каменная Степь, где почвы подвержены нагрузкам уже более 100 лет. В последние десятилетия значительный ущерб почвенному покрову наносят нерациональное ведение хозяйства, нарушения земледельческих технологий, связанных с изменившейся экономической ситуацией в стране и ухудшением экологических условий.

Это приводит к изменению многих физико-химических свойств черноземов. Отмечено снижение содержания гумуса, насыщенности почвенного поглощающего комплекса (ППК) обменными основаниями, показателей эффективного плодородия почв. Нарушается водный баланс в связи с трансформацией физических свойств черноземов в худшую сторону. Поэтому необходимо как можно более эффективно способствовать сохранению почвенного плодородия [13].

Важно отметить, что на состояние почвенного покрова влияет не только антропогенное, но и лесомелиоративное воздействие. Таким образом, оценка комплексного характера этих влияний на почву является приоритетным направлением современного почвоведения [14–16]. Проведенные исследования в Каменной Степи выявили положительное влияние лесных насаждений на физические свойства черноземов [17–19].

Установлено, что под влиянием лесных полос и при введении в сельскохозяйственное использование залежных угодий происходит перегруппировка численности почвенных агрегатов, но по различному сценарию. Доказано, что показатели плотности сложения, определенные на различных глубинах на участках объекта, увеличивались в ряду залежь–лесополоса–пашня [20].

Вовлечение в сельскохозяйственное производство степных (залежных) угодий приводит к заметному изменению количественных и качественных составляющих ППК. Все исследованные участки лесостепных черноземов характеризуются четко выраженным пространственным варьированием содержания обменных оснований в почве. В пахотном слое черноземов Каменной Степи в последние десятилетия происходило уменьшение доли кальция в составе ППК с 45–62 до 26–32 ммоль (экв)/100 г и увеличение доли поглощенных магния и натрия до 6.6–8.6 и 0.7 ммоль (экв)/100 г соответственно [21].

Для определения более достоверного изменения свойств черноземов при длительном сельскохозяйственном и лесомелиоративном использо-

вании актуально изучение всех свойств и режимов в единой системе и соотношении их с природными почвами. Только такой комплексный подход может отразить реальную картину влияния длительности распашки для научного обоснования рационального использования и сохранения плодородия почв [11].

Для разработки эффективных мер улучшения почвенного плодородия необходимы количественные показатели оценки основных свойств почвы. Необходимо понять, как эти свойства меняются под действием лесомелиоративного и агрогенного воздействия, как нивелировать негативные последствия этих воздействий. Цель работы – оценка эволюционных изменений основных свойств черноземных почв в различных элементах агролесоландшафта Центрального Черноземья.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки эволюционных изменений основных свойств черноземных почв в агролесоландшафтах в результате длительного антропогенного и лесомелиоративного воздействия в 2018–2020 гг. в отделе агропочвоведения Воронежского ФАНЦ им. В.В. Докучаева была осуществлена закладка опытного участка в пределах агролесоландшафта площадью 1.2 га. Были выбраны следующие объекты, входящие в агролесоландшафт: залежь косая 1882 г. заповедника № 1, лесополоса № 40, пашня 1952 г. распашки (рис. 1). Образцы на участке были отобраны из 64 точек опробования. Почвенный покров объектов исследования представлен черноземом сегрегационным (обыкновенным по классификации 1977 г.). На опытный участок была наложена сетка скважин с ячейкой 25 на 25 м. В почве во всех вариантах исследования образцы отбирали с глубины 0–10; 10–20 и 20–40 см. Для химических анализов взятие почвенных образцов производили ручным буром, для определения структурного состава и плотности сложения почвы – согласно общепринятым методикам.

Заповедник № 1 расположен между лесной полосой № 40 (с запада) и южным селекционным севооборотом (с востока). Косая залежь с 1882 г. – один из трех участков заповедника площадью 10.7 га. Она представлена степной разнотравно-злаковой растительностью, подвергающейся ежегодному скашиванию.

Лесная полоса № 40 полезащитного назначения посажена Н.А. Михайловым в 1903 г., ее ширина – 106 м, длина – 750 м. Это самая широкая лесная полоса в оазисе, заложенная как основная ветроударная и водорегулирующая на водоразде-



Рис. 1. Расположение опытного участка в Каменной Степи.

ле двух основных балок – Таловой и Озерки. Это интересный опыт по изучению совместного выращивания дуба обыкновенного с другими древесно-кустарниковыми породами [22].

Участок пашни, эксплуатируемый с 1952 г., находится западнее лесной полосы № 40. После введения в эксплуатацию его использовали для возделывания различных сельскохозяйственных культур, в том числе озимой пшеницы и кукурузы. Сельскохозяйственное использование данного пахотного участка считаем антропогенным воздействием на почву.

В качестве дополнительных вариантов изучали западную и восточную опушки лесной полосы № 40, которые представлены кленом ясенелистным. Ширина опушек за последние 2 десятилетия (с момента прекращения рубок ухода) достигла 20–25 м. Восточная опушка нарастает в сторону залежи, западная – в сторону пашни.

Аналитические анализы проводили в лаборатории агропочвоведения Воронежского ФАНЦ им. В.В. Докучаева. Содержание гумуса определяли по методу Тюрина в модификации Симаковой (ГОСТ 26213-91), качественный состав гумуса – по методу Тюрина в модификации Пономаревой–Плотниковой. Содержание обменных кальция и магния определяли трилометрическим методом по методике Почвенного института, величину  $pH_{KCl}$  (1.0 н. KCl) и  $pH_{H_2O}$  – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), гидролитическую

кислотность – по Каппену (ГОСТ 26212-91). Структурный состав почв определяли по Саввинову (фракционирование почвы в воздушно-сухом состоянии), плотность сложения почвы – методом взятия почвенных проб с ненарушенным сложением с помощью режущих колец [23].

Все данные, полученные экспериментально, подвергли статистической обработке корреляционным и дисперсионным методами с помощью программы Microsoft Excel. Для пространственного отображения результатов использовали геостатистические возможности пакета Surfer – V. 9.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные собственные исследования изменения содержания гумуса в черноземных почвах Каменной Степи выявили, что этот показатель очень динамичен как в пространстве, так и во времени. По нашим данным, наиболее высоким содержанием гумуса характеризовались биоценозы, находящиеся в режиме залежи, а также почвы лесных полос.

Интенсивный биологический круговорот минеральных веществ под покровом травянистой растительности способствует максимальному накоплению гумусовых веществ, биофильных элементов в горизонтах миграционно-мицелярных черноземов. Накопление гумусовых веществ является важнейшим (исходным) показателем почвообразовательного процесса и плодородия почв [24].

Показано, что все исследованные участки лесостепных черноземов характеризуются четко выраженным пространственным варьированием содержания гумуса (табл. 1). При рассмотрении показателей содержания гумуса можно констатировать, что в верхнем слое 0–10 см почвы лесной полосы его среднее содержание увеличилось ( $12.6 \pm 0.3\%$ ) по сравнению с залежью ( $11.0 \pm 0.5\%$ ). Это свидетельствовало о положительном лесомелиоративном влиянии старовозрастной лесной полосы на гумусное состояние черноземных почв.

Рассматривая среднее содержание гумуса на опушках (западной и восточной), отметили близкие его величины для восточной опушки ( $10.6 \pm 0.8\%$ ) по сравнению с залежью. Сама восточная опушка с порослью клена образовалась относительно недавно, что не сильно отразилось на изменении содержания гумуса в почве. Показатели содержания гумуса в почве на западной опушке лесной полосы № 40, напротив, сильно уменьшились ( $8.57 \pm 0.26\%$ ) по сравнению с залежью. Это можно объяснить тем, что в течение продолжительного времени в этом месте были организованы подъездные пути для осуществления рубок ухода с использованием тяжелой техники. Переуплотнение почвы явно сказалось на ухудшении гумусного состояния почвы. Минимальные средние величины содержания гумуса отмечены для пашни —  $7.42 \pm 0.11\%$ . Таким образом, введение в сельскохозяйственное использование залежных угодий приводило к уменьшению содержания гумуса с 11 до 7%.

Уменьшение содержания гумуса при распашке почв естественных биоценозов неизбежно. Эти процессы связаны с уменьшением количества растительных и корневых остатков при усилении минерализации органического вещества, вызванного ежегодным перемешиванием пахотного слоя. Положительной стороной этого процесса является увеличение подвижности и доступности питательных веществ, отрицательной — ухудшение водно-физических свойств почвы [25].

Рассматривая коэффициент вариации содержания гумуса в слое почвы 0–10 см, отметим, что он уменьшался на пашне по сравнению с залежью и лесной полосой (с 7.21 и 8.12% соответственно до 3.63%).

Антропогенное и лесомелиоративное воздействие сопровождалось изменением состава гумуса в слое 0–10 см. Отмечено увеличение отношения  $C_{ГК} : C_{ФК}$  с 4.20 в залежи до 4.78–6.71 в лесной полосе и опушках. Для пашни это отношение увеличилось до 5.17 по сравнению с залежью. Рас-

сматривая содержания негидролизуемого остатка (в % от общего углерода), отмечали его уменьшение на пашне по сравнению с залежью с 30 до 10%. В почвах лесной полосы содержание негидролизуемого остатка осталось на том же уровне, что и в залежи — 31%. Отмечено, что степень гумификации во всех объектах исследования осталась на прежнем, по сравнению с залежью, высоком уровне. Максимальная степень гумификации выявлена в почвах пашни — 75%, против 56% в залежи.

Таким образом, при введении залежных участков в сельскохозяйственное использование на начальном этапе наблюдали уменьшение интервала распределения содержания гумуса в верхнем пахотном слое почвы. Причем данная закономерность была характерна для всех исследованных слоев почв: 0–10, 10–20 и 20–40 см (табл. 1–3). Как следствие, отмечено сужение интервала между минимумом и максимумом показателя, т.е. уменьшалось варьирование содержания гумуса на участке 1952 г. распашки по сравнению с косимой залежью и лесной полосой. Это было связано с тем, что при ежегодной вспашке происходила гомогенизация гумусового материала, его перемешивание в пахотном слое, и, следовательно, пестрота плодородия уменьшалась. Данное утверждение согласовалось с величинами стандартного отклонения и ошибки средней, которые уменьшались в вариантах от залежи косимой к пашне 1952 г. распашки.

С увеличением длительности антропогенного воздействия в вариантах происходило изменение коэффициента вариации распределения содержания гумуса, т.е. пестрота плодородия при длительном культурном освоении агроландшафтов уменьшалась [25].

При рассмотрении показателей содержания гумуса в слое 10–20 см (табл. 2) почвы лесной полосы можно отметить небольшое снижение средних показателей ( $9.12 \pm 0.23\%$ ) по сравнению с залежью ( $9.76 \pm 0.28\%$ ). Это свидетельствовало о том, что с глубиной содержание гумуса в почве лесной полосы уменьшалось быстрее, чем в залежи. Рассматривая средние величины содержания гумуса на опушках (восточной и западной), отмечали их близкие показатели по сравнению со слоем почвы 0–10 см. Минимальное среднее содержание гумуса выявлено также в почве пашни:  $7.32 \pm 0.08\%$ .

Аналогично со слоем почвы 0–10 см можно отметить, что коэффициент вариации содержания гумуса в слое почвы 10–20 см также уменьшался в варианте пашни по сравнению с вариантами за-

Таблица 1. Гумусное состояние почв в слое 0–10 см (2018–2020 гг.)

Статистические показатели	Гумус	C <sub>общ</sub>	C <sub>орг</sub>	C <sub>ГК</sub>	C <sub>ФК</sub>	C <sub>ГК</sub> : C <sub>ФК</sub>	Гумин	Степень гумификации органического вещества	Гумин : C <sub>общ</sub>
	%						%		
Залежь 1882 г.									
Средние	11.0	6.39	4.46	3.59	0.86	4.2	1.94	56.4	30.1
Стандартная ошибка	0.46	0.27	0.14	0.08	0.06	0.23	0.31	3.1	3.91
Стандартное отклонение	0.79	0.46	0.24	0.14	0.11	0.40	0.54	5.4	6.76
Интервал	1.54	0.89	0.46	0.25	0.22	0.79	1.01	10.0	13.3
Коэффициент вариации	7.21	7.21	5.43	3.92	12.8	9.46	27.6	9.6	22.5
Опушка с восточной стороны лесополосы № 40									
Средние	10.6	6.14	3.96	3.26	0.701	4.78	2.18	53.3	35.3
Стандартная ошибка	0.77	0.45	0.21	0.165	0.087	0.62	0.24	1.82	1.32
Стандартное отклонение	1.33	0.77	0.36	0.286	0.151	1.07	0.42	3.16	2.29
Интервал	2.65	1.54	0.71	0.525	0.298	2.00	0.825	6.11	4.51
Коэффициент вариации	12.6	12.6	8.99	8.79	21.5	22.5	19.1	5.93	6.5
Лесополоса № 40									
Средние	12.6	7.32	5.06	4.26	0.798	5.44	2.27	58.2	30.8
Стандартная ошибка	0.34	0.20	0.16	0.156	0.038	0.34	0.19	1.86	2.16
Стандартное отклонение	1.02	0.59	0.48	0.467	0.113	1.01	0.58	5.58	6.47
Интервал	3.79	2.20	1.38	1.29	0.343	2.72	1.78	17.4	20.8
Коэф. вариации	8.12	8.11	9.50	11.0	14.2	18.5	25.7	9.59	21.0
Опушка с западной стороны лесополосы № 40									
Средние	8.57	4.97	3.60	3.04	0.563	6.71	1.37	60.9	27.7
Стандартная ошибка	0.26	0.15	0.25	0.354	0.172	2.36	0.10	5.56	2.79
Стандартное отклонение	0.45	0.26	0.43	0.613	0.298	4.08	0.18	9.62	4.84
Интервал	0.90	0.52	0.84	1.15	0.562	8.13	0.32	19.0	9.17
Коэффициент вариации	5.26	5.26	11.9	20.2	53.0	60.9	13.0	15.8	17.5
Пашня 1952 г. распашки									
Средние	7.42	4.30	3.87	3.21	0.654	5.17	0.436	74.7	10.1
Стандартная ошибка	0.11	0.06	0.08	0.064	0.062	0.59	0.08	1.09	1.93
Стандартное отклонение	0.27	0.16	0.20	0.157	0.151	1.44	0.20	2.67	4.72
Интервал	0.73	0.42	0.55	0.439	0.348	3.73	0.54	6.49	12.7
Коэффициент вариации	3.63	3.62	5.09	4.88	23.0	27.8	46.8	3.58	46.9

Таблица 2. Гумусное состояние почв в слое 10–20 см (2018–2020 гг.)

Статистические показатели	Гумус	$C_{\text{общ}}$	$C_{\text{орг}}$	$C_{\text{ГК}}$	$C_{\text{ФК}}$	$C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}}$	Гумин	Степень гумификации органического вещества	Гумин : $C_{\text{общ}}$
	%						%		
Залежь 1882 г.									
Средние	9.76	5.66	4.08	3.104	0.974	3.19	1.58	55.13	27.48
Стандартная ошибка	0.68	0.40	0.10	0.102	0.002	0.10	0.29	2.19	3.44
Стандартное отклонение	1.18	0.68	0.18	0.176	0.003	0.17	0.51	3.80	5.96
Интервал	2.29	1.33	0.35	0.348	0.006	0.34	0.98	7.10	11.23
Коэффициент вариации	12.09	12.1	4.39	5.68	0.33	5.41	32.03	6.89	21.70
Опушка с восточной стороны лесополосы № 40									
Средние	8.83	5.12	3.70	2.852	0.853	3.37	1.42	55.45	27.80
Стандартная ошибка	0.33	0.19	0.28	0.302	0.030	0.44	0.15	4.33	3.58
Стандартное отклонение	0.57	0.33	0.49	0.523	0.052	0.76	0.27	7.50	6.21
Интервал	1.11	0.644	0.93	0.970	0.104	1.36	0.50	14.78	12.39
Коэффициент вариации	6.40	6.40	13.14	18.36	6.13	22.42	18.93	13.53	22.34
Лесополоса № 40									
Средние	9.12	5.29	4.49	3.755	0.731	7.91	0.80	70.92	15.31
Стандартная ошибка	0.23	0.13	0.18	0.152	0.083	3.26	0.11	2.00	2.18
Стандартное отклонение	0.68	0.39	0.54	0.457	0.248	9.77	0.34	6.01	6.55
Интервал	1.76	1.02	1.36	1.245	0.796	30.05	1.05	18.45	20.02
Коэффициент вариации	7.42	7.42	12.0	12.16	33.93	123.49	42.28	8.47	42.80
Опушка с западной стороны лесополосы № 40									
Средние	8.21	4.76	3.32	2.678	0.64	5.84	1.44	56.11	30.75
Стандартная ошибка	0.37	0.21	0.39	0.240	0.209	2.59	0.18	3.15	5.00
Стандартное отклонение	0.63	0.37	0.67	0.415	0.362	4.49	0.31	5.46	8.66
Интервал	1.26	0.73	1.32	0.773	0.673	8.02	0.59	10.88	16.93
Коэффициент вариации	7.71	7.71	20.30	15.51	56.51	76.93	21.51	9.74	28.15
Пашня 1952 г. распашки									
Средние	7.32	4.25	3.63	2.931	0.711	4.24	0.61	69.07	14.38
Стандартная ошибка	0.08	0.05	0.09	0.051	0.056	0.32	0.10	1.39	2.39
Стандартное отклонение	0.20	0.12	0.21	0.125	0.137	0.78	0.25	3.40	5.86
Интервал	0.57	0.33	0.56	0.335	0.337	2.15	0.69	10.40	16.42
Коэффициент вариации	2.74	2.74	5.78	4.25	19.22	18.28	41.08	4.92	40.74

Таблица 3. Гумусное состояние почв в слое 20–40 см (2018–2020 гг.)

Статистические показатели	Гумус	C <sub>общ</sub>	C <sub>орг</sub>	C <sub>ГК</sub>	C <sub>ФК</sub>	C <sub>ГК</sub> : C <sub>ФК</sub>	Гумин	Степень гумификации органического вещества	Гумин : C <sub>общ</sub>	
	%						%			
Залежь 1882 г.										
Средние	8.16	4.73	3.09	2.55	0.539	6.00	1.64	53.8	34.8	
Стандартная ошибка	0.08	0.05	0.39	0.253	0.166	2.06	0.34	4.80	7.55	
Стандартное отклонение	0.14	0.08	0.66	0.439	0.287	3.57	0.59	8.31	13.1	
Интервал	0.27	0.16	1.30	0.870	0.543	6.76	1.15	16.5	25.4	
Коэффициент вариации	1.74	1.74	21.50	17.2	53.2	59.5	36.1	15.4	37.6	
Опушка с восточной стороны лесополосы № 40										
Средние	7.56	4.39	3.10	2.32	0.777	3.00	1.29	51.8	30.2	
Стандартная ошибка	0.69	0.40	0.50	0.478	0.051	0.57	0.10	6.34	4.94	
Стандартное отклонение	1.20	0.70	0.86	0.827	0.088	0.99	0.17	11.0	8.56	
Интервал	2.40	1.39	1.72	1.65	0.174	1.77	0.33	21.6	17.1	
Коэффициент вариации	15.9	15.9	27.8	35.6	11.3	32.9	13.6	21.2	28.3	
Лесополоса № 40										
Средние	8.00	4.64	3.75	3.07	0.680	5.32	0.89	66.3	19.0	
Стандартная ошибка	0.20	0.11	0.13	0.085	0.076	0.97	0.12	1.05	2.47	
Стандартное отклонение	0.59	0.34	0.39	0.258	0.227	2.91	0.35	3.16	7.40	
Интервал	1.77	1.03	1.26	0.798	0.684	9.23	1.05	9.21	21.1	
Коэффициент вариации	7.37	7.37	10.3	8.32	33.3	54.6	39.4	4.77	38.9	
Опушка с западной стороны лесополосы № 40										
Средние	7.77	4.51	2.92	2.47	0.456	7.21	1.58	54.7	35.2	
Стандартная ошибка	0.31	0.18	0.16	0.130	0.174	2.60	0.14	1.22	2.64	
Стандартное отклонение	0.54	0.31	0.28	0.225	0.302	4.51	0.24	2.11	4.57	
Интервал	1.06	0.61	0.57	0.433	0.571	8.96	0.48	4.23	8.54	
Коэффициент вариации	6.90	6.89	9.75	9.12	66.3	62.4	15.2	3.87	13.0	
Пашня 1952 г. распашки										
Средние	7.20	4.18	3.26	2.68	0.581	4.84	0.92	64.4	21.8	
Стандартная ошибка	0.10	0.06	0.09	0.103	0.054	0.51	0.13	3.22	3.02	
Стандартное отклонение	0.23	0.14	0.23	0.252	0.132	1.26	0.33	7.88	7.40	
Интервал	0.68	0.39	0.61	0.599	0.341	3.35	0.83	18.2	19.1	
Коэффициент вариации	3.25	3.25	7.05	9.39	22.7	26.0	35.6	12.2	34.0	

лежи и лесной полосы (с 12.1 и 7.42 соответственно до 2.74%). Учитывая, что коэффициент вариации содержания гумуса в варианте пашни стал еще меньше, можно утверждать, что с глубиной на пашне пестрота плодородия снижалась еще сильнее по сравнению с залежью и лесной полосой.

Для слоя почвы 10–20 см антропогенное воздействие также сопровождалось изменением состава гумуса. Отношение  $C_{ГК} : C_{ФК}$  увеличивалось в вариантах лесной полосы и опушек с 3.19 до 3.37–7.91 по сравнению с залежью. На пашне по сравнению с залежью также было отмечено небольшое увеличение отношения  $C_{ГК} : C_{ФК}$  с 3.19 до 4.24. Для слоя почвы 10–20 см выявлено уменьшение содержания негидролизуемого остатка (в % от общего углерода) на пашне и в лесной полосе по сравнению с залежью с 27 до 14 и 15% соответственно. Степень гумификации в почвах пашни и лесной полосы увеличилась по сравнению с залежью с 55 до 70%.

При рассмотрении содержания гумуса для слоя почвы 20–40 см (табл. 3), отметили его максимальное среднее содержание в залежи –  $8.16 \pm 0.08\%$ , в лесной полосе и на опушках средние величины этого показателя были близки к 8%, т.е. лесомелиоративное воздействие на почву было благоприятным и увеличивало ее плодородие. Поэтому средние показатели содержания гумуса в этом случае не сильно уменьшались по сравнению с залежью. На пашне под действием агрогенного воздействия содержание гумуса уменьшилось до  $7.20 \pm 0.10\%$ .

В слое 20–40 см почвы антропогенное и лесомелиоративное воздействие также сопровождалось изменением состава гумуса. В отличии от верхних двух слоев отношение  $C_{ГК} : C_{ФК}$  в этом слое, наоборот, уменьшилось в лесной полосе с 6.00 до 5.32, на пашне – с 6.00 до 4.84 по сравнению с залежью. Также отмечено уменьшение содержания негидролизуемого остатка (в % от общего углерода) в почвах лесной полосы и пашни по сравнению с залежью в среднем с 35 до 19 и 22% соответственно. Степень гумификации на пашне и в лесной полосе возрастала по сравнению с залежью в среднем от 54 до 65 и 66% соответственно.

Необходимо отметить, что для повышения запасов гумуса и элементов питания в почвах целесообразно использовать пожнивные посевы сидеральных культур. Наиболее значительного эффекта можно добиться при использовании в качестве пожнивных не чистых, а экологически совместимых смешанных посевов культур, способных оказать положительное воздействие на

весь комплекс свойств агрочернозема, определяющих его плодородие [26].

При сравнении средних величин содержания гумуса в слоях почвы 0–10, 10–20 и 20–40 см (по  $t$ -критерию Стьюдента) получены достоверные отличия этого показателя в варианте пашни по сравнению с вариантами косимой залежи и лесной полосы. Максимальное различие было отмечено между пашней и лесной полосой ( $t_{расч} = 6.13 > t_{табл} = 2.0$ ), минимальное – между пашней и косимой залежью ( $t_{расч} = 5.11 > t_{табл} = 2.1$ ). Для вариантов лесная полоса и косимая залежь существенных различий найдено не было ( $t_{расч} = 1.84 < t_{табл} = 2.0$ ).

В составе почвенно-поглощающего комплекса черноземов Каменной Степи в последние десятилетия отмечено перераспределение состава обменных оснований – снижение как абсолютных, так и относительных величин содержания поглощенного кальция и увеличение доли поглощенных магния и натрия [21]. По нашим последним данным 2018–2020 гг., среднее содержание обменного кальция и магния в почве залежи косимой в слое 0–10 см было равно  $26.8 \pm 1.5$  и  $9.50 \pm 1.99$  ммоль(экв)/100 г соответственно (табл. 4). В варианте восточной опушки лесной полосы отмечены близкие содержания обменного кальция, но количество обменного магния в этом случае было больше –  $10.2 \pm 2.3$  ммоль(экв)/100 г. Это связано, по нашему мнению, с влиянием нарастающей молодой поросли клена ясенелистного, что способствовало накоплению более подвижного обменного магния. Максимальное среднее содержание обменного кальция отмечено для лесной полосы –  $31.4 \pm 1.1$  ммоль(экв)/100 г, что свидетельствовало о положительном лесомелиоративном влиянии старовозрастной лесной полосы № 40. На западной опушке его содержание было равно  $28.3 \pm 1.3$  ммоль(экв)/100 г, что немного меньше по сравнению с лесной полосой, но больше, чем в почве залежи ( $26.8 \pm 1.5$  ммоль(экв)/100 г) и восточной опушки ( $26.6 \pm 1.1$  ммоль(экв)/100 г). Минимальные показатели отмечены в варианте пашни ( $26.3 \pm 1.2$  ммоль(экв)/100 г), но за счет увеличения доли обменного магния и максимальной гидролитической кислотности среди всех вариантов общая сумма обменных оснований была достаточно высокой –  $\approx 40$  ммоль(экв)/100 г.

С глубиной распределение оснований в объектах исследования немного менялось. Для слоя почвы 10–20 см максимальное содержание обменного кальция отмечено уже не в варианте лесной полосы, а на опушках –  $30.3 \pm 1.9$  и  $29.3 \pm 0.9$  ммоль(экв)/100 г для западной и восточной опушек соответственно. Далее следуют варианты



**Таблица 4.** Содержание обменных оснований и показатели кислотности почв опыта (средние, 2018–2020 гг.)

Вариант*	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H <sub>г</sub>	pH <sub>KCl</sub>	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>
	ммоль(экв)/100 г				
0–10 см					
1	26.8 ± 1.5	9.50 ± 1.99	2.58 ± 0.12	6.60 ± 0.01	6.95 ± 0.01
2	26.6 ± 1.1	10.2 ± 2.3	1.72 ± 0.44	7.06 ± 0.23	7.15 ± 0.12
3	31.4 ± 1.1	8.88 ± 0.53	2.93 ± 0.36	6.71 ± 0.12	6.79 ± 0.12
4	28.3 ± 1.3	6.73 ± 1.11	1.56 ± 0.08	6.95 ± 0.06	7.27 ± 0.03
5	26.3 ± 1.2	8.97 ± 0.76	5.90 ± 0.48	5.49 ± 0.10	6.43 ± 0.08
10–20 см					
1	27.5 ± 3.8	11.1 ± 1.1	2.98 ± 1.19	6.60 ± 0.51	7.02 ± 0.28
2	29.3 ± 0.9	7.87 ± 0.78	1.80 ± 0.87	6.91 ± 0.35	7.18 ± 0.20
3	26.8 ± 1.1	9.03 ± 0.45	8.78 ± 1.67	5.43 ± 0.27	6.28 ± 0.18
4	30.3 ± 1.9	9.43 ± 1.19	1.58 ± 0.16	6.95 ± 0.14	7.33 ± 0.08
5	25.4 ± 0.7	7.83 ± 0.67	5.72 ± 0.49	5.48 ± 0.09	6.40 ± 0.07
20–40 см					
1	24.3 ± 1.2	9.07 ± 1.96	3.29 ± 1.24	6.38 ± 0.57	6.96 ± 0.28
2	30.3 ± 2.8	8.17 ± 0.74	1.56 ± 1.09	7.08 ± 0.50	7.35 ± 0.33
3	27.9 ± 0.9	8.92 ± 0.60	8.2 ± 0.91	5.23 ± 0.15	6.28 ± 0.12
4	32.2 ± 0.3	7.53 ± 1.22	1.73 ± 0.61	6.85 ± 0.36	7.32 ± 0.20
5	27.0 ± 0.9	8.62 ± 0.65	5.65 ± 0.62	5.47 ± 0.12	6.45 ± 0.08

\*Вариант 1 – залежь 1882 г., 2 – опушка с восточной стороны лесополосы № 40, 3 – лесополоса № 40, 4 – опушка с западной стороны лесополосы № 40, 5 – пашня 1952 г. распашки.

залежи (27.5 ± 3.8 ммоль(экв)/100 г) и лесной полосы (26.8 ± 1.1 ммоль(экв)/100 г), а минимум отмечен также в варианте пашни (25.4 ± 0.7 ммоль(экв)/100 г). Что касается содержания обменного магния, то на этой глубине его максимум обнаружен в почве залежи (11.1 ± 1.1 ммоль(экв)/100 г), а в почве пашни отмечено минимальное его содержание (7.83 ± 0.67 ммоль(экв)/100 г). Близким к нему был этот показатель в варианте восточной опушки (7.87 ± 0.78 ммоль(экв)/100 г), далее следовал вариант лесной полосы (9.03 ± 0.45 ммоль(экв)/100 г), но за счет максимального для данной глубины среднего показателя гидролитической кислотности общее содержание обменных оснований в этом варианте было максимальным и составляло 45 ммоль(экв)/100 г.

Для слоя почвы 20–40 см максимальное содержание обменного кальция отмечено также в вариантах опушек, минимальное – залежи. Что касается содержания обменного магния, то на этой глубине оно постепенно выравнивалось в вариантах всех объектов. Данная зависимость хорошо согласовалась с предыдущими исследованиями состава обменных оснований черноземов Каменной Степи [27]. Таким образом, при введении залежи в сельскохозяйственное и лесомелиоратив-

ное использование выявлено перераспределение состава обменных оснований почвы не только в пространстве, но и с глубиной.

Полученные экспериментальные данные свидетельствовали о том, что длительное агрогенное и лесомелиоративное воздействие на черноземные почвы сопровождалось определенными изменениями кислотности почв. По данным Никаноровой [28], проводившей исследования почв Каменной Степи в 1950-х гг. в рамках экспедиции АН СССР, в пахотном слое почвы средняя величина pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> была равна 6.72, pH<sub>KCl</sub> – 6.32 ед. Анализируя наши данные, можно заключить, что во всех исследованных объектах, кроме пашни, реакция среды за несколько десятилетий сместилась в щелочную сторону на 0.07–0.55 ед. pH [29].

По нашим данным, минимальные показатели pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> для слоя 0–10 см почвы отмечены в варианте пашни (6.43 ± 0.08), далее pH возрастал в вариантах лесной полосы (6.79 ± 0.12) и залежи (6.95 ± 0.01). Максимум отмечен в варианте западной опушки лесной полосы № 40–7.27 ± 0.03 ед. Аналогичную закономерность выявили для pH<sub>KCl</sub>. Минимум также отмечен в варианте пашни – 5.49 ± 0.10, максимум – в варианте восточной

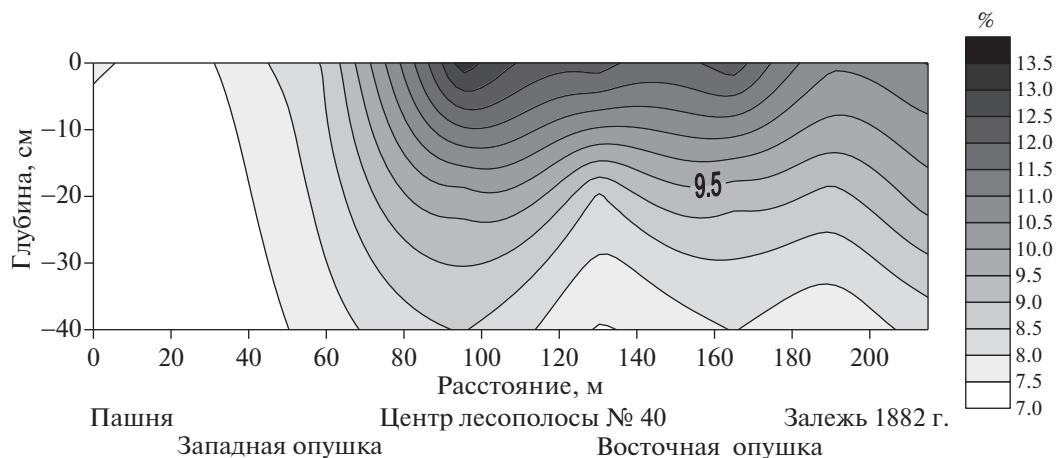


Рис. 2. Изоплета двумерного распределения содержания гумуса, %.

опушки лесной полосы № 40— $7.06 \pm 0.23$ , варианты залежи и лесной полосы занимали промежуточное положение.

На глубине 10–20 см ситуация менялась. Минимум рН водной и солевой вытяжек отмечен в варианте лесной полосы —  $6.28 \pm 0.18$  и  $5.43 \pm 0.27$  соответственно. Максимум рН водной и солевой вытяжек отмечен в варианте западной опушки —  $7.33 \pm 0.08$  и  $6.95 \pm 0.14$  соответственно. Промежуточное положение занимал вариант залежи. Для слоя 20–40 см, как и для предыдущего, минимум рН водной и солевой вытяжек отмечен в варианте лесной полосы, максимум — в варианте восточной опушки.

При сравнении средних величин водного и солевого рН в слое 0–10 см (по  $t$ -критерию Стьюдента) получены достоверные отличия этих показателей в варианте пашни по сравнению с вариантами лесной полосы и косимой залежи. Для всех исследованных пар вариантов  $t_{\text{расч}} > t_{\text{табл}}$ .

Рассмотрим корреляционные зависимости исследованных показателей. Выявлена средняя корреляционная связь между содержанием гумуса и содержанием обменных кальция и магния ( $r = (0.52 \pm 0.03) - (0.62 \pm 0.02)$ ,  $t_r = 17.3 - 31.0 > t_{\text{табл}} = 2.2$ ). Если рассматривать связь между показателями состава гумуса и обменными основаниями, то высокая связь присутствовала между содержаниями гуминовых кислот и обменным кальцием ( $r = 0.75 \pm 0.02$ ,  $t_r = 37.5 > t_{\text{табл}} = 2.2$ ), а также между содержаниями фульвокислот и обменного магния ( $r = 0.70 \pm 0.02$ ,  $t_r = 35.0 > t_{\text{табл}} = 2.2$ ).

В данных вариантах годом ранее изучили физические свойства черноземов, в частности, фракционно-групповой состав почв [20]. Было установлено, что между исследованными показа-

телями содержания гумуса и структурными отдельностями разного диаметра также существует определенная зависимость. Между отдельностями диаметром от 2 до 5 мм и содержанием гумуса выявлена средняя положительная корреляционная связь ( $r = (0.55 \pm 0.03) - (0.64 \pm 0.02)$ ,  $t_r = 18.3 - 32.0 > t_{\text{табл}} = 2.2$ ). Между содержанием отдельностей  $> 5$  мм в диаметре и содержанием гумуса установлена средняя отрицательная связь ( $r = -0.54 \pm 0.03$ ,  $t_r = 18.0 > t_{\text{табл}} = 2.2$ ). Не установлена корреляция между содержанием более мелких частиц  $< 1$  мм и содержанием гумуса.

Важной особенностью визуализации распределения основных показателей плодородия является построение карт и картосхем варьирования этих показателей в пространстве. Для того чтобы получить локализацию участков с определенными величинами показателей, на основе полученного материала были построены изоплеты двумерного распределения показателей основных свойств черноземных почв изученного опытного участка (рис. 2–4) [30].

Пространственное отображение результатов с помощью геостатистических программ дало возможность визуально оценить распределение не только в пространстве, но и вниз по почвенному профилю таких показателей как содержание гумуса, обменного кальция, магния, а также кислотности. На рисунках четко отмечены области с максимальным и минимальным содержанием компонентов почвенного плодородия для каждого изученного объекта. Полученные данные послужат основой для составления электронных карт по содержанию гумуса и других показателей почвенного плодородия с применением современных информационных технологий, являю-

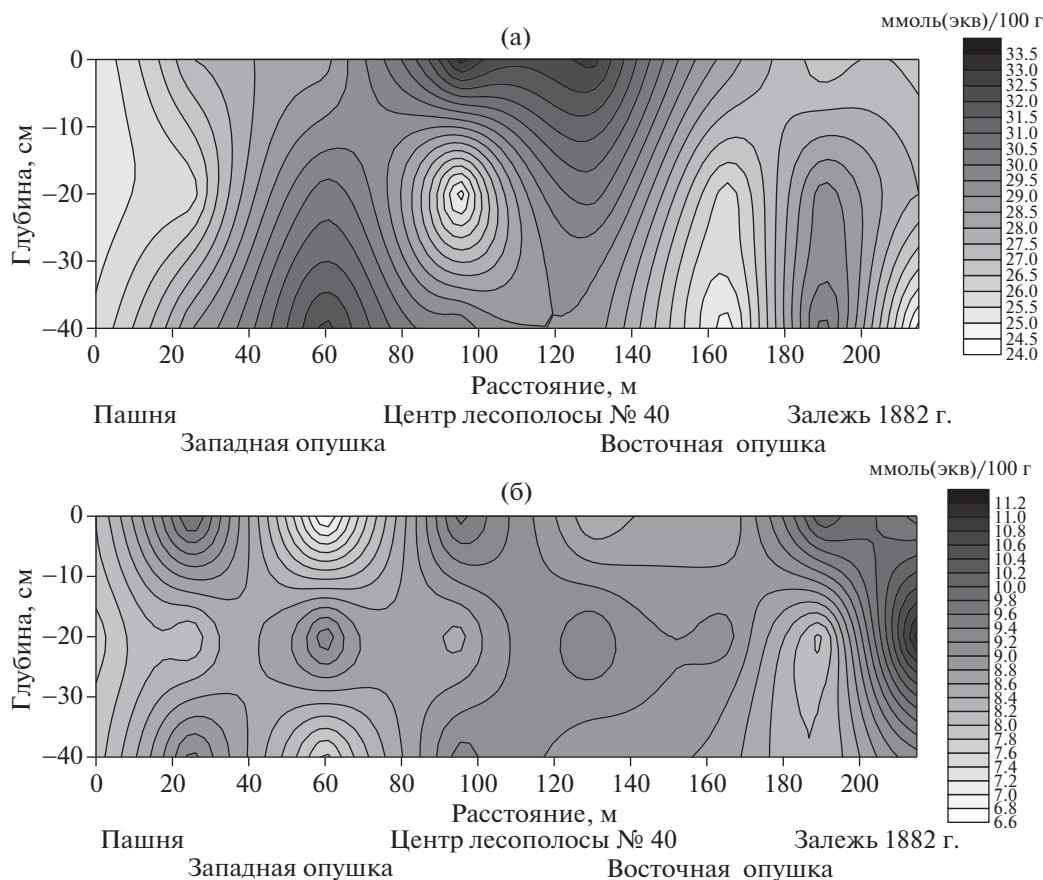


Рис. 3. Изоплета двумерного распределения содержания: (а) – обменного кальция, (б) – обменного магния, ммоль(экв.)/100 г.

щихся теоретической основой для разработки систем точного земледелия.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

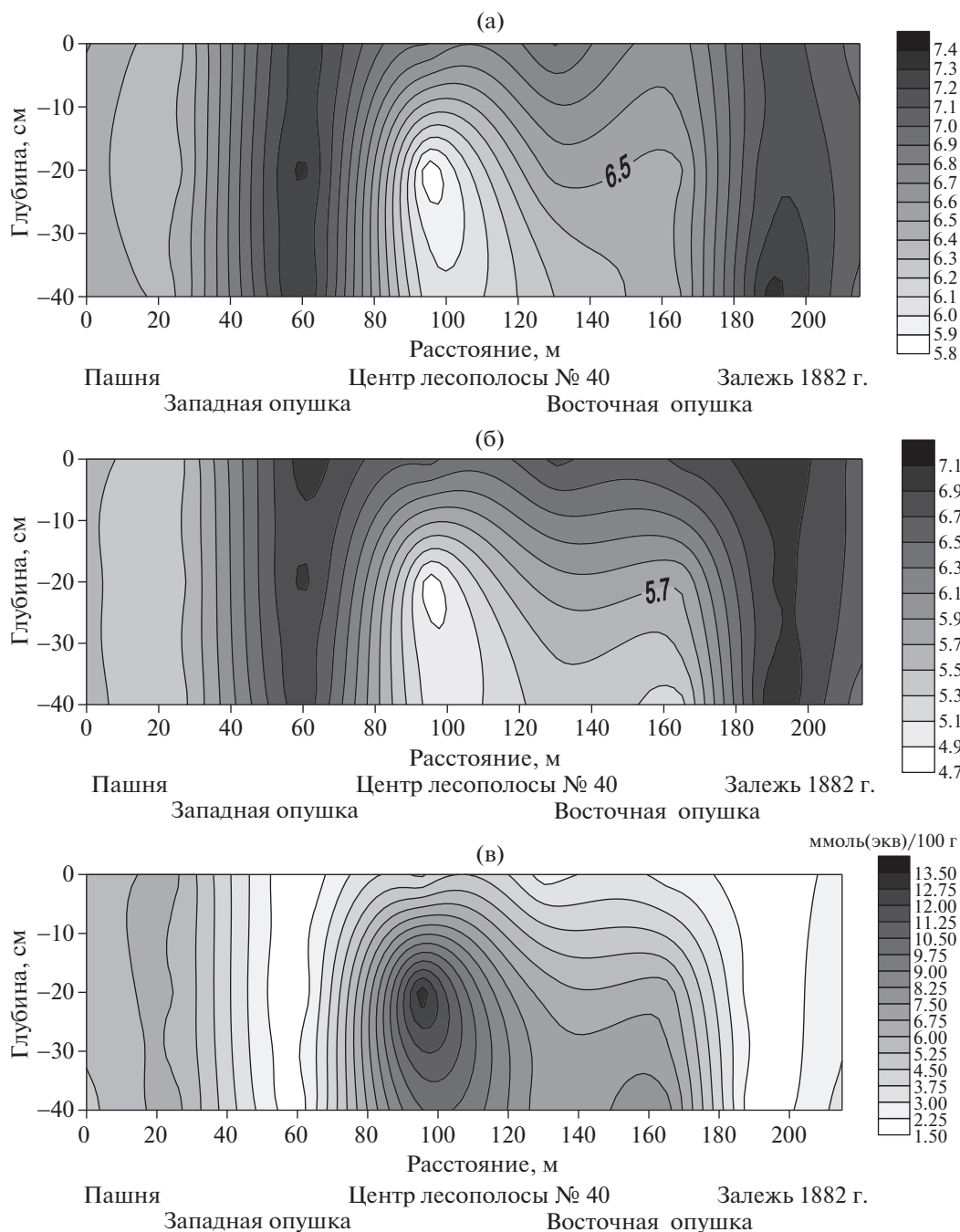
Таким образом, на содержание гумуса в черноземных почвах существенное влияние оказывала длительность и интенсивность антропогенного влияния. Исследование гумусового состояния чернозема залежи, лесной полосы и пашни свидетельствовало об изменении содержания гумуса. Показано, что содержание гумуса в варианте пашни в слое 0–10 см почвы уменьшилось с  $11.0 \pm 0.5$  до  $7.42 \pm 0.11\%$  по сравнению с залежью.

Увеличение длительности антропогенного использования черноземов привело к существенному снижению гумусового потенциала почв с одновременным снижением пространственного варьирования, обусловленного гомогенизацией пахотного горизонта. Коэффициент вариации содержания гумуса в слое 0–10 см почвы уменьшался в варианте пашни по сравнению с залежью и лесной полосой с 7.21 и 8.12% соответственно до 3.63%). Учитывая, что коэффициент вариации содержа-

ния гумуса в почве пашни с глубиной становится меньше, пестрота плодородия почвы пашни снижалась с глубиной еще сильнее по сравнению с залежью и лесной полосой.

Агрогенное и лесомелиоративное воздействие сопровождалось изменением состава гумуса исследованных черноземных почв. В верхних слоях почвы (0–10 и 10–20 см) отношение  $C_{ГК} : C_{ФК}$  увеличивалось в вариантах пашни и лесной полосы до 4.78–6.71 по сравнению с залежью, в нижних слоях (20–40 см), наоборот, происходило сужение этого отношения. Отмечено уменьшение содержания негидролизующего остатка (в % от общего углерода) в почвах пашни по сравнению с залежью в среднем с 30 до 10%. В почве лесной полосы его содержание осталось на том же уровне, что и в залежи. Степень гумификации в лесной полосе и на пашне увеличивалась по сравнению с залежью с 56 до 58 и 75% соответственно.

Была обнаружена связь между физическими параметрами (фракционно-групповым составом) и содержанием гумуса в исследованных объектах. Между содержанием отдельностей диаметром от



**Рис. 4.** Изоплета двумерного распределения показателей: (а) –  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ , (б) –  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , (в) – гидролитической кислотности, ммоль(экв)/100 г.

2 до 5 мм и содержанием гумуса показана средняя положительная корреляция ( $r = (0.55 \pm 0.03) - (0.64 \pm 0.02)$ ). Между содержанием отдельных >5 мм в диаметре и содержанием гумуса отмечена средняя отрицательная корреляция ( $r = -0.54 \pm \pm 0.03$ ). Между содержанием более мелких частиц <1 мм и содержанием гумуса корреляция отсутствовала.

Показано, что существует средняя корреляционная связь между содержанием гумуса и содер-

жанием обменных кальция и магния ( $r = (0.52 \pm \pm 0.03) - (0.62 \pm 0.02)$ ). Если рассматривать связь между показателями состава гумуса и обменными основаниями, то высокая корреляция найдена между содержаниями гуминовых кислот и обменного кальция ( $r = 0.75 \pm 0.02$ ), а также между содержаниями фульвокислот и обменного магния ( $r = 0.70 \pm 0.02$ ).

При введении залежи в сельскохозяйственное и лесомелиоративное использование отмечено

перераспределение состава обменных оснований почвы не только в пространстве, но и с глубиной. В верхнем слое 0–10 см максимальное количество обменного кальция характерно для почв лесной полосы, минимальное – в почве пашни. В слое 20–40 см максимальное содержание обменного кальция было отмечено в почвах опушек, минимальное – в залежи. Содержание обменного магния с глубиной также перераспределялось и постепенно выравнивалось в почвах всех объектов исследования.

Длительное агрогенное и лесомелиоративное воздействие на черноземные почвы сопровождалось определенными изменениями кислотности почв. Реакция среды черноземных почв всех объектов исследования, кроме пашни, за несколько десятилетий сместилась в щелочную сторону на 0.07–0.55 ед. рН.

Были рассчитаны некоторые статистические характеристики распределения основных физико-химических показателей и показателей гумусного состояния черноземов. На основе полученного материала построены изоплеты двумерного распределения основных показателей черноземных почв изученного опытного участка. Полученные данные послужат основой для составления электронных карт содержания гумуса и других показателей почвенного плодородия с применением современных информационных технологий, являющихся теоретической основой для разработки систем точного земледелия.

Результаты исследования углубили и расширили существующие представления о временной динамике органического вещества и других показателей плодородия черноземов Каменной Степи при различной длительности антропогенных воздействий с учетом особенностей их пространственного распределения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чеве́рдин Ю.И.* Изменение свойств почв юго-востока Центрального Черноземья под влиянием антропогенного воздействия. Воронеж: Изд-во "Истоки", 2013. 335 с.
2. *Адерихин П.Г.* Почвы Воронежской области, их генезис, свойства и краткая агропроизводственная характеристика. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1963. 264 с.
3. *Муха В.Д.* Естественно-антропогенная эволюция почв (общие закономерности и зональные особенности). М.: Колос, 2014. 271 с.
4. *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.
5. *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.
6. *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.
7. *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.
8. *Крупенников И.А.* Типизация антропогенных процессов деградации черноземов // Почвоведение. 2005. № 12. С. 1509–1517.
9. *Пономарева В.В., Николаева Т.А.* Содержание и состав гумуса в черноземах Стрелецкой степи под различными угодьями // Тр. Центр.-Чернозем. заповедника. 1965. Вып. 8. С. 209–235.
10. *Чендев Ю.Г., Александровский А.Л., Хохлова О.С., Смирнова Л.Г., Новых Л.Л., Долгих А.В.* Антропогенная эволюция серых лесостепных почв южной части Среднерусской возвышенности // Почвоведение. 2011. № 1. С. 1–13.
11. *Гребенников А.М., Королева И.Е., Тутова Т.В., Маркина Л.Г., Чевердин Ю.И., Юдин С.А.* Длительность распашки миграционно-мицеллярных черноземов как фактор агроэволюции их плодородия в условиях Среднерусской степной провинции // Агрохимия. 2017. № 5. С. 12–23.
12. *Добровольский Г.В., Шишов Л.Л., Щербаков А.П.* Состояние, прогноз и повышение плодородия черноземов // Научное наследие В.В. Докучаева и современное земледелие. Ч. 1. М., 1992. С. 24–33.
13. *Беспалов В.А.* Пространственно-временное варьирование основных показателей плодородия черноземов Каменной Степи: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: Изд-во МГУ, 2012. 24 с.
14. *Адерихин П.Г., Богатырева З.С.* Влияние лесных полос на структуру обыкновенных черноземов Каменной Степи // Почвоведение. 1972. № 2. С. 71–81.
15. *Панников В.Д.* Влияние леса на структуру лесостепных почв и накопление гумуса // Почвоведение. 1977. № 11. С. 116–127.
16. *Чендев Ю.Г., Беспалова Е.С.* Оценка роли лесополос в оптимизации почв и ландшафтов: литературный обзор сведений // Научн. ведомости Белгород. гос. ун-та. Сер. естеств. науки. 2019. Т. 43. № 2. С. 124–133.
17. *Королев В.А., Громовик А.И., Йонко О.А.* Изменение физических свойств почв Каменной Степи под влиянием защитных лесных полос // Почвоведение. 2012. № 3. С. 299–308.
18. *Тихонравова П.И., Первалов И.А.* Результаты полевых исследований физических свойств черноземов агролесоландшафта "Каменная Степь" // Каменная степь: проблемы изучения почвенного покрова. М., 2007. С. 145–164.
19. *Тихонравова П.И.* К вопросу о структурном составе и сложении почв Каменной Степи // Разнообразие почв Каменной Степи. Научн. тр. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2009. С. 284–298.

20. Турусов В.И., Чевердин Ю.И., Беспалов В.А., Титова Т.В. Изменения физических свойств черноземов сегрегационных в агролесоландшафтах Центрального Черноземья // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 4. С. 95–112.
21. Беспалов В.А., Чевердин Ю.И., Титова Т.В. Трансформация почвенно-поглощающего комплекса черноземных почв Каменной Степи при длительном антропогенном и постмелиоративном воздействии // Агрофизика. 2018. № 4. С. 9–16.
22. Мильков Ф.Н., Нестеров А.И., Петров П.Г., Скачков Б.И. Каменная степь: Лесоаграрные ландшафты. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1992. С. 158–181.
23. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
24. Ковда В.А. Минеральный состав растений и почвообразование // Почвоведение. 1956. № 1. С. 36–38.
25. Чевердин Ю.И., Беспалов В.А. Пространственное варьирование содержания гумуса в черноземах Каменной Степи // Плодородие. 2011. № 4. С. 28–29.
26. Гребенников А.М. Изменение содержания обменных форм кальция и магния в типичных черноземах ЦЧО под влиянием фактора смешивания посевов // Агрохимия. 2009. № 3. С. 45–53.
27. Беспалов В.А., Зборищук Ю.Н., Чевердин Ю.И. Пространственное распределение содержания обменных оснований в черноземах Каменной Степи // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 2016. № 4. С. 19–23.
28. Никанорова Н.Н. Естественно-исторические условия Каменной Степи и характеристика основных почвенных разностей // Вопросы травопольной системы земледелия. Итоги работ по изучению изменения почв под воздействием комплекса Докучаева–Костычева–Вильямса. Т. 2. М.: АН СССР, 1953. С. 55–204.
29. Чевердин Ю.И., Беспалов В.А. Пространственно-временное варьирование реакции среды черноземных почв Каменной Степи при различных видах и длительности антропогенного воздействия // Достиж. науки и техн. АПК. 2013. № 7. С. 64–66.
30. Беспалов В.А. Пространственно-временное варьирование основных показателей плодородия черноземов Каменной Степи: Дис. ... канд. биол. наук. Каменная Степь, 2012. 209 с.

## Changes in the Main Properties of Segregated Chernozems in Agroforest Landscapes of the Central Chernozem Region

V. A. Bepalov

*V.V. Dokuchaev Voronezh Federal Agrarian Scientific Center, POS 2 division of the Institute Dokuchaev quart. 5, 81, Voronezh region, Talovsky district 397463, Russia*

*E-mail: vabepalov@bk.ru*

The study of the evolutionary changes in the main properties of the chernozems of the Central Chernozem region in the conditions of agrocenoses and undisturbed ecosystems, depending on the influence of agrogenic and agroforestry factors, was carried out. The agrogenic influence was considered on the example of steppe (fallow) lands introduced into agricultural production. The forest-reclamation effect was understood as the effect of a protective forest strip on the soil cover. It is shown that the chernozems of the Stone Steppe are characterized by a significant spatial variation of the main indicators of soil fertility. An increase in the duration of anthropogenic use of chernozems led to a significant decrease in the humus potential of soils with a simultaneous decrease in spatial variation due to the homogenization of the arable horizon. The coefficient of variation of the humus content in the 0–10 cm layer of soil decreased on arable land compared to the fallow and forest strip, respectively, from 7.21 and 8.12 to 3.63%. The content of humus on arable land in a layer of 0–10 cm of soil decreased from 11.0 to 7.42% compared to the deposit. Agrogenic and forest-reclamation effects were accompanied by a change in the composition of the humus of the studied chernozem soils. In the upper layers of the soil (0–10 and 10–20 cm), the ratio of  $C_{GA} : C_{FA}$  increased on arable land and in the forest strip to 4.78–6.71 compared to the deposit, in the lower layers (20–40 cm), on the contrary, there was a decrease in this ratio. There was also a decrease in the content of non-hydrolyzable residue (in % of total carbon) in arable soils compared to the deposit on average from 30 to 10%. The degree of humification in the forest strip and on arable land increased from 56 to 58 and 75%, respectively, compared to the deposit. When the deposit was introduced into agricultural and forest reclamation use, the redistribution of the composition of the exchange bases of the soil was noted not only in space, but also with depth. In the upper layers (0–10 cm), the maximum content of exchangeable calcium was found in the soils of the forest strip, the minimum – on arable land. With a depth of (20–40 cm), the minimum magnesium content is noted in the deposit. Long-term agrogenic and forest-reclamation effects on chernozem soils were accompanied by certain changes in soil acidity. In all the studied objects, except for arable land, the reaction of the soil environment for several decades shifted to the alkaline side by 0.07–0.55 pH units. Some statistical characteristics of the distribution of the main physical and chemical indicators and indicators of the humus state of chernozems were calculated. On their basis, isopleths of a two-dimensional distribution of indicators of the main properties of chernozem soils of the studied experimental site were constructed.

*Key words:* chernozem, humus, humus composition, exchange bases, acidity indicators, Stone Steppe.