
АГРОГЕННОЕ ПОДКИСЛЕНИЕ ЧЕРНОЗЕМОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ В ЦЧР

Дмитрий Игоревич Бережнов
Владислав Борисович Пименов
Константин Егорович Стекольников
Елена Сергеевна Гасанова

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Исследования по изучению агрогенного подкисления чернозема выщелоченного в результате применения различных систем удобрения и дефеката выполнены в условиях длительного стационарного опыта с удобрениями и мелиорантами кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии Воронежского ГАУ. Почвенный покров представлен черноземом выщелоченным малогумусным маломощным среднесуглинистым. Были изучены органическая, органо-минеральная система применения удобрения, а также контрольный вариант и варианты с дефекатом. В образцах почв определялись рН водной и солевой вытяжки стандартным методом и в насыщенных почвенных пастах, определялась гидролитическая кислотность, сумма обменных оснований и степень насыщенности основаниями. Изучено влияние длительного применения различных систем удобрения и дефеката на подкисление чернозема выщелоченного. Установлено, что использование для определения рН водной и солевой вытяжки стандартной методики существенно завышает результаты. Применение для определения рН водной и солевой вытяжки метода насыщенных почвенных паст дает более объективные результаты за счет снижения суспензионного эффекта. Установлено, что длительное применение различных систем удобрения обуславливает существенное подкисление изучаемой почвы. Подкислению подвергается не только пахотный слой, но и весь почвенный профиль. Следствием подкисления всего профиля изучаемой почвы является снижение суммы обменных оснований и степени насыщенности основаниями. Емкость катионного обмена снижается относительно исходного состояния. Степень подкисления возрастает в ряду – органическая – органо-минеральная система удобрения с одинарной и двойной дозой минеральных удобрений. Дефекат даже в последствии компенсирует подкисление и способствует оптимизации физико-химических параметров на оптимальном уровне.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: чернозем выщелоченный, система удобрения, агрогенное подкисление, дефекат, подкисление.

AGROGENIC CHERNOZEM SOIL ACIDIFICATION AS A RESULT OF APPLICATION OF VARIOUS FERTILIZER SYSTEMS IN THE CENTRAL CHERNOZEM REGION

Dmitriy I. Berezhnov
Vladislav B. Pimenov
Konstantin E. Stekolnikov
Elena S. Gasanova

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The authors have studied the agrogenic acidification of leached chernozem as a result of use of various fertilizer systems and defecate. Research was performed in the conditions of long-term stationary experiment with fertilizers and ameliorants of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology of Voronezh SAU. Soil cover was represented by leached, low-humus, shallow, medium-loamy chernozem. The authors studied the organic and organomineral fertilizer application systems, as well as the control variant and variants with defecate. Soil samples were tested for pH of water and salt extracts using conventional method, and saturated soil pastes were tested to determine the hydrolytic acidity, total exchangeable bases and degree of base saturation. The effect of long-term use of various fertilizer systems and defecate on acidification of leached chernozem was also studied. It was found that the conventional method for determining the pH of water and salt extracts significantly overestimates the results. More objective results are obtained by applying the method of saturated soil pastes for determining the pH of water and salt extracts due to a decrease in suspension effect. It has been established that

long-term use of various fertilizer systems leads to significant acidification of soils under study. Acidification affects not only the arable layer, but the entire soil profile as well. Acidification of the entire profile of the studied soil results in a decrease in total exchangeable bases and degree of base saturation. Cation exchange capacity decreases compared to the initial state. The degree of acidification increases in the line of organic – organomineral fertilizer system with single and double dose of mineral fertilizers. Defecate, even in its aftereffect, compensates for acidification and contributes to the optimization of physicochemical parameters at the optimal level.

KEYWORDS: leached chernozem, fertilizer system, agrogenic acidification, defecate, acidification.

Введение
Сельское хозяйство разных стран мира знает немало примеров коренного улучшения почв и повышения урожаев с помощью известкования. Так, в Англии еще во времена Плиния употребляли мергель, в котором видели как бы концентрированное богатство почвы – «ее тучность» [4, 6]. В Германии мергелевание также применяли с XII в., с XVII в. в целом ряде областей, включая и Силезию, перешли на использование обожженного известняка, в то же время в северных областях применяли луговую известь.

О необходимости известкования пахотных почв известно давно. О применении известки имеются сведения еще в древнем Риме [6]. Начиная с XVIII в. известкование почв широко применялось в европейских странах. До конца 80-х годов в СССР в каждом агрохимическом центре существовали отделы, занимавшиеся планированием и разработкой проектно-сметной документации по известкованию кислых почв [1]. Подкисление почв сопровождается такими последствиями, как дегумификация почв [7]. Наконец, в 2019 г. в Минсельхозе РФ осознали необходимость известкования почв.

Итогом нерациональной химизации, без сопутствующего известкования российского земледелия стало прогрессивно развивающееся подкисление пахотных почв во всех регионах, в т. ч. и в Центрально-Черноземном регионе (ЦЧР). По данным мониторинга пахотных угодий по кислотности почв выявлено, что по состоянию на 1 января 2019 г. в Российской Федерации из обследованных 100,3 млн га пашни кислые почвы, требующие первоочередного известкования, занимают 35,0%, или 35,1 млн га; из них 2,7% – сильно- и очень сильнокислые.

Среди федеральных округов Российской Федерации наибольшие площади пашни, нуждающейся в известковании, расположены в Центральном федеральном округе (60,7%) [2]. Почвы с повышенной кислотностью в ЦЧР составляют 12,7-83,0%, максимальное подкисление почв наблюдается в Липецкой области. Всего в ЦЧР почвы с повышенной кислотностью занимают 4666,5 тыс. га, или 42,4% [2]. Однако этот показатель весьма динамичен. Не случайно большое внимание ему уделяют американские фермеры. Если при мониторинге состояния почв России величину pH определяют один раз в 5 лет, то в США каждый вегетационный сезон, а более продвинутые фермеры несколько раз за сезон.

Удобрения и дефекаат оказывают многосторонне воздействие на почвы, существенно влияя на изменение почвенных режимов, состав и физико-химические свойства. Если удобрения способствуют существенному повышению содержания элементов питания, то есть это их прямое действие, то являясь солями, они активно воздействуют на концентрацию почвенного раствора, почвенный поглощающий комплекс – это их побочное действие. Учитывая тот факт, что длительное внесение удобрений способствуют существенному подкислению почв [1, 6, 10], в схему опыта были включены варианты с мелиорантами, в том числе было предусмотрено внесение дефеката.

Методика эксперимента

Исследования выполнены в стационарном опыте с удобрениями и мелиорантами, заложенном в 1987 г.

Почва стационара – чернозем выщелоченный малогумусный маломощный тяжелосуглинистый.

Опыт включает 15 вариантов. Исследования выполнены на следующих вариантах опыта:

- 1 – контроль абсолютный;
- 2 – контроль фон (40 т/га навоза);
- 3 – фон + N₆₀P₆₀K₆₀;
- 5 – фон + N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀;
- 13 – фон + 21 т/га дефеката;
- 15 – фон + дефекат + N₆₀P₆₀K₆₀.

Образцы почвы отбирались послойно до глубины 1 м с шагом 20 см.

Удобрения вносились по схеме опыта, а дефекат последний раз был внесен в 2005 г., поэтому на этапе, который представлен, описывается его последствие.

В почвенных образцах определяли:

- емкость катионного обмена (ЕКО);
- содержание обменных катионов;
- гидролитическую, обменную и актуальную кислотность.

Обменная и актуальная кислотность определена в стандартной вытяжке при соотношении почва : раствор = 1 : 2,5 и в насыщенных почвенных пастах при соотношении почва : раствор = 1 : 0,5 [8].

Результаты и их обсуждение

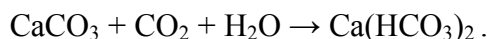
В связи с тем, что опыт был заложен в 1987 г. (34 года назад), считаем необходимым привести показатели состава и свойств изучаемой почвы в исходном состоянии [9]. Состав и физико-химические свойства чернозема выщелоченного представлены в таблице 1 по данным агрохимического обследования почв, проведенного в 2011 г. сотрудниками кафедры почвоведения Воронежского госагроуниверситета (руководитель – К.Е. Стекольников).

Таблица 1. Состав и физико-химические свойства чернозема выщелоченного в исходном состоянии (1987 г.)

Горизонт	Мощность, см	Гумус, %	рН		S	Hг	E	V, %
			H ₂ O	KCl				
Апах	26	4,58	6,55	5,57	29,94	4,34	33,78	88
А	19	3,63	6,73	5,60	26,74	3,32	29,42	88
АВ	21	2,22	6,98	5,95	25,49	1,80	26,99	93
В	27	1,16	7,24	6,10	24,27	1,41	24,91	94
ВС	39	0,68	7,75	6,70	Вскипает	Вскипает	Вскипает	100
С	34	0,37	8,25	7,13	Вскипает	Вскипает	Вскипает	100

Представленные данные свидетельствуют о довольно значительном варьировании состава и свойств изучаемой почвы. По мощности гумусного слоя изучаемая почва маломощная, а по содержанию гумуса в пахотном слое малогумусная. По величине рН водной вытяжки почва нейтральная, что нехарактерно для данного подтипа чернозема. Это обусловлено высоким уровнем залегания границы вскипания – практически в пределах гумусного горизонта.

Вскипание в пределах гумусного горизонта является нетипичным для чернозема выщелоченного, однако в нашем случае оно обусловлено не высоким залеганием карбонатов, а их сезонной миграционной формой. Водный режим черноземов выщелоченных характеризуется значительным преобладанием в летний период восходящих токов влаги над нисходящими. Восходящие токи влаги вызывают протекание реакции растворения и перенос хорошо растворимого гидрокарбоната кальция из карбонатного в нижнюю часть гумусового горизонта, что и обуславливает проявление в нем сезонного вскипания:



С капиллярной каймой гидрокарбонаты кальция могут перемещаться до горизонтов с хорошей аэрацией и взаимодействуя с CO_2 переходят в нерастворимую форму CaCO_3 . Он образует на поверхности почвенных агрегатов карбонатные выцветы, но чаще всего формируется кристаллическая форма в капиллярах, т. е. типичный псевдомицелий. В нижней части профиля он наблюдается в засушливые периоды. В годы с достаточным увлажнением карбонаты выщелачиваются за пределы почвенного профиля. Именно поэтому в 60–70-х гг. прошлого столетия в черноземах выщелоченных, различающихся по степени выщелоченности – отрыву линии вскипания от нижней границы гумусового горизонта, выделялись черноземы слабо-, средне- и сильновыщелоченные: < 20, 20–40 и > 40 см. С учетом миграционных форм карбонатов эта концепция оказалась несостоятельной [5].

Величина обменной кислотности варьирует от слабокислой до близкой к нейтральной, а величина гидролитической кислотности в широком диапазоне – от 1,5 до 6,2 мг-экв/100 г почвы.

В исходном состоянии изучаемая почва имела высокую сумму обменных оснований – 29,5–38,0 мг-экв/100 г почвы.

Существенное варьирование физико-химических показателей обусловило и значительное колебание степени насыщенности основаниями – 82–94%.

Низкая для черноземов степень насыщенности основаниями обусловлена высокой величиной обменной и гидролитической кислотности. Согласно временным рекомендациям по мелиорации почв с повышенной кислотностью при величине $\text{pH}_{\text{сол}} < 5,5$, гидролитической кислотности > 3,5 мг-экв/100 г почвы и степени насыщенности основаниями < 83% чернозем нуждается в известковании, поэтому в схему опыта были включены варианты с дефекатом [1, 10].

Как уже отмечалось выше, актуальная кислотность очень динамична во времени и пространстве. Полученные нами данные это подтверждают. Прежде всего следует отметить, что pH водной вытяжки изменяется по годам наблюдений и по вариантам опыта. Эти изменения затрагивают не только верхние слои почвы, но и весь почвенный профиль. И если изменения ее по годам наблюдений определяются главным образом гидротермическими условиями, то изменения по вариантам опыта обусловлены системой применения удобрения и дефекатом.

Также, по нашему мнению, на величину pH водной вытяжки оказывает влияние высокое отношение почвы к раствору, равное 1 : 2,5, которое используется в стандартной вытяжке. Мы в своей работе воспользовались методикой определения актуальной и обменной кислотности в насыщенных почвенных пастах [8]. При стандартной вытяжке определение ведется в суспензии при влажности 250%. Такая влажность в полевых условиях невозможна. Столь широкое разбавление обуславливает растворение соединений, не растворимых при естественной влажности почвы. При узком соотношении почвы к раствору (1 : 0,5) влажность почвы достигает 50%. Такая влажность может быть после снеготаяния или после ливневых осадков, характерных для летнего периода лесостепной зоны. В таблице 2 приводим данные по определению pH в насыщенных водой почвенных пастах при соотношении почва : раствор, равном 1 : 0,5, и при стандартном отношении 1 : 2,5.

При оценке физико-химических параметров обычно изучается только пахотный слой почвы. Это лежит в основе агрохимических исследований и при мониторинге состояния пахотных угодий. Считаем данный подход неэффективным. Пахотный слой – самый динамичный в профиле почвы. Он подвергается как естественным воздействиям – влага, температура, так и агрогенным – обработка, внесение удобрений и средств защиты растений, уплотнение ходовыми системами сельскохозяйственной техники и др. Считаем, что объективной информацией о состоянии почвы могут быть только результаты исследований всего почвенного профиля.

Таблица 2. Влияние степени разбавления на величину pH водной вытяжки

Вариант опыта	Слой, см	2015 г.		2016 г.		2017 г.		2018 г.		2019 г.		2020 г.	
		pH 1 : 0,5	pH 1 : 2,5	pH 1 : 0,5	pH 1 : 2,5	pH 1 : 0,5	pH 1 : 2,5	pH 1 : 0,5	pH 1 : 2,5	pH 1 : 0,5	pH 1 : 2,5	pH 1 : 0,5	pH 1 : 2,5
Контроль	0–20	5,44	6,21	5,37	5,63	5,72	6,02	5,93	6,30	5,80	6,73	6,21	6,31
	20–40	5,62	5,98	4,97	5,33	5,59	5,95	6,05	6,39	6,03	6,68	5,98	6,17
	40–60	6,03	6,29	5,55	5,67	5,71	6,26	6,14	6,45	6,98	7,33	6,19	6,28
	60–80	5,90	6,38	5,58	5,73	5,89	6,43	6,23	6,57	7,30	7,70	6,38	6,42
	80–100	6,20	6,75	6,08	6,18	6,05	6,48	7,30	7,54	7,58	7,79	6,75	6,83
Фон орг.	0–20	5,45	5,80	5,26	5,48	5,13	5,74	5,63	6,24	5,91	7,00	5,80	6,04
	20–40	4,65	5,75	5,00	5,31	5,21	5,77	5,94	6,42	5,99	6,77	5,75	6,88
	40–60	5,00	5,66	5,18	5,38	5,66	6,22	6,13	6,54	6,38	6,79	5,66	5,94
	60–80	5,30	6,28	5,65	5,73	5,94	6,47	6,73	7,20	7,21	7,62	6,28	6,49
	80–100	6,14	6,26	5,97	6,19	6,26	6,73	6,91	7,23	7,33	7,80	6,26	6,58
Фон + 1NPK	0–20	4,99	5,53	4,89	5,11	5,14	5,73	5,36	5,87	6,08	6,77	5,53	5,79
	20–40	4,98	5,74	5,08	5,27	5,19	5,76	5,44	5,79	5,99	6,68	5,74	6,07
	40–60	5,78	6,15	5,77	5,88	5,72	6,33	5,93	6,23	6,27	6,66	6,15	6,39
	60–80	5,49	6,30	5,97	6,09	5,98	6,42	6,97	7,28	6,56	6,96	6,30	6,63
	80–100	5,82	6,37	6,11	6,24	6,32	6,73	7,59	7,85	7,63	7,78	6,37	6,59
Фон + 2NPK	0–20	5,32	5,38	4,92	5,13	5,08	5,62	5,31	6,09	5,50	6,88	5,38	5,78
	20–40	5,02	5,58	5,05	5,28	5,12	5,69	5,17	5,73	5,86	6,67	5,58	5,86
	40–60	5,07	5,87	5,36	5,49	5,72	6,32	5,84	6,28	6,37	6,83	5,87	6,21
	60–80	5,54	6,10	5,56	5,78	6,09	6,53	6,17	6,53	7,07	7,54	6,10	6,33
	80–100	5,39	6,16	6,15	6,27	7,18	7,59	7,29	7,79	7,53	7,86	6,16	6,48
Фон + дефекат	0–20	6,22	6,40	6,29	6,38	6,40	6,82	6,62	7,22	6,44	7,19	6,40	6,69
	20–40	6,20	6,54	6,21	6,33	6,35	6,79	6,48	6,98	6,49	7,21	6,54	6,87
	40–60	6,19	6,73	6,10	6,24	6,17	6,60	6,37	6,88	6,04	6,89	6,73	6,99
	60–80	6,43	6,78	6,31	6,46	6,23	6,72	6,49	6,92	6,43	7,08	6,78	7,04
	80–100	6,71	7,37	6,55	6,69	7,20	7,81	6,85	7,14	7,69	7,89	7,37	7,78
Дефекат + 1NPK	0–20	6,07	6,19	5,97	6,21	5,96	6,58	6,27	6,64	5,89	6,69	6,19	6,66
	20–40	6,01	6,15	5,76	5,90	6,20	6,44	6,01	6,49	6,13	6,64	6,15	6,53
	40–60	5,91	6,42	6,21	6,33	6,22	6,62	6,36	6,63	6,40	6,73	6,42	6,85
	60–80	6,40	6,79	6,34	6,49	6,25	6,73	6,87	7,17	6,58	7,03	6,79	7,04
	80–100	6,76	7,50	6,46	6,58	6,76	6,93	7,41	7,85	6,70	7,10	7,50	7,83
Sx, %		2,23	2,40	2,10	2,55	2,02	2,33	1,90	2,22	1,83	2,11	1,93	2,29
HCP ₀₉₅		0,27	0,36	0,25	0,38	0,24	0,35	0,23	0,33	0,22	0,32	0,23	0,34

Так, по общепринятой методике оценка величины pH пахотного слоя варьирует по годам исследований на вариантах опыта следующим образом.

На контроле pH водной вытяжки находится в интервале от 5,37 (2016 г.) до 6,21 (2020 г.), т. е. варьирует от слабокислой до нейтральной.

На варианте применения органической системы удобрения pH водной вытяжки в пахотном слое за изучаемый период изменяется от 5,13 (2017 г.) до 5,91 (2019 г.), т. е. является слабокислой, и мы можем заключить, что при данной системе удобрения наблюдается подкисление.

На варианте применения органо-минеральной системы с одинарной дозой минеральных удобрений pH изменяется в пределах от 4,99 (2015 г.) до 6,08 (2019 г.), т. е. варьирует от среднекислой до нейтральной, и в данном случае есть основания для утверждения о подкислении пахотного слоя изучаемой почвы.

На варианте применения органо-минеральной системы с двойной дозой минеральных удобрений pH изменяется от 4,92 (2016 г.) до 5,50 (2019 г.), т. е. варьирует от среднекислой до слабокислой. Таким образом, мы можем отметить, что на данном варианте подкисление пахотного слоя выражено в наибольшей степени.

Совершенно иное мы наблюдаем на вариантах с дефекатом, и это при том, что наблюдается его последствие.

Так, величина рН варьирует на варианте внесения дефеката по органическому фону в пределах 6,29–6,28, т. е. за весь период наблюдений остается нейтральной.

На варианте внесения дефеката совместно с одинарной дозой минеральных удобрений рН в пахотном слое изменяется в пределах 5,96–6,47, т. е. варьирует от слабокислой (2016, 2017 и 2019 г.) до нейтральной. В данном случае есть основания для заключения о том, что в последствии дефекат не всегда компенсирует подкисление от минеральных удобрений.

Представляет интерес и характер изменения величины рН по профилю под влиянием систем применения удобрения.

По результатам определения рН в насыщенных водой почвенных пастах нами выявляются следующие закономерности. Как уже мы отмечали выше, влияние систем применения удобрения и дефеката проявляется в изменениях рН в слое 0–20 см. Применение органической и органо-минеральной систем удобрения обуславливает существенное подкисление в пахотном слое, а дефекат компенсирует его. Но величина рН весьма динамична и по всему профилю изучаемой почвы.

Характер изменения насыщенных водой почвенных паст рН по профилю неодинаков на вариантах опыта. В сравнении с вариантом контроля, как мы уже отмечали, на вариантах опыта с удобрениями наблюдается снижение величины рН в слое 0–40 см. В наибольшей степени это характерно для вариантов применения органо-минеральной системы удобрения. На вариантах внесения дефеката, наоборот, отмечается более высокая величина рН как по отношению к контролю, так и с удобренными вариантами. Вниз по профилю отмечается повышение рН. Максимальная ее величина отмечается в слое 80–100 см на всех вариантах, и особенно на вариантах внесения дефеката.

Характер изменения рН по профилю практически на всех вариантах опыта элювиально-иллювиальный. Степень дифференциации профиля по рН максимальная на вариантах с органо-минеральной системой удобрения и минимальная на вариантах внесения дефеката.

Отметим, что рН в стандартной водной вытяжке заметно выше, чем в насыщенных водой почвенных пастах. На наш взгляд, это является следствием разбавления. Если рН в почвенной пасте определяется при 50% влажности, т. е. возможной в естественных условиях, то в стандартной вытяжке это 250% влажность, что в естественных условиях просто невозможно, недостижимо и, как следствие, менее достоверно.

Так, на варианте контроля рН стандартной водной вытяжки в пахотном слое изменяется в пределах 5,63–6,73, т. е. она по существующей градации близкая к нейтральной и нейтральная.

На варианте применения органической системы удобрения она варьирует в пределах 5,48–7,00, т. е. оценивается как слабокислая и нейтральная.

На варианте применения органо-минеральной системы с одинарной дозой минеральных удобрений она изменяется в пределах 5,11–6,77 и оценивается как слабокислая и нейтральная.

На варианте применения органо-минеральной системы с двойной дозой минеральных удобрений она варьирует в пределах 5,13–6,88, т. е. слабокислая и нейтральная.

Таким образом, выявленное нами подкисление на вариантах с удобрениями не столь явное, как по данным определений рН в насыщенных водой почвенных пастах. Считаем, что это имеет принципиальный характер, так как степень подкисления при использовании стандартной вытяжки явно занижается. А ведь это, несомненно, имеет значение при оценке физико-химического состояния изучаемой почвы.

Обратимся к существующей группировке почв по степени кислотности и емкости катионного обмена, представленной в таблице 3.

Таблица 3. Группировка почв по степени кислотности и емкости катионного обмена [1]

Кислотность почвы	рН		Гидролитическая кислотность (Нг) мг-экв/100 г почвы	Емкость катионного обмена (ЕКО)	
	Н ₂ О	КСI		мг-экв/100 г почвы	Уровень
Очень сильнокислые			> 6	< 5,0	Очень низкая
Сильнокислые	3–4	4,1–4,5	5,1–6,0	5,1–15,0	Низкая
Среднекислые	4–5	4,6–5,0	4,1–5,0	15,1–25,0	Умеренно низкая
Слабокислые	5–6	5,1–5,5	3,1–4,0	25,1–35,0	Средняя
Близкие к нейтральным	-	5,6–6,0	2,1–3,0	35,1–45,0	Умеренно высокая
Нейтральные	7	>6,0	< 2,0	> 45,0	Высокая
Слабощелочные	7–8	-	-	-	-
Щелочные	8–9	-	-	-	-
Сильнощелочные	9–11	-	-	-	-

Данные таблицы 3 показывают, что использование стандартной водной вытяжки по сравнению с насыщенными водой почвенными пастами смещают оценку выявленного эффекта подкисления на одну градацию в сторону понижения, т. е. эффект подкисления от применения систем удобрения занижается, что, как мы уже отмечали, имеет принципиальный характер. На вариантах применения органической и, особенно, органо-минеральной систем удобрения величина рН водной вытяжки ниже, чем на неудобренном варианте, а на вариантах внесения дефеката она существенно выше по всему профилю, чем на остальных вариантах.

Следует отметить, что последний раз дефекат вносился в 2005 г., т. е. мы наблюдаем его последствие. Тем не менее, даже в последствии дефекат способствует стабилизации активной кислотности на оптимальном уровне.

Общей закономерностью является понижение величины рН в слое 20–40 см на всех вариантах, за исключением вариантов с дефекатом почти по всем годам наблюдений, особенно в насыщенных водой почвенных пастах при соотношении почва : раствор = 1 : 0,5. Эти различия неодинаковы как по годам наблюдений, так и по вариантам опыта. Они обусловлены степенью разбавления почвенного раствора.

Величина рН водной вытяжки зависит от применяемых удобрений и гидротермических условий наблюдаемого периода. Так, в годы с достаточным увлажнением, например в 2017 г., наблюдаются наибольшие различия при определении рН в насыщенных водой почвенных пастах и в суспензиях. В годы с дефицитом увлажнения эти различия уменьшаются, но они есть и не учитывать их нельзя.

Еще более значимые различия наблюдаются при определении рН солевой вытяжки в насыщенных пастах и стандартной солевой вытяжке при соотношении почва : раствор 1 : 2,5. Как и величина актуальной кислотности, обменная кислотность очень динамична во времени и пространстве. Она, конечно же, подвержена влиянию внешнего воздействия, т. е. как режиму влажности и температуры, так и влиянию внесения удобрений и дефеката.

Так, в пахотном слое контрольного варианта рН солевой насыщенной пасты изменяется от 4,49 до 5,19 и оценивается (см. табл. 3) как сильно- и слабокислая.

На варианте применения органической системы удобрения она изменяется в пределах 4,17–4,78 и оценивается как сильно- и среднекислая.

На варианте применения органо-минеральной системы с одинарной дозой минеральных удобрений она варьирует в пределах 3,89–4,80 и оценивается как очень кислая и среднекислая.

На варианте применения органо-минеральной системы с двойной дозой минеральных удобрений она составляет 3,75–4,78 и оценивается как очень- и среднекислая.

Таким образом, внесение органических и особенно органо-минеральных удобрений обуславливает сильно выраженное повышение обменной кислотности.

На варианте внесения дефектата по органическому фону рН солевой вытяжки варьирует в пределах 5,16–5,81, т. е. оценивается как слабокислая и близкая к нейтральной, а на варианте внесения дефектата совместно с одинарной дозой минеральных удобрений – в пределах 5,15–5,38, или как слабокислая, т. е. даже в последствии дефектат способствует снижению обменной кислотности.

Как мы уже отмечали, величина рН солевой стандартной вытяжки, как и в случае с рН водной вытяжки, существенно завышена. Данные представлены в таблице 4.

Таблица 4. Влияние степени разбавления на величину рН солевой вытяжки

Вариант опыта	Слой, см	2015 г.		2016 г.		2017 г.		2018 г.		2019 г.		2020 г.	
		рН 1 : 0,5	рН 1 : 2,5	рН 1 : 0,5	рН 1 : 2,5	рН 1 : 0,5	рН 1 : 2,5	рН 1 : 0,5	рН 1 : 2,5	рН 1 : 0,5	рН 1 : 2,5	рН 1 : 0,5	рН 1 : 2,5
Контроль	0–20	4,49	5,63	4,54	5,21	4,58	5,57	5,19	6,67	4,63	5,24	5,03	5,85
	20–40	4,73	5,59	4,23	4,80	4,90	5,69	5,17	5,86	5,07	5,63	4,87	5,43
	40–60	5,11	5,98	4,77	5,16	4,95	5,99	5,38	5,89	6,32	6,75	4,98	5,64
	60–80	5,03	6,01	4,96	5,20	5,14	6,10	5,27	5,79	6,78	7,17	5,22	5,75
	80–100	5,43	6,18	5,20	5,37	5,27	6,30	6,73	7,09	6,93	7,28	5,61	6,07
Фон орг.	0–20	4,51	5,78	4,17	4,60	4,41	5,27	4,78	5,37	4,64	5,75	4,70	5,18
	20–40	4,27	5,21	4,02	4,50	4,47	5,44	5,27	5,68	4,97	5,43	4,72	5,21
	40–60	4,96	5,83	4,17	4,64	4,93	5,71	5,23	5,73	5,39	5,84	4,61	5,08
	60–80	5,45	6,12	4,44	4,89	4,96	5,98	5,87	6,36	6,60	7,05	5,02	5,46
	80–100	5,72	6,02	4,77	5,18	5,27	6,17	6,11	6,54	6,58	7,29	5,26	5,78
Фон + 1NPK	0–20	4,21	5,14	3,89	5,38	4,22	5,03	4,51	5,01	4,80	5,98	4,46	4,91
	20–40	4,17	5,34	4,10	4,56	4,30	5,09	4,58	4,98	5,09	5,88	4,64	5,08
	40–60	4,91	5,66	4,53	4,90	4,77	5,62	5,01	5,46	5,28	5,873	4,91	5,38
	60–80	4,93	5,79	4,73	5,05	5,01	6,03	6,22	6,59	5,73	6,18	5,17	5,58
	80–100	4,97	5,90	4,85	5,19	5,46	6,42	7,01	7,38	6,82	7,16	5,28	5,83
Фон + 2NPK	0–20	4,78	5,44	3,75	4,17	4,23	5,08	4,43	5,47	4,60	5,33	4,26	4,68
	20–40	4,31	5,31	3,94	4,35	4,31	5,07	4,35	4,86	4,78	5,36	4,59	4,99
	40–60	4,82	5,48	4,30	4,72	4,84	5,88	4,96	5,43	5,29	5,92	4,93	5,34
	60–80	4,80	5,57	4,54	5,09	5,09	6,14	5,51	6,07	6,24	6,78	4,82	5,21
	80–100	4,86	5,56	4,66	5,09	6,42	6,85	6,68	7,13	6,79	7,21	4,91	5,30
Фон + дефектат	0–20	5,47	6,17	5,16	5,65	5,44	6,43	5,81	6,37	5,36	6,87	5,38	5,89
	20–40	5,33	6,15	5,29	5,74	5,36	6,33	5,68	6,22	5,24	6,41	5,53	5,98
	40–60	5,17	6,00	4,99	5,52	5,22	6,31	5,41	5,81	5,10	5,90	5,57	6,08
	60–80	5,46	6,05	5,07	5,57	5,25	6,28	5,52	6,09	5,14	6,17	5,52	5,97
	80–100	5,63	6,33	5,22	5,66	6,44	7,07	5,79	6,28	6,82	7,19	6,60	6,92
Дефектат + 1NPK	0–20	5,15	6,10	4,86	5,34	5,03	6,16	5,38	5,85	4,81	6,03	5,21	5,92
	20–40	5,30	6,09	4,71	5,11	5,10	6,18	5,16	5,60	5,13	5,76	5,27	5,83
	40–60	5,38	6,01	5,06	5,62	5,13	6,21	5,44	5,97	5,34	5,87	5,31	5,87
	60–80	5,42	6,15	5,28	5,73	5,26	6,47	5,86	6,48	5,47	5,98	5,54	6,05
	80–100	5,47	6,21	5,40	5,77	5,47	6,59	6,77	7,30	5,59	6,12	6,73	7,07
Sx, %		2,39	2,57	2,58	2,93	2,38	2,51	2,18	2,48	2,15	2,40	2,33	2,66
HCP ₀₉₅		0,27	0,38	0,31	0,44	0,29	0,38	0,26	0,37	0,26	0,36	0,28	0,40

Как следует из данных таблицы 4, величина рН солевой стандартной вытяжки существенно выше, чем в насыщенных пастах. Так, в пахотном слое контрольного варианта она изменяется в пределах 5,21–6,67, т. е. оценивается как слабокислая и нейтральная.

На варианте применения органической системы удобрения она варьирует в пределах 5,18–5,78 и оценивается как слабокислая и близкая к нейтральной, но абсолютные величины заметно ниже, чем на контроле.

На варианте применения органо-минеральной системы с одинарной дозой минеральных удобрений рН солевой вытяжки изменялась в пределах 5,03–5,98 и оценивалась как среднекислая и близкая к нейтральной. Но наибольшее подкисление наблюдалось на варианте применения органо-минеральной системы с двойной дозой минеральных удобрений, где рН солевой вытяжки варьировала в пределах 4,17–5,47 и оценивалась как сильнокислая и слабокислая.

На варианте внесения дефеката по органическому фону мы наблюдаем явно выраженное последствие дефеката, проявляющееся в нейтрализации обменной кислотности до уровня 5,65–6,83, т. е. до близкой к нейтральной и нейтральной. Последствие дефеката, примененного совместно с одинарной дозой минеральных удобрений, проявляется не столь явно, однако подкисление гораздо ниже, чем на контроле, и особенно на удобренных вариантах, рН солевой вытяжки изменяется в пределах 5,34–6,16, т. е. оценивается как слабокислая и нейтральная.

Наибольшие различия величин рН солевой вытяжки, определенных в почвенных пастах и стандартных условиях, наблюдаются в верхней части профиля, вниз по профилю они уменьшаются. Характер изменения величины рН по профилю соответствует элювиально-иллювиальному типу на всех вариантах опыта за исключением вариантов с дефекатом, где он прогрессивно возрастающий или модальный.

Анализ данных таблицы 4 показывает, что обменная кислотность, как и актуальная, весьма изменчива как во времени, так и в пространстве. Ее изменения во времени зависят от гидротермических условий, а по профилю изучаемой почвы – от применяемых систем удобрения и дефеката. Прежде всего, отметим, что различия величины рН солевой вытяжки, определенной в насыщенных почвенных пастах и при стандартном отношении достигает более 1 единицы рН, причем, это наблюдается на всех вариантах опыта, за исключением вариантов с дефекатом, где они ниже.

Эти различия, в отличие от величины рН водной вытяжки, имеют уже принципиальный характер. Так, в 2015 г. на контроле в слое 0–20 см величина рН солевой вытяжки в насыщенной водой почвенной пасте составляла 4,9, а в стандартной вытяжке – 5,63. По величине рН солевой вытяжки почва является близкой к нейтральной при стандартном отношении почва : раствор = 1 : 2,5, а при соотношении почва : раствор = 1 : 0,5 – она сильнокислая. Чему же верить, какая из этих измеренных величин более реально оценивает обменную кислотность? Считаем, что использование насыщенных почвенных паст для оценки как актуальной, так и обменной кислотности более предпочтительно, чем стандартные суспензии, дающие существенно завышенные результаты.

Обращают на себя внимание не только существенные различия в величинах рН солевой вытяжки, определенных в насыщенных почвенных пастах и в стандартной солевой вытяжке, но и сам характер этих изменений, как по годам наблюдений и по вариантам опыта, так и по профилю изучаемой почвы.

Считаем, что выявленное различие имеет принципиальный характер. Ведь если судить по данным стандартной солевой вытяжки, то в 2015, 2017 и 2019 гг. подкисления на вариантах опыта нет, или оно слабо выражено, между тем по результатам определений в насыщенных пастах оно выражено более сильно и по всем годам наблюдений. А ведь в практике агрохимической службы для принятия решения о необходимости известкования используют данные определения рН солевой вытяжки при стандартном отношении. Выходит, что мало того решение будет неверным, так оно потом будет принято с опозданием на пять лет только по результатам обследования следующего тура.

Так может быть это маловажно? Нет, это важно прежде всего потому, что в течение пяти лет в хозяйстве будет существенный недобор сельскохозяйственной продукции на почвах с повышенной кислотностью.

Каковы же особенности изменения величины рН солевой вытяжки по профилю? Их, по крайней мере, две. Первая – на всех вариантах опыта мы наблюдаем резкую дифференциацию профиля изучаемой почвы по величине рН солевой вытяжки, кроме вариантов с дефекатом, где она минимальная. Вторая – на контроле и удобренных вариантах наиболее низкая величина рН солевой вытяжки наблюдается, начиная с пахотного слоя и на всю мощность гумусового горизонта. Иначе говоря, мы наблюдаем явно выраженное подкисление, обусловленное применением органических и минеральных удобрений на удобренных вариантах, и на контроле это следствие потерь кальция. Потери кальция есть, разумеется, и на вариантах с дефекатом, просто масштаб потерь здесь существенно ниже. Это процесс декальцирования, что в свое время в условиях стационара было доказано исследованиями [4]. На вариантах с дефекатом этот процесс компенсирован и стабилизирован.

В таблице 5 представлены данные определений величины рН водной и солевой вытяжек в насыщенных почвенных пастах (отношение почва : раствор = 1 : 0.5).

Таблица 5. Изменение величины рН водной и солевой вытяжек в почвенных пастах

Вариант опыта	Слой, см	2015 г.		2016 г.		2017 г.		2018 г.		2019 г.		2020 г.	
		рН _в	рН _с	рН _в	рН _с	рН _в	рН _с	рН _в	рН _с	рН _в	рН _с	рН _в	рН _с
Контроль	0–20	5,44	4,49	5,37	4,54	5,72	4,58	5,93	5,19	5,80	4,63	6,21	5,03
	20–40	5,62	4,73	4,97	4,23	5,59	4,90	6,05	5,17	6,03	5,07	5,98	4,87
	40–60	6,03	5,11	5,55	4,77	5,71	4,95	6,14	5,38	6,98	6,32	6,29	4,98
	60–80	5,90	5,03	5,98	4,96	5,89	5,14	6,23	5,27	7,30	6,78	6,38	5,22
	80–100	6,20	5,43	6,08	5,20	6,05	5,27	7,30	6,73	7,58	6,93	6,75	5,61
Фон орг.	0–20	5,45	4,51	5,26	4,17	5,13	4,41	5,63	4,78	5,91	4,64	5,80	4,70
	20–40	4,65	4,27	5,00	4,02	5,21	4,47	5,94	5,27	5,99	4,97	5,75	4,72
	40–60	6,00	4,96	5,18	4,17	5,66	4,93	6,13	5,23	6,38	5,39	5,66	4,61
	60–80	6,30	5,45	5,65	4,44	5,94	4,96	6,73	5,87	7,21	6,60	6,28	5,02
	80–100	6,14	5,72	5,97	4,77	6,26	5,27	6,91	6,11	7,33	6,58	6,26	5,26
Фон + 1NPK	0–20	4,99	4,21	4,89	3,89	5,14	4,22	5,36	4,51	6,08	4,80	5,53	4,46
	20–40	4,98	4,17	5,08	4,10	5,19	4,30	5,44	4,58	5,99	5,09	5,74	4,64
	40–60	5,78	4,91	5,77	4,53	5,72	4,77	5,93	5,01	6,27	5,28	6,15	4,91
	60–80	5,49	4,93	5,97	4,73	5,98	5,01	6,97	6,22	6,56	5,73	6,30	5,17
	80–100	5,82	4,97	6,11	4,85	6,32	5,46	7,59	7,01	7,63	6,82	6,37	5,28
Фон + 2NPK	0–20	5,32	4,78	4,92	3,75	5,08	4,23	5,31	4,43	5,50	4,60	5,38	4,26
	20–40	5,02	4,31	5,05	3,94	5,12	4,31	5,17	4,35	5,86	4,78	5,58	4,59
	40–60	5,07	4,82	5,36	4,30	5,72	4,84	5,84	4,96	6,37	5,29	5,87	4,93
	60–80	5,54	4,80	5,56	4,54	6,09	5,09	6,17	5,51	7,07	6,24	6,10	4,82
	80–100	5,39	4,86	6,15	4,66	7,18	6,42	7,29	6,68	7,53	6,79	6,16	4,91
Фон + дефекат	0–20	6,62	5,47	6,29	5,16	6,40	5,44	6,62	5,81	6,44	5,36	6,40	5,38
	20–40	6,70	5,33	6,21	5,29	6,35	5,36	6,48	5,68	6,49	5,24	6,54	5,53
	40–60	6,19	5,17	6,10	4,99	6,17	5,22	6,37	5,41	6,04	5,10	6,73	5,57
	60–80	6,43	5,46	6,31	5,07	6,23	5,25	6,49	5,52	6,43	5,14	6,78	5,52
	80–100	6,71	5,63	6,55	5,22	7,20	6,44	6,85	5,79	7,69	6,82	7,37	6,60
Дефекат + 1NPK	0–20	6,47	5,15	5,97	4,86	5,96	5,03	6,27	5,38	5,89	4,81	6,19	5,21
	20–40	6,01	5,30	5,76	4,71	6,20	5,10	6,01	5,16	6,13	5,13	6,15	5,27
	40–60	5,91	5,38	6,21	5,06	6,22	5,13	6,36	5,44	6,40	5,34	6,42	5,31
	60–80	6,40	5,42	6,34	5,28	6,25	5,26	6,87	5,86	6,58	5,47	6,79	5,54
	80–100	6,76	5,47	6,46	5,40	6,76	5,47	7,41	6,77	6,70	5,59	7,50	6,73

Почему мы уделяем внимание именно сравнению полученных результатов исследований по определению активной и обменной кислотности, определенных в насыщенных почвенных пастах? Представляет интерес сравнение величин активной и обменной кислотности, определенных в насыщенных почвенных пастах. Величина рН водной и солевой вытяжек очень изменчива как по вариантам опыта, так и по годам наблюдений. Однако отчетливо просматривается несколько закономерностей.

Первая – величина рН минимальна в слое 0–20 см, а по профилю она возрастает. Это обусловлено повышением содержания свободного кальция в нижней части профиля, на что указывает величина рН водной вытяжки выше 7,3 в слое 80–100 см, т. е. наблюдается вскипание.

Вторая – внесение органических и минеральных удобрений существенно снижает величины рН водной и солевой вытяжек в слое 0–40 см. На вариантах с дефекатом рН этих вытяжек по всему профилю на 0,5–1,3 единицы выше, чем на удобренных вариантах и контроле.

Третья – величины рН водной и солевой вытяжек на варианте с дефекатом совместно с одинарной дозой минеральных удобрений ниже, чем на варианте с ним по органическому фону.

Таким образом, даже в последствии дефекат противодействует подкислению изучаемой почвы и стабилизирует актуальную и обменную кислотность в оптимальном диапазоне. Подобные закономерности наблюдаются и по величине гидролитической кислотности, определенной при стандартном соотношении почва : раствор = 1 : 2,5. Величина гидролитической кислотности весьма динамична во времени и по профилю изучаемой почвы. Общей закономерностью является существенный рост величины гидролитической кислотности на вариантах с органическими, и особенно с минеральными удобрениями по органическому фону.

Максимальная ее величина наблюдается в пахотном слое, с глубиной она прогрессивно уменьшается. Это обусловлено появлением миграционных форм карбонатов, нейтрализующих гидролитическую кислотность. Минимальная величина гидролитической кислотности наблюдается на варианте с дефекатом по органическому фону во все годы наблюдений. На варианте с дефекатом совместно с одинарной дозой минеральных удобрений она несколько выше, но по сравнению с остальными вариантами существенно ниже. Если оценивать изменение гидролитической кислотности по годам наблюдений, то в пахотном слое она максимальная в 2015 и 2016 гг., т. е. в конце ротации севооборота. Минимальная ее величина отмечается в 2017 г. в паровом поле.

Таким образом, органическая и органо-минеральная системы удобрения способствуют повышению величины гидролитической кислотности. Последствия дефеката существенно и устойчиво понижают величину гидролитической кислотности и поддерживают ее на оптимальном уровне – меньше 3 мг-экв/100 г почвы.

Сумма обменных оснований считается одним из стабильных показателей физико-химического состояния почв. Ее величина обусловлена содержанием органических, минеральных и органо-минеральных коллоидов. Она существенным образом зависит от реакции среды [3]. Подкисление ведет к снижению, а подщелачивание к заметному повышению суммы обменных оснований. Нами уже выявлено, что все показатели кислотности изучаемой почвы динамичны во времени и пространстве. Наши исследования выявили высокую изменчивость суммы обменных оснований, как во времени, так и по профилю изучаемой почвы. Дополнительно рассчитана и степень насыщенности почвы основаниями. Данные представлены в таблице 6.

Анализ таблицы 6 показывает, что системы применения удобрения существенно снижают сумму обменных оснований во все годы наблюдений, а последствие дефеката не только компенсирует этот процесс, но и поддерживает ее выше уровня неудобренного варианта.

АГРОНОМИЯ

Следует отметить, что минимальная сумма обменных оснований на всех вариантах опыта наблюдалась в 2017 г. в паровом поле. Считаем, что это следствие преобладания процесса минерализации над гумификацией растительных остатков, обусловившее снижение органических и органо-минеральных коллоидов.

Таблица 6. Изменение величины суммы обменных оснований и степени насыщенности основаниями под влиянием внесения удобрений и дефеката

Вариант опыта	Слой, см	Сумма обменных оснований, мг-экв/100 г почвы						Степень насыщенности основаниями, %					
		2015 г., ячмень	2016 г., оз. пшеница	2017 г., пар	2018 г., оз. пшеница	2019 г. сах. свекла	2020 г., в/о	2015 г., ячмень	2016 г., оз. пшеница	2017 г., пар	2018 г., оз. пшеница	2019 г. сах. свекла	2020 г., в/о
Контроль	0–20	19,75	21,12	19,62	18,27	19,27	19,62	95	88	92	90	85	90
	20–40	18,75	16,37	20,00	19,97	21,55	20,07	86	83	92	91	91	90
	40–60	17,25	24,77	20,12	17,45	21,72	20,30	91	94	95	92	96	91
	60–80	18,00	22,05	19,02	18,70	21,80	14,80	95	94	95	93	98	92
	80–100	18,50	23,07	18,02	16,82	21,27	17,95	97	96	96	97	99	94
Фон орг.	0–20	17,25	22,50	19,90	17,97	19,40	19,90	82	84	89	86	88	88
	20–40	16,00	23,15	19,20	20,50	22,77	17,00	78	84	91	90	93	83
	40–60	17,00	24,60	20,22	19,12	21,00	21,05	81	86	94	93	94	81
	60–80	16,50	24,80	19,50	18,95	21,72	19,80	91	92	95	96	97	92
	80–100	19,75	23,10	18,70	18,22	21,15	18,00	96	94	95	96	98	94
Фон + 1ПК	0–20	18,50	16,75	19,00	17,40	19,52	19,82	79	78	88	83	88	83
	20–40	17,00	24,20	19,15	20,20	21,17	20,50	82	86	83	86	92	87
	40–60	18,50	24,50	20,00	19,77	20,92	19,77	93	94	89	93	94	91
	60–80	16,50	24,00	19,32	17,80	18,87	15,57	94	94	92	96	96	92
	80–100	16,25	22,40	18,22	15,85	18,80	17,72	95	95	95	99	98	94
Фон + 2ПК	0–20	19,25	19,45	18,65	18,55	19,57	19,10	77	79	80	85	88	80
	20–40	17,00	23,15	19,97	17,27	22,35	17,25	78	83	82	85	92	82
	40–60	16,00	25,00	19,57	21,72	19,75	19,77	86	89	90	92	94	89
	60–80	15,25	23,20	19,05	16,20	21,65	19,32	90	92	92	94	97	91
	80–100	17,00	23,70	18,12	16,15	18,35	17,50	93	94	96	98	98	91
Фон + дефекат	0–20	20,25	24,55	20,82	18,30	21,90	21,92	95	94	93	95	94	92
	20–40	19,75	25,82	21,22	19,70	21,55	21,17	95	94	93	95	93	94
	40–60	19,50	25,75	19,57	20,10	23,77	19,32	94	94	92	95	92	94
	60–80	19,25	23,75	19,72	18,50	20,25	19,25	96	95	93	95	93	94
	80–100	19,00	19,80	21,64	16,95	20,17	20,70	97	96	95	96	98	97
Дефекат + 1ПК	0–20	16,25	22,80	20,47	19,87	21,55	18,75	90	92	90	93	90	89
	20–40	15,50	23,32	20,52	20,52	20,65	21,00	87	91	92	92	92	91
	40–60	20,50	23,92	21,20	19,67	21,60	22,00	95	95	93	93	94	94
	60–80	17,75	24,07	20,85	19,22	20,80	20,77	96	95	94	96	95	95
	80–100	16,00	23,70	19,50	18,90	20,82	19,80	96	96	94	94	96	98

Практически на всех вариантах опыта отмечается снижение суммы обменных оснований в слое 0–20 см, что связано с явлением так называемого выпаживания и декальцирования. Исключением опять же являются варианты с последствием дефеката, где отмечаются колебания суммы обменных оснований, но они менее выражены.

Характер изменения суммы обменных оснований по профилю соответствует преимущественно элювиально-иллювиальному типу. Внесение удобрений усиливает степень дифференциации профиля по этому показателю.

До закладки опыта сумма обменных оснований в пахотном слое изучаемой почвы составляла 29,94 мг-экв/100 г почвы и снижалась в нижней части профиля до 24,27 (см. табл. 1). За почти 30-летний период отмечается существенное снижение ее величины. Как следует из полученных нами данных, сумма обменных оснований в пахотном слое снижалась до уровня менее 15 мг-экв/100 г почвы (2017 г.). Подобное снижение наблюдалось в паровом поле. Очевидно, это обусловлено преобладанием минерализации растительных остатков над их гумификацией. Только на вариантах с дефекатом оно было, хотя и незначительно, но выше этого уровня. И это притом, что к 2017 г. мы наблюдаем только последствие внесенного в 2005 г. дефеката.

Более 2 ротаций севооборота мы наблюдаем последствие дефеката, и мы отмечаем явный положительный эффект. По всем годам наблюдений варианты с дефекатом имели более высокую сумму обменных оснований в сравнении с остальными вариантами опыта. Профиль изучаемой почвы на вариантах с дефекатом имеет менее выраженную дифференциацию по этому показателю.

Степень насыщенности основаниями является комплексным показателем физико-химического состояния почвы. Данные приведены в таблице 6. Как и все показатели физико-химического состояния почв, степень насыщенности основаниями подвержена существенным колебаниям во времени и пространстве. Однако анализ данных таблицы 6 показывает, что внесение удобрений оказывает существенное влияние на степень насыщенности основаниями.

Если на неудобренном варианте степень насыщенности в пахотном слое в среднем за 6 лет находится на уровне 90%, с колебаниями в пределах 85–95%, то на вариантах внесения удобрений она варьирует в пределах 82–89, 79–88, 77–88% соответственно на органическом фоне, с одинарной и двойной дозами минеральных удобрений по органическому фону. Средняя величина степени насыщенности основаниями на удобренных вариантах составляет соответственно 86, 83 и 81%. На варианте с дефекатом по органическому фону степень насыщенности основаниями в пахотном слое в среднем 94% при колебаниях в пределах 93–95%, а на варианте внесения одинарной дозы минеральных удобрений – соответственно 91 и 89–93%.

Таким образом, амплитуда колебаний степени насыщенности основаниями на неудобренном варианте составляет 5%, а на вариантах органического фона, с одинарной и двойной дозами минеральных удобрений по органическому фону соответственно 6, 9 и 11%. Минимальная амплитуда колебаний этого показателя наблюдается на варианте с дефекатом по органическому фону – 2%, а на варианте с дефекатом совместно с одинарной дозой минеральных удобрений – 4%.

Согласно временным рекомендациям по известкованию черноземных почв при степени насыщенности основаниями ниже 93% почва нуждается в известковании, то есть все варианты опыта, за исключением вариантов с последствием дефеката, нуждаются в известковании.

Как следует из полученных нами данных, за наблюдаемый период отмечаются существенные колебания гидротермических условий. Сумма осадков, выпадавших крайне неравномерно за вегетационный период, колебалась в пределах 178–255 мм, а сумма активных температур – от 2720 до 3025°C. По всем годам наблюдений активный вегетационный период характеризовался дефицитом увлажнения, что подтверждается величиной ГТК – 0,62–0,90. За исключением 2017 года ГТК = 1,0, осень была крайне засушливой, ГТК = 0,04–0,082. Это способствовало формированию устойчивого испа-

рения почвенной влаги и подъем миграционных форм карбонатов в отдельные годы до нижней границы гумусового горизонта, что подтверждается полученными нами данными. Подтверждается это и визуально, в 2017–2020 гг. появлением мицелярных форм карбонатов в нижней части профиля.

Емкость катионного обмена является одним из относительно стабильных физико-химических показателей почвы. Как мы уже отмечали, и этот показатель является относительно стабильным, ведь очень изменчива величина гидролитической кислотности. Это действительно так, если учитывать, что мы использовали расчетный метод определения емкости катионного обмена (ЕКО) по сумме обменных оснований и гидролитической кислотности (табл. 7).

Таблица 7. Изменение емкости катионного обмена под влиянием удобрений и дефектата, мг-экв/100 г почвы

Вариант опыта	Слой, см	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Контроль	0–20	21,86	23,92	20,85	20,21	22,60	21,69
	20–40	21,88	19,62	21,25	22,04	23,62	22,28
	40–60	19,03	26,53	20,95	18,88	22,57	21,27
	60–80	18,87	23,26	19,72	19,98	22,11	16,03
	80–100	19,14	23,94	18,50	17,24	21,53	19,03
Фон орг.	0–20	21,04	26,73	21,80	20,89	21,97	22,47
	20–40	20,61	27,57	20,63	22,66	24,55	20,56
	40–60	20,96	28,65	21,19	20,55	22,28	24,18
	60–80	18,06	27,01	20,23	19,88	22,35	21,47
	80–100	20,63	24,53	19,18	19,03	21,67	19,06
Фон + 1NPK	0–20	23,32	21,57	20,94	20,88	22,09	23,87
	20–40	20,71	28,02	22,07	22,53	22,91	23,55
	40–60	19,84	26,00	21,78	21,33	21,22	21,79
	60–80	17,63	25,43	20,60	18,56	19,74	16,91
	80–100	17,08	23,65	18,97	16,14	19,16	18,75
Фон + 2NPK	0–20	25,10	24,59	22,05	21,74	23,20	23,71
	20–40	21,71	27,76	23,22	20,40	24,51	21,07
	40–60	18,62	27,92	21,24	23,61	20,03	22,08
	60–80	16,93	25,27	20,20	17,25	22,35	21,26
	80–100	18,25	24,13	18,60	16,54	18,70	19,28
Фон + дефектат	0–20	21,28	26,01	22,05	19,21	23,30	23,76
	20–40	20,74	27,28	22,40	20,67	23,22	22,57
	40–60	20,63	27,45	20,88	21,18	25,88	20,52
	60–80	20,04	24,88	20,85	19,37	21,68	20,40
	80–100	19,48	20,55	22,49	17,62	20,48	21,26
Дефектат + 1NPK	0–20	17,99	24,87	22,14	21,33	24,01	21,00
	20–40	17,75	25,67	21,95	22,34	22,67	23,07
	40–60	21,49	25,26	22,40	21,07	22,97	23,50
	60–80	15,53	25,33	21,90	20,07	21,98	21,95
	80–100	16,61	24,71	19,79	19,18	21,73	20,27

Представляет интерес изменение величины ЕКО не только по годам наблюдений, но и по вариантам опыта. Емкость катионного обмена изменяется как по годам наблюдений, так и по вариантам опыта. Так, в пахотном слое контрольного варианта она изменяется в пределах 20,85–23,92 мг-экв/100 г почвы.

На варианте применения органической системы удобрения она изменяется в пределах 20,89–26,73 мг-экв/100 г почвы.

На вариантах применения органо-минеральной системы с одинарной и двойной дозами минеральных удобрений она варьирует в пределах соответственно 20,88–23,87 и 21,74–25,10 мг-экв/100 г почвы.

На вариантах внесения дефеката по органическому фону и с одинарной дозой минеральных удобрений она несколько ниже, чем на контроле и удобренных вариантах, и изменяется в пределах 19,21–26,01 и 17,99–24,78 мг-экв/100 г почвы. Но более низкая величина ЕКО на этих вариантах обусловлена более низкой величиной гидролитической кислотности, а ведь это, несомненно, великое благо для изучаемой почвы.

Следует отметить и интересную закономерность по амплитуде колебаний величины ЕКО на вариантах опыта. На варианте абсолютного контроля она составляет 3,07 мг-экв/100 г почвы, а на варианте применения органической системы удобрения она достигает 5,66 мг-экв/100 г почвы, т. е. самая высокая из удобренных вариантов. На вариантах применения органо-минеральной системы с одинарной и двойной дозой минеральных удобрений амплитуда колебаний ЕКО снижается соответственно до 2,99 и 4,36 мг-экв/100 г почвы.

На вариантах внесения дефеката по органическому фону и совместно с одинарной системой минеральных удобрений она выше – соответственно 6,80 и 4,79 мг-экв/100 г почвы.

Мы уже показали выше причину этого явления – влияние миграционных форм карбонатов. Насколько важен обсуждаемый вопрос? Необходимо отметить, ЕКО во многом зависит от содержания и состояния коллоидов почвы и вида катионов в поглощающем комплексе [2]. Ведь в исходном состоянии (1987 г.) ЕКО в пахотном слое была на уровне 33,78 мг-экв/100 г почвы. За 33 года мы отмечаем ее существенное уменьшение на всех вариантах опыта. В среднем по вариантам опыта она составила 22,22 мг-экв/100 г почвы, т. е. уменьшилась на 11,56 мг-экв/100 г почвы, или 34,22% относительно исходного состояния.

Если в исходном состоянии ЕКО исследуемой почвы, согласно приведенной в таблице 1 градации, соответствовала среднему уровню, то современное ее состояние соответствует умеренно низкому уровню. С чем же связано столь существенное снижение ЕКО? Как это было установлено [4], главной причиной является процесс декальцирования. Процесс этот продолжается, и последствие дефеката только частично компенсирует его. Наши исследования подтверждают это. Ведь если сравнить варианты с дефекатом, то явно видна общая закономерность. Средняя за наблюдаемый период величина ЕКО на вариантах контроля и с удобрениями составила соответственно 21,85; 22,49; 22,11 и 22,60 мг-экв/100 г почвы, т. е. применение органической и органо-минеральной систем удобрения незначительно повысило ЕКО. Но произошло это за счет уменьшения суммы обменных оснований и повышения гидролитической кислотности (см. табл. 6).

Представляет интерес характер изменения ЕКО по профилю. На контроле и удобренных вариантах он преимущественно элювиально-иллювиальный. На вариантах с дефекатом преобладает преимущественно прогрессивно убывающий или модальный тип. И конечно, на этих вариантах профиль изучаемой почвы менее дифференцирован по ЕКО. Тот факт, что ЕКО на вариантах с дефекатом несколько ниже, чем на контроле и удобренных вариантах, как это уже было отмечено выше, никак не свидетельствует о низкой эффективности дефеката. Более низкая величина на вариантах с дефекатом обусловлена очень низкой величиной гидролитической кислотности. Мы вновь отмечаем, что в исследуемый период дефекат не вносился, наблюдается его последствие. Ведь последний раз дефекат был внесен в 2005 году. Последствие дефеката проявляется в снижении всех видов кислотности, о чем убедительно свидетельствуют полученные нами данные.

Выводы

В качестве общего вывода мы можем сделать заключение о том, что применение органической и органоминеральной систем удобрения обуславливает подкисление изучаемой почвы, а последствие дефеката пока еще компенсирует его. Но практически на всех вариантах опыта уже наблюдается дефицит кальция, что обуславливает необходимость регулярного, один раз в ротацию севооборота, известкования. Полученные нами данные хорошо согласуются с выполненными ранее исследованиями ученых ВГАУ [10].

Библиографический список

1. Временные рекомендации по известкованию кислых почв в Центрально-Черноземном районе / В.П. Кулакова и др. – Воронеж, 1986. – 63 с.
2. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2018 году. – Москва : ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 340 с.
3. Дюшофур Ф. Основы почвоведения: эволюция почв (Опыт изучения динамики почвообразования) / Ф. Дюшофур. – Москва : Прогресс, 1970. – 591 с.
4. Крупеников И.А. История почвоведения (от времени его зарождения до наших дней) / И.А. Крупеников. – Москва : Наука, 1981. – 327 с.
5. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования. – Москва : Колос, 1973. – 98 с.
6. Осипов А.И. Известкование кислых почв в историческом аспекте / А.И. Осипов // Агрофизика от А.Ф. Иоффе до наших дней : сб. статей ; под общ. ред. И.Б. Ускова. – Санкт-Петербург : ООО Изд-во «Алфавит», 2002. – С. 275–289.
7. Полуэктов Е.С. Влияние антропогенной деятельности на свойства почв (учебное пособие) / Е.С. Полуэктов, В.В. Турулев. – Новочеркасск, 1995. – 118 с.
8. Снакин В.В. Состав жидкой фазы почв / В.В. Снакин, Н.А. Присяжная, О.В. Рухович. – Москва : Изд-во РЭФИА, 1997. – 325 с.
9. Стекольников К.Е. Карбонатно-кальциевый режим и гумусовое состояние черноземов лесостепи ЦЧЗ : автореф. дис. д-ра с.-х. наук : 03.02.13 / К.Е. Стекольников. – Воронеж, 2011. – 47 с.
10. Цуриков А.Т. Дефицит кальция в почвах как лимитирующий фактор получения высоких урожаев в условиях ЦЧЗ / А.Т. Цуриков // Эффективность применения удобрений и мелиорантов в почвах Центрально-Черноземной зоны : сб. статей. – Воронеж : Изд-во ВСХИ, 1986. – С. 94–97.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Дмитрий Игоревич Бережнов – аспирант кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: agrochimi@agronomy.vsau.ru.

Владислав Борисович Пименов – аспирант кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: agrochimi@agronomy.vsau.ru.

Константин Егорович Стекольников – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: agrochimi@agronomy.vsau.ru.

Гасанова Елена Сергеевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, зав. кафедрой агрохимии, почвоведения и агроэкологии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: upravlenieopm@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 22.08.2021

Дата принятия к печати 29.09.2021

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Dmitriy I. Berezhnov, Postgraduate Student, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh e-mail: agrochimi@agronomy.vsau.ru.

Vladislav B. Pimenov, Postgraduate Student, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: agrochimi@agronomy.vsau.ru.

Konstantin E. Stekolnikov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: agrochimi@agronomy.vsau.ru.

Elena S. Gasanova, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: upravlenieopm@mail.ru.

Received August 22, 2021

Accepted after revision September 29, 2021