

## О КАЛЬЦИЕВОМ РЕЖИМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ РАЗНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РЕГИОНА

И.Н. Донских<sup>1</sup>, д.с.-х.н., Аирам Мазен Джумах<sup>1</sup>, к.с.-х.н., Н.Г. Мязин<sup>2</sup>, д.с.-х.н., К.Е. Стекольников<sup>2</sup>, д.с.-х.н., Т.В. Родичева<sup>1</sup>, к.с.-х.н., 1. Санкт-Петербургский ГАУ, 2. Воронежский ГАУ

Показано, что сельскохозяйственное использование чернозема выщелоченного без применения удобрений способствует заметному снижению содержания обменного кальция и увеличению доли силикатных соединений кальция. Применение органических и минеральных удобрений приводило к дальнейшим потерям обменного кальция и возрастанию доли силикатных и карбонатных соединений этого элемента. Использование дефеката не повлияло на соотношение двух основных форм соединений кальция.

**Ключевые слова:** выщелоченный чернозем, система удобрения, кальций, дефекат, Центрально-Черноземный регион.

Кальций в черноземных почвах представлен в основном силикатными, карбонатами и водорастворимыми соединениями. При сельскохозяйственном освоении земель изменяются направление и интенсивность миграции химических элементов (Ильин, 1973; Ковда, 1973). В связи с этим большой теоретический и практический интерес представляет изучение направленности геохимических процессов, протекающих в почвенной толще, в условиях интенсивного сельскохозяйственного использования. В работах ряда авторов (Щеглов, 1999; Щербаков, Васенев, 2000) подчеркивается, что черноземы, несмотря на свое природное совершенство, неизбежно эволюционируют под воздействием естественных и антропогенных факторов. Основу устойчивости почвы как элемента структуры и функционирования биосферы, по определению В.А. Ковды (1973), составляют исторически сложившиеся биохимические циклы и потоки вещества и энергии, которые остаются неизменными при антропогенном воздействии.

Цель наших исследований – изучить влияние различных систем удобрения на содержание и формы соединений кальция в выщелоченном черноземе.

**Методика.** Исследования проводили на основе длительного стационарного опыта, заложенного в 1987 г. на опытном поле кафедры агрохимии Воронежского ГАУ. Опыт состоит из 15 вариантов, в программу исследований включены 6 вариантов: 1 – контроль, без удобрений; 2 – фон – 40 т/га навоза за ротацию севооборота, или 6,6 т/га ежегодно; 3 – фон +  $N_{60}P_{60}K_{60}$  ежегодно; 4 – фон +  $N_{120}P_{120}K_{120}$  ежегодно; 5 – фон + дефекат, 28 т/га, внесенный один раз за ротацию севооборота; 6 – дефекат +  $N_{60}P_{60}K_{60}$  ежегодно. Для сравнения исследовали целинную черноземную почву, участок которой непосредственно примыкает к опытному полю. Опыт заложен в 4-кратной повторности. Возделывали следующие культуры севооборота: пар чистый – озимая пшеница – сахарная свекла – викоовсяная смесь (однолетние травы) – озимая рожь – яч-

мень. Все сельскохозяйственные культуры в севообороте выращивают с учетом агротехнических требований для условий Воронежской области. Минеральные удобрения вносили ежегодно в соответствующих дозах НРК. Применяли аммиачную селитру, двойной суперфосфат, калий хлористый. Навоз вносили один раз в шесть лет в чистом пару под озимую пшеницу. Отбор образцов проведен в 2005 г.

Почва опыта – выщелоченный чернозем, средняя мощность гумусового горизонта 65 см, гранулометрический состав – тяжелосуглинистый крупнопылевато-иловатый с содержанием ила по профилю 33-35%. Почва имеет средне- и слабокислую реакцию среды. Степень насыщенности основаниями высокая – 83-90 %. Содержание гумуса изменяется от 4,21 % в слое 0-20 см до 2,06 % в горизонте 60-80 см.

В таблице 1 приведены данные валового содержания кальция в профиле изучаемых почв. Из неё видно, что содержание кальция в почве контрольного варианта колеблется по профилю в пределах 0,8-1,0 %, при этом в слое 20-40 см содержание этого элемента снижается до 0,8 %, ниже по профилю оно постоянно и равно 1,0 %.

**1. Валовое содержание кальция (СаО) в выщелоченном черноземе при длительном применении удобрений, %**

Глубина, почвы см	Целина	Контроль (бу)	Фон-40 т/га навоза	Фон + $N_{60}P_{60}K_{60}$	Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$	Фон + дефекат	Дефекат + $N_{60}P_{60}K_{60}$	HCP <sub>05</sub>
0-20	0,5	1,0	1,0	1,0	0,8	1,5	1,2	0,16
20-40	0,6	0,8	0,8	0,6	1,0	1,2	1,0	0,07
40-60	0,6	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	0,8	0,06
60-80	0,5	1,0	1,2	1,0	1,2	1,2	0,8	0,08
80-100	0,8	1,0	1,0	0,8	1,0	1,2	0,5	0,07
HCP <sub>05</sub>	0,05	0,18	0,10	0,05	0,07	0,07	0,05	

В почве фонового варианта содержание кальция подвержено значительно большим колебаниям: в слое 0-20 см его количество 1,0 %, в слое 20-60 см оно снижается до 0,8, а к 60-80 см увеличивается до 1,2 %. В самом нижнем слое (80-100 см) обеспеченность кальцием становится такой же, как в слое 0-20 см, т.е. 1,0 %. В варианте «фон+ $N_{60}P_{60}K_{60}$ » распределение кальция по профилю также носит элювиально-иллювиальный характер, но в отличие от фонового варианта, мощность элювиального горизонта (20-40 см) резко снижена. Отчетливо выделяется иллювиальный горизонт 40-80 см с содержанием кальция 1,0 %. В варианте «фон +  $N_{120}P_{120}K_{120}$ », элювиальный горизонт по отношению к кальцию охватывает

верхний 40-сантиметровый слой, содержание Са в котором снижено до 0,8 %. Иллювиальный горизонт начинается с глубины 40 см и заканчивается на глубине 80 см. Таким образом, в трех из четырех вариантов опыта наблюдается отчетливое элювиально-иллювиальное распределение соединений кальция по почвенному профилю.

Содержание кальция в целинном черноземе характеризуется более низкими показателями. Так, в слое 0-20 см оно равно 0,7 % и только в горизонте 80-100 см обеспеченность кальцием достигает 1,0%. Совершенно иная картина в содержании и распределении кальция в почве наблюдается там, где вносили дефекат. Так, в верхнем слое почвы на варианте «фон + дефекат» содержание кальция равно 1,5 %, к слою 40-60 см содержание Са снижается до 1,0 %. Более высокое содержание кальция в профиле данной почвы обусловлено внесением дефеката – известьсодержащего мелиоранта.

В варианте «дефекат +  $N_{60}P_{60}K_{60}$ » содержание кальция в слое 0-20 см снижено до 1,2% и с глубиной постепенно уменьшается. В профиле почвы данного варианта, когда ежегодно

вносились минеральные удобрения, отмечено усиление процесса миграции соединений кальция в нижележащие горизонты.

Количественные характеристики влияния разных систем удобрения на распределение кальция по профилю почв представлены в таблице 2. Выявлено, что, в почве контрольного варианта валовые запасы кальция в слое 0-20 см равны 24 т/га в пересчете на СаО. В слое почвы 20-40 см этого варианта они снижаются до 20 т/га, а с глубины 40 см и до 1 м запасы кальция возрастают, соответственно, до 26, 27 и 28 т/га. Общие валовые запасы кальция в метровом слое составляют 125 т/га. В почве фонового варианта запасы кальция в слое 0-20 см такие же, как в контрольном варианте – 24 т/га. Однако в почве фонового варианта наблюдается увеличение мощности элювиального горизонта до 20-60 см, запасы Са в котором составляют, соответственно слоям, 20,0 и 20,8 т/га. В слое почвы 80-100 см запасы кальция составляют 28,0 т/га, а суммарные запасы Са в метровом слое – 125,2 т/га.

**2. Основные группы соединений кальция в выщелоченном черноземе при длительном применении удобрений и дефеката, т/га СаО**

Глубина почвы, см	Целина			Контроль			Фон			Фон + $N_{60}P_{60}K_{60}$			Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$			Фон + дефекат			Дефекат + $N_{60}P_{60}K_{60}$		
	Об-мен-ный	Сили-кат-ный	Всего	Об-мен-ный	Сили-кат-ный	Всего	Об-мен-ный	Сили-кат-ный	Всего	Об-мен-ный	Сили-кат-ный	Всего	Об-мен-ный	Сили-кат-ный	Всего	Об-мен-ный	Сили-кат-ный	Всего	Об-мен-ный	Сили-кат-ный	Всего
0-20	14,3	2,5	16,8	12,2	11,8	24,0	9,5	14,5	24,0	9,8	14,2	24,0	7,8	11,4	19,2	10,6	25,4	36,0	9,5	19,3	28,8
20-40	13,9	6Д	20,0	12,2	7,8	20,0	9,5	10,5	20,0	10,2	4,8	15,0	6,7	13,3*	20,0	11,4	18,6	30,0	10,2	14,8	25,0
40-60	13,4	7,4	20,8	11,4	15,6	20,6	9,0	11,8	20,8	8,8	17,2	26,0	8,2	17,8	26,0	8,4	17,6	26,0	8,6	12,2	20,8
60-80	13,8	5,1	18,9	10,4	16,6	27,0	ooo, o	23,6	32,4	8,2	18,8	27,0	7,6	24,8	32,4	8,3	24,1	32,4	8,7	12,9	21,6
80-100	13,9	14,1	28,0	7,5	20,5	28,0	8,9	19,1	28,0	8,0	14,4	22,4	7,0	21,0	28,0	7,9	25,7	33,6	8,2	5,8	14,0
0-50	35,0	12,3	47,2	30,1	27,4	57,0	23,5	30,9	54,4	24,4	27,6	52,0	18,6	33,6	52,2	26,2	52,8	79,0	24,0	40,2	64,2
50-100	34,5	22,9	57,3	23,6	44,9	68,0	22,2	48,6	70,8	20,6	41,8	62,4	18,8	54,7	73,5	20,4	58,6	79,0	21,2	24,8	46,0
0-100	69,3	35,2	104,5	53,7	71,3	125,0	45,7	79,5	125,2	45,0	69,4	114,4	37,4	88,3	125,7	46,6	111,4	158,0	45,2	65,0	110,2

В почвах вариантов в условиях применения органоминеральной системы удобрения (фон +  $N_{60}P_{60}K_{60}$  и фон +  $N_{120}P_{120}K_{120}$ ), распределение запасов кальция по профилю существенно отличается от такого распределения в почвах предыдущих вариантов опыта. Так, в слое почвы 0-20 см на варианте «фон +  $N_{60}P_{60}K_{60}$ » аккумулируется 24 т/га СаО, в слое 20-40 см запасы Са снижались до 15 т/га СаО, а в последующих слоях 40-60 и 60-80 см уровень аккумуляции соединений кальция возрастал, соответственно, до 26,0 и 27 т/га. В слое почвы 0-100 см суммарные запасы Са уменьшились по сравнению с фоновым вариантом почти на 11 т/га СаО. В варианте с совместным применением органических и минеральных удобрений (фон +  $N_{120}P_{120}K_{120}$ ) в горизонтах 0-20 и 20-40 см запасы кальция распределились поровну. Это указывает на то, что выщелачивание соединений кальция наиболее интенсивно протекает в этих слоях почвы. Наибольшее содержание соединений кальция в этом варианте отмечено в слое 60-80 см и составляет 32,4 т/га СаО, на глубине 80-100 см они снижаются до 28,0 т/га, при этом суммарные запасы кальция остаются на уровне контрольного и фонового вариантов – 125,6 т/га.

В почвах вариантов, в которых испытывали дефекат (фон + дефекат) в слое 0-20 см аккумулируется наибольшая масса кальция – 36 т/га, в горизонтах 20-40 и 40-60 см запасы кальция снижаются, соответственно, до 30,0 и 26,0 т/га. В то же время необходимо отметить, что эти запасы более высокие, чем в этих же слоях почв других вариантов опыта. В иллювиальном горизонте 60-100 см запасы Са по слоям составляют, соответственно, 32,4 (в слое 60-80 см) и 33,6 т/га (в слое 80-100 см). Более высокое содержание соединений кальция по слоям профиля почв обусловлено прежде всего дополнительным его поступлением с дефекатом.

В почве варианта «дефекат +  $N_{60}P_{60}K_{60}$ » в слое 0-20 см отмечено максимальное накопление кальция – 28,8 т/га СаО. В профиле почвы данного варианта нет отчетливо выраженного иллювиального горизонта в аккумуляции кальция. Самый низкий уровень аккумуляции этого элемента определяется в слое почвы 80-100 см. Возможная причина такого распреде-

ления – ежегодное внесение минеральных удобрений, обуславливающее подкисление почвы, и, следовательно, возможный перевод обменного  $Ca^{2+}$  и карбоната Са в водорастворимое состояние с последующей миграцией этих соединений за пределы метровой толщ.

Запасы кальция в целинной почве в метровой толще составляли 104 т/га, что на 21 т/га меньше в сравнении с контрольным, фоновым вариантами и на 52 т/га меньше, чем в варианте «фон + дефекат». Только в почвах вариантов «фон +  $N_{60}P_{60}K_{60}$ » и «дефекат +  $N_{60}P_{60}K_{60}$ » запасы Са в слое 0-100 см составляли, соответственно, 114 и 110 т/га, что сопоставимо с запасами в целинном черноземе.

В таблице 2 приведены данные о соотношении основных групп соединений кальция в почвах изучаемых вариантов опыта. Данные о запасах обменного катиона взяты из работы Ашрам Мазен Джумах [5], в которой содержатся показатели запасов его в тех же вариантах опыта. Как видно из этой таблицы, запасы обменного кальция в целинном черноземе значительные и колеблются по слоям - от 13,4 до 14,3 т/га СаО. В корнеобитаемом (0-50 см) слое они составляют 35 т/га. Примерно такое же количество обменного катиона аккумулируется в слое 50-100 см. Запасы кальция в метровой толще целинного чернозема составляют 69,3 т/га. Отметим, что в целинном черноземе запасы силикатных соединений кальция в слое 0-20 см существенно меньше и не превышают 2,5 т/га СаО. Начиная с глубины 20 см, содержание этих соединений Са постепенно возрастает и к глубине 80-100 см достигает 14,1 т/га СаО.

В почве контрольного варианта количество обменного кальция меньше в сравнении с целинным черноземом, разница составляет – 2-3 т/га СаО, в слое 80-100 см она увеличивается до 6,4 т/га. В метровой толще запасы обменного  $Ca^{2+}$  почвы контрольного варианты равны 53,7 т/га СаО, что меньше в сравнении с целинным черноземом на 15,6 т/га. Доля силикатных соединений Са в почве этого варианта существенно больше, особенно высокий уровень аккумуляции этих соединений Са отмечается в слоях 40-60, 60-80 и 80-100 см, соответственно, 15,6; 16,6; 20,5 т/га СаО. В метровом слое

уровень аккумуляции силикатных соединений Са достигает 71,3 т/га СаО, что в 2 раза выше, чем в слое 0-100 см целинного чернозема.

В почве фонового варианта наблюдаются дальнейшее уменьшение количества обменного  $\text{Ca}^{2+}$  и возрастание запасов силикатных соединений Са. В почве варианта «фон +  $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ » запасы обменного  $\text{Ca}^{2+}$  и его силикатных соединений на уровне фонового варианта, наименьшее количество обменного  $\text{Ca}^{2+}$  наблюдается в почве варианта «фон +  $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$ ». Количество соединений Са по слоям изменяется в незначительных пределах – от 6,7 до 8,2 т/га СаО. В метровой толще эти соединения Са составляют 37,4 т/га. Отметим, что в этой почве очень высокие запасы силикатных соединений Са, в метровом слое они составляют 88,3 т/га.

В почвах при внесении дефеката, аккумуляция обменного катиона Са достаточно высока, особенно в слоях 0-20 и 20-40 см: в почве варианта «фон + дефекат» в этих слоях она составляет, соответственно, 10,6 и 11,4 т/га СаО. Ниже по профилю запасы обменного кальция примерно такие же, какими они были в этих слоях почв вариантов с органоминеральными системами удобрения – 7,9-8,4 т/га. В метровой толще количество силикатных соединений Са наибольшее среди всех вариантов опыта и составляет 111,4 т/га.

В варианте, где дефекат применяли в сочетании с минеральными удобрениями, наблюдается достаточно высокая аккумуляция кальция в виде обменного катиона – в слоях 0-20 и 20-40 см, соответственно, 9,5 и 10,2 т/га СаО. В других слоях запасы катиона мало изменяются и примерно такие же, как в предыдущем варианте опыта – 8,2-8,7 т/га. Силикатные соединения кальция аккумулируются в почве данного варианта в значительно меньших количествах – 65 т/га – в слое 0-100 см. Наряду с анализом данных об абсолютных запасах двух групп соединений кальция, установлены их относительные доли в общей массе кальция. Эти данные представлены на рисунке.

Как видно, в целинном черноземе масса обменного  $\text{Ca}^{2+}$  в суммарных запасах его соединений составляет в слое 0-20 см 85%, а доля других соединений Са – около 15%. В почве контрольного варианта доля массы обменного Са снижается до 50-61% в слоях 0-20, 20-40 и 40-60 см. Соответственно, увеличивается относительное количество силикатных и карбонатных соединений Са. В почве фонового варианта относительная доля обменного  $\text{Ca}^{2+}$  существенно уменьшается, как в сравнении с целинным черноземом, так и с почвой контрольного варианта. Масса обменного  $\text{Ca}^{2+}$  колеблется по профилю в пределах 27-47%. Преобладающей формой нахождения кальция (53-73%) в почве этого варианта являются силикатные и карбонатные соединения.

В почве варианта «фон +  $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ » по слоям профиля доля обменного кальция изменяется от 30 до 41%. В варианте с органоминеральной системой удобрения «фон +  $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$ » доля обменного кальция уменьшается до 23,4-40%, здесь преобладают силикатные соединения Са.

Аналогичная закономерность выявлена в варианте «фон + дефекат», где запасы обменного  $\text{Ca}^{2+}$  в почве снижаются до 23,5-32,3% от общей массы кальция, аккумулированной в профиле данной почвы. В почве варианта с внесением дефеката на фоне минеральных удобрений доля обменного Са в преобладающей части профиля возросла до 40%.

Сельскохозяйственное использование чернозема без применения удобрений приводит к заметному снижению массы

обменного кальция и возрастанию относительной доли его силикатных соединений. Применение органических и минеральных удобрений приводило к дальнейшему снижению относительного количества обменного  $\text{Ca}^{2+}$  и возрастанию доли силикатных и карбонатных соединений этого элемента. Использование дефеката не устраняет это соотношение двух главных групп соединений кальция.

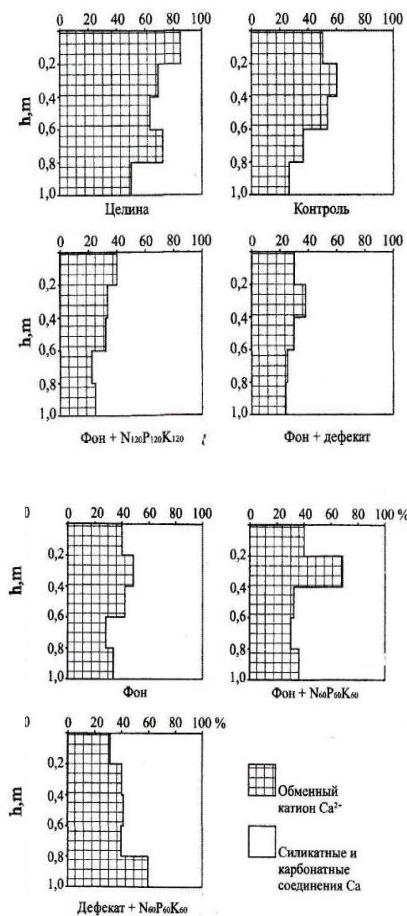


Рис. Относительное содержание основных групп соединений кальция в выщелоченном черноземе

#### Литература

1. Ильин В.Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов (Мп, Си, Мо, В) в южной части Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1973. – 392 с.
2. Ковда В.А. Основы учения о почвах, Кн. 2. – М: Наука, 1973. – 468 с.
3. Щеглов Д.И. Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов. – М: Наука, 1999. – 214.
4. Щербakov А.П., Васенев И.И. Русский чернозем на рубеже веков. Антропогенная эволюция черноземов. – Воронеж, ВГУ, 2000. – 412 с.
5. Ашрам Мазен Джумах. Особенности формирования физико-химических и агрохимических свойств выщелоченного чернозема при длительном применении различных систем удобрения в условиях Центрального Черноземного Района//Диссерт. на соиск. уч. степени к.с.-х.н. – СПб, 2008. – 312 с.

#### Calcium status of leached chernozem at the long-term application of different fertilizing systems in the Central Chernozemic zone

I.N. Donskikh<sup>1</sup>, Ashram Mazen Jumah<sup>1</sup>, N.G. Myazin<sup>2</sup>, K.E. Stekol'nikov<sup>2</sup>, T.V. Rodicheva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoe sh. 2, Pushkin, St. Petersburg, 196601 Russia

<sup>2</sup>Vorontzh State University, ul. Michurina 1, Voronezh, 394087 Russia

It was shown that the agricultural use of leached chernozem without fertilization favored an appreciable decrease in the content of exchangeable calcium cation and an increase in the proportion of calcium silicate compounds. The application of organic and mineral fertilizers resulted in a further decrease in the relative content of exchangeable calcium cations and an increase in the portion of calcium silicate and carbonate compounds. The use of defecate had no effect on the proportions of two main forms of calcium compounds.

Keywords: leached chernozem, fertilizing systems, calcium, defecate, Central Chernozemic zone.

