

СЕРА В ЗЕМЛЕДЕЛИИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

**В.И. Панасин, д.с.-х.н., Калининградский ГТУ, ЦАС «Калининградский»,
С.И. Новикова, к.б.н., Д.А. Рымаренко, к.б.н., ЦАС «Калининградский»**

Рассмотрены закономерности накопления валовой серы в почвах агроландшафтов Калининградской области. Выявлена зависимость количества серы от генезиса почв и содержания органического вещества. Дана оценка обеспеченности почв земель сельскохозяйственных угодий подвижной серой. Установлена зависимость содержания сульфатной серы от агрохимических свойств почв. Приведена динамика содержания подвижной серы в пахотных горизонтах почв на реперных участках. Показано, что вследствие сокращения потока серы из атмосферы в почву складывается отрицательный баланс сульфатов в почвах земель сельскохозяйственных угодий.

Ключевые слова: почвы, валовая сера, подвижная сера, баланс.

Сера – эссенциальный элемент для всех живых организмов. Потребности выращиваемых растений и содержание в них серы зависят от видовых и сортовых особенностей культуры. Наиболее нуждаются в сере растения семейств крестоцветных и лилейных, наименее – злаковых. Пасленовые и бобовые культуры занимают промежуточное положение.

Источниками серы для растений являются атмосферный воздух и почва. Растения способны усваивать диоксид серы из воздуха, однако высокие концентрации сернистых соединений в воздухе токсичны для растений. Кроме того, вследствие невысокого содержания серы в атмосфере в агроландшафтах преобладает, как правило, корневое питание.

Сера имеет переменную валентность, что определяет многообразие форм нахождения ее в почвообразующих породах и почвах. Вариабельность валового содержания серы в почвообразующих породах Калининградской области достаточно высокая [1, 4, 5]. В целом валовое содержание серы в почвообразующих породах региона, за исключением карбонатных озерно-ледниковых отложений, ниже кларка литосферы [1].

Для изучения закономерностей поведения серы в различных звеньях агроэкосистем специалистами агрохимической службы было отобрано свыше 20 тыс. почвенных образцов. В выборке представлены все почвенные разновидности. Отбор образцов проводили по гостированной методике. В образцах определяли все агрохимические показатели по общепринятым методикам.

На накопление серы в почвах сельскохозяйственных угодий влияют генезис почв, способ и интенсивность их эксплуатации, содержание и состав органического вещества, кислотно-основные свойства, водно-воздушный режим и другие факторы. В окультуренных дерново-подзолистых почвах отмечается выраженная аккумуляция валовой серы в пахотном горизонте. В дерновых глеевых и перегнойно-глеевых почвах как под естественной растительностью, так и под сельскохозяйственными угодьями максимум содержания серы в верхних горизонтах, при этом в перегнойных горизонтах валовое содержание серы существенно выше, чем в дерновых [2]. Распределение валовой серы в аллювиальных дерновых и аллювиально-болотных почвах более равномерное, чем в дерново-подзолистых и дерновых глеевых, максимум концентрации элемента в гумусированной части профиля выражен, как правило, нерезко [2]. В некоторых случаях максимум содержания серы отмечается в нижней части почвенного профиля. В аллювиально-болотных почвах распределение валовой серы тесно коррелирует с содержанием органического вещества.

Растения способны усваивать из почвы серу как в форме сульфата, так и в составе низкомолекулярных неспецифических органических соединений [3]. Так как концентрация

последних в корнеобитаемых горизонтах, как правило, достаточно низкая, то на практике оценку обеспеченности почв серой проводят по концентрации сульфата. Принята следующая градация обеспеченности почв подвижной серой: низкая – менее 6 мг/кг, средняя – 6–12, высокая – более 12 мг/кг.

В дерново-подзолистых почвах Калининградской области обычно наблюдается относительно слабо выраженный максимум содержания сульфатов в нижней части профиля. В аккумулятивных горизонтах содержание сульфатов несколько меньше, так как они достаточно интенсивно поглощаются корневыми системами растений в вегетационный период и вымываются в нижние горизонты в холодное время года. Аллювиальные болотные почвы характеризуются выраженной аккумуляцией сульфатов в срединных горизонтах профиля. Снижение концентрации подвижной серы в гумусовых горизонтах связано, вероятно, с активным биологическим поглощением, в нижних – с восстановлением сульфатов до сульфидов.

Содержание сульфатной серы в верхних горизонтах торфяных низинных почв варьирует в широких пределах. При эффективной работе мелиоративных систем и преобладании аэробных условий содержание сульфатов возрастает, однако после выпадения обильных осадков оно снижается. При развитии анаэробных процессов минерализация органического вещества затормаживается, вследствие чего содержание сульфатов резко падает.

Исследованиями установлена близкая к прямолинейной положительная корреляционная зависимость между содержанием сульфатной серы и органического вещества в пахотных горизонтах дерново-подзолистых окультуренных почв [9]. Однако с увеличением содержания органического вещества подвижность серы несколько снижается, так как растет доля серы, входящей в молекулы специфических гумусовых веществ, а также усиливается биологическое поглощение серы почвенной микрофлорой. Гранулометрический состав также влияет на накопление сульфатов. Установлен некоторый рост содержания сульфатов при утяжелении гранулометрического состава, однако влияние этого фактора на накопление подвижной серы относительно невелико. Вероятно, адсорбция сульфатов на илистых и коллоидных частицах незначительна вследствие отрицательного заряда тонкодисперсных частиц. Некоторое увеличение концентрации сульфатов в средне- и тяжелосуглинистых почвах связано, возможно, с повышенной емкостью поглощения.

Сульфат-ион не образует нерастворимых соединений с присутствующими в почвенном поглощающем комплексе катионами в широком интервале pH. Однако по мере нейтрализации реакции почв наблюдается тенденция к возрастанию содержания сульфатной серы. При нейтрализации почвенных растворов возрастает активность гетеротрофных микроорганизмов, минерализующих гумусовые вещества. При этом сера частично включается в состав микробной биомассы, а частично переходит в почву в форме сульфата. Исследования показали, что в диапазоне pH_{KCl} 4,1–6,0 возрастание pH на 0,1 ед. увеличивает содержание серы в гумусово-аккумулятивных горизонтах на 0,18 мг/кг [9].

Территория Калининградской области неоднородна по геоморфологическим условиям, что вызывает пространственное варьирование содержания сульфатной серы в почвах (табл.).

Содержание подвижной серы в почвах Калининградской области, %

Район	Обеспеченность подвижной серой		
	Низкая	Средняя	Высокая
Багратионовский	40,8	39,6	19,6
Гвардейский	44,9	29,1	26,0
Гурьевский	36,3	27,6	36,1
Гусевский	35,1	44,8	20,1
Зеленоградский	39,2	40,4	20,4
Краснознаменский	34,4	36,3	29,3
Неманский	33,2	58,5	8,3
Нестеровский	46,7	37,3	16,0
Озерский	33,7	50,7	15,6
Полесский	32,2	57,6	10,2
Правдинский	43,8	24,6	31,6
Славский	31,4	15,9	52,7
Черняховский	37,8	35,4	26,8
По области	37,8	36,6	25,6

Определение содержания сульфатной серы в гумусовом горизонте почв ежегодно проводится на участках локального мониторинга с 1994 г. При закладке реперных участков среднее количество серы составляло $8,4 \pm 1,2$ мг/кг. Через 20 лет зафиксировано снижение содержания сульфатной серы до $6,3 \pm 0,8$ мг/кг. Разница статистически достоверна на 1%-ном уровне значимости. Содержание серы снижалось относительно равномерно вне зависимости от типа и гранулометрического состава почвы. Вместе с тем, на большинстве мониторинговых участков отмечалась сравнительно высокая вариабельность данного показателя. Причины этого явления - межгодовое варьирование тепло- и влагообеспеченности, а также особенности серы как химического элемента.

Для установления причин снижения содержания сульфатной серы в гумусово-аккумулятивных горизонтах почв целесообразно рассмотреть баланс сульфатов. К приходным статьям баланса относится поступление серы с атмосферными осадками, с минеральными удобрениями, а также при минерализации пожнивно-корневых остатков и органических удобрений. Расходные статьи включают отчуждение сульфатов с урожаем, иммобилизацией в процессе гумификации, вымыванием в нижележащие горизонты и за пределы почвенного профиля, а также в отдельных случаях потери при сульфатредукции.

Особенности серы как химического элемента, в частности существование относительно устойчивых в условиях гипергенеза ее летучих соединений, обуславливают высокую интенсивность ее биогеохимического круговорота. В атмосферу соединения серы поступают с вулканическими газами, с образующимися в ходе сульфатредукции сероводородом, с водяной пылью. Крупнейшим источником серы в последние десятилетия стал антропогенный выброс в ходе сжигания ископаемого топлива, а также работы металлургических, химических и нефтехимических предприятий [8]. Основная часть техногенных выбросов приходится на SO_2 [10]. В атмосфере сернистый газ частично окисляется до серного ангидрида SO_3 , который легко взаимодействует с водой с образованием серной кислоты.

Поглощение почвой и растениями серы из атмосферы можно оценить по концентрации сульфатов в осадках. Исследованиями, проведенными в регионе в середине девяностых годов прошлого века, установлено варьирование концентрации их от 3,1 до 37 мг/л [9]. В снеговой воде в 1996 г. концентрация сульфата составила $11,2 \pm 2,8$ мг/л. Расчеты показали, что поступление сульфата со снеговой водой равно 6,8 кг/га. По литературным данным, в европейской части России поступление серы с атмосферными осадками составляет 5 – 10 кг/га [8, 11].

На территории Калининградской области крупнейшими источниками выбросов сульфатов в атмосферу до середины девяностых годов прошлого столетия были целлюлозно-бумажные предприятия. Существенную роль в загрязнении играл трансграничный перенос сернистых соединений [7]. После закрытия ЦБЗ и введения в Европейском союзе строгих экологических нормативов количество сульфатов в осадках значительно снизилось. Так, в 2013 г. содержание сульфатов в снеговой воде составило $1,72 \pm 1,67$ мг/л. В дождевой воде концентрация сульфата была $5,0 \pm 2,7$ мг/л. Таким образом, в последние десятилетия поступление серы в почвы существенно снизилось.

Оценка баланса сульфатной серы в гумусово-аккумулятивных горизонтах почв сельскохозяйственных угодий Калининградской области показала, что в период интенсивной химизации земледелия (1976-1985 гг.) сальдо баланса превышало 8 кг/га, но уже в 1991-1995 гг. приход и потери сульфатов были уравновешены. Во второй половине 90-ых годов прошлого века сложился отрицательный баланс серы [9]. В последние 20 лет дефицит серы существенно вырос за счет сокращения применения органических удобрений, значительного расширения посевов крестоцветных культур (озимый и яровой рапс) и существенного снижения интенсивности притока сульфатов из атмосферы.

Аналогичная картина наблюдается во многих областях европейской части России. Так, в Московской области средневзвешенное содержание сульфатной серы к 2000 г. уменьшилось на 25% [6], еще более существенное снижение зафиксировано в Белгородской области [8].

Таким образом, более половины почв сельскохозяйственных угодий Калининградской области недостаточно обеспечены сульфатной серой. Снижение объемов применения средств химизации земледелия и уменьшение потока серы из атмосферы в почву обусловило отрицательный баланс сульфатов в почвах агроландшафтов. Усиливающийся ежегодный дефицит серы - наиболее актуальная проблема земледелия. Без дополнительного внесения серосодержащих удобрений в Калининградской области невозможно эффективное возделывание таких интенсивных культур, как озимый и яровой рапс.

Литература

1. Анциферова, О.А. Геохимия элементов в почвах Замландского полуострова / О.А. Анциферова. – Калининград: КГТУ, 2013. – 222 с.
2. Анциферова, О.А. Почвы Замландского полуострова и их антропогенное изменение. Ч. II. Дерново-глеевые, аллювиальные, болотные, постпланировочные, городские почвы. Структура почвенного покрова / О.А. Анциферова. – Калининград: КГТУ, 2008. – 423 с.
3. Аристархов, А.Н. Агрохимия серы / А.Н. Аристархов. – М., 2007. – 272 с.
4. Важен, И.Г. Агрохимическая характеристика почв / И.Г. Важен, В.И. Белякова // Агрохимические работы в Калининградской области. – М., 1959. – С. 40-70.
5. Завалишин, А.А. Почвенный покров Калининградской области / А.А. Завалишин, Б.В. Надеждин // Почвы Калининградской области. – М., 1961. – С. 5-130.
6. Курганова, Е.В. Плодородие и продуктивность почв Московской области / Е.В. Курганова. – М., 2002. – 320 с.
7. Лукин, С.В. Агроэкологическое состояние почв Белгородской области / С.В. Лукин. – Белгород, 2008. – 176 с.
8. Лукин, С.В. Агроэкологическое состояние и продуктивность почв Белгородской области / С.В. Лукин. – Белгород, 2011. – 302 с.
9. Панасин, В.И. Сера и урожай / В.И. Панасин, В.Д. Слобожанинова, Н.В. Лопатина. – Калининград: КГТУ, 1999. – 150 с.
10. Садовникова, Л.К. Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении: учеб. пособие. – 3-е изд., перераб. / Л.К. Садовникова, Д.С. Орлов, И.Н. Лозановская. – М., 2006. – 334 с.
11. Шеуджен, А.Х. Удобрения, почвенные грунты и регуляторы роста растений / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, В.В. Прокопенко. – Майкоп, 2005. – 404 с.

SULFUR IN THE AGRICULTURE OF KALININGRAD OBLAST

V.I. Panasin^{1,2}, S.I. Novikova², D.A. Rymarenko²

1 Kaliningrad State Technological University, Sovetskii pr. 1, Kaliningrad, 236022 Russia, 2Kaliningradskii Center of Agricultural Service, st. Molodoi Gvardii 4, Kaliningrad, 236038 Russia, e-mail: agrohim_39@mail.ru

The accumulation features of total sulfur in soils of agricultural landscapes of the Kaliningrad region were considered. Dependence of sulfur content on soil genesis and organic matter content was revealed. The supply of agricultural lands with mobile sulfur was estimated. The dependence of sulfate sulfur content on the agrochemical properties of soils was established. The dynamics of mobile sulfur in plow soil horizons of reference plots was determined. It was shown that a negative balance of sulfates develops in soils of agricultural lands due to the reduction in sulfur flow from the atmosphere into the soil.

Keywords: soil, total sulfur, mobile sulfur, balance.