

**Алексей Аристархов,**

*доктор биологических наук,*

*главный научный сотрудник лаборатории оценки эффективности*

*удобрений Всероссийского научно-исследовательского*

*института агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, г. Москва*

## **СЕРА В АГРОЭКОСИСТЕМАХ РОССИИ: МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ В ПОЧВАХ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ**

**Цель настоящей работы состояла в анализе накопленного отечественными и зарубежными исследованиями теоретического и практического материала по эффективности применения серы в агроэкосистемах, а полученные выводы направить в русло совершенствования управления продукционным процессом растений. В статье аргументировано доказано, что сере как элементу питания необходимо уделять внимание при возделывании культур не меньшее, чем таким традиционным элементам, как азоту, фосфору и калию. Установлено, что в России более 90% обследованных пахотных почв недостаточно обеспечены подвижными формами серы. Ее содержание в почвах близко к критическому уровню – 6,3-6,4 мг/кг, а в целом ряде регионов – 1,5-2,0 мг/кг. Основными факторами такого неблагоприятного положения являются: невосполнение выноса серы из почв урожаями сельскохозяйственных культур; систематическое снижение плодородия почв, в том числе запасов гумуса и их подкисление; снижение общего уровня применения удобрений, в том числе органических; спад промышленного производства и ограничение газообразных выбросов предприятий по экологическим требованиям. В целях научно обоснованного применения серосодержащих удобрений**

**разработана более совершенная методика определения баланса серы и определен ее баланс как в целом по стране, так и по ее регионам. Установлена его напряженность и даже, в отдельных случаях, дефицитность, что дополнительно свидетельствует о необходимости целенаправленного применения серосодержащих удобрений. Разработаны методы определения доз серосодержащих удобрений, рекомендованы их оптимальные значения для основных сельскохозяйственных культур. Определена текущая и перспективная потребность земледелия в серосодержащих удобрениях не только по объему применения, но и в ассортименте с учетом их наиболее эффективного использования.**

### **S u m m a r y**

The aim of the work was to analyze theoretical and experimental data on the efficiency of sulfur application acquired by Russian and foreign researchers and to channel the drawn conclusions for improving the management of crop production. It was shown in a well-argued manner that sulfur, as a plant nutrient, should receive as much attention as such essential nutrients as nitrogen, phosphorus, and potassium. It was found that more than 90% of the surveyed arable soils in Russia are supplied with mobile forms of sulfur. Its content in soils is generally close to the critical level (6.3-6.4 mg/kg) and even decreases to 1.5-2.0 mg/kg in a number of regions. The main factors of this unfavorable situation are as follows: no compensation of sulfur removal from soils by agricultural crops; the regular decrease in soil fertility, including humus reserves, and soil acidification; the reduction of the general level of application of fertilizers, including organic ones; the decline in industrial production; and the limitation of gaseous emissions from enterprises in accordance with environmental requirements. For the scientifically based application of sulfur-containing fertilizers, an improved procedure of determining the sulfur balance was developed, and the balance of sulfur was determined for the entire country and separate regions. Stressed (and even deficient in some cases) sulfur balance was revealed, which also indicates that the targeted

application of sulfur-containing fertilizers is necessary. Methods were developed for determining the application rates of sulfur fertilizers, and their optimal values for the main agricultural crops were recommended. The current and future need of agriculture for the volume and range of sulfur-containing fertilizers was determined with consideration for their most efficient use.

**Ключевые слова:** *серы в питании растений, урожай и качество, мониторинг содержания в почвах, баланс, потребность земледелия, эффективность применения серы под сельскохозяйственные культуры.*

**Keywords:** *sulfur in plant nutrition, yield and quality, content monitoring in soils, balance, the needs of agriculture, the effectiveness of sulfur for crops.*

### **Введение**

Фундаментальные исследования агрохимиков, почвоведов и физиологов растений последних лет значительно расширили наши представления о многофункциональной роли серы в жизни растений и позволяют с наибольшей убедительностью определить, что систематическое и научно обоснованное применение серосодержащих удобрений – это неизбежная реальность современного высокопродуктивного земледелия.

Во многих работах достаточно четко доказано, что недостаток серы в агроценозах может быть одним из существенных факторов, ограничивающих продуктивность сельскохозяйственных культур [1-9], и серосодержащим удобрениям надо уделять не меньшее внимание, чем традиционным (NPK). Дефицит серы в агроэкосистемах обусловлен следующими причинами:

- высокий вынос серы с урожаями растений и его невосполнение применением соответствующих удобрений;
- наличием в стране большой доли пахотных почв низко обеспеченных органическим веществом, что сопровождается падением запасов серы;
- резкое снижение в последние годы объемов применения органических и минеральных удобрений, в том числе и серосодержащих;

- уменьшение поступления серы с атмосферными осадками из-за спада промышленного производства и экологических ограничений по выбросу газов на предприятиях.

В связи с динамичностью этих показателей в настоящее время особенно важно проводить постоянный мониторинг состояния содержания серы в почвах и растениях, осуществлять определение баланса серы в агросистемах и совершенствовать нормативную базу применения серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры.

**Цель и задачи** настоящей работы состоят в анализе накопленного отечественными и зарубежными исследователями теоретического и практического материала по эффективности применения серосодержащих удобрений и полученные выводы направить в русло совершенствования управления производственным процессом растений.

### **Роль и значение серы в питании растений**

Функции серы в жизни растений характеризуются большой агрохимической и физиологической значимостью для формирования высоких урожаев и получения товарного качества растительной продукции, повышения устойчивости растений к неблагоприятным условиям погоды и загрязнению среды и, что особенно важно, более эффективного использования средств химизации и плодородия почвы (рис.). Сера входит в состав белка. Она содержится в аминокислотах – цистине, цистеине и метионине. Кроме того, сера является составляющей некоторых растительных масел (горчичного, чесночного и др.), витаминов (тиамин и биотин), а также она входит в состав некоторых антибиотиков, в частности пенициллина.

Велика роль серы в таких важнейших процессах жизни растений, как дыхание, фотосинтез и первичная ассимиляция азота, а также в образовании растительных ферментов, гормонов, антибиотиков, горчичных глюкозидов и ряда макроэргических компонентов [8]. Сера активизирует жизнедеятельность клубеньковых бактерий, способствуя фиксации

атмосферного азота бобовыми растениями [3]. Во многих работах доказано, что сера улучшает использование растениями основных элементов питания из почв и из вносимых удобрений. Установлено, что дефицит серы в питательной среде тормозит восстановление и ассимиляцию азота растениями. Выявлено, что в растения сера поступает через корни в форме иона  $SO_4$ , а также поглощается листьями в виде  $SO_2$  из атмосферы. Причем за счет атмосферы может удовлетворяться более половины потребностей растений в этом элементе. Ассимиляция серы из воздуха зависит от биологических особенностей культур и обеспеченности почв этим элементом [6-8].

Недостаток или избыток серы в первую очередь проявляется на молодых листьях и точках роста. Обратное передвижение ее очень незначительно и поэтому она относится к трудно реутилизируемым элементам. В этом сера очень сильно отличается от фосфора. Недостаток серы у большинства растений имеет сходство с признаками недостатка азота, но при серном голодании он проявляется на молодых листьях (листья мелкие, стебли жесткие, рост растений ослабленный, окраска листьев равномерно бледно-зеленая). В сельскохозяйственной практике это часто приводит к ошибкам в диагнозе, завышению доз азотных удобрений, недобору урожаев и снижению качества продукции.

Установлено, что растения содержат неодинаковое количество серы и соответственно испытывают разную потребность в этом элементе (табл. 1).



**Рис. Основные функции серы в жизни растений [7]**

Различия в содержании и потреблении серы сельскохозяйственными культурами обусловлены, прежде всего, биологическими особенностями растений, стадий их развития, а также содержанием этого элемента в почве и атмосфере. Установлено, что культуры, относящиеся к семействам крестоцветных и лилейных, выносят с урожаями максимальное количество серы (до 100 кг/га и более), которое намного превышает вынос этого элемента другими культурами, например злаковыми (обычно не более 18 кг/га). По выносу серы на единицу сухого вещества ботанические семейства располагаются в следующий ряд: крестоцветные > лилейные > бобовые > маревые > злаковые, подсолнечник, картофель, овощные (табл. 2).

**Таблица 1**

**Содержание серы в растениях и вынос ее урожаями основных сельскохозяйственных культур [3]**

Культура	Вид продукции	Урожай основной продукции, ц/га	Содержание серы (S), % на сухое вещество	Общий вынос S урожаем, кг/га	Средний вынос S с урожаем 1 т основной и побочной продукции, кг
----------	---------------	---------------------------------	--	------------------------------	---

<b>Злаковые</b>					
Пшеница	Зерно	25,0-40,1	0,09-0,24	7,6-13,0	1,65
	Солома	-	0,09-0,23		
Ячмень	Зерно	25,5-35,8	0,07-0,26	7,7-14,9	1,65
	Солома	-	0,15-0,48		
Овес	Зерно	30,0-35,8	0,13-0,34	5,1-6,5	2,35
	Солома	-	0,17-0,26		
Кукуруза	Зерно	60,0-65,0	0,15-0,17	9,0-18,0	1,60
	Стебли и листья	-	0,19		
	Зеленая масса	300,0-350,0	0,06-0,31	-	1,85
<b>Бобовые</b>					
Горох	Зерно	12,8-23,0	0,22-0,23	5,7-34,2	2,00
Люцерна	Сено	50,0-100,0	0,10-0,56	8,0-30,0	3,30
Клевер	Сено	40,0-100,0	0,14-0,29	15,0-30,0	2,15
<b>Маревые</b>					
Свекла столовая	Корнеплоды	651,0	0,44	25,0	-
	Листья	-	0,49		
Свекла сахарная	Корнеплоды	350,0-540,0	0,06-0,42	15,0-35,0	2,40
	Листья	-	0,14-0,97		
<b>Пасленовые</b>					
Картофель	Клубни	170,0-230,0	0,10-0,30	9,0-37,0	2,00
	Ботва	-	0,15-0,50		
<b>Зонтичные</b>					
Морковь	Корнеплоды	540,0-590,0	0,15-0,24	20,0	1,95
	Листья	-	0,4		
<b>Лилейные</b>					
Лук	Луковицы	150,0-350,0	0,26	18,0-30,0	2,60
	Листья	-	0,65		
Чеснок	Луковицы	215,0	0,80	107,0	8,00
	Листья	-	0,34		
<b>Крестоцветные</b>					
Капуста	Кочаны	250,0-1053,0	0,70-1,53	30,0-134,0	11,20
Репка	Корнеплоды	457,0-50,0	0,48	30,0-40,0	-
	Ботва	-	0,73		
Турнепс	Корнеплоды	200,0-400,0	0,56	28,0-64,0	4,00
	Ботва	-	0,75		
Брюква кормовая	Корнеплоды	581,0-764,0	0,36-0,58	38,0-79,0	4,75
	Ботва	-	0,59-0,92		
Горчица белая	Семена	-	0,70-1,70	14,1-36,2	-
	Надземная масса	10,0-16,2	0,28-0,32		

Таблица 2

## Группы культур по уровню выноса серы урожаями [7]

Группа культур	Культура	Вынос серы (S), кг/га
1	<p><b>Крестоцветные:</b> Капуста, горчица, турнепс, рапс, брюква, репа, редька, редис, хрен</p> <p><b>Лилейные:</b> Лук, чеснок, спаржа, тюльпан</p>	45-75
2	<p><b>Бобовые:</b> Клевер, люцерна, горох, вика, чечевица, арахис, эспарцет, донник</p> <p><b>Маревые:</b> Свекла</p>	20-35
3	<p><b>Злаковые</b> (хлебные, крупяные, травы): Пшеница, рожь, ячмень, просо, овес, рис, кукуруза и злаковые травы (сорго, тимофеевка, лисохвост, костер и др.), <b>а также культуры:</b> картофель, подсолнечник, морковь, тыква, арбуз, помидоры</p>	10-15

Анализ факторов недостаточной эффективности применения средств химизации в стране (окупаемость 1 кг NPK составляет порядка 4 кг зерна) показывает, что ранее при разработке систем применения удобрений обеспечение питания растений серой было дефицитным и оно безусловно отражалось на величинах этого показателя. В настоящее время с переходом отечественной промышленности на концентрированные формы удобрений, а предприятий на электроэнергию и газовое топливо, приток серы в почву из атмосферы и с минеральными удобрениями еще более сокращается. Вместе с тем увеличивается расход серы из почвы на вымывание и вынос ее с возрастающими урожаями сельскохозяйственных культур. Следовательно, в этих условиях растения могут испытывать серную недостаточность, в результате которой возможен недобор урожая культур и снижение качества продукции. Установлено, что серное голодание влечет за собой снижение нарастания сухой массы, замедление темпов наступления фаз онтогенеза, отставание созревания культур. Недостаток серы особенно сказывается на



образовании репродуктивных органов и в снижении качественных показателей продукции. Избыток серы также нельзя допускать, так как это может привести к снижению урожая, прежде всего у злаковых культур [7].

### **Мониторинг содержания подвижной серы в почвах**

В Агрохимслужбе России для оценки уровня содержания серы в почве руководствуются группировкой почв по содержанию сульфатной серы в 1н КС1 вытяжке (табл. 3) [11].

**Таблица 3**

#### **Группировка почв по содержанию сульфатной серы (в 1н КС1 вытяжке)**

Группа почв	Уровень содержания	Содержание серы (S), мг/кг
1	Низкий	< 6,0
2	Средний	6,1 – 12,0
3	Высокий	>12,0

В ряде зарубежных стран для оценки содержания серы в почвах чаще используется другая группировка, основанная на определении сульфатной серы в уксусно-кислотной вытяжке (табл. 4) [9].

**Таблица 4**

#### **Группировка почв по содержанию подвижной серы за рубежом [9]**

Группа почв	Уровень содержания элемента	Содержание серы (S )	
		мг/кг	кг/га
1	Очень низкий	<5	<15
2	Низкий	5-10	15-30
3	Средний	10-35	30-105
4	Высокий	35-90	105-270
5	Очень высокий	>90	>270

Систематически проводимый крупномасштабный сплошной мониторинг плодородия пахотных почв на содержание подвижной серы показывает, что 57,8% площадей пахотных почв страны остро нуждаются в применении серосодержащих удобрений под все культуры (при низком содержании серы в почвах) и 32,3% (средне обеспеченные серой почвы)

требуют внесения этого вида удобрений под наиболее требовательные культуры (табл. 5). Выявленная отрицательная динамика в сторону ухудшения плодородия почв по содержанию серы характерна практически для всех регионов страны (табл. 5, 6). Особенно остро эта проблема стоит в Центральном округе (средневзвешенное содержание серы округом – 5 мг/кг, запасы – 13,3 кг/га), в Южном, Уральском и Приволжском округах (содержание – 5,5-6,3 мг/кг, запасы – 12,4-14,6 кг/га).

**Таблица 5**

**Агрохимическая характеристика плодородия почв Российской Федерации по содержанию в них подвижной серы по периодам обследования, тыс. га**

Периоды обследования почв	Обследованная площадь*	Группировка почв с различным содержанием серы		
		низкое	среднее	высокое
По состоянию на 01.01.1990 г.	<u>23321,5</u> 26,9%	<u>8279,4</u> 35,5%	<u>9771,4</u> 41,9%	<u>5270,7</u> 22,6%
на 01.01.2004 г.	<u>37005,5</u> 32,1%	<u>20253,7</u> 54,7%	<u>12795,9</u> 34,6%	<u>3955,9</u> 10,7%
На 01.01.2009 г.	<u>47244,6</u> 41,0%	<u>27325,7</u> 57,8%	<u>15259,0</u> 32,3%	<u>4659,9</u> 9,9%

\* По данным ФГУ ЦАС и ФГУ САС.

Такая неблагоприятная обстановка состояния плодородия почв по содержанию подвижной серы может являться одной из причин низкой урожайности возделываемых культур и пониженной эффективности традиционных минеральных удобрений (NPK). Представляют интерес сравнительные данные по тенденциям динамики содержания подвижной серы в почвах по данным сплошного мониторинга и локального (на реперных участках) (табл. 7). В целом направленность изменений содержания серы в почве, установленных при обоих видах мониторинга, совпадают, что свидетельствует об объективности проведенных исследований. Материалы локального мониторинга (порядка 1200 шт. в целом по России, а в отдельных областях их количество составляет до 20-

70шт.) впервые дают возможность полнее охарактеризовать изменения плодородия разных типов почв в зависимости от уровня интенсивности химизации и ее качественного проведения (с учетом ассортимента удобрений) за достаточно длительный период.

**Таблица 6**

**Динамика изменения содержания подвижной серы в почвах Российской Федерации по данным сплошного агрохимического обследования**

Федеральные округа	1990 г.		2004 г.		2009 г.	
	средне-взвешенное содержание, мг/кг	запасы серы в почве, кг/га	средне-взвешенное содержание, мг/кг	запасы серы в почве, кг/га	средне-взвешенное содержание, мг/кг	запасы серы в почве, кг/га
Российская Федерация	8,2	18,7	6,4	14,6	6,1	13,9
Центральный округ	10,0	26,5	6,5	17,2	5,0	13,3
Северо-Западный округ	7,5	19,5	5,1	13,3	7,0	18,6
Южный округ	7,6	17,1	5,3	11,9	5,5	12,4
Приволжский округ	8,0	17,5	8,6	18,9	6,0	13,2
Уральский округ	6,6	15,7	8,9	21,2	6,3	14,6
Сибирский округ	7,5	17,4	7,6	22,3	6,4	14,8
Дальневосточный округ	6,3	16,1	6,4	17,1	6,8	17,3

Так анализом более чем десятилетних ежегодных наблюдений за динамикой изменения агрохимических показателей плодородия различных типов почв страны на 248 реперных участках Тверской, Владимирской, Ивановской, Воронежской, Липецкой, Белгородской, Саратовской областей и Республики Татарстан установлено, что достаточно стабильная тенденция уменьшения содержания подвижной серы в почвах страны сопровождается ухудшением гумусного состояния почв, их фосфатного и калийного режимов, существенным снижением содержания подвижных форм микроэлементов (Co, Cu, Zn, Mn, Mo), а в ряде случаев и подкислением почв (табл. 8). Последний факт особенно характерен для обыкновенных,

типичных и выщелоченных черноземов глинистого и тяжелосуглинистого гранулометрического состава (Воронежская и Саратовская области).

Обстоятельность и объемность исследований на реперных участках (РУ) подтверждает достаточно тревожный факт, что в условиях резкого снижения применения в стране агрохимических средств содержание подвижной серы практически во всех основных сельскохозяйственных регионах страны упало до крайне низких значений (меньше 6 мг/кг), а в целом ряде областей и того ниже (1,5-2,0 мг/кг). Это характерно не только для дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава, но и для различных типов черноземов тяжелосуглинистых и глинистых. Таким образом, целенаправленное применение серосодержащих удобрений в земледелии страны с учетом обеспечения повышения плодородия почв и управления сбалансированным питанием растений биологически обусловленным элементным составом удобрений является достаточно обоснованным и теоретически и практически необходимым.

#### **Таблица 7**

**Динамика содержания подвижной серы в почвах Российской Федерации по данным сплошного и локального обследования реперных участков (РУ) (в скобках – % обследованной площади пахотных почв или число реперных участков)**

Область, республика	Подвижная сера, мг/кг				
	по данным сплошного обследования		по данным локального обследования на реперных участках (РУ)		
	На 01.01.1990	На 01.01.2004	1994-1995	2000	2003
Северный	8,5	5,0	9,6 (19)	9,5 (66)	10,8 (93)
Северо-Западный	8,9	7,6	8,3 (39)	6,1 (84)	5,5 (93)
Центральный	10,0	6,3	8,8 (99)	5,6 (211)	5,7 (162)
Волго-Вятский	9,1	7,8	6,0 (31)	6,1 (50)	6,8 (63)
Центрально-черноземный	7,6	4,1	4,8 (99)	3,7 (182)	4,4 (96)
Поволжский	8,6	6,4	5,7 (93)	5,6 (118)	6,4 (207)
Северо-Кавказский	7,6	8,0	7,7 (96)	8,0 (95)	7,2 (123)
Уральский	7,0	-	10,6 (69)	8,3 (104)	8,9 (63)
Западно-Сибирский	9,0	6,6	7,2 (114)	5,9 (127)	4,3 (102)
Восточно-Сибирский	8,0	4,5	10,3 (67)	7,2 (78)	4,3 (105)
Дальневосточный	-	-	-	9,4 (87)	8,1 (72)
Итого РУ			736	1202	1195
Среднее содержание серы в почвах РФ	8,2 (20)	6,4 (32)	7,5	6,4	6,3

**Таблица 8**

**Динамика агрохимических показателей плодородия почв России по данным исследований агрохимической службы страны на реперных участках (РУ)**

Годы исследований	Агрохимические показатели плодородия почв									Средн евзвеш содер жание, S, мг/кг
	гумус, %	рН (KCl)	подвижные, мг/кг		обменные, мг-экв/100 г	подвижные формы микроэлементов, мг/кг				
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca+ Mg	Co	Cu	Zn	Mn	
<b>1. Тверская область. Дерново-подзолистые легкосуглинистые и супесчаные почвы (35 РУ, Нелидовская станция химизации)</b>										
1996-1997	2,0	5,6	223	126	6,2	-	2,2	1,5	62,0	6,9
1998-2000	2,2	5,6	174	110	6,1	-	2,2	1,4	50,2	6,1
<b>2. Тверская область. Дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые почвы (19 РУ, Тверская станция химизации)</b>										
1996-1998	2,8	5,8	254	154	7,0	-	2,4	0,8	95	7,5
1998-2003	2,4	5,8	259	151	7,3	-	2,1	1,4	56	6,0
<b>3. Владимирская область. Дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы (37 РУ, Владимирская станция химизации)</b>										
1993-1995	2,3	6,0	308	169	8,1	3,0	3,9	1,8	79	7,9
1996-1998	2,3	5,8	264	145	9,0	1,0	3,6	1,3	71	4,9
1999-2001	2,3	5,8	267	150	8,7	1,0	4,1	1,4	84	4,4
2002-2003	2,3	5,8	239	133	8,6	0,9	3,7	1,4	77	5,7
<b>4. Воронежская область. Черноземы обыкновенные, типичные и выщелоченные тяжелосуглинистые и глинистые (33 РУ, Воронежская станция химизации)</b>										
1993-1995	5,3	6,1	118	185	27	2,0	7,0	7,6	118	3,7
1996-1998	4,7	5,9	117	139	26	2,4	5,9	7,4	137	3,4
1999-2003	4,5	5,7	111	168	23	2,6	6,2	7,0	169	2,1
<b>5. Белгородская область. Черноземы типичные, выщелоченные и оподзоленные тяжелосуглинистые и глинистые (24 РУ, Белгородская станция химизации)</b>										
1995-1997	4,5	6,1	114	134	36	-	0,1	0,5	11	4,6
1998-2000	4,6	5,8	113	131	26	-	0,1	0,4	9	3,7
2003	4,4	5,6	96	94	25	-	0,1	0,5	8	2,3
<b>6. Республика Татарстан. Черноземы выщелоченные и темно-серые лесные почвы (10 РУ, Альметьевская станция химизации)</b>										
1992-1994	6,1	5,7	127	136	34	-	-	-	-	6,2
1995-1997	6,1	5,8	123	136	36	1,2	0,6	-	-	6,2
1998-2000	6,0	5,8	161	136	34	0,7	0,5	-	-	6,1
2001-2003	6,1	5,7	164	126	28	0,4	0,4	-	-	6,2
<b>7. Саратовская область. Черноземы обыкновенные, южные, выщелоченные тяжелосуглинистые и глинистые (14 РУ, Саратовская станция химизации)</b>										
1991-1993	3,2	7,3	39	305	35	0,06	0,08	0,7	18	7,1
1994-1996	3,7	6,2	22	230	37	0,06	0,08	0,7	37	7,4
1997-1999	4,5	6,0	24	299	33	0,06	0,05	0,6	20	4,8
2000-2002	3,8	6,1	31	298	31	0,07	0,08	0,6	15	4,1
2003	3,8	6,2	25	314	30	0,04	0,04	0,7	10	4,5

## Баланс серы в земледелии страны

Имеющиеся данные за период 1975-2000 гг. в целом по РФ и по ее экономическим районам показывают, что сложившийся и перспективный баланс серы достаточно напряжен [5-7] и продолжает ухудшаться, особенно в Центральном, Волго-Вятском, Северо-Кавказском и Западно-Сибирском районах. Устойчиво держится отрицательный «активный» баланс серы в Поволжском, Уральском, Восточно-Сибирском и Дальневосточных районах. Напряженность «активного» баланса серы и даже наличие отрицательных его показателей в значительном количестве регионов РФ в основном обусловлены спадом производства и применения традиционных серосодержащих удобрений (простого суперфосфата, сульфата аммония и др.). В структуре приходной части «активного» баланса доля поступления серы с минеральными удобрениями в 1975-1980 гг. составляла 5,3 кг/га, а уже в 1981-1985 гг. она упала до 2,2-2,6 кг/га. Поступление серы с органическими удобрениями за годы исследований в целом по РФ составляло 1,1-1,4 кг/га, а с мелиорантами – 1,0-4,5 кг/га. В настоящее время в связи с падением общего уровня применения всех видов удобрений и химических мелиорантов эти показатели существенно ниже. Сложившаяся практика применения во многих районах только азотных удобрений еще более обострила обстановку, так как поступление серы со средствами химизации приблизилась к нулевому уровню.

К элементам «пассивного» баланса серы относятся: приход серы в почву с осадками, поглощение серы из воздуха и ее потери при выщелачивании. Все эти факторы на современном этапе знаний недостаточно исследованы и слабо контролируются измерительными средствами. Тем не менее, естественный круговорот серы следует учитывать при расчётах общего ее баланса, так как он определяет уровень интенсивности общего баланса. Безусловно, в точечных экспериментах обе части общего баланса достаточно существенны и их уточнение имеет

большое теоретическое и практическое значение в совершенствовании регуляции режимов серного питания сельскохозяйственных культур.

Установлено, что по всем периодам исследований положительный пассивный баланс серы в целом по РФ колебался в пределах 4,5-6,0 кг/га, а например, в Центральном, Уральском, Западно-Сибирском районах – соответственно 6,8-9,6; 10,6-13,6; 4,7-6,2 и т.д. При этом общий положительный баланс серы в земледелии России складывается в основном за счет «пассивной» его части: актив в 1978-1985 гг. составлял 0,3-2,5, а пассив – 4,5-6,0 кг/га S.

Вместе с тем по регионам России структура баланса серы отличается существенным разнообразием. Это обусловлено как степенью интенсивности химизации земледелия, так и природными факторами, экологическими условиями и, особенно, насыщенностью регионов промышленными предприятиями с мощными выбросами в атмосферу соединений серы. Так, в Северо-Западном регионе ранее структура общего баланса серы складывалась в основном за счет его активной части (актив – 10-13, а пассив – 3,2-7,3 кг/га серы). Аналогичное положение в Волго-Вятском районе: актив – 2,9-7,4, а пассив – 0,6-2,9 кг/га серы. В то же время Центральный и Центрально-Черноземный районы имели баланс серы, характерный для земледелия России в целом. Остальные экономические районы (Поволжский, Северо-Кавказский, Уральский, Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский и Дальневосточный) хотя и имели общий положительный баланс серы, но он определялся преимущественно его пассивной частью. При этом активная часть баланса характеризуется отрицательными показателями – от -1,0 до -4,4 кг/га серы. По этим данным можно заключить, что земледелие этих регионов систематически ведется без целенаправленного обеспечения сельскохозяйственных культур серой, что отрицательно отражается на его продуктивности.

Таким образом, разработанный баланс серы в земледелии страны за достаточно длительный период позволяет констатировать тенденцию



ухудшения серного питания сельскохозяйственных культур и острую необходимость применения серосодержащих удобрений. Принятие мер по увеличению применения серосодержащих удобрений обуславливается тем, что увеличивающийся вынос серы из почв возрастающими урожаями не компенсируется во многих районах страны ее поступлением из атмосферы и в составе традиционных удобрений. Введение серы в системы комплексного минерального питания растений будет способствовать повышению эффективности применения других элементов (N, P, Ca, Mg, B, Cu и др.) и создаст предпосылки для повышения урожаев сельскохозяйственных культур с оптимальным количеством белка, крахмала, сахара и других товарных показателей высококачественной продукции.

### **Методы нормирования применения серосодержащих удобрений**

Разработка методов определения доз серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры, также как и других видов удобрений, базируется преимущественно на оптимальных вариантах доз удобрений, полученных в полевых опытах.

Установлено [6, 7], что рекомендуемые дозы серы находятся в прямой зависимости от выноса этого элемента урожаями и наиболее высокие дозы серы применяются под крестоцветные и лилейные культуры (90-120 кг/га S), среднее положение занимают бобовые и маревые (60-100 кг/га S) и наименьшие дозы серы вносят под зерновые и другие злаковые, некоторые технические и овощные культуры (30-60 кг/га S). При этом, как правило, на легких почвах серу применяют на 20-40 кг/га меньшими дозами относительно ее норм на тяжелых почвах (табл. 9). Выявлено, что действие серосодержащих удобрений на различных почвах проявляется наилучшим образом при достаточном обеспечении растений другими элементами питания и, в частности, азотом. Хорошее действие на урожай оказывают удобрения, содержащие серу, при внесении их небольшими дозами (10-12 кг/га S) в рядки. Некорневая подкормка растений хорошо растворимыми формами серосодержащих удобрений также достаточно эффективна в дозах

0,5-2,0 кг/га, и она проводится на основе материалов растительной диагностики.

В конкретных условиях производства результаты анализов по диагностике сравнивают с уровнями содержания серы в растениях, полученными в исследованиях Почвенного института им. В.В. Докучаева [12] и по разнице результатов принимают соответствующие решения по применению серосодержащих удобрений. При этом также следует учитывать, что критическими уровнями содержания серы в тканях и зерне злаковых (пшеница, ячмень) чаще фиксируется величина 0,12% S [14], в листьях различных сортов риса – 0,10% S, рапса – 0,17% S и клевера – 0,19% S [15]. В качестве диагностического показателя степени обеспеченности растений серой можно использовать отношение общего азота к общей сере. Считается, что если в надземной массе отношение N:S=15 и выше, то растения не обеспечены серой [16-18].

Для определения доз серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры, кроме использования данных полевых опытов, возможны и другие подходы. Одним из них является нормативно-расчетный, базирующийся на учете химического состава сельскохозяйственных культур (на содержание N, P, S) и использования хорошо отработанных нормативов применения азотных и фосфорных удобрений [7]. В соответствии с этим методом, дозы серы под культуры определяют по соотношению серы и азота (S:N), серы и фосфора (S:P) в растениях с использованием нормативных или рекомендуемых доз азота и фосфора для получения планируемого уровня урожая.

Для этого по конкретному региону составляют таблицу соотношений S:N и S:P в основной продукции сельскохозяйственных культур, возделываемых в зоне. Расчет нормативной дозы серы под культуру определяют по формуле:

$$dS_{1ki} = 0,5 [(S:N) dN_{ki} + (S:P) dP_{ki} ], \quad (1)$$

где  $dS_{1ki}$  – нормативная доза серы под к-ю культуру на  $i$ -м участке, кг/га;

$dN_{ki}$  – доза минерального азота (планируемая или нормативная) под к-ю культуру на  $i$ -м участке, кг/га;

$dP_{ki}$  – доза минерального фосфора ( $P_2O_5$ ) планируемая (или нормативная) под к-ю культуру на  $i$ -м участке, кг/га.

**Таблица 9**

**Дозы применения серосодержащих удобрений под различные сельскохозяйственные культуры [6]**

Культуры	Почвы	Прибавки урожая от внесения серных удобрений, ц/га	Дозы серы в зависимости от грансостава почв, кг/га	
			легко-суглинистые и супесчаные	средне- и тяжелосуглинистые, глинистые
Зерновые (озимая и яровая пшеница, озимая рожь, ячмень, овес)	Дерново-подзолистые	1,7-4,1	30-40	60-70
	Серые лесные	1,7-3,7	30-40	60-70
	Выщелоченные черноземы	3,2-3,9	30-40	60-70
	Типичные черноземы	2,0-6,0	40-60	60-90
	Обыкновенные черноземы	1,1-4,0	40-60	60-90
Зернобобовые (горох, вика, соя)	Дерново-подзолистые	1,6-2,0	60-70	80-100
	Серые лесные	1,4-2,8	60-70	80-100
	Выщелоченные черноземы	1,6-2,6	60-70	80-100
	Типичные черноземы	2,1-2,4	70-90	100-120
Картофель	Дерново-подзолистые	14-29	60-70	80-100
	Серые лесные	20-34	60-70	80-100
	Выщелоченные черноземы	20-34	60-70	80-100
Сахарная свекла	Дерново-подзолистые	20-30	60-70	80-100
	Серые лесные	30-35	60-70	80-100
	Типичные черноземы	35-46	70-90	100-120
Кукуруза (зеленая масса)	Дерново-подзолистые	150-200	30-40	60-70
	Серые лесные	100-120	30-40	60-70
Кукуруза (зерно)	Светло-каштановые	10-11	30-40	60-70
Клевер (сено)	Дерново-подзолистые	5-12	60-70	80-100
	Серые лесные	12-23	60-70	80-100
Люцерна (сено)	Дерново-подзолистые	9-17	60-70	80-100
	Светло-серые	6-12	60-70	80-100
	Типичные черноземы	5-10	70-90	80-100
Люпин (зеленая масса)	Дерново-подзолистые	30-40	60-70	80-100
Лен	Дерново-подзолистые	1,9-3,2 (соломка)	80-100	100-120

		0,7-1,1 (семена)		
Кормовые корнеплоды	Дерново-подзолистые	30-50	60-70	80-100
Капуста и другие крестоцветные (рапс, брюква, репа, редька, редис, хрен, турнепс, горчица)	Дерново-подзолистые	17-40	80-90	100-120
Сенокосы и пастбища (сено)	Дерново-подзолистые	5-7	80-90	100-120

Минимальную дозу серы находят по формуле (2) с использованием планируемой (рекомендуемой или нормативной) дозы фосфора, как и в предыдущем варианте (формула 1), только в пересчете  $P_2O_5$  на элемент (P):

$$DS1ki = 0,5 [(S:N) dNki + (S:P) 0,436dPki ], \quad (2)$$

где 0,436 – переводной коэффициент  $P_2O_5$  в P; DS1ki – минимальная доза серы под культуру, кг/га.

Минимальные дозы серы рекомендуется применять на мало-буферных почвах (песчаные, супесчаные, малогумусные), а также в тех случаях, когда внесение высоких доз серы в виде элементарной серы или в виде сульфатов аммония и калия может привести к резкому подкислению почвенного раствора и снижению урожаев возделываемых культур.

### **Ассортимент, потребность и эффективность применения серосодержащих удобрений.**

Сера содержится в ряде традиционных удобрений (NPK) и в органических удобрениях, а также в химических мелиорантах, при достаточно широком уровне колебаний действующего вещества (элемента) – от 13 до 24% в минеральных, от 0,12 до 0,3% в органических удобрениях и от 1,0 до 20% в химических мелиорантах (табл. 10). Наибольшее количество серы (23-24%) находится в сульфате аммония, который содержит также 21% азота в аммонийной форме. Аммоний хорошо доступен растениям, относительно мало подвижен и не вымывается из почв. Поэтому это удобрение можно широко применять осенью в качестве основного

удобрения, не опасаясь загрязнения окружающей среды. По данным Географической сети опытов с удобрениями, на почвах, насыщенных основаниями, и на известкованных дерново-подзолистых почвах азот этого удобрения по эффективности не уступает распространенным формам азотных удобрений (аммиачной селитре, карбамиду). Особенно хорошие результаты обеспечивает его внесение под лен-долгунец, рапс, картофель, овощные культуры, рис – в районах орошаемого земледелия, а также на всех почвах недостаточно обеспеченных серой. Применение сульфата аммония часто экономически выгоднее, чем других форм азотных удобрений [13].

**Таблица 10**

**Содержание серы в удобрениях и химических мелиорантах**

Серосодержащие соединения	Содержание серы (S), %
Простой суперфосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{CaSO}_4$ (P <sub>2</sub> O – 14-20%)	9,0-13,0
Сульфат аммония (серноокислый аммоний) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (N – 21%)	23,0-24,0
Сульфат калия, $\text{K}_2\text{SO}_4$ (K <sub>2</sub> O – 46,0%)	17,0-18,0
Сульфат магния, эпсомит, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	18,6
Сульфат натрия, $\text{Na}_2\text{SO}_4$	22,6
Каинит, $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	13,0
Калимагнезия (шинит), $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	15,0
Цементная калийная пыль – отход цементных заводов	1,0
Аммошениит, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	17,8
Гипс, $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	18,0-20,0
Фосфогипс	17,7-20,6
Сланцевая зола	1,6-2,9
Цементная пыль	1,0
Навоз (разный)	0,02-0,06
Торф	0,1-0,3

Однако применение сульфата аммония на кислых дерново-подзолистых почвах без предварительного известкования создает угрозу интенсивного их подкисления. Поэтому предварительное известкование кислых почв является необходимым условием применения этого удобрения.

На дерново-подзолистых, серых лесных и темно-серых почвах наиболее эффективно использование фосфогипса и гипса под сахарную

свеклу, картофель и другие пропашные культуры. Мелиоранты и органические удобрения также являются необходимыми компонентами комплексного применения агрохимических средств, и это необходимо учитывать при определении потребности земледелия в серосодержащих удобрениях. Нами определена ежегодная потребность земледелия страны в серосодержащих удобрениях до 2020 г. (минимальная) и на более отдаленную перспективу (максимальная), которая соответственно составляет ~2,8 млн т д.в. (с учетом удобрения почв только с низким содержанием серы) и 4,5 млн т д.в. (с учетом удобрения почв с низким и средним содержанием серы).

О высокой эффективности применения серосодержащих удобрений свидетельствуют экспериментальные данные многих исследователей [6, 7] как по целому ряду областей и автономных республик РФ, также и стран СНГ. От внесения 2-3 ц/га (S – 40- 60 кг/га) гипса или фосфогипса прибавки урожая могут составить: на дерново-подзолистых почвах Белоруссии, Прибалтики, Среднего Поволжья сена клевера и люцерны – 7-23 ц/га, ячменя – 1,5-2,5, овса – 1,3, озимой пшеницы – 2-4, брюквы – 25-45, гороха – 1,5-2,5 ц/га; на серых лесных почвах Украины, Среднего Поволжья овса – 2,5-3,0 ц/га, сена люцерны – 5-10, зеленой массы кукурузы – 70-75, картофеля – 30-35 ц/га; на черноземах Украины, Молдавии, Среднего Поволжья для озимой пшеницы – 2,5-4,0 ц/га, овса – 2,5-4,0, ячменя – 1,5-2,5, гороха – 2,0-2,5 ц/га и т.д. Исследованиями также установлено, что эффективность серы на дерново-подзолистых почвах зависит от форм серосодержащих удобрений. Выявлено, что сульфаты кальция (гипс, фосфогипс, простой суперфосфат) эффективнее элементарной серы [6].

В обобщенных и проанализированных нами опытах Агрохимслужбы России на полях хозяйств установлена также высокая эффективность применения фосфогипса как в смесях с известняковой мукой, так и в чистом виде (табл. 11). При этом выявлено, что из всех вариантов изученных смесей наиболее предпочтительна смесь, состоящая из 40%

фосфогипса-дегидрата и 60% химмелиоранта. Исследованиями особо подчеркивается влияние серы не только на повышение урожайности, но и на улучшение качества растительной продукции: увеличение сырого протеина в горохо-овсе с 10,2 до 13,8%, в брюкве – сахара с 6,2 до 6,6%. Эффективность смесей фосфогипса с пылевидными известковыми материалами объясняется еще и тем, что они обладают благоприятными физико-химическими, мелиорирующими свойствами и многокомпонентным составом элементов питания (содержат кальций, фосфор, серу и ряд микроэлементов). Это подтверждает концепцию целесообразности управления питания растений многоэлементным составом удобрений с участием серы [6].

**Таблица 11**

**Эффективность применения фосфогипса в составе смесей с известняковой мукой и в чистом виде**

Культура	Годы действия смесей	Урожай на контроле ц/га з.е.	Урожай и прибавки от смесей, ц/га з.е.			
			смесь 1 (доза 1)		смесь 2 (доза 2)	
			урожай	прибавка	урожай	прибавка
Дерново-подзолистые среднесуглинистые слабоокультуренные почвы (гумус 1,8%, рН 4,2-4,6, Нг 4 мг-экв/100 г, Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> 30-40 и К <sub>2</sub> О 115-131 мг/кг), с-з Леонтьевский, Московская область						
Ячмень	1981-1982	26,2	27,7	+1,5	26,8	+0,6
Овес	1982-1983	25,5	28,0	+2,5	30,4	+4,9
Многолетние травы	1983-1984	78,6	100,6	+22,0	91,5	+12,9
Дерново-подзолистые среднесуглинистые хорошоокультуренные почвы (гумус 3,1%, рН 5,7-6,0, Нг 1,0-1,9 мг-экв/100 г, Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> 380-442 и К <sub>2</sub> О 151-216 мг/кг), с-з «Заря коммунизма», Московская область						
Горохоовсяная смесь	1980-1981	181,0	201,0	+20,0	192,0	+11,0
Озимая пшеница	1981-1982	43,4	48,2	+4,8	47,4	+4,0
Кукуруза (зеленая масса)	1982-1983	543,0	580,0	+37,0	560,0	+17,0
Дерново-подзолистые суглинистые почвы (гумус 1,5%, рН 4,9-5,1, Нг 3,8-4,1 мг-экв/100 г, Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> 45-50 и К <sub>2</sub> О 60-75 мг/кг), с-з Кировский, Ленинградская область						
Ячмень	1982-1983	28,9	36,0*	+7,1	37,0	+8,1
Брюква	1983-1984	397,0	427,0*	+30,0	437,0	+40,0
Картофель	1984-1985	165,0	192,0*	+27,0	207,0	+42,0
Черноземы выщелоченные тяжелосуглинистые (гумус 5,5-6,7%, рН 5,0-5,6, Нг 4,4-5,5 мг-экв/100 г, Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> 88-123 мг/кг), с-з Дмитровский, Липецкая область						
Сахарная свекла	1981-1982	256,0	287,0	+31,0	290,0***	+34,0

Овес	1982-1983	32,0	34,4	+2,8	39,0***	+7,0
Горох	1983-1984	10,0	11,9	+1,9	14,2***	+4,2
Черноземы типичные тяжелосуглинистые (гумус 6,4%, рН 6,4, Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> 88 и К <sub>2</sub> О 114 мг/кг, MgO 48 мг/кг), к-з Большевик, Воронежская область						
Озимая пшеница сорт Мироновская 808	1989-1990	38,1	41,8**	+3,7	42,0***	+3,9
Черноземы типичные тяжелосуглинистые (гумус 4,2%, рН 5,4, Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> 84 и К <sub>2</sub> О 106 мг/кг, MgO 45 мг/кг), с-з им. Ленина, Воронежская область						
Озимая пшеница сорт Северодонская	1981-1990	48,4	51,0**	+2,6	51,9***	+3,5

*Примечание: смесь 1 – 60% известняковая мука + 40% фосфогипса;  
смесь 2 – 50% известняковая мука + 50% фосфогипса; \* – урожай  
при внесении извести по 1 ГК; \*\* и \*\*\* – урожай при внесении  
фосфогипса в дозах 1 и 2 = S60 и S90.*

Материалы исследований также доказывают, что применение серосодержащих удобрений в рекомендуемых нормах практически безвредно, а внесение отходов промышленности (фосфогипс, сланцевая зола, различные шлаки и т.п.) следует проводить под контролем специалистов агрохимической службы с учетом требований экологических нормативов.

### **Заключение**

Сера является важнейшим элементом, наряду с азотом, фосфором и калием, для питания растений, их развития, формирования дополнительных урожаев и улучшения качества продукции многих культур. Установлено, что площади почв в России с недостаточным содержанием этого элемента превышают 90% от обследованных и это больше, чем площадей почв с низким содержанием азота, фосфора и калия. Эти данные свидетельствуют об острой необходимости организации в земледелии страны целенаправленного применения серосодержащих форм удобрений. Установлены основные факторы, обуславливающие дефицитность серы в агроэкосистемах: невосполнение ее выноса из почв необходимыми формами серосодержащих удобрений, снижение плодородия почв, в том числе запасов в них гумуса и их подкисление, усиление выщелачивания элемента,



уменьшение поступления серы из атмосферы из-за перехода промышленных предприятий на газ и электроэнергию, уменьшение объемов производства и ограничение газообразных выбросов по экологическим требованиям и др. Для повышения эффективности применения в земледелии серосодержащих удобрений усовершенствована методика определения баланса серы, определен ее баланс. Разработаны научно обоснованные дозы применения серосодержащих удобрений и определена потребность в них земледелия на текущий момент и перспективу. Обобщен и проанализирован значительный материал Агрохимической службы и Географической сети опытов, свидетельствующий о влиянии применения серы на дополнительное получение прибавок урожаев сельскохозяйственных культур и повышение качества продукции.

### **Литература**

1. Айдинян Р.Х. Содержание и формы соединений серы в различных почвах СССР и ее значение в обмене веществ между почвой и растениями // Агрохимия. 1964. № 10. С. 3-16.
2. Баранов П.А. Об удовлетворении потребности растений в сере и серосодержащих удобрениях // Химия в сельском хозяйстве. 1969. № 1. С. 18-22.
3. Кардиналовская Р.И. Реакция сельскохозяйственных культур на улучшение серного питания // Химия в сельском хозяйстве. 1984. № 3. С. 21-36.
4. Ягодин Б.А. Сера, магний и микроэлементы в питании растений // Агрохимия. 1985. № 11. С. 117-127.
5. Аристархов А.Н. Баланс серы по регионам страны // Химия в сельском хозяйстве. 1987. № 9. С. 41-44.
6. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах. М., 2000. 524 с.
7. Аристархов А.Н. Агрохимия серы. М., 2007. 272 с.

8. Панасин В.И., Слобожанинова В.Д., Лопатина Н.В. Сера и урожай. Калининград: Изд-во «КГТ», 1999. 150 с.
9. Смирнов Ю.А. Повышение урожаев и качества сельскохозяйственной продукции при использовании серных удобрений. М.: ВНИИТЭСХ, 1985. 61 с.
10. Кук Д.У. Система удобрений для получения максимальных урожаев. М., 1975. 416 с.
11. Державин Л.М., Рафаелян Ж.С., Баранов П.А., Школь М.П. и др. Методические указания по применению удобрений, содержащих серу. М., 1983. С. 3-10.
12. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник. М.: Агропромиздат, 1990. 236 с.
13. Лапа В.В., Босак В.Н. Применение сульфата аммония в сельском хозяйстве. Тольятти, 2006. 22 с.
14. Freney T.R., Spencer K., Iones M.B. Determining the sulphur status of roheat. Sulphur in Agriculture. 1978. V. 2. P. 2-5.
15. Spenser K., Freney J.R. Accessing the sulphur status of field-grown wheat by plant analysis // Agronomy Journal. 1980. V. 72. P. 469-472.
16. Byers M, Bolton J. Effects of nitrogen and sulphur fertilizers on the yield, N and S content and amino acid composition of the grain of spring wheat. J. of Science and Food Agr. 1979. V. 30. P. 251-263.
17. Randall P.J., Spencer K., Freney J.R. Sulphur and nitrogen fertilizer effects on wheat. Australian journal of Agric. Research. 1981. V. 32. P. 203-212.
18. Zehler E., Kreipe H. Potassium sulphate and potassium chloride // International Potash Institute Research Topics. 1981. V. 9. P. 15-38.

### **Literatura**

1. Ajdinyan R.X. Soderzhanie i formy soedinenij sery v razlichnyx pochvax SSSR i ee znachenie v obmene veshhestv mezhdu pochvoj i rasteniyami // Agroximiya. 1964. № 10. S. 3-16.
2. Baranov P.A. Ob udovletvorenii potrebnosti rastenij v sere i

serosoderzhashhix udobreniyax // Ximiya v selskom xozyajstve. 1969. № 1. S. 18-22.

3. Kardinalovskaya R.I. Reakciya selskoxozyajstvennyx kultur na uluchshenie sernogo pitaniya // Ximiya v selskom xozyajstve. 1984. № 3. S. 21-36.

4. Yagodin B.A. Sera, magnij i mikroelementy v pitanii rastenij // Agroximiya. 1985. № 11. S. 117-127.

5. Aristarxov A.N. Balans sery po regionam strany // Ximiya v selskom xozyajstve. 1987. № 9. S. 41-44.

6. Aristarxov A.N. Optimizaciya pitaniya rastenij i primenenie udobrenij v agroekosistemax. M., 2000. 524 s.

7. Aristarxov A.N. Agroximiya sery. M., 2007. 272 s.

8. Panasin V.I., Slobozhaninova V.D., Lopatina N.V. Sera i urozhaj. Kaliningrad: Izd-vo «KGT», 1999. 150 s.

9. Smirnov Yu.A. Povyshenie urozhaev i kachestva selskoxozyajstvennoj produkcii pri ispolzovanii sernyx udobrenij. M.: VNIITESX, 1985. 61 s.

10. Kuk D.U. Sistema udobrenij dlya polucheniya maksimalnyx urozhaev. M., 1975. 416 s.

11. Derzhavin L.M., Rafaelyan Zh.S., Baranov P.A., Shkol M.P. i dr. Metodicheskie ukazaniya po primeneniyu udobrenij, soderzhashhix seru. M., 1983. S. 3-10.

12. Cerling V.V. Diagnostika pitaniya selskoxozyajstvennyx kultur: spravochnik. M.: Agropromizdat, 1990. 236 s.

13. Lapa V.V., Bosak V.N. Primenenie sulfata ammoniya v selskom xozyajstve. Tolyatti, 2006. 22 s.

14. Freney T.R., Spencer K., Iones M.B. Determining the sulphur status of roheat. Sulphur in Agriculture. 1978. V. 2. P. 2-5.

15. Spenser K., Freney J.R. Accessing the sulphur status of field-grown wheat by plant analysis // Agronomy Journal. 1980. V. 72. P. 469-472.

16. Byers M, Bolton J. Effects of nitrogen and sulphur fertilizers on the yield, N and S content and amino acid composition of the grain of spring wheat. *J. of Science and Food Agr.* 1979. V. 30. P. 251-263.

17. Randall P.J., Spencer K., Freney J.R. Sulphur and nitrogen fertilizer effects on wheat. *Australian journal of Agric. Research.* 1981. V. 32. P. 203-212.

18. Zehler E., Kreipe H. Potassium sulphate and potassium chloride // *International Potash Institute Research Topics.* 1981. V. 9. P. 15-38.

**an.aristah@mail.ru**