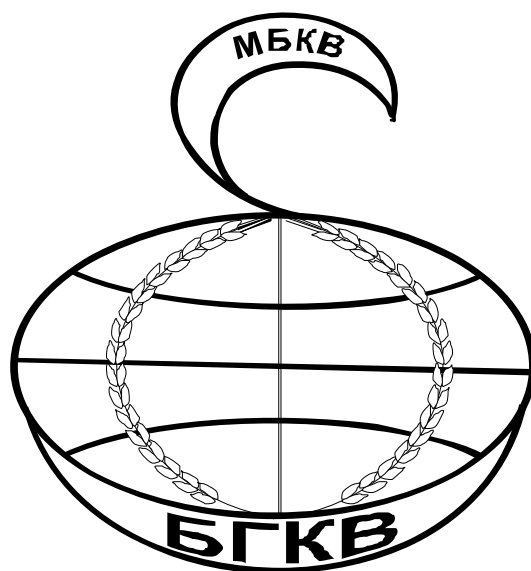


**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГОУ ВПО
КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

В. Н. СЛЮСАРЕВ

**СЕРА В ПОЧВАХ
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО
КАВКАЗА
(АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ)**



**Краснодар
2007**

УДК 546.22 : [631.445.4 : 631.828.2 (470.62)

ББК 40.3

С 47

Рецензенты

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

В.И. Терпелец

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

В.С. Цховребов

Слюсарев В.Н. Сера в почвах Северо-Западного Кавказа (агроэкологические аспекты): монография. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – 230 с.

В монографии проанализированы и обобщены результаты многолетних исследований автора по изучению содержания и распределения форм серы в почвах степного, лесостепного и лесного типов почвообразования Северо-Западного Кавказа. Рассмотрены агроэкологические аспекты целесообразности применения серных удобрений при возделывании важнейших полевых культур.

Книга рассчитана на научных сотрудников, преподавателей, аспирантов и студентов агрономических и биологических специальностей. Она может представлять интерес для специалистов в области почвоведения, агрохимии, экологии, растениеводства, а также практических работников в области сельского хозяйства.

ISBN 978-5-94672-292-6

© Слюсарев В.Н., 2007

© ФГОУ ВПО «Кубанский
государственный
аграрный университет, 2007

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. СЕРА В ПОЧВАХ, РАСТЕНИЯХ И ПРИМЕНЕНИЕ СЕРНЫХ УДОБРЕНИЙ (СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА)	9
1.1. Сера в почвенных процессах	9
1.2. Сера в жизни растений	15
1.3. Агроэкологические аспекты применения серных удобрений	18
ГЛАВА 2. ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ РЕГИОНА ИССЛЕДОВАНИЙ	23
2.1. Чернозёмы Азово-Кубанской равнины и Таманского полуострова	25
2.2. Серые лесостепные почвы Кубанской наклонной равнины	27
2.3. Серые лесные почвы предгорий и низких гор	28
2.4. Дерново-карбонатные почвы предгорий, низких и средних гор	30
2.5. Бурые лесные почвы низких и средних гор	31
ГЛАВА 3. СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ СЕРЫ В ПОЧВАХ, ИХ СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА	34
3.1. Формы серы в чернозёмах	34
3.2. Формы серы в серых лесостепных почвах	40
3.3. Формы серы в серых лесных почвах	44
3.4. Формы серы в дерново-карбонатных почвах	47
3.5. Формы серы в бурых лесных почвах	59
3.6. Сравнительная характеристика, группировка и оценка почв по содержанию и запасам в них серы	71
ГЛАВА 4. АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЕРЫ В ПОЧВАХ И ПОТРЕБНОСТЬ В СЕРНЫХ УДОБРЕНИЯХ	87
4.1. Трансформация форм серы и изменение свойств почв под действием удобрений	87
4.2. Почвенно-экологическая и агрономическая оценка применения серных удобрений при возделывании гороха на бурых лесных почвах	105
4.2.1. Влияние различных по растворимости сульфатных солей на свойства почвы и продуктивность гороха	105

4.2.2. Действие и последствие серных удобрений на физико-химические свойства почвы _____	111
4.2.3. Динамика содержания и распределения органических и минеральных форм серы в связи с применением серных удобрений _____	116
4.2.4. Влияние серных удобрений на урожайность гороха _____	125
4.3. Эффективность серных удобрений при выращивании сои на чернозёме выщелоченном _____	131
4.3.1. Динамика содержания нитратов, сульфатов и подвижного фосфора в почве при внесении азотно-фосфорных и серных удобрений _____	132
4.3.2. Действие азотно-фосфорных и серных удобрений на урожайность и качество зерна сои _____	144
4.4. Влияние гипса и микроудобрений на урожайность люцерны, возделываемой на чернозёме выщелоченном _____	154
4.5. Агроэкологическая оценка технологий выращивания озимой пшеницы на чернозёме выщелоченном в связи с обеспеченностью серой _____	158
4.5.1. Влияние различных технологий на физико-химические свойства почвы, содержание и распределение форм серы _____	159
4.5.2. Влияние различных технологий на обеспеченность серным питанием, урожайность и качество озимой пшеницы _____	174
4.5.3. Баланс серы при различных технологиях возделывания озимой пшеницы в зернотравяно-пропашном севообороте _____	183
4.6. Целесообразность применения серных удобрений при возделывании озимой пшеницы на чернозёме выщелоченном _____	189
4.6.1. Влияние способов применения серных удобрений на содержание форм серы, физико-химические свойства почвы и продуктивность озимой пшеницы _____	191
4.6.2. Действие серных удобрений на урожайность и элементы качества озимой пшеницы, возделываемой различными технологиями _____	198
ЗАКЛЮЧЕНИЕ _____	206
ЛИТЕРАТУРА _____	212

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация природопользования обострила проблему несвойственных ранее почвам форм деградации. Всё чаще лимитирующим фактором становится избыточная обеспеченность почв азотом, фосфором, серой, что сказывается на балансе всех биогенных элементов питания и урожайность растений. Гарантией обеспечения высокого плодородия почв, повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и экологической безопасности компонентов окружающей среды является сбалансированное по всем элементам минеральное питание с учётом содержания, распределения и трансформации их в почве. В одном ряду с такими элементами как азот, фосфор и калий стоит сера – второй после азота протеиноген (Айдинян, 1964; Маслова, 1993). Сера, подобно круговороту азота, проходит цикл окисления в почве и восстановления в растении. Оба элемента удерживаются в органических соединениях ковалентными связями с углеродом. Они недоступны растениям в элементной форме, а усваиваются ими только в стадии наивысшего окисления (SO_4^{2-} , NO_3^-). В почвах сера встречается в двух формах: минеральной и органической. Гипс и ангидрит являются основными сульфатами, а пирит и сфалерит – основными сульфидами почвы. В засоленных почвах присутствуют сульфаты щелочных и щелочноземельных металлов. Все эти соединения вместе с самородной серой представляют минеральную форму элемента в почве. В гумусово-аккумулятивных горизонтах сера накапливается преимущественно в форме органических соединений. В их состав входит основная часть почвенной серы. В результате микробиологических процессов она окисляется до сульфатов, которые затем усваиваются растениями и могут накапливаться ими до 0,02-1,8 %. Из-за слабого поглощения сульфаты содержатся в почвах в очень небольших количествах (Пейве, 1961; Петербургский, 1971).

Недостаток серы, как и азота, снижает синтез белков, при этом внешнее проявление серного голодания растений почти полностью совпадает с при-

знаками недостатка азотного питания. Установлена безусловная необходимость её для процессов дыхания, фотосинтеза, азотного и углеводного обмена (Bettany et al., 1984). Сера входит в состав растительных масел (горчичное, чесночное), антибиотиков (пенициллин), витаминов (тиамин, биотин), ферментов, аминокислот (цистеин, метионин). Она имеет большое значение в активировании энзимов и способствует фиксации азота растениями из атмосферы (Петербургский, 1971). Положительное влияние серы на урожай часто оставалось незамеченным, поскольку она воздействует главным образом не столько на его величину, сколько на качество продукции. Между тем, вынос серы из почвы с урожаем сельскохозяйственных культур лишь немного уступает выносу фосфора, а в некоторых случаях даже превосходит его. Если раньше питание растений серой удовлетворялось без дополнительных усилий, то к настоящему времени и в будущем ресурсы поступления её в почву сокращаются, а потребность в ней сельского хозяйства растёт в связи с повышенным спросом на высококачественную сельскохозяйственную продукцию. В сложившихся рыночных отношениях многие хозяйства не в состоянии соблюдать существующие технологии возделывания культур, что приводит к дисбалансу между поступлением и выносом элементов питания. Это в свою очередь способствует падению почвенного плодородия, снижению урожайности сельскохозяйственных растений и вносит опасные изменения в экологическую обстановку агроценозов. Сопоставляя ресурсы и расход серы в земледелии, многие учёные приходят к выводу, что возрастает опасность появления серной недостаточности, особенно в районах с годовой нормой осадков более 500мм в год, слаборазвитой промышленностью, а также на почвах среднего и лёгкого гранулометрического состава. Проблема серы стала актуальной в земледелии Азейбарджана (Ахмедов, 1981), Армении (Давтян, 1963; Симонян, 1981), Белоруссии (Кулаковская, 1974; Челомбитько, 1974), Латвии (Бамберг, 1973), Литвы (Анспек и др., 1976), Эстонии (Järvan Malle, 2005), Молдавии (Виткаленко, 1981), Узбекистана (Гулимов, 1976), Украины (Крупская, 1974; Сырый, 1970), а также Российских регио-

нов (Ставрополье (Дуденко, 1988), Волгоградская область (Хала, 2001), Подмосковье (Мочалов, 1974, Поволжье (Вальников, 1974, 1981), Сибирь (Бугакова, 1973), Дальний Восток (Голов, 1996) и дальнего зарубежья (Смирнов, 1983). Около 25% почв Китая имеют дефицит доступной серы и еще около 42% имеют потенциальный дефицит (Xu Cheng-Kai, 2004). Серное голодание имеет место в некоторых странах Северной Европы (Westermann, 1975).

Основными причинами повышения дефицита серы является снижение содержания сернистого газа в атмосфере, замена минеральных удобрений на концентрированные без серы туки, повышение урожайности культур и увеличение выноса с ней серы.

Однако применение удобрений содержащих сульфатную серу не лишено недостатков, в числе которых: подкисление почвенного раствора, высокая скорость миграции сульфат - иона по почвенному профилю на почвах с промывным водным режимом. Несмотря на очевидную эффективность использования, не получила широкого распространения в сельском хозяйстве в качестве удобрения элементарная сера. Она больше известна как контактный фунгицид защитного действия против ряда заболеваний растений. Именно поэтому возникает потребность в выпуске новых, высоко эффективных сложных удобрений или использовании альтернативных видов серосодержащих удобрений, а также дешёвых мелиорантов, например, лёссовидных суглинков. Вот почему в каждом конкретном случае необходима тщательная проверка наличия и распределения форм серы в почвах, обеспеченности этим элементом растений, влияния его на плодородие и экологию почв в целом. Неоправданно слабо в этом отношении изучены почвы Северо-Западного Кавказа - крупнейшей части Северо-Кавказского экономического района Российской Федерации, почвенный покров которого отражает практически весь спектр типов почвообразования. В условиях Северо-Западного Кавказа данная проблема мало изучена, в связи с чем, и возникла необходимость в выполнении настоящей работы.

Цель исследования заключалась в агроэкологической оценке содержания и распределения серы в почвах Северо-Западного Кавказа, а также научном обосновании потребности сельскохозяйственных культур в серных удобрениях и целесообразности их применения с учётом сохранения плодородия почв и охраны окружающей среды.

В работе изучены и обобщены сведения о содержании форм серы в почвах лесного, лесостепного и степного типов почвообразования Северо-Западного Кавказа, выявлены тенденции и закономерности в распределении элемента по их профилю. Проведена группировка почв исследуемого региона по степени обеспеченности серой, которая может быть использована при разработке рекомендаций сельскохозяйственному производству по применению серных удобрений пшеницы, люцерны, гороха, сои и других полевых культур. Работа содержит новые данные о соединениях серы гумусовых веществ специфической природы и трансформации её форм в связи с применением серных и других минеральных удобрений на лесных почвах. Исследовано действие серы на свойства почв, урожайность важнейших культур и элементы их качества, на основании чего предложены дозы и способы внесения серных удобрений. Впервые на Кубани проведена оценка влияния различных технологий возделывания на урожайность и элементы качества озимой пшеницы в связи с обеспеченностью растений серным питанием, а также рассчитан баланс серы. На базе проведённых исследований разработаны приёмы корректировки технологий возделывания с целью оптимизации азотно-серного питания озимой пшеницы и критерии ретроспективной растительной диагностики обеспеченности серой.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность своему учителю, доктору биологических наук, профессору Е.В. Тонконоженко, идеи которого положили начало настоящим исследованиям и получили дальнейшее развитие. Большую благодарность автор выражает всем коллегам и сотрудникам кафедры почвоведения КГАУ за содействие в выполнении работы на протяжении всех лет исследований.

ГЛАВА 1. СЕРА В ПОЧВАХ, РАСТЕНИЯХ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕРНЫХ УДОБРЕНИЙ (СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА)

1.1. Сера в почвенных процессах

Природа соединений серы и их трансформация. Содержание серы составляет 0,09 % в литосфере и 0,085 % в почвах (Возбуцкая, 1964). Однако, есть и другие сведения о содержании этого элемента в почвах (0,1 % SO_3 или 0,04 % серы) (Панников, Минеев, 1977). Среднее содержание ее в земной коре по Ф.У.Кларку составляет 0,06 % (Никитишен, 1983). По примерным подсчетам в природе встречается около 40 минералов группы сульфидов и почти столько же сульфатов (Бетехтин, 1950). В почвах сера встречается в двух формах: минеральной и органической. В виде неорганических соединений сера в почве бывает окисленной (сульфаты, полиотионаты), восстановленной (сульфиды), и редко – молекулярной. Сульфаты представлены главным образом $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$, Na_2SO_4 , K_2SO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Полиотионаты представлены солью тетраионовой кислоты ($\text{H}_2\text{S}_4\text{O}_6$) – тетраионатом натрия ($\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$). Сульфиды представлены в почве чаще пиритом (FeS_2) и сфалеритом (ZnS). В засоленных почвах встречаются, преимущественно, сульфаты щелочных металлов. Все эти соединения, а также самородная сера относятся к минеральной форме серы в почвах. В.И. Вернадский относил серу к группе циклических органогенных элементов, для которых характерны многочисленные обратимые процессы (Вернадский, 1985; Виноградов, 1957). Восстановленные соединения минеральной формы серы (самородная сера, сероводород, сульфиды) на земной поверхности легко окисляются, давая серную кислоту или сульфаты (Возбуцкая, 1964). Растворимость сульфатов сравнительно высока и зависит от катиона. Особенно хорошо растворимы в воде сульфаты калия, натрия и магния. Из-за слабого поглощения сульфаты содержатся в почвах в очень небольших количествах и могут накапливаться в них только в условиях сухого климата (Кауричев, Орлов, 1982). В окислении пирита (FeS_2) могут участвовать также микроорганизмы (Касимова, Мамедова, 1932).

Основная часть почвенной серы входит в состав органических соединений. В гумусово-аккумулятивных горизонтах сера, связанная с органическим веществом почвы, составляет 70-90 % ее валового содержания (Айдинян, 1965). Она входит в состав всех групп гумусовых веществ: фульвокислот, гуминовых кислот, гумина (Возбуцкая, 1964, Орлов, 1992). Количество серы в гуминовых и фульвокислотах составляет: для черноземов – 57 %, для темно-серых лесных почв – 51 %, а для дерново-подзолистых почв – 46 % валового содержания элемента (Айдинян, 1965). Органическая форма серы представлена сульфгидрильными соединениями аминокислот, белков и гумусовых кислот, а также тиоэфирами. При окислении органических соединений серы, где она проявляет валентность от минус 2 до плюс 6, появляются промежуточные продукты: сульфиды, тиосульфиты, тетра- и пентатионаты, которые затем окисляются до сульфатов (Кауричев, Орлов, 1982; Пейве, 1961). В минерализации органического вещества принимают участие бесцветные бактерии, окисляя его до элементарной серы и сульфатов. В анаэробных условиях в превращении органической серы до сероводорода участвуют зеленые и пурпурные серобактерии (Murphy M. D., 1990).

Легкорастворимые и адсорбированные сульфаты являются основным источником доступной серы для растений (Bergseth H., 1978). Количество их меняется в зависимости от гранулометрического состава, обменных катионов и природы глинистых минералов, а также связано с окислами железа и, особенно, алюминия. Слаборастворимые сульфаты представлены соединениями бария и стронция. На карбонатных почвах сера, связанная с карбонатами кальция (оклюдированная), может составить 95 % от ее общего содержания (Williams C.H., 1975).

Содержание и распределение форм серы в почвах. Многие исследователи для изучения форм серы используют универсальные методики Р.Х. Айдиняна, которые предполагают определение валовой, минеральной и органической серы (Айдинян и др., 1975). Некоторые авторы внесли термин «резервная» сера (Вальников, 1981; Тонконоженко, 1985; Слюсарев, 1983,

1985, 2006), которая означает разницу между валовой и минеральной. Эта разница приравнивается к количеству органической серы, если почва не содержит серу сульфидных минералов (Айдинян и др., 1975). Серу, которая извлекается 0,2н раствором соляной кислоты в виде слаборастворимых и легкорастворимых форм, Р.Х. Айдинян относил к минеральной форме. Автор методики не исключал также ничтожного содержания серы в солянокислой вытяжке, связанной с легкоподвижными соединениями гумуса. Зарубежные исследователи для извлечения доступной растениям серы, кроме кислотных вытяжек, используют бикарбонат натрия, однозамещенные фосфаты калия и кальция, их смеси и другие реагенты (Scott N., 1981). Они также предлагают выделять среди доступной растениям серы легкорастворимую (подвижную) фракцию сульфатов. Причем, в Норвегии её извлекают по Грюнвальду (Bergseth H., 1978), в Австралии – 0,01 %-м раствором хлористого кальция (Reisenauer H.M., 1975), а в США – 0,25 %-м раствором хлористого калия (Алексеева, 1975). Практикуется также определение органической серы по разности между валовой и суммой легкорастворимых и адсорбированных сульфатов (Bergseth H., 1978). В нашей стране агрохимической службой принята методика извлечения подвижной серы вытяжкой 0,2н раствора KCl (ГОСТ 26490 – 85. Почвы). Она не отличается существенно от методики, используемой в США и Канаде (Смирнов, 1983; Stevenson, 1986), только там ее привязывают к отдельным сельскохозяйственным культурам.

Распределение валовой серы по профилю почв различных типов имеют свои особенности и находится в тесной связи с изменением содержания гумуса и распределением фракций механических элементов. С уменьшением количества гумуса вниз по профилю к почвообразующей породе убывает и содержание серы. В почвообразующих породах содержание серы остается более или менее постоянным, хотя это постоянство может быть нарушено появлением гипсоносных слоев и скоплений других солей, содержащих серу.

Если черноземы и торфяно-луговые почвы характеризуются высоким содержанием валовой серы, то дерново-подзолистые менее богаты этим эле-

ментом. Особенно мало серы в почвах песчаного и супесчаного гранулометрического состава, а также в почвах, подвергшихся смыву ((Айдинян, 1965).

Довольно детально изучены формы серы в черноземах Среднего Поволжья (Вальников, 1974, 1981). В выщелоченных и типичных черноземах этого региона с содержанием гумуса 6,4-9,6 % количество серы составляет 50-90 мг/100г почвы. В пахотных горизонтах черноземов Поволжья 97-98 % от валового содержания серы приходится на долю недоступной для растений резервной серы. Количество минеральной и подвижной серы составляет соответственно 1,10-1,82 и 0,43-0,80 мг/100 г. Вниз по профилю содержание этих форм серы несколько увеличивается и достигает максимума в почвообразующих породах.

Несколько меньшее содержание валовой серы в карбонатных черноземах Татарстана (Вальников, 1971). При количестве гумуса, равном 7,8-8,3 %, содержание серы в них составляет всего 43-56 мг/100г почвы, а в почвообразующей породе оно остается относительно постоянным и колеблется в пределах 18-24 мг/100 г.

В слитых черноземах Чувашии содержится 51-62 мг валовой серы на 100г почвы. Недоступная для растений сера составляет 97% общей. К материнским породам ее содержание уменьшается (Вальников и др. 1971).

Содержание серы в пахотном слое мощных черноземов Харьковщины составляет в мг/100г почвы: валовой 41,0-41,2; органической 36,0-36,6; сульфатной 4,2-5,2 (Сырый, 1973).

Черноземы Донецкой области в пахотном слое содержат 158 мг/100 г валовой серы, что связано с её техногенным накоплением. Органическая сера составляет 85-90 % от общей. Содержание сульфатной серы колеблется от 1,2 до 6,3 мг/100 г почвы (Крупская, 1974).

Каштановые почвы Волгоградской области отличаются от черноземов более низким содержанием валовой серы (Оголева, 1976). В пахотном слое светло-каштановых и каштановых почв количество ее составило 26,5-32,1 мг/100 г, а в темно-каштановых – 34-37 мг/100 г. На долю органической фор-

мы элемента приходилось 84-86 % его валового содержания. Количество сульфатов здесь достигало 5,6 мг/100 г почвы. Вниз по профилю этих почв содержание серы уменьшается за исключением светло-каштановых солончаковых почв и солонцов, в которых содержание элемента нарастает вниз по профилю.

Серые лесные почвы отличаются сравнительно невысоким содержанием валовой серы. Так, в верхнем горизонте этого типа почв Башкирии содержание ее колеблется от 9 до 35 мг/100 г и уменьшается вниз по профилю. В почвообразующей породе она составляет 5-8 мг/100г. Количество органической серы с глубиной уменьшается, однако гумус иллювиальных горизонтов насыщен серой больше по сравнению с верхними горизонтами (Вальников и др. 1973). Количество минеральной серы колеблется здесь от 1,0 до 1,67 мг/100г, вниз по профилю ее количество увеличивается. Содержание легко-растворимой серы в верхних горизонтах составляет 0,55-0,66 мг/100 г.

Дерново-подзолистые почвы по содержанию валовой серы близки к серым лесным. В пахотном слое этого типа почв среднее количество элементов колеблется от 17,9 до 27,6 мг/100 г почвы (Вальников и др. 1973). В их профиле наблюдается два максимума содержания валовой серы: в перегнойном и иллювиальном горизонте. Количество резервной серы в пахотном слое составляет 85-95 % от валового содержания, уменьшается в горизонте A_2 и увеличивается в иллювиальном горизонте. Количество минеральной и легко-доступной растениям серы в этих почвах невелико и увеличивается вниз по профилю. Близкие результаты по содержанию форм серы в лесных лесостепных и степных почвах получены почвоведом Сибири (Маслова, 1993).

Если литературные данные дают возможность довольно четко судить о содержании и распределении валовой, минеральной и органической серы в рассматриваемых выше типах почв, то о соединениях серы в гумусе сведений значительно меньше (Орлов, 1992). Содержание серы в гуминовых кислотах почв колеблется от 0,58 до 0,76 %, а в фульвокислотах – от 0,92 до 1,29 %. Наибольшее ее количество отмечено в гуминовых кислотах чернозема мощ-

ного, наименьшее в темно-серой почве. В фульвокислотах содержание серы убывает при переходе от темно-серой почвы к чернозему и темно-каштановой. Для чернозема мощного отношение серы гуминовых кислот к сере фульвокислот значительно больше 1,0 (Крупский, 1971). Канадские ученые, исследуя гумусово-аккумулятивные горизонты бурых, серых лесных почв и черноземов, пришли к выводу, что формы серы могут служить индикатором природы фракций органического вещества почвы, но они не являются аналогом азота в формировании и трансформировании гумуса (Bettany J. et al., 1979). Австралийские и английские ученые установили, что органическая сера имеет тесную коррелятивную связь с содержанием углерода и азота. Соотношение C : N : S в среднем равно 140 : 10 : 13 и мало меняется для отдельных видов почв (Williams C.H., 1975).

На территории исследуемого региона вопросами содержания валовой и минеральной серы в некоторых почвах изучался Е.В.Тонконоженко и его учениками (Тонконоженко, 1978, 1989; Слюсарев, 1989, 1999; Ха Куанг Хай, 1983).

В настоящее время агроэкологические проблемы серы в Российской Федерации всё больше привлекают внимание отечественных учёных. Возобновлён прямой и косвенный интерес к этим вопросам учёных Кубани (Беспалов, 2004; Слюсарев, 2007), Сибири (Маслова, Якушева, 2004; Танделов, 2005), Дальнего Востока (Убугунов, 2000), и других регионов России (Алыков, 2003; Копчик, 2003).

Таким образом, максимальное количество валовой серы в почвах, не затронутых распадом алюмосиликатной части, наблюдается в гумусово-аккумулятивном горизонте. Если же в почве происходит перераспределение минеральных коллоидов – вымывание полуторных окислов, то наблюдается второй максимум содержания серы в иллювиальных горизонтах. Количество минеральной серы в почвах, за исключением засоленных, относительно невелико. Основная же часть соединений этого элемента представлена недоступными для растений резервными формами. Сера гумусовых веществ ис-

следована слабо и в каждом отдельном типе почв требует дальнейшего исследования. Изучение содержания и процессов трансформации элемента необходимо, особенно, в связи с применением удобрений и влияния на экологию окружающей среды.

1.2. Сера в жизни растений

Наличие серы в составе растений было установлено Либихом в 1859 году. Ее значение как элемента, необходимого растениям, стало очевидным после разработки Саксом и Кнопом в 1860 году метода выращивания растений на солевых растворах. Сера входит в число девяти макроэлементов, необходимых для питания растений (Шевякова, 1979). Она поглощается растением из почвы в виде ее высшего окисла – сульфата-аниона, источником которого служат различные соли серной кислоты (Пейве, 1961; Петербургский, 1971). Растения могут усваивать серу также листьями из воздуха в виде сернистого газа. В малом биологическом круговороте веществ в биосфере превращения этого элемента идут по двум главным путям: окисление и восстановление. В растениях преобладает ассимиляторная сульфатная редукция – главный путь метаболизма серы в растительной клетке, поэтому сульфат, как главный источник питания серы, занимает ведущее у них положение (Шевякова, 1979). В растениях содержание серы колеблется от 0,02 до 1,8 %. Сера – обязательная составная часть двух аминокислот: метионина и цистеина, вместе с которыми она участвует в образовании белков. Содержание этих аминокислот в зеине кукурузы и в глиадине пшеницы составляет соответственно 2,4; 0,9 и 2,3; 2,3% от сухой массы. Сера также входит в состав аллигорчичного и чесночного масел, которые содержатся в семенах крестоцветных растений и в чесноке. В качестве коферментов служат серосодержащие витамины В₁, В₂, В₆, никотиновая кислота и др. Так, витамин В₁ (тиамин) является коферментом галофермента β-карбоксилазы. Он участвует в образовании высокоэнергетических фосфатных связей и стимулирует биосинтез белковых форм фосфора. Витамин В₆ участвует в превращении аспаргина и глю-

тамина в растении. Растительная β -амилаза входит в состав зерна хлебных злаков, а также сои. Ее активность связана с наличием сульфгидрильных групп – SH (Пейве, 1961).

Микрофлора ризосферы является причиной того, что в плодородной почве всегда находятся витамины В₁, В₂, В₆, В₁₂, пантотеиновая, фолиевая, никотиновая, парааминобензойная кислоты и другие соединения, оказывающие положительное биохимическое воздействие на растения. Среднее содержание тиамин в почвах составляет 2 – 3 мкг на 100г почвы. При внесении каждого килограмма навоза в почву поступает 150 мг тиамин и других витаминов (Пейве, 1961). По мнению Ф. Липмана (1975), соединения, содержащие серу, могли быть ответственными за возникновение первичного окислительно-восстановительного потенциала, необходимого для осуществления биосинтезов. Полагают, что тиозиферы были эволюционными предками «макроэргического» АТФ (Шевякова, 1979).

Таким образом, сера в клетке выполняет следующие биологические функции: энергетическую, структуральную (в составе белков, углеводов, липидов и других), каталитическую (в активном центре ферментов, составная часть кофакторов), окислительно-восстановительную (баланс в клетке); инициативную (при клеточном делении), ростовую (в полипептидной цепи при синтезе белков). Она также участвует в реакциях метилирования ДНК, РНК и других важных соединений (Гаврилов, 1972; Горюнов, и др., 1970).

Сера активно вовлекается культурными растениями в биологический круговорот и отчуждается с урожаем растений. В старых листьях растений сера очень лабильна и служит источником некоторого количества подвижной серы для более нуждающихся в ней активно делящихся меристем молодых листьев и корней ((Шевякова, 1979).

При серном голодании листья не отмирают, хотя окраска их становится бледной. Потребность в сере различных растений неодинакова. Она выносятся в большей степени с урожаем растений из семейства крестоцветных (горчица, капуста, турнепс, рапс, редька) (Bloem Elke, 2002; Chatterjee S. et

al., 2005; Grant C.A. et al., 2003; Malhi S.S et al., 2005). Растения семейства маревых (свекла) и бобовых (бобы, горох) также отчуждают с урожаем достаточное количество элемента. В меньшей мере сера выносятся с урожаем кукурузы, картофеля, хлопчатника (Айдинян, 1964; Панников, Минеев, 1977). Содержание серы (в пересчете на SO_3) в растениях выражается следующими величинами (в % на воздушно-сухое вещество): в зерне озимой пшеницы – 0,02, гороха – 0,08, в клубнях картофеля – 0,06, в соломе пшеницы – 0,11, гороха – 0,27, ботве картофеля – 0,13 (Маслова, 1993; Панников, Минеев, 1977; Moinuddin U. Sh., 2004).

Об условиях питания растений серой судят на основании анализов почвы и выпадающих осадков (Слущкая, 1972). При достаточном серном питании повышается устойчивость растений к низким температурам, засухе, засолению почвы, к болезням (Баранов, 1969). Некоторые исследователи в целях диагностики предлагают учитывать содержание общей и сульфатной серы в растениях. Исследования, проведенные в США, показали, что критическая концентрация сульфатной серы в почвах для зерновых культур составляет 0,8 мг на 100г почвы, кукурузы – 0,7- 0,8, люцерны и клевера – 1,2 мг на 100г почвы (Маслова, 1993). В Новой Зеландии при содержании серы в люцерне 0,19 % и выше растения не отзывались на внесение серы. Люцерна, нуждающаяся в сере, содержала 0,15 – 0,17 % данного элемента (Слущкая, 1972). Одновременно с серой в растениях определяется содержание азота и вычисляется отношение азота к сере. Этот показатель для отдельных культур относительно стабилен, так как оба элемента входят в состав белков в строго определенном количестве, характерного для каждого вида растений (Маслова, 1993).

Таким образом, при изучении питания растений серой неизбежно возникает вопрос о необходимости знания в каждом конкретном случае состояния метаболизма серы. Это может оказаться полезным при выборе соответствующих доз серых удобрений, а также видов и сортов растений, отзывающихся на внесение серы. Отличительная особенность высших растений со-

стоит в способности использовать серу сульфата в биосинтетических целях. Поэтому у растений сульфат, как главный источник питания серой, занимает ведущее положение и во многом зависит от накопления его в почвах. Регулируя серное питание культурных растений, можно влиять как на количественные, но в большей мере на качественные параметры сельскохозяйственной продукции.

1.3. Агроэкологические аспекты применения серных удобрений

Известно двойное действие серных удобрений на рост и развитие растений – прямое и косвенное. Косвенное действие связано с изменением доступности питательных элементов в почве, а прямое проявляется в непосредственном участии серы в метаболизме растений. Несмотря на некоторые исследования по влиянию серы на свойства почв и доступность элементов питания, этот вопрос до настоящего времени остается слабо изученным в нашей стране (Вальников, 1973; Слуцкая, 1972; Слюсарев, 1990, 1992, 1994, 2005).

В опытах отечественных и канадских ученых установлено благоприятное влияние серы на синтез в растениях хлорофилла и активность окислительных ферментов. У пшеницы и ячменя наблюдалось увеличение продуктивной кустистости, ускорение созревания, улучшения структуры урожая. Под воздействием серных удобрений урожай зерна озимой и яровой пшеницы, озимой ржи, овса, ячменя возрастал на 1,0-2,5 ц/га, а в некоторых случаях и больше. При этом наблюдалось повышение в зерне содержания белка на 0,5-1,6 % (Сырый, 1970; Шкель, 1975; Челомбитько, 1975; Виткаленко, 1981). Имеются сведения о повышении под влиянием серы стекловидности зерна пшеницы (Челомбитько, 1975) и содержания всех аминокислот в зерне ячменя (Шкель, 1975).

Новые сведения получены эстонскими исследователями при внесении в посевах озимой пшеницы жидких удобрений с содержанием сульфатной серы (N_{aa} , N_a), а также удобрений $A_{хан-1}$ (2,7% S), $A_{хан-2}$ (7% S) в дозах серы от 4 до 26 кг/га. Установлено повышение содержания хлорофилла в листьях озимой пшеницы, увеличение числа продуктивных стеблей, зёрен в колосе и

рост урожая зерна на 29-64% (Järvan Malle, 2005). На дерново-карбонатной почве с низким содержанием доступной серы в посевах озимой пшеницы они применяли N_{60} при посеве и N_{60} в подкормку. С удобрениями вносили по 6-12 кг/га серы в форме N_a , а также испытывали эффективность серы, поступающей с фунгицидом «Thiovit Jet». При внесении серы в форме N_a прибавка урожая составила 27-49%, от фунгицида – 11-55% (в зависимости от доз и сроков применения). Некорневая подкормка серой усиливала продуктивное кущение и число зёрен в колосе, что благоприятно отражалось на формировании урожая (Ivanic J., 1981).

Что касается пропашных культур, то здесь также отмечается увеличение зеленой массы, зерна кукурузы, корней свеклы, клубней картофеля на 10-20%, а в ряде случаев – и на 30% (Анспок, 1987; Слуцкая, 1972). Действие серных удобрений положительно оказывается и на качество урожая этих культур. Так, в зерне и зеленой массе кукурузы повышается содержание протеина, жира, триптофана, валина, треонина, гистидина (Владимирова, 1974; Мамедов, 1978). Под влиянием серы интенсифицируется синтез углеводов: в корнях свеклы увеличивается содержание сахара (Анспок, 1987; Чернова, 1978), а в клубнях картофеля – крахмала (Дмитриенко, 1962; Мамедов, 1976). В ряде опытов установлено, что содержащие серу удобрения способствуют более интенсивному поступлению азота, фосфора, калия, кальция, магния, серы и ряда микроэлементов в растениях кукурузы, сахарной свеклы, картофеля, рапса (Анспок, 1987; Владимирова, 1974; Шугля, 1969; Bloem Elke., 2002). Исследованиям установлено благоприятное влияние серных удобрений на рост и развитие зернобобовых культур (Анспок, 1976; Морозов, 1976; Сырый, 1973) и бобовых трав (Владимирова, 1974; Сырый, 1972). Часто положительное влияние серы сильнее проявлялось на содержании белковых веществ в растениях бобовых, нежели на их общей продуктивности. Так, в полевых опытах Харьковского СХИ применение меченой серы под ячмень, предшественник люцерны, повысило содержание протеина на 0,7-1,5%, а сбор протеина – на 1,0-1,5 ц/га (Сырый, 1970).

Серосодержащие удобрения активизируют жизнедеятельность клубеньковых бактерий (Сырый, 1972). Под влиянием серы в урожае бобовых культур становится больше не только азота, но и фосфора, кальция, а также ряда микроэлементов – бора, цинка и меди (Сырый, 1972; Яппаров, 1973). В составе белков зерна гороха и фасоли отмечено увеличение хорошо усвояемых водорастворимых и солерастворимых фракций (Кореньков, 1985; Лавриненко, 1968). Сера способствует накоплению в бобовых растениях ценных аминокислот (Братчиков, 1975), повышает всхожесть семян и увеличивает активность ферментов пероксидазы и полифенолоксидазы (Лысенко, 1973; Мосолов, 1959).

Интенсивные исследования по эффективности форм, видов, сроков и способов внесения серных удобрений под рапс ведутся в настоящее время Канадскими учёными. На серых, тёмно-серых лесных почвах и чернозёмах вносили гранулированные серосодержащие удобрения (ES-99, ES-95, ES-90 и Biosul-90), суспензии Biosul-50 и N_a , а также Agrium Plus (21,7% элементарной S + 18,7% SO_4-S) и Tiger 90^(R) (бентонит с элементарной серой) поверхностно вразброс или путём опрыскивания. Суспензия Biosul-50 и порошковидная элементарная сера были близки по эффективности к сульфатным формам серных удобрений, а жидкие удобрения с содержанием сульфатной серы (N_a) были более эффективны, чем Tiger 90^(R). Гранулированные формы и элементарная сера заметно повышали эффективность во второй год, но уступали формам сульфатным, суспензионным и порошковидным (Malhi S.S., 2005). На чернозёмных почвах повышалось содержание масла и серы в семенах рапса, а также уменьшалось количество хлорофилла. Внесение N_a под предшественник (пшеница) обеспечивало последствие серы на рапсе, повышая содержание масла и серы в семенах, при одновременном снижении в них хлорофилла и азота. Эффективность серосодержащих удобрений не зависела от способа основной обработки почвы (Grant C.A., 2003).

Немецкие, английские и швейцарские учёные установили существенное повышение в растениях рапса содержания сульфата, цистеина, глутатиона,

гликозинолата. Выявлены механизмы S-индуцируемой устойчивости рапса к грибу *Pirenopeziza brassicae* (Bloem Elke., 2002). Установлено, что рапс как предшественник, может увеличивать доступность серы последующим в севообороте культурам. При средней обеспеченности серой почвы применение серных удобрений в половине случаев приводило к повышению масличности семян рапса (Peller D., 2003).

Большое внимание уделяется учёными Западной Европы, Северной Америки и Китая проблемам, связанным с рубкой лесов, а также подкислению почв атмосферными осадками. Рубка лиственного леса близ Нью-Йорка привела в течение 8 месяцев к подкислению лесной почвы (рН с 4,5 до 4,0) и снижению содержания подвижных сульфатов. Причиной являлось закрепление серы адсорбцией с увеличением кислотности. Ежегодные потоки общей и сульфатной серы из лесной подстилки за 3 года уменьшались суммарно на 6,9кг/га (Welsch Daniel L. et al., 2004).

В юго-западной части Швеции с 1988 по 1998гг. наблюдали за внесением сульфата аммония под насаждение ели (100кг N/га и 114кг S/га ежегодно). Действие удобрения сопровождалось усиленным выносом из почвы NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} и не влияло на вынос K. При этом величина рН в минеральных горизонтах снижалась на 0,4ед. (Selim H.M. et al., 2004). При изучении регулирования накопления сульфата в лиственных лесах установлено, что дефицит серы не влиял на рост тополя, но содержание глутатиона в растении снижалось. Дефицит серы приводил к повышению уровня АТФ сульфатазы и сульфитредуктазы в мРНК, что является адаптивным механизмом накопления сульфатов в ходе метаболизма (Kopriva Stanislav, et al., 2004).

Китайские учёные установили, что при поступлении серы с атмосферными выпадениями на краснозёмы в районе широколиственных лесов Южного Китая 69% от общего количества серы приходилось на сульфаты (Xu Cheng-Kai et al., , 2004).

О сроках и способах внесения серных удобрений имеется много информации в зарубежной литературе, особенно тех стран, где давно нала-

жено производство серных удобрений. В странах СНГ серные удобрения вносят осенью под зяблевую вспашку или ранней весной под предпосевную культивацию (Гончаренко, 1969). Удобрения, содержащие серу, оказывают хорошее действие при внесении их небольшими дозами при посеве (Сырый, 1970). При остром дефиците серы рекомендуется некорневая подкормка растений 0,5-2,0%-ным раствором сульфатов (Маслова, 1993). Оптимальная доза различных форм серных удобрений в Украине и Белоруссии составляет примерно 60 кг/га (Сырый, 1970; Шкель, 1979; Шугля, 1969). В Латвии вносят 60-120 кг/га серы, в зависимости от почвы и культуры (Слуцкая, 1972).

Таким образом, аналитический обзор литературы показывает, что сера имеет большое значение в малом биологическом и большом геологическом круговоротах веществ Земли. Содержание и закономерности распределения этого элемента изучены далеко не во всех почвах. Наиболее развитые в аграрном отношении страны (США, Великобритания, Франция, Япония) наладили выпуск сложных и комплексных удобрений, сбалансированных не только по NPK, но и включающие серу, кальций, магний и другие, жизненно важные для питания растений элементы. В настоящее время наиболее интенсивно ведутся исследования в данном направлении учёными КНР, Индии, Ирана, Канады, Германии.

В бывшем СССР пик изучения проблемы серы в аграрном секторе пришёлся на 70-80гг. прошлого столетия. Первые успешные результаты в области исследования содержания серы в почвах и растениях были получены учёными Прибалтийских государств, Белоруссии, Украины, Российской Федерации. Несмотря на то, что проблема серы стала насущной в различных регионах нашей страны, отечественная промышленность так и не наладила выпуск современных удобрений, сбалансированных по большому ряду элементов питания, включая и серу. В каждой конкретной зоне необходимо тщательное изучение обеспеченности почв серой, выявление потребностей в серном питании растений, обоснование экологической и экономической целесообразности применения серных удобрений.

ГЛАВА 2. ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ РЕГИОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

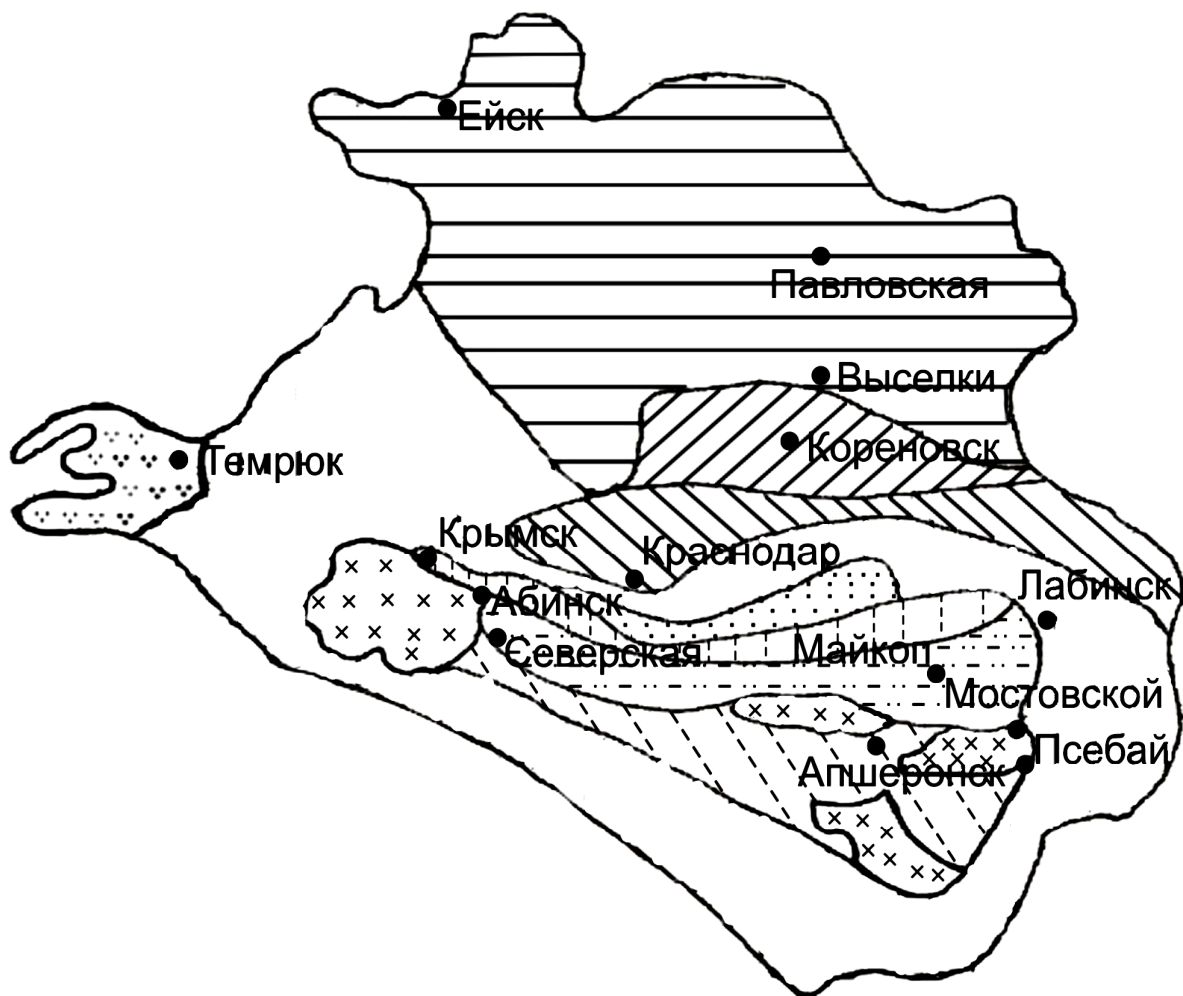
Объектами исследования являлись чернозёмы Азово-Кубанской низменности и Таманского полуострова, серые лесостепные почвы предгорной лесостепи, серые и бурые лесные, а также дерново-карбонатные почвы предгорий и гор Северо-Западного Кавказа. Общая площадь исследуемых почв составляет 58,4% от площади почв Краснодарского края, причём на долю площади пашни и сельскохозяйственных угодий приходится соответственно 82,5 и 77,1%. Эти данные красноречиво свидетельствуют о высоком качестве изучаемых почв и их удельном земледельческом весе в сельскохозяйственном производстве Южного Федерального округа Российской Федерации (табл.1).





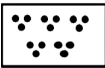




Математическая обработка и пересчет результатов почвенных анализов проводили по Н.Г. Зырину (1965): M – средняя арифметическая величина, n – число параллельных определений, m – ошибка среднего арифметического, δ – средняя квадратическая ошибка, V – коэффициент варьирования, P – относительная ошибка среднего арифметического, t – критерий достоверности

Таблица 1. Распределение исследуемых почв по видам угодий (Штомпель, Нещадим, 2006)

Типы и подтипы почв	Общая площадь, тыс. га	В том числе	
		пашня	сельхозугодия
Черноземы южные	157,6	66,5	121,6
Черноземы обыкновенные	2966,6	2244,0	2354,6
Черноземы типичные	645,1	555,3	581,0
Черноземы выщелоченные	240,7	160,2	213,5
Черноземы выщелоченные слитые	38,5	31,3	35,3
Серые лесостепные	69,0	38,8	54,1
Серые лесные	65,4	12,0	37,1
Дерново - карбонатные	78,4	10,1	44,2
Бурые лесные	143,5	5,8	17,9
Итого на 01.01.1994г.	4404,8	3124,0	3453,3

Стьюдента-Фишера, r – коэффициент корреляции, R – коэффициент множественной корреляции, \lim – пределы значения показателя.



-  Чернозем обыкновенный
-  Чернозем типичный
-  Чернозем выщелоченный
-  Чернозем слитой
-  Чернозем южный
-  Серые лесостепные
-  Серые лесные
-  Бурые лесные
-  Дерново-карбонатные

Карта-схема размещения исследуемых почв Северо-Западного Кавказа

2.1. Чернозёмы Азово-Кубанской равнины и Таманского полуострова

Исследуемые чернозёмы относятся к южно – европейской фации, где сумма активных температур колеблется от 3000 до 3600°С, а годовая норма осадков – от 400 до 660мм. Они отличаются невысоким содержанием гумуса и большой мощностью гумусовых горизонтов.

Чернозёмы обыкновенные охватывают всю северную и восточную часть Азово-Кубанской низменности и восточную часть Закубанской наклонной равнины. Южной границей этих почв является ориентировочно линия Приморско-Ахтарск – Старовеличковская – Архангельская – Кропоткин – Армавир. Характерный признак рассматриваемых чернозёмов – наличие карбонатов с поверхности или в пределах верхних 30см и по всему профилю.

Чернозёмы типичные расположены на водоразделах верхнего и среднего течения р. Бейсуг, Бейсужек, Кирпили, а также в западной степной части водораздела между Кубанью и Урупом, с одной стороны, а Лабой – с другой. От чернозёмов обыкновенных отличаются вскипанием от действия соляной кислоты в горизонте АВ, в среднем на глубине 74см.

Чернозёмы выщелоченные обычного рода распространены в основном южнее типичных чернозёмов по линии Новомышастовская – Новотиторовская – Динская – Воронежская. На левобережье Кубани они расположены севернее линии Лабинск – Великовечное на водоразделе Лаба-Белая. От чернозёмов типичных отличаются, в основном, выщелачиванием карбонатов за пределы гумусовых горизонтов.

Чернозёмы выщелоченные слитые располагаются на Закубанской наклонной равнине, южнее выщелоченных чернозёмов, узкой полосой простираясь вдоль населенных пунктов: Варениковская – Крымск – Тахтамукай – Белореченск – Майкоп – Мостовской. Наиболее характерной чертой этих чернозёмов является высокая плотность горизонта В_v.

Чернозёмы южные приурочены к седловинам, равнинам, а также склонам гряд и холмов Таманского полуострова. Для них характерна слабая и неглу-

бокая гумусированность, коричневатая окраска верхнего гумусового горизонта, не всегда ясное деление профиля на генетические горизонты.

Нашими исследованиями установлено, что по содержанию гумуса изучаемые черноземы относятся преимущественно к слабогумусным. Особенно низким содержанием органического вещества отличаются черноземы южные. Они же имеют самую низкую поглотительную способность и достаточно высокую щелочность (табл.2).

Таблица 2. Статистические показатели свойств черноземов

Горизонт	Гумус,% (M ± m)	V,%	Сумма обменных оснований, м.-экв. на 100 г почвы (M ± m)	V,%	pH _{H₂O} (M ± m)	V,%
Обыкновенные (n =6)						
A _п	3,83±0,140	9,43	39,4 ± 0,58	3,63	8,12±0,041	1,44
A	3,40±0,120	9,52	38,2 ± 1,07	6,86	8,23±0,045	1,33
Южные						
	n=9		n=5		n=5	
A _п	1,72±0,053	9,17	27,4 ± 1,90	15,5	8,31±0,091	2,46
A	1,55±0,047	9,12	27,3 ± 1,95	15,9	8,40±0,074	1,97
Выщелоченные						
	n=6		n=12		n=12	
A _п	3,18±0,146	11,3	37,2 ± 1,51	4,05	6,66±0,052	2,71
A	2,52±0,115	11,1	37,2 ± 1,25	3,37	6,60±0,040	2,08

Довольно высокая сумма обменных оснований черноземов выщелоченных и обыкновенных частично унаследована от материнских лёссовых суглинков и глин, а частично приобретена в процессе почвообразования, особенно гумусонакопления. Минеральные коллоиды черноземов представлены монтмориллонитом, каолинитом и минералами иллит-монтмориллонитовой структуры (Соляник, 2004). Наибольшей емкостью катионного обмена обладает монтмориллонит (60 – 100 мг-экв), наименьшей – каолинит (3 -15 мг-экв). Коллоиды органического происхождения не превышает 20% от суммы обменных оснований, однако емкость катионного обмена гумусовых веществ составляет 200-500м.-экв (Возбуцкая,1964). В составе гуминовых кислот ос-

новное количество приходится на фракцию, связанную с кальцием, значительно меньшее – на фракцию, связанную с глинистыми минералами (Загоруйко, Слюсарев и др., 2005).

Таким образом, черноземы региона достаточно хорошо изучены, однако вопросы содержания, распределения, трансформации в них форм серы и обеспеченности этим важнейшим элементом практически мало исследованы.

2.2. Серые лесостепные почвы Кубанской наклонной равнины

Зона, где широкое распространение получили лесостепные почвы, простирается примерно по линии: г. Абинск – станица Саратовская – пос. Родниковый – станица Ярославская. Ширина этой полосы составляет от 5-10км на западе до 20-30км на востоке, ее нижняя граница проходит на высотах 150-200м над уровнем моря. В южной части она постепенно переходит водоразделами левых притоков Кубани в предгорье.

Характерной особенностью серых лесостепных почв является наличие слитого, очень плотного, темно-окрашенного горизонта B_v . Во влажном состоянии этот горизонт практически водонепроницаем. При высыхании становится очень твердым. В зависимости от содержания гумуса эти почвы подразделяются на темно-серые, серые и светло-серые подтипы.

Наши исследования показали, что среднее содержание гумуса в пахотных горизонтах темно-серых почв не превышало 3%, а сумма обменных оснований в гумусово-элювиальных горизонтах – 30м.-экв на 100г почвы. Реакция почвенного раствора слабокислая вверху профиля и щелочная внизу (табл. 3).

Физические свойства серых лесостепных почв относительно благоприятны только в горизонте A_1 , который хорошо освоен корнями. Глубже возрастает плотность почвы, достигая в слитой толще до $2,0 \text{ г/см}^3$. Самые лучшие – темно-серые почвы оцениваются лишь 26-39 баллами бонитета (Неговелов, Вальков, 1985).

Таблица 3. Статистические показатели свойств тёмно-серых лесостепных почв (n=6)

Гори- зонт	Гумус		Сумма обменных оснований		Гидро- литическая кислотность		pH _{H₂O}	
	M ± m, %	V, %	M ± m, м.-экв. на100г	V, %	M ± m, м.-экв. на100г	V, %	M ± m	V, %
A _n	2,64± 0,10	9,10	26,1±2,22	20,8	4,64±0,66	34,8	6,47±0,13	4,89
A ₁ B	1,72± 0,16	22,4	29,4±1,97	16,4	4,89±0,34	16,9	6,48±0,04	1,59
A ₁ B _g	1,23± 0,15	30,0	33,9±1,48	10,7	3,73±0,43	28,0	6,85±0,15	5,48
B _v	0,78± 0,11	35,9	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	7,63±0,20	6,39
BC	0,35± 0,06	43,9	-	-	-		8,32±0,12	3,54
C	0,36± 0,07	44,7	-	-	-		8,57±0,04	1,11

2.3. Серые лесные почвы предгорий и низких гор

Серые лесные почвы Северо-Западного Кавказа формируются под широколиственными лесами и в отличие от Русской равнины относятся к южно-европейской фации, где почвообразование протекает круглый год. Поэтому процессы оподзоливания и лессиважа у них морфологически выражены слабо. По содержанию гумуса в горизонте А разделяются на темно-серые, серые и светло-серые подтипы.

Нами проведён анализ морфологических и основных агрохимических свойств исследуемых серых лесных почв, для чего были выбраны наиболее типичные разрезы, заложенные по всему региону (от Мостовского до Крымского районов). В тёмно-серых лесных почвах мощность гумусового горизонта 25-44см, гумуса в нём содержится от 5,07 до 9,38%. Количество его с глубиной постепенно снижается. Средняя величина обменной кислотности в

гумусово-элювиальных горизонтах характеризует их как слабокислые. В материнской породе реакция среды приближается к нейтральной (табл. 4). В серых лесных почвах мощность гумусового горизонта 15-25см, гумуса в нём 3,96-6,43%. Реакция среды в верхних горизонтах в среднем характеризуется как среднекислая и слабокислая. Они больше тяготеют к нейтральным материнским породам. Наименьшей мощностью гумусового слоя (<15см) при низком среднем количестве гумуса в нём (3,17%) и среднекислой и кислой реакцией среды по профилю характеризуются светло серые почвы. Они в большей степени приурочены к слабокислым почвообразующим породам.

Таблица 4. Характеристика серых лесных почв (n=4)

Горизонт	Гумус, %			pH солевой суспензии		
	M±m	σ	V,%	M±m	σ	V,%
Тёмно-серые (n=4)						
A ₁	7,18± 0,96	1,92	26,7	5,52± 0,23	0,47	8,09
A ₁ A ₂	3,08± 0,34	0,67	22,3	5,00± 0,26	0,52	10,5
B	1,61± 0,31	0,61	38,2	5,02± 0,48	0,97	19,3
C	0,78 ±0,10	0,18	28,2	6,62 ±0,66	1,32	19,9
Серые (n=4)						
A ₁	4,83 ±0,61	1,22	25,3	5,52± 0,21	0,42	7,69
A ₁ A ₂	1,71 ±0,40	0,79	46,2	5,03 ±0,45	0,90	18,0
B	1,19 ±0,21	0,41	34,2	5,44± 0,60	1,20	22,1
C	0,66± 0,14	0,27	40,9	6,65± 0,71	1,42	22,3
Светло-серые (n=4)						
A ₁	3,17 ±1,12	2,25	70,8	5,4±2 0,30	0,60	11,0
A ₁ A ₂	1,15 ±0,24	0,47	41,0	5,01± 0,33	0,66	13,1
B	0,77 ±0,18	0,36	46,4	4,96± 0,37	0,74	15,0
C	0,56± 0,17	0,34	60,1	5,37 ±0,75	1,50	28,0

В серых лесных почвах мощность гумусового горизонта 15-25см, гумуса в нём 3,96-6,43%. Реакция среды в верхних горизонтах в среднем характеризуется как среднекислая и слабокислая. Они больше тяготеют к нейтральным материнским породам.

Наименьшей мощностью гумусового слоя (<15см) при низком среднем количестве гумуса в нём (3,17%) и среднекислой и кислой реакцией среды по профилю характеризуются светло серые почвы. Они в большей степени приурочены к слабокислым почвообразующим породам.

2.4. Дерново-карбонатные почвы предгорий и низких гор

Эти почвы изучались в горных и предгорных районах Северного Кавказа на склонах разной крутизны и экспозиции. Почвообразующими породами являются известняки, мергели, доломиты и их делювий. Среди этих почв в исследуемой зоне выделяют два подтипа: дерново-карбонатные типичные и выщелоченные (Класс. и диагн. почв СССР, 1977).

Исследованные нами дерново-карбонатные типичные почвы относятся к среденемощным. Гумуса в поверхностных горизонтах целинных почв содержится 4,82 %, освоенных – 4,01 % (табл. 5). Все они по содержанию гумуса относятся к среднегумусным. Реакция среды по профилю дерново-карбонатных типичных почв среднещелочная. Она обусловлена в большей мере присутствием свободных карбонатов. Среднее содержание карбонатов в верхних горизонтах освоенных почв составляет 4,76 %, целинных – 9,17 %.

Таблица 5. Химические свойства дерново-карбонатных почв

Число разрезов	Горизонт	Гумус, %		рН водный		CaCO ₃ по CO ₂ карбонатов, %	
		lim	M	lim	M	lim	M
Типичные							
9	A _п *	3,5-4,6	4,81	7,9-8,2	8,02	1,3-15,7	4,76
	A	3,7-5,9	4,82	7,8-8,0	7,91	1,9-22,1	9,17
	B	2,0-3,8	2,55	7,8-8,3	8,10	1,0-25,6	9,28
	BC	1,2-1,8	1,55	8,3-8,4	8,30	12,6-36,7	24,76
	C	0,3-0,9	0,56	8,3-8,6	8,44	15,8-44,3	27,94
Выщелоченные							
3	A	6,0-7,4	6,85	7,0-7,4	7,17	0-1,1	0,58
	B	2,3-2,8	2,65	6,7-8,0	7,34	0-6,3	2,49
	BC	0,8-1,6	1,27	7,2-8,4	7,94	0-20,4	8,81
	C	0,5-0,8	0,67	8,3-8,6	8,48	5,9-8,6	7,28

* A_п – для сравнения представлен отдельно

Дерново-карбонатные выщелоченные почвы отличаются от типичных большей мощностью гумусовых горизонтов. Гумуса в поверхностных горизонтах выщелоченных почв содержится от 6,0 до 7,4%, что позволяет их считать многогумусовыми (Класс. и диагн. почв СССР, 1977). Все исследуемые нами

дерново-карбонатные выщелоченные почвы сформировались на водораздельных плато, где создаются более благоприятные условия для промывания карбонатов вниз по профилю. Свободные карбонаты в гумусовых горизонтах здесь отсутствуют или присутствуют в небольших количествах. Это способствует снижению щелочности этих почв. Дерново-карбонатные выщелоченные почвы отличаются нейтральной и слабощелочной реакцией среды.

2.5. Бурые лесные почвы низких и средних гор

На Северном Кавказе получили распространение два фациальных подтипа: бурые лесные слабонасыщенные очень теплые периодически и кратковременно промерзающие. Недостаточная изученность этих почв не позволяет считать такое деление исчерпывающим. По исследованиям Е.С.Блажного и Ю.И. Бридько (1968) они характеризуются не всегда ясной дифференциацией профиля по генетическим горизонтам, общей буроватостью окраски. Значительную часть бурых лесных почв Кавказа, ранее относимых к оподзоленным, стали считать лессивированными, так как оподзоленности не способствует постоянное склоновое обновление почв (Занин, 1976; Козин, 1990, Зайдельман, 2007). Ю.И.Бридько предложил классификацию этих почв в зависимости от степени их окультуренности (освоенности) (Бридько, 1985). Эти почвы среднеобеспечены подвижными формами марганца, бора и низкообеспечены доступными для растений формами меди, цинка и молибдена (Слюсарев, 1979, 1981).

Изучение почвенных разрезов, заложенных на северных склонах от верховьев Малой Лабы до Крымского района, позволило нам выделить подтипы бурые лесные слабонасыщенных и ненасыщенных (кислых) почв. Средняя мощность слоя А+В слабонасыщенных почв немногим превышает 69см. Минимальное среднее значение обменных оснований наблюдается в горизонте А₂, максимальное – в материнской пароде (табл. 6). Верхние горизонты освоенных почв беднее основаниями по сравнению с целинными.

Таблица 6. Среднестатистические показатели свойств бурых лесных почв

Горизонт	Гумус, %		pH, солевой		Гидролитическая кислотность	Сумма обменных оснований			Степень насыщенности оснований, %	
	lim	M	lim	M		м.-экв. на 100г почвы		lim		M
					lim	M	lim	M		
Слабонасыщенные, n=17										
A _{пах} ^{*)}	1,3-3,0	2,12	4,9-6,0	5,29	1,5-4,4	2,71	7,0-31,5	17,56	75,9-93,0	87,0
A ₁	2,3-5,1	3,34	4,5-7,0	5,69	0,5-6,5	3,09	9,8-49,6	21,93	71,2-95,8	83,4
A ₂	0,7-2,2	1,35	4,0-5,8	4,88	1,2-5,8	3,12	5,2-22,7	13,59	73,4-88,4	79,4
B ₁	0,4-1,8	0,93	4,0-6,9	4,93	0,7-5,8	3,29	0,8-43,2	21,10	63,1-98,5	84,3
B ₂	0,5-1,8	1,01	4,0-6,5	4,82	0,9-6,2	3,44	12,9-41,9	22,49	73,7-97,8	84,3
C	0,2-0,6	0,36	3,2-7,4	4,88	0,3-6,4	3,17	7,4-49,5	23,66	78,9-99,4	87,3
Ненасыщенные (кислые), n=6										
A ₁	2,5-5,0	3,77	3,7-4,9	4,42	5,9-10,7	7,75	7,0-11,6	8,96	43,7-58,2	53,7
A ₂	0,6-2,6	1,56	3,8-4,3	4,01	4,1-8,9	7,45	3,3-8,7	6,77	41,8-52,0	47,0
B	0,3-1,4	0,91	3,5-4,1	3,86	4,4-9,9	6,94	4,6-12,4	7,05	32,4-63,9	49,2
C	0,2-0,9	0,54	3,6-4,5	3,94	3,3-8,7	6,19	7,2-28,4	16,57	51,3-33,5	69,8

^{*)} A_п – приводится для сравнения отдельно

Минимальное значение степени насыщенности основаниями отмечено в элювиальном горизонте, максимальное – в почвообразующей породе. Реакция среды слабонасыщенных почв колеблется от кислой до нейтральной. В горизонте А (A_{II} , A_1) среднее значение рН составляет 5,3-5,7, в горизонте A_2 – 4,9. С глубиной кислотность почв, в зависимости от материнских пород, уменьшается или увеличивается. В силу высокой степени насыщенности основаниями гидролитическая кислотность этих почв имеет небольшие средние показатели, которые претерпевают колебания по отдельным генетическим горизонтам. По содержанию гумуса бурые лесные слабонасыщенные почвы преимущественно малогумусные. Гумуса в горизонте A_{II} меньше, чем в горизонте A_1 . С глубиной происходит довольно резкое его уменьшение.

Бурые лесные ненасыщенные (кислые) почвы отличаются от слабонасыщенных несколько меньшей средней мощностью горизонта А и большей горизонта В. Средние значения суммы обменных оснований по всему профилю ненасыщенных почв в 2-3 раза меньше, чем кислых. Степень насыщенности основаниями кислых почв почти наполовину меньше, чем у слабонасыщенных. Величина рН уменьшается вниз по профилю от 4,4 до 3,9. Гидролитическая кислотность в два раза выше, чем в слабонасыщенных почвах. По содержанию гумуса бурые лесные ненасыщенные почвы относятся к малогумусным.

Таким образом, основными объектами исследования были чернозёмы обыкновенные, южные, типичные, выщелоченные (обычного и слитого рода) слабогумусные, все подтипы серых лесных и лесостепных почв, дерново-карбонатные типичные среднегумусные и выщелоченные многогумусные почвы, а также бурые лесные слабонасыщенные и ненасыщенные (кислые) почвы. Научные исследования и производственный опыт показывают, что ещё недостаточно учитываются их свойства и потенциальные возможности. Ещё слабо изучено и учтено многообразие вещественного состава наших почв. Мало исследованы вопросы содержания в них форм серы и обеспеченности растений этим элементом.

ГЛАВА 3. СОДЕРЖАНИЕ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ СЕРЫ В ПОЧВАХ И ИХ СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Одними из важнейших причин медленного прироста урожаев сельскохозяйственных культур являются игнорирование в земледелии особенностей почвенного покрова различных природных зон и ландшафтов, недооценка большой пространственной разнородности почв и их динамики по годам, шаблонный подход к севооборотам, удобрениям, мелиорациям. Ведущие по объёму поступления в почвы биофилы – углерод, азот, фосфор, сера – частично входят в химические соединения, которые могут представлять существенную опасность для функционирования экологических систем и здоровья человека. Однако отсутствие крупномасштабного учёта состояния почв и сезонных особенностей их функционирования не позволяет должным образом контролировать поведение этих элементов в почвенных системах. Для этого необходима детальность знаний содержания, закономерностей распределения по профилю и особенностей трансформации биофилов в связи с применением удобрений и других агрохимикатов в почвах каждого района, хозяйства и участка. Культура и точность приложения таких сведений, подбор и внесение удобрений, сбалансированных по всем элементам, должны соответствовать экологическим условиям местности, требованиям растений и планируемому урожаю. Только планомерное воздействие на все факторы жизни почвы и растений даёт возможность управлять их плодородием и получать высокую биопродукцию в сельском хозяйстве.

3.1. Формы серы в чернозёмах

Черноземы Кубани достаточно хорошо изучены, однако вопросы содержания в них форм серы мало исследованы. Среднее содержание валовой серы в исследуемых черноземах сравнительно невысокое (табл.7). Вниз по профилю её количество заметно снижается. Черноземы обыкновенные и южные характеризуются более равномерным, по сравнению с выщелоченными, распределением элемента в гумусовых горизонтах.

Таблица 7. Распределение валовой и резервной серы в профиле чернозёмов, мг на 100г почвы (n=6)

Горизонт	Валовая				Резервная
	M±m	t _d	Сравнимые горизонты	V, %	
Обыкновенные (n=6)					
A _п (1)	35,8±1,78	1,72	1 – 2	12,20	34,2
A (2)	32,4±0,86	2,39	1 – 3	8,76	31,1
AB(3)	30,8±1,10	7,28	1 – 4	8,73	29,3
B (4)	20,8±1,04	7,74	1 – 5	12,20	17,8
C (5)	18,3±1,40	7,02	3 – 5	18,80	11,1
Южные (n=6)					
A _п (1)	23,1±1,64	1,88	1 – 2	17,40	21,6
A (2)	19,8±0,65	2,33	1 – 3	8,02	18,7
AB (3)	19,0±0,64	4,78	1 – 4	8,32	16,8
B (4)	14,8±0,63	2,60	1 – 5	10,47	10,2
C (5)	16,2±2,08	1,90	4 – 5	31,40	9,2
Выщелоченные (n=6)					
A _п (1)	33,4±1,30	1,76	1 – 2	9,54	31,3
A (2)	30,2±1,28	6,16	1 – 3	10,35	27,9
AB ₁ (3)	25,2±0,27	8,22	1 – 4	2,86	22,0
AB ₂ (4)	23,8±0,29	8,27	1 – 5	3,04	20,1
B (5)	22,4±0,27	7,91	1 – 6	3,00	18,2
C (6)	19,8±1,12	3,45	4 – 6	13,90	15,2
Типичные (n=9), Тонконоженко Е. В., 1988					
A (1)	39,3±5,05	1,6	1-2	46,9	35,1
AB(2)	25,0±5,16	2,0	1-3	63,7	23,1
C (3)	22,0±5,09			70,2	18,8
Выщелоченные слитые (n=6), Тонконоженко Е. В., 1988					
A (1)	33,7±4,16	2,2	1-3	39,0	30,4
AB(2)	29,7±5,42	1,4	2-3	48,0	26,7
C (3)	19,8±4,76			58,9	17,7

Это подтверждает отсутствие достоверных различий в содержании валовой серы между горизонтами A_п, A, и AB первых двух подтипов. Количество элемента в пахотном слое черноземов обыкновенных и выщелоченных существенно отличается от южных. Уменьшение валовой серы составило по отношению к чернозёмам обыкновенным для южных – 35,5%, для выщелоченных – 6,4%. Черноземы выщелоченные имеют достоверные различия в

количестве элемента между горизонтами $A_{\text{п}}$ и АВ. Содержание её в материнских породах колеблется от 16,2 до 22,0 мг на 100 г почвы и существенно отличается от гумусовых горизонтов.

Количество резервной серы обычно больше в верхней части профиля: в горизонте $A_{\text{п}}$ и А соответственно, 93 – 95% и 85 – 95% валовой. В почвообразующей породе содержание элемента снижается с 57 – 61% в южных и обыкновенных чернозёмах и до 77% в выщелоченных. В целом, различия в содержании валовой серы между подтипами чернозёмов незначительные. Исключение составляет чернозём южный, который по сравнению с другими подтипами имеет существенно более низкое количество элемента.

Нами установлена прямая корреляционная зависимость между количеством гумуса и содержанием валовой серы по генетическим горизонтам чернозёмов выщелоченных: коэффициент корреляции между ними составил 0,86. Около 74% изменений количества валовой серы по профилю чернозёмов выщелоченных обусловлены изменениями содержания гумуса. В результате регрессионного анализа установлено, что увеличение гумуса в чернозёме на 1% соответствует увеличению серы в среднем на 5,3 мг/100г почвы.

Таким образом, среднее содержание валовой серы в гумусоаккумулятивных горизонтах чернозёмов типичных, обыкновенных, выщелоченных и южных составило соответственно 39,3; 34,1; 32,8 и 21,5 мг на 100г почвы. Основная часть (85-95%) серы в этом горизонте представлена недоступной для растений резервной формой.

Помимо запасов питательных веществ, плодородие почв определяется их доступностью и сбалансированностью химического состава. Большое значение для питания растений имеет содержание минеральной серы (табл.8). Наибольшее её количество установлено в пахотных горизонтах слитых чернозёмов. Характер распределения минеральной серы в профиле отличается от валовых и резервных форм: содержание увеличивается к материнской породе, особенно в обыкновенных и южных подтипах. Это увеличение носит здесь закономерный характер и подтверждается критерием достоверности,

Таблица 8. Распределение минеральной серы в профиле чернозёмов, мг на 100 почвы (n=6)

Горизонт	M ± m	В % от валовой	t _d	Сравниваемые горизонты	V, %
Обыкновенные (n=6)					
A _п (1)	1,60 ± 0,12	4,47	2,17	1 - 2	18,12
A (2)	1,34 ± 0,03	4,14	0,54	1 - 3	5,97
AB(3)	1,53 ± 0,06	4,97	3,36	1 - 4	10,70
B (4)	3,01 ± 0,41	14,47	18,6	1 - 5	33,20
C (5)	7,18 ± 0,27	39,23	1,58	2 - 3	9,26
Южные (n=6)					
A _п (1)	1,50 ± 0,24	6,49	1,46	1 - 2	38,8
A (2)	1,12 ± 0,11	5,66	2,92	1 - 3	25,0
AB(3)	2,23 ± 0,08	11,74	5,34	1 - 4	8,38
B (4)	4,60 ± 0,53	31,08	9,82	1 - 5	28,5
C (5)	7,00 ± 0,51	43,21	4,28	4 - 5	18,1
Выщелоченные (n=6)					
A _п (1)	2,08 ± 0,13	6,23	0,15	1 - 2	14,78
A (2)	2,28 ± 0,07	7,55	0,83	1 - 3	7,89
AB ₁ (3)	3,16 ± 0,05	12,54	1,22	1 - 4	4,20
AB ₂ (4)	3,67 ± 0,06	15,42	1,65	1 - 5	4,25
B (5)	4,22 ± 0,09	18,84	1,92	1 - 6	4,66
C (6)	4,57 ± 0,09	23,08	2,75	5 - 6	4,99
Типичные (n=9), Тонконоженко Е. В., 1988 [248]					
A (1)	2,2± 0,32	5,59	2,3	1-3	50,7
AB(2)	2,7± 0,88	10,46			98,1
C (3)	4,1± 0,76	17,90			63,4
Выщелоченные слитые (n=6), Тонконоженко Е. В., 1988 [248]					
A (1)	3,3± 0,35	9,79	2,1	1,3	30,4
AB(2)	3,0± 0,38	10,10			26,7
C (3)	2,1± 0,44	10,60			17,7

чего нельзя сказать о черноземе выщелоченном.

Существует высказывание «Гумус – страж плодородия», но у него есть и другой страж – кальций (Крупенников, 2005). Кальций занимает главное место катионной части почвенного раствора чернозёмов. Следовательно, карбонат кальция служит геохимическим барьером против вымывания важных элементов, в том числе и серы. Достоверных различий в содержании минеральной серы между горизонтами A_п и A во всех подтипа не установлено, а содержание её здесь составляет 4,14 -7,55% от валовой. Максимальное коли-

чество сульфатов отмечено в нижней части профиля черноземов степной зоны почвообразования. По отношению к черноземам выщелоченным уменьшение минеральной серы в пахотном горизонте обыкновенных и южных подтипов составило соответственно 23,1 и 27,9%. В почвообразующей породе черноземов степной зоны процент минеральной серы от валовой почти в два раза превышает этот показатель для чернозёмов выщелоченных.

В целом, среднее содержание минеральной серы в гумусово-аккумулятивных горизонтах чернозёмов южных, обыкновенных, выщелоченных, типичных, выщелоченных слитых составило соответственно 1,31; 1,47; 2,20; 2,18 и 3,30 мг на 100г., или 4,1-9,8% от валового количества.

В нашей стране агрохимической службой принята следующая группировка почв по содержанию подвижных сульфатов, мг на 100г почвы: низкое - <0,6; среднее - 0,6 -1,2; высокое - >1,2 (Смирнов, 1983, 1985; Маслова, 1993). Она не отличается существенно от используемой в США и Канаде (Смирнов, 1983; Stevenson F. J., 1986). В почвенной диагностике пользуются также понятием «критический уровень», обозначающим такое содержание серы в почве, ниже которого происходит уменьшение урожая из – за дефицита серы. Исследования, проведенные в США, показали, что пороговая концентрация сульфатной серы в почвах для зерновых культур составляет 0,8; кукурузы – 0,7-0,8, люцерны и клевера – 1,2 мг на 100г почвы (Смирнов, 1983).

Нашими исследованиями установлено следующее содержание и закономерности распределения подвижных сульфатов в чернозёмах (табл.9). Наиболее обеспечены ими самые эволюционно «молодые» чернозёмы южные, которые можно отнести к категории среднеобеспеченных этим компонентом почв. В пахотном слое количество подвижной серы достигает более 41% всей минеральной серы. Чернозёмы обыкновенные содержат в пахотном слое в два раза меньше сульфатов, чем южные. Их количество составляет только 21% минеральной серы. Менее всех содержат подвижной серы самые «старые» из изучаемых подтипов чернозёмы выщелоченные - 13% минеральной серы. Следовательно, по классификации агрохимической службы чернозёмы

Таблица 9. Распределение подвижной серы в профиле чернозёмов, мг на 100г почвы (n=6)

Горизонт	M ± m	B % от минеральной	t _d	Сравниваемые горизонты	V, %
Обыкновенные					
A _п (1)	0,34 ± 0,04	21,2	1,72	1 - 2	32,2
A (2)	0,26 ± 0,01	19,4	-	1 - 3	11,6
AB(3)	0,33 ± 0,03	21,6	2,81	1 - 4	19,0
B (4)	0,56 ± 0,06	18,6	18,5	1 - 5	28,0
C (5)	2,41 ± 0,11	33,6	3,19	3 - 4	11,4
Южные					
A _п (1)	0,62 ± 0,09	41,3	1,45	1 - 2	36,0
A (2)	0,47 ± 0,05	42,0	2,48	1 - 3	25,4
AB(3)	0,89 ± 0,06	39,9	1,29	1 - 4	16,4
B (4)	1,20 ± 0,11	26,1	4,02	1 - 5	22,3
C (5)	1,58 ± 0,22	22,6	1,54	4 - 5	34,2
Выщелоченные					
A _п (1)	0,27 ± 0,03	13,0	0,60	1 - 2	24,4
A (2)	0,30 ± 0,04	13,2	1,11	1 - 3	34,9
AB ₁ (3)	0,23 ± 0,02	7,27	1,61	1 - 4	26,1
AB ₂ (4)	0,22 ± 0,01	5,99	2,67	1 - 5	13,9
B (5)	0,19 ± 0,01	4,50	2,67	1 - 6	10,2
C (6)	0,19 ± 0,01	4,16	-	-	10,4
Типичные					
A _п (1)	0,29 ± 0,04	13,2	0,63	1 - 2	25,2
A (2)	0,32 ± 0,04	13,6	1,14	1 - 3	33,3
AB ₁ (3)	0,25 ± 0,03	10,0	1,70	1 - 4	27,1
AB ₂ (4)	0,23 ± 0,02	8,20	2,22	1 - 5	14,8
B (5)	0,21 ± 0,02	5,20	2,77	1 - 6	13,6
C (6)	0,20 ± 0,02	4,87	-	-	13,4

обыкновенные и выщелоченные относятся к группе с низким содержанием подвижной серы. В подтипах чернозёмов степной зоны её содержание уменьшается вниз по профилю, что объясняется её оклюдированием карбонатами магния и, особенно, кальция. Тем самым относительно «молодой» возраст южных и обыкновенных чернозёмов подтверждается генетически более тесной связью с материнскими породами. В этих подтипах установлены существенные различия в содержании компонента между горизонтами

почвы и почвообразующей породы. В чернозёмах выщелоченных и типичных увеличения содержания сульфатов вниз по профилю почвы не выявлено. Отмечена тенденция снижения их количества и вымывания даже за пределы верхней части горизонта С. Об этом свидетельствует отсутствие существенных различий в содержании компонента между генетическими горизонтами почвы. Широкие пределы варьирования содержания этого компонента могут быть вызваны сорбцией, выщелачиванием, газообразными потерями, а также изменчивостью факторов окружающей среды, прежде всего температуры и влажности (Коссович, 1913, Барахтенова, 1988).

Таким образом, чернозёмы Кубани имеют в гумусово-аккумулятивном горизонте относительно невысокое количество валовой серы, 94 – 96% которой находится в недоступной растениям резервной форме. Только 4,5-6,5% валового количества приходится на содержание минеральной серы, из которого 13-42% составляют наиболее доступные растениям подвижные формы серы. Черноземы обыкновенные и выщелоченные, содержащие менее 0,6 мг подвижной серы на 100г почвы, относятся к недостаточно обеспеченным этим элементом. Чернозёмы южные, содержащие >0,6 мг на 100г почвы, относятся к среднеобеспеченным этим элементом.

3.2. Формы серы в серых лесостепных почвах

Нами обобщены и проанализированы результаты исследования содержания и распределения валовой, резервной, минеральной серы в подтипах серых лесостепных почв широко распространенных в предгорной части Краснодарского края (Ха Куанг Хай, 1983; Тонконоженко, 1987).

Результаты определения содержания валовой серы в лесостепных почвах свидетельствуют о значительных её колебаниях, особенно в горизонте С, где коэффициент варьирования этого элемента достигает 50-60% (табл. 10). Более высокие количества этого элемента обычно наблюдаются в темно-серых почвах, а наименьшие — в светло-серых. Подтип серых лесостепных почв занимает среднее положение. Установлены некоторые закономерности в рас-

Таблица 10. Распределение валовой серы по профилю серых лесостепных почв, мг на 100г почвы (Тонконоженко Е. В., 1987г.)

Горизонт	n	M ± m	t _d	Сравниваемые горизонты	V, %
Темно – серые					
1)A ₁	9	40,3±1.91	0,8	1-3	11,9
2)A ₁ A ₂	7	37,8±2.70	0,4	2-3	18,8
3)B _v	9	36,2±3.31	2,1	3-4	27,9
4)C	8	27,2±2.90	1,1	1-4	29,0
Серые					
1)A ₁	20	33,3±1.91	3,3	1-2	26,7
2)A ₁ A ₂	18	25,0±1.72			28,8
3)B _v	20	26,0±1.51			25,8
4)C	21	27,3±2.90	3,0	1-3	29,0
Светло – серые					
1)A ₁	7	30,5±1.81	4,0	1-2	16,1
2)A ₁ A ₂	13	22,6±0.80			12,8
3)B _v	10	24,9±2.92			37,8
4)C	7	24,4±2.60	1,6	1-3	28,7

пределении серы по профилям исследованных почв. Наибольшее содержание валовой серы отмечается в гумусово-аккумулятивном горизонте. Вниз по профилю оно несколько уменьшается. Однако различия в содержании серы между генетическими горизонтами в пределах каждого подтипа в большинстве случаев статистически недостоверны. Для подтипов лесостепных почв достоверные различия в содержании валовой серы выявлены только между гумусово-аккумулятивными горизонтами (A₁) темно-серых и светло-серых почв. Для элювиальных горизонтов (A₁A₂) такие различия просматриваются еще более четко и не только между темно-серыми и светло-серыми, но темно-серыми и серыми почвами. Между горизонтами В и С соответственно различия в содержании серы не существенны. Отсутствие существенной разницы в количестве серы в нижней части их профилей связано не только с наблюдающимся значительным варьированием в них серы, но и со сравнительной однородностью их почвообразующих пород, представленных преимущественно делювиальными глинами и тяжелыми суглинками. Существенные различия в обеспеченности серой аккумулятивных горизонтов разных подти-

пов связаны с особенностями почвообразовательного процесса. Поскольку основная масса серы связана с органическим веществом, то более гумусированные темно-серые почвы отличаются и большим накоплением этого элемента, как продукта активной биологической аккумуляции.

Основная часть серы в этих почвах находится в недоступной для растений форме (резервной серы, по Р. Х. Айдиняну). На её долю приходится в среднем 88—94% валового содержания. В гумусовых горизонтах сера содержится преимущественно в составе органического вещества почвы, а в нижних, минеральных горизонтах она входит в состав малорастворимых сульфидов или сульфатов.

В лесостепных почвах минеральной серы в большинстве случаев больше в горизонте A_1 , а вниз по профилю количество ее уменьшается. В серых и особенно в светло-серых почвах наиболее низким количеством серы часто характеризуется элювиальный горизонт A_1A_2 . Распределение ее по подтипам лесостепных почв аналогично содержанию валовой серы. Более обеспечены ею преимущественно темно-серые и менее — светло-серые почвы. Различия в содержании минеральной серы между генетическими горизонтами в пределах подтипа и соответственными горизонтами подтипов обычно не достоверны. Это обусловлено значительным ее варьированием, которое обычно выше, чем валовой серы (табл. 11). В горизонтах С часто наблюдается более высокая подвижность серы, чем в иллювиальных (гор.В) и ее минеральные соединения составляют здесь до 11% валового содержания. Очень плотное сложение слитых горизонтов и плохая аэрация усиливали восстановительные процессы, что могло способствовать переходу сульфатов в трудно растворимые сульфиды.

Значительное варьирование содержания валовой и минеральной серы по профилям почв обуславливает отсутствие в большинстве случаев достоверных различий между подтипами и типами. Следовательно, содержание только валовой и минеральной серы не может быть отнесено в полной мере к диагностическим показателям этих почв.

Таблица 11. Распределение минеральной серы по профилю серых лесостепных почв, мг на 100г почвы (Тонконоженко Е. В., 1987г.)

Горизонт	n	$M \pm m$	Сравниваемые горизонты, t_d	V, %
Темно-серые				
1)A ₁	9	3,4±0,37	(1-2)1,9	32,9
2)A ₁ A ₂	7	2,4±0,38	(2-3) 0,4	42,1
3)B _v	10	2,7±0,59	(3-4) 0,4	69,3
4)C	9	3,1±0,70	(1-3)1,0	67,7
Серые				
1)A ₁	20	3,0±0,21	(1-2)2,1	32,0
2)A ₁ A ₂	18	2,4±0,31	(2-3)0,7	37,9
3)B _v	19	2,6±0,22	(3-4)0,0	46,5
4)C	21	2,6±0,39	(1-3)1,3	69,6
Светло-серые				
1)A ₁	7	2,0±0,15	(1-2)2,9	20,0
2)A ₁ A ₂	13	1,4±0,14	(2-3)0,3	37,9
3)B _v	10	1,5±0,29	(3-4)0,4	61,3
4)C	7	1,7±0,48	(1-3)1,6	75,3

При экстрагировании минеральной серы соляная кислота агрессивно воздействует на почву и извлекает её значительно больше, чем могут непосредственно использовать растения. Целесообразно определение подвижной серы, как показателя наиболее доступной формы для растений (табл. 12). Количество подвижной серы по профилю подтипов лесостепных почв изменяется так же, как и минеральной. Более высокое её содержание тоже находится обычно в горизонтах A₁ и C. Это свидетельствует о возможности диагностики обеспеченности почв этим элементом и по содержанию его подвижной формы. Следует отметить, что по содержанию доступной растениям серы в горизонте A₁ все подтипы серых лесостепных почв относятся к группе с высоким содержанием этого элемента.

Таким образом, серые лесостепные почвы содержат в верхних гумусовых горизонтах 30,5-40,3мг/100г почвы валовой серы. На долю минеральной формы приходится 6,6-9,0% валовой. Количество подвижной серы колеблет-

ся по подтипам от 36,8 до 70,0% минеральной. Резервная сера составляет 91-93,4% валовой.

Таблица 12. Распределение подвижной серы в профилях подтипов серых лесостепных почв (Тонконоженко Е. В., 1989г.)

Горизонт	n	M ± m, мг/100г	Подвижная, % от		Сравни- ваемые горизоны, t _d	V, %
			вало- вой	мине- раль- ной		
Светло – серые						
1)A ₁	7	1,40 ± 0,316	4,59	70,0	(1-4)1,6	59,8
2)A ₁ A ₂		0,18 ± 0,005	0,84	13,6	(1-2)3,2	2,4
3)B _v		1,22 ± 0,361	4,89	81,3	-	32,5
4)C		2,57 ± 0,611	10,40	95,2	(2-4)3,9	23,8
Серые						
1)A ₁	7	1,36 ± 0,284	4,08	45,3	(1-2)3,4	55,4
2)A ₁ A ₂		0,40 ± 0,009	1,60	16,7	-	58,0
3)B _v		1,71 ± 0,004	2,73	27,3	(1-3)2,3	16,3
4)C		1,79 ± 0,404	6,55	68,8	-	55,3
Тёмно – серые						
1)A ₁	8	1,25 ± 0,144	3,10	36,8	(1-3)2,2	32,3
2)A ₁ B		0,82 ± 0,232	2,16	71,0	-	34,2
3)B _v		0,77 ± 0,173	2,12	74,6	-	28,5
4)C		1,13 ± 0,228	4,15	57,3	-	34,5

3.3.Формы серы в серых лесных почвах

Анализ и обобщение исследований форм серы в серых лесных почвах позволил выявить такую же закономерность в распределении валовой серы, как и в лесостепных. Более высокое ее содержание также наблюдается в гумусово-элювиальных горизонтах, которое уменьшается вниз по профилю. В отличие от лесостепных почв здесь наблюдается второй максимум серы в горизонте С. Однако, количество ее в этом горизонте обычно ниже, чем в горизонте А₁. Как и в лесостепных почвах, содержание серы закономерно уменьшается от темно-серых к серым и светло-серым лесным почвам. Это подтверждает биогенное происхождение элемента и его тесную связь с гумусом (табл.13).

Таблица 13. Распределение валовой серы по горизонтам серых лесных почв, мг/100 г (Тонконоженко Е. В., 1985)

Горизонт	n	M ± m	t _d	Сравниваемые горизонты	v, %
Темно – серые, лесные					
A ₁	10	52,8±4,83	4,8	A – B	28,9
B	7	24,5±3,39			36,6
C	7	31,3±5,31	3,0	A – C	44,6
Серые лесные					
A ₁	16	32,4±2,76	1,7	A – B	33,0
B	19	27,5±1,07			15,4
C	9	31,6±5,64			33,5
Светло – серые лесные					
A ₁	11	30,6±2,00	1,9	A – B	21,4
B	7	22,6±2,79			32,6
C	7	23,5±5,64			61,4

Различия в ее содержании между генетическими горизонтами подтипов лесных почв в большинстве случаев статистически не достоверны. Достоверность таких различий ($t_d > 3,0$) в пределах профилей, как и у лесостепных почв, выявлена только между гумусово-аккумулятивным горизонтом А, более богатым элементом, и горизонтом В. В темно-серых и серых лесных подтипах валовой серы так же больше в горизонте А, чем в горизонте В, как и у серых лесостепных. Достоверные различия в количестве валовой серы выявлены только между гумусово-аккумулятивными горизонтами темно-серых и серых, темно-серых и светло-серых почв. В нижележащих горизонтах между подтипами лесных почв существенных различий в обеспеченности серой не наблюдалось.

Таким образом, для подтипов лесостепных и лесных почв выявлено сходное распределение валовой серы по почвенным профилям.

Серые лесные и лесостепные почвы имеют близкое содержание минеральной серы. Более отчетливо здесь выражен второй максимум ее в горизонте С и повышенное содержание в горизонте В (табл.14). В подтипах лесных почв процент минеральной серы от валовой несколько меньше, чем в лесостепных. Следует отметить тенденцию уменьшения её подвижности в

светло-серых почвах в среднем на 18%. Во всех подтипах лесостепных и лесных почв процентное содержание минеральной серы часто выше в горизонтах без гумуса, где она не связана с органическим веществом.

Таблица 14. Распределение минеральной серы по горизонтам серых лесных почв, мг/100 г (Тонконоженко Е. В. 1985)

Горизонт	n	M ± m	% от валового	t _d	Сравниваемые горизонты	v, %
Темно – серые, лесные						
A ₁	13	3,2±0,50	6,06	2,7	A – B	52,0
B	10	1,7±0,24	6,96	1,1	C – B	43,9
C	7	2,9±1,02	9,26			93,3
Серые лесные						
A ₁	16	2,2±0,26	6,79	1,5	A – B	47,6
B	13	1,6±0,32	5,81	1,4	C – B	8,8
C	10	2,8±0,82	8,81			25,9
Светло – серые лесные						
A ₁	12	1,7±0,06	5,55	5,2	A – B	13,2
B	7	1,3±0,30	5,75			62,1
C	7	2,1±0,66	8,94	1,0	C – B	82,4

Характер распределения подвижной серы в подтипах серых лесных почв близок к содержанию элемента в профиле серых лесостепных почв (табл.15).

Таблица 15. Распределение подвижной серы по горизонтам серых лесных почв (Тонконоженко Е. В., 1989г.)

Горизонт	n	M ± m, мг/100 г	Подвижная, % от		V%
			валовой	минеральной	
Темно – серые					
A ₁	5	1,77±0,292	3,35	55,3	37,0
B		0,82±0,207	3,34	48,2	62,1
C		1,50±0,484	4,79	51,7	72,2
Серые					
A ₁	10	1,54±0,162	4,75	70,0	16,4
B		0,46±0,071	1,67	28,8	48,6
C		0,76±0,147	2,40	27,1	61,2
Светло – серые					
A ₁	5	0,97±0,262	3,16	57,1	60,6
B		0,53±0,131	2,34	40,8	60,5
C		0,70±0,162	2,97	33,3	56,8

В них также наблюдается уменьшение её количества вниз по профилю с минимумом в большинстве случаев в горизонте В и некоторое повышение в горизонте С. Однако, в данном горизонте в отличие от лесостепных почв количество этой формы серы обычно ниже, чем в горизонте А₁. Кроме того, в лесных почвах менее выражен элювиальный горизонт А₂, чем в лесостепных. Из элювиального горизонта лесостепных почв обычно наиболее выщелочены подвижные соединения серы. Но в горизонте С этого компонента в среднем значительно больше, чем в соответствующих подтипах лесных почв. Коэффициент варьирования содержания подвижной серы достигает 72%. Вследствие этого различия в её содержании между генетическими горизонтами в пределах каждого подтипа и между подтипами в большинстве случаев статистически недостоверны.

Подводя итоги изучения распределения и содержания серы в серых лесных и серых лесостепных почвах, следует отметить их более высокую обеспеченность минеральной серой по сравнению с некоторыми подтипами чернозёмов. Содержание валовой серы в горизонте А₁ серых лесных и лесостепных почв в среднем составляет соответственно 30,6-52,8 и 30,5-40,3, минеральной – 1,7-3,2 и 2,0-3,4, а подвижной – 0,97-1,77 и 1,25-1,40 мг/100 г почвы. Количество валовой и минеральной серы в среднем уменьшается вниз по профилю почв, особенно в горизонте А₁А₂, а также от подтипов темно-серых к светло-серым. На долю минеральной серы лесных почв приходится 6,6-9,0% валовой. Содержание подвижной серы колеблется по подтипам от 36,8 до 70,0% минеральной. Недоступная растениям резервная сера составляет 91-93,4% валовой. В гумусовых горизонтах она находится преимущественно в составе органических соединений, в нижних горизонтах – в виде малорастворимых сульфидов и сульфатов.

3.4. Формы серы в дерново-карбонатных почвах

Валовая сера. Главное направление почвообразования у дерново-карбонатных почв определяется процессами выщелачивания, гумусонакоп-

ления и оглинивания. Все они играют определяющую роль в накоплении и распределении в них серы. Содержание валовой серы в обоих подтипах ниже Кларка. У дерново-карбонатных типичных почв наиболее богаты валовой серой верхние горизонты, содержащие максимальное количество гумуса (табл. 16).

Таблица 16. Распределение валовой серы по профилю дерново-карбонатных почв

Горизон-ты	n	M±m, мг/100 г почвы	V,%	t _d	Сравни- ваемые горизонты
Типичные					
А	10	34, 36±2,01	18,5	4,70	А-В
В	9	21, 28±1,90	26,8	4,36	В-С
С	9	12, 13±0,89	21,9	10,06	А-С
Выщелоченные					
А	3	37,07±3,15	14,7	2,89	А-В
В	3	21, 74±4,28	34,1	2,18	В-С
С	3	12,57±0,24	1,91	7,75	А-С

В гумусовых горизонтах целинных почв содержание серы колеблется от 28,8 до 43,3; освоенных почв от 24,0 до 43,9 мг/100 г почвы. Установлено, что по мере передвижения с юго-востока на северо-запад региона, содержание серы в горизонте А типичных почв уменьшается, несмотря на увеличение количества органического вещества.

В типичных почвах под лесом содержание валовой серы довольно резко убывает от горизонта А вниз по профилю. У освоенных почв уменьшение её к материнским породам постепенное. В обоих случаях элемент распределяется по генетическим горизонтам в соответствии с гумусом. В то же время, нельзя не учитывать процессов оглинивания, которые у рендзин характеризуются не только накоплением содержащегося в плотных породах алюмосиликатного материала, но и осаждением веществ, приносимых почвенными растворами с вертикальными и боковыми токами (Занин, 1979). Особенности распределения серы по профилю помогает выяснить элювиально-аккумулятивный коэффициент, который показывает отношение валовой серы в генетических горизонтах к ее количеству в почвообразующей породе. Уве-

личение коэффициента аккумуляции по элементам рельефа наблюдается в следующей последовательности: водоразделы→северные склоны→южные склоны (соответственно 1,52-1,67, 2,45-2,49 и 4,36).

Представление о «насыщенности» органического вещества серой дает отношение органического углерода к валовой сере. Чем меньше это отношение, тем больше серы содержится в почвенном гумусе. Наиболее богат серой гумус целинной рендзины, наименее – освоенной почвы, что объясняется меньшей скоростью минерализации серы органического вещества, чем углерода (Mathew Gracy, 1998). Очевидно, этим можно объяснить и бóльшую насыщенность серой гумуса пахотных почв южных склонов по сравнению с северными. Вниз по профилю это отношение, как правило, сужается, указывая тем самым на более сильную насыщенность гумуса серой ниже расположенных горизонтов. По мере передвижения с юго-востока (Мостовский район) на северо-запад (Крымский район) наблюдается уменьшение насыщенности серой гумуса пахотных горизонтов дерново-карбонатных типичных почв.

Дерново-карбонатные выщелоченные почвы в отличие от типичных имеют более полно развитый профиль. Гумусовые горизонты выщелоченных целинных почв богаче валовой серой, чем пахотные. К материнской породе уменьшение серы не такое резкое, как у типичной рендзины. В целом, гумус выщелоченных подтипов слабее насыщен элементом, чем у типичных. Установлены существенные различия в количестве серы между горизонтами А-В, В-С и А-С типичных почв. Содержание валовой серы в горизонте В по сравнению с А меньше в 1,6 раза, а в материнской породе по сравнению с горизонтом В – в 1,8 раза. Распределение элемента по генетическим горизонтам в соответствии с их дифференциацией объясняется слабым распадом алюмосиликатной части этих почв (Вальков, 1977). В тоже время достоверность различий в содержании серы между горизонтами В и С даёт основание предположить, что распределение её связано не только с гумусонакоплением, но и с процессами оглинивания. Это подтверждает тот факт, что содержание ила, физической глины и коэффициент оглинивания в горизонте В превышает

ют эти показатели во всех остальных горизонтах профиля и соответственно составляют 39,6; 71,5 и 1,44 (Вальков, 1977). Существенные различия в содержании валовой серы гумусово-аккумулятивных горизонтов между типичными и выщелоченными почвами не установлены. Различия по валовой сере между горизонтами А-В и А-С выщелоченных почв существенны. Значительные колебания в накоплении серы горизонта В не позволяют утверждать о достоверности различий в содержании этого элемента между горизонтами В и С.

Установлена тесная корреляционная зависимость между количеством гумуса и серы по генетическим горизонтам типичных почв. Примерно 71% изменений в содержании валовой серы по профилю дерново - карбонатных типичных почв обусловлены изменениями в распределении гумуса. Уравнение регрессии показывает, что увеличение гумуса в типичной рендзине на 1% соответствует увеличению серы в среднем на 7,9 мг/100г почвы.

Таким образом, сера в дерново-карбонатных почвах имеет биогенное происхождение и содержание ее тесно связано с процессами гумусонакопления, о чем свидетельствуют элювиально-аккумулятивные коэффициенты, коэффициенты корреляции и детерминации. Установлено, что >70% изменений в содержании валовой серы по профилю типичных почв обусловлено изменениями и распределении гумуса. Насыщенность гумуса серой вниз по горизонтам возрастает. Гумус пахотных горизонтов южных склонов богаче серой по сравнению с почвами северных склонов. Установлена тенденция увеличения серой гумуса на почвах водоразделов, по мере продвижения с северо-запада на юго-восток региона. Пахотные почвы менее обеспечены валовой серой, чем целинные. Распределение валовой серы по профилю соответствует делению на генетические горизонты, что подтверждается вариационно-статистическим анализом. Поскольку существенность различий в содержании элемента между подтипами дерново-карбонатных почв не доказана, их можно отнести к одной группе по содержанию валовой серы.

Минеральная сера. Экспериментально доказано, что наличие оболочек гидроокисей железа и особенно алюминия на почвенных частицах способствует поглощению сульфата-аниона, усиливаемому при подкислении (Возбуцкая, 1964). В то время как насыщение почвы катионами кальция и калия не повышали этой способности (Bahl G.S., Pagricha H.S., 1984). Изоэлектрическая точка для гидроокисей алюминия и железа соответствует значениям pH 8,1 и 7,1 (Возбуцкая, 1964). Поэтому присутствующие в рендзинах в незначительных количествах полуторные окислы носят ацитоидные свойства и не играют роли в адсорбции сульфатов. Следовательно, в дерново-карбонатных почвах основным видом поглощения сульфата-аниона можно предположить химическое осаждение. Это подтверждают исследования зарубежных ученых. Так, на карбонатных почвах сера, связанная с карбонатами кальция, может составить 95% от ее общего содержания (Williams C.H., 1985). Причем эта связь объясняется химически осажденной карбонатами формой сульфатов (Metson A.J., 1972). Основную массу анионов почвенного раствора типичных рендзин составляют бикарбонаты, где благодаря растворению карбонатов кальция постоянно сохраняется их высокая концентрация. В присутствии углекислого газа растворимость их возрастает, а pH раствора падает (Никитишен, 1983). Несмотря на меньшую растворимость карбоната кальция по сравнению с сульфатом кальция, малейшее увеличение концентрации в растворе первого вызывает значительное уменьшение содержания второго, способствуя его химическому осаждению.

Содержание минеральной серы в горизонте А дерново-карбонатных почв колеблется от 1,10 до 3,30 мг 100г почвы. Вниз по профилю, по мере перехода к обедненным гумусом горизонтам, ее количество увеличивается и в материнской породе может достигать 50% от общей серы. Среднее содержание минеральной серы в горизонтах А и В освоенных типичных почв составляют 2,00, под лесом - 2,18 мг/100 г. Вариационно-статистический анализ подтверждает равномерное увеличение минеральной серы вниз по профилю типичных почв (табл. 17). Содержание ее в горизонтах А, В и С составляет 5,7;

11,0 и 40,5% от валовой серы. Об этом свидетельствует и коэффициент корреляции между общим распределением содержания минеральной и валовой

Таблица 17. Распределение минеральной серы по профилю дерново-карбонатных почв, мг/100 г почвы

Горизонты	n	M \pm m	V,%	t _d	Сравниваемые горизонты
Типичные					
A	11	1,97 \pm 0,20	34,3	0,82	A-B
B	10	2,34 \pm 0,40	54,2	5,65	B-C
C	9	4,91 \pm 0,21	13,0	9,99	A-C
Выщелоченные					
A	3	1,71 \pm 0,38	38,4	0,01	4-5
B	3	1,72 \pm 0,65	65,2	2,53	5-6
C	3	4,65 \pm 0,96	35,9	2,83	4-6

серы (табл. 18). Количество минеральной серы находится в обратной линейной корреляционной зависимости от содержания валовой ее формы в генетических горизонтах типичных рендзин. Максимальное содержание сульфатов установлено в материнских породах, богатых свободными карбонатами. Оно отличается здесь постоянством, т. к. среднее значение коэффициента варьирования не превышает 13%.

Таблица 18. Показатели статистической обработки содержания форм серы, карбонатов кальция и pH водной суспензии в профиле дерново-карбонатных типичных почв

Сравниваемые показатели	n	M \pm m	Коэффициенты корреляции минеральной серы с другими показателями	Критерий существенности (t _d)
Минеральная сера, мг/100г	30	2,99 \pm 0,29	-	-
Валовая сера, мг/100г	30	23,2 \pm 1,97	-0,66	4,64
Подвижная сера, мг/100г	30	0,32 \pm 0,024	0,01	0,06
pH	30	8,17 \pm 0,040	0,73	5,66
CaCO ₃ ,%	30	14,6 \pm 2,31	0,80	7,08

Существенная разница количества минеральной серы между гумусовыми горизонтами и почвообразующей породой в определенной мере обусловлена распределением карбонатов по генетическим горизонтам и реакцией среды.

Об этом свидетельствует высокая прямая корреляционная связь содержания сульфатов с показателями рН водной суспензии и концентрации карбонатов кальция. Примерно 64% изменений в содержании сульфатов по профилю дерново-карбонатных типичных почв связано с содержанием и распределением по генетическим горизонтам карбонатов кальция.

Что касается наиболее активной и доступной для растений легкорастворимой (подвижной) серы, то ее содержание в гумусово-аккумулятивных горизонтах типичных рендзин равняется 0,34 мг/100г почвы. Вниз по профилю среднее количество сульфатов существенно не изменяется (табл. 19). Высокая вариабельность количества легкорастворимой серы по всем генетическим горизонтам подтверждает неравномерный характер ее распределения по профилю рендзин.

Таблица 19. Распределение подвижной серы по профилю дерново-карбонатных почв, мг/100 г почвы

Горизонты	n	$M \pm m$	V, %	t_d	Сравниваемые горизонты
Типичные					
A	10	0,34 \pm 0,051	47,9	0,52	A-B
B	9	0,31 \pm 0,027	26,4	0,34	B-C
C	9	0,33 \pm 0,051	46,8	0,14	A-C
Выщелоченные					
A	3	0,49 \pm 0,16	57,2	0,90	A-B
B	3	0,33 \pm 0,07	38,6	0,26	B-C
C	3	0,30 \pm 0,09	50,3	1,03	A-C

К такому же выводу пришли ученые из Оксфорда при изучении содержания и распределения доступных для растений форм серы в профиле рендзин своего региона (Peverill K.J., Briner P., 1980). Однако количество легкорастворимых сульфатов в горизонтах A, B и C составляет 17,3; 13,2 и 6,7% от всей минеральной, что указывает на их повышенную подвижность в гумусовых горизонтах. Это подтверждает предположение о том, что в верхней части профиля содержание сульфатов в большей мере связано с минерализацией органического вещества, а в почвообразующей породе идет их закрепление путем химического осаждения. Об этом свидетельствует отсутствие корреля-

тивной зависимости между профильным распределением минеральной и легкорастворимой серы. Количество подвижных сульфатов в среднем по пахотным горизонтам освоенных почв составляет 16,6, а для горизонта А целинных рендзин – 22,0% от содержания минеральной серы. Это свидетельствует о значительном выносе серы урожаем сельскохозяйственных культур.

Дерново-карбонатные выщелоченные почвы незначительно отличаются от типичных по содержанию и распределению минеральных и легкорастворимых форм серы. Содержание минеральной серы в горизонте А, В и С составляет 4,6; 7,9 и 37,0% валовой серы, т.е. несколько меньше, чем в типичных рендзинах. Установлены достоверные различия в ее содержании между гумусовыми горизонтами, с одной стороны, и материнскими породами с другой. Следует отметить большую их подвижность в гумусовых горизонтах: содержание в горизонтах А, В и С составляет в среднем 29,9; 21,8 и 7,4 % от минеральной серы. В целом, содержание минеральной серы и распределение ее по генетическим горизонтам в выщелоченных почвах существенно не отличается от дерново-карбонатных типичных почв.

Органическая сера. При описании элементарного состава гумусовых веществ исследователями отмечено, что сера наряду с углеродом, кислородом, водородом и азотом входит в состав гумуса (Айдинян, 1964; Крупский, 1971).

Среднее содержание резервной серы в горизонтах А, В и С дерново-карбонатных типичных и выщелоченных почв составляет соответственно 94,3; 89,0; 59,5 и 95,4; 92,1; 63,0 % валового ее количества. Верхние горизонты целинных почв более богаты резервной серой по сравнению с освоенными. Изучение содержания резервной серы не дает полного представления о природе и трансформации органических ее соединений. Для изучения элементарного состава гумуса и выявления его роли в серном питании растений необходимо было проследить, какая часть органической серы находится в гуминовых кислотах, фульвокислотах и гуминах.

Наибольшее среднее количество серы фульвокислот содержится в верхнем слое дерново-карбонатных почв. Пахотные слои, как правило, обеднены

этим компонентом по сравнению с гумусово-аккумулятивными горизонтами неосвоенных почв (табл. 20). Вниз по профилю дерново-карбонатных почв содержание серы фульвокислот уменьшается. Среднее ее количество в горизонте В составляет 4,08 мг/100 г почвы. Характерно, что серу фульвокислот можно обнаружить даже в горизонте С. Относительное же количество этого компонента в горизонтах А, В и С составляет соответственно 20,3, 22,3 и 24,0 % от валового ее содержания. Увеличение относительного содержания серы фульвокислот вниз по профилю дерново-карбонатных почв вероятно объясняется частичной миграцией органических коллоидов, обогащенных серой. Аналогичная тенденция была отмечена в своё время П. Мадановым (1946).

Среднее количество серы гуминовых кислот в гумусово-аккумулятивных горизонтах рендзин вдвое превышает ее количество в фульвокислотах. Пахотные слои отличаются значительным обеднением этим элементом гуминовых кислот по сравнению с горизонтом А целинных почв. В дерново-карбонатных почвах, где гуминовые кислоты в основном связаны с кальцием и благодаря этому неспособны к передвижению по почвенному профилю, сера аккумулируется в верхних горизонтах. В отличие от серы фульвокислот содержание серы гуминовых кислот довольно резко уменьшается вниз к почвообразующей породе. Относительное содержание серы гуминовых кислот уменьшается вниз по профилю, в то время как эти показатели для фульвокислот увеличиваются. В горизонтах А, В и С средние величины для серы гуминовых кислот составляют 39,8, 26,8 и 24,2 %, что подтверждает предположение о преимущественном ее накоплении в гумусово-аккумулятивном горизонте исследуемых почв.

Гумины – это гумусовые кислоты, прочно связанные с глинистыми минералами (Возбуждая, 1964). Сера гуминов или негидролизованного остатка уменьшается вниз к почвообразующей породе, однако относительные величины по отношению к валовой сере указывают на максимальное ее накопление в горизонте В (32,9, 36,3 и 19,7%). В.Ф.Вальков отмечал наибольшее

Таблица 20. Содержание органических форм серы в дерново-карбонатных почвах

Номера разрез	Горизонт	Валовая сера, мг/100 г почвы	Серя фульвокислот ($S_{фк}$)		Серя гуминовых кислот ($S_{гк}$)		Серя негидролизуемого остатка почвы + сульфидная		Серя гумусовых кислот (сумма)		
			мг/100 г почвы	% к валовой	мг/100 г почвы	% к валовой	мг/100 г почвы	% к валовой	мг/100 г почвы	% к валовой	
14-79	A	43,2	5,2	12,0	17,2	39,8	19,3	44,7	3,31	22,4	51,8
	B	17,2	4,6	26,7	3,9	22,7	6,5	37,8	0,85	8,5	49,4
	C	11,0	3,0	27,3	2,3	20,9	2,3	20,9	0,77	5,3	48,2
4-81	A _п	27,5	5,6	20,4	11,1	40,4	8,3	30,2	1,98	16,7	60,7
	B ₁	22,0	5,2	23,6	4,9	22,3	10,0	45,4	0,94	10,1	45,9
	B ₂	20,6	4,0	19,4	3,7	18,0	9,9	48,0	0,92	7,7	37,4
	C	16,5	4,0	24,2	4,2	25,4	5,1	30,9	1,05	8,2	49,7
6-83	A	28,8	6,0	20,8	13,5	46,9	6,0	20,8	2,25	19,5	67,7
	B	14,4	3,2	22,2	6,0	41,7	0,8	5,6	1,87	9,2	63,9
	C	10,3	2,2	21,4	2,6	25,2	0,4	3,9	1,18	4,8	46,6
9-83	A _п	24,0	5,4	22,5	9,4	39,2	6,6	27,5	1,74	14,8	61,7
	B	17,2	5,6	32,6	3,7	21,5	4,9	28,5	0,66	9,3	54,1
	C	15,8	4,0	25,3	2,6	16,4	4,1	25,9	0,65	6,6	41,8

Типичные

Продолжение таблицы 20

Номера разрез	Горизонт	Валовая сера, мг/100 г почвы	Серя фульвокислот ($S_{фк}$)		Серя гуминовых кислот ($S_{гк}$)		Серя негидролизуемого остатка почвы + сульфидная		$S_{гк} \cdot S_{фк}$	Серя гумусовых кислот (сумма)		
			мг/100 г почвы	% к валовой ловой	мг/100 г почвы	% к валовой ловой	мг/100 г почвы	% к валовой ловой		мг/100 г почвы	% к валовой ловой	
Выщелоченные												
15-80	A _л	30,9	6,8	22,0	10,2	33,0	12,5	40,4	1,50	17,0	55,0	
	B	30,2	3,4	11,2	9,0	32,3	15,5	51,3	2,90	13,3	44,0	
	BC	29,5	3,0	10,2	8,7	29,5	14,5	48,5	2,90	11,7	39,7	
	C	12,4	2,8	22,6	2,6	21,0	1,1	8,87	0,93	5,4	43,5	
4-83	A	39,1	10,2	26,1	15,4	39,4	11,1	28,4	1,52	25,4	65,5	
	B	18,5	4,6	24,9	5,1	27,6	8,1	43,8	1,11	9,7	52,4	
	BC	15,1	2,8	18,5	3,7	24,5	7,2	47,7	1,32	6,5	43,0	
	C	13,0	3,0	23,1	3,7	24,3	3,6	27,7	1,23	6,7	51,5	
10-83	A	41,2	7,6	18,4	16,3	39,6	16,0	38,8	2,14	23,9	58,0	
	A	34,3	7,2	21,0	10,4	30,2	15,3	44,6	1,44	17,6	51,3	
	B	16,5	3,2	19,4	3,9	23,6	6,4	38,8	1,22	7,10	43,0	
	BC	12,4	3,0	24,2	3,5	28,2	0,6	4,8	1,17	6,50	52,4	

накопление тонкодисперсных фракций и повышенные значения коэффициента оглинивания в горизонте В типичных рендзин (Вальков, 1977). Р.Х.Айдинян (1964) и П.Маданов (1946) отмечали связь содержания серы со степенью дисперсности фракций. В коллоидных фракциях дерново-карбонатных почв сосредоточена основная масса глинистых минералов с подвижной кристаллической решеткой и высокой поглотительной способностью. Это, на наш взгляд, и обуславливает прочность связей гумусовых кислот и интенсивность их поглощения в горизонте В.

О качественном составе гумусовых веществ может свидетельствовать показатель отношения серы гуминовых кислот к сере фульвокислот. В гумусовых горизонтах выщелоченных рендзин он не бывает меньше единицы и говорит о преобладании серы гуминовых кислот. В типичных рендзинах, где гуминовые кислоты связаны с кальцием и менее подвижны, в горизонте В часто преобладает сера фульвокислот или она находится в равновесии с серой гуминовых кислот.

Показатели содержания серы гумусовых кислот (суммарное количество серы гуминовых и фульвокислот) дают возможность иметь общее представление о сере связанной с гумусовыми веществами почвы. В верхнем горизонте выщелоченных почв ее содержание составляет 55,0-65,5, типичных – 51,8-67,7 % валовой серы. Среднее значение серы гумусовых кислот в горизонтах А, В и С дерново-карбонатных почв соответственно равны 60,1, 49,1 и 46,2 % валовой. Это говорит о том, что значительной частью резерва серного питания растений является, прежде всего, сера гумусовых веществ исследуемых почв.

Таким образом, основная часть серы в дерново-карбонатных почвах недоступна растениям и представляет собой резервную форму, больше половины которой приходится на долю серы гумусовых кислот и меньше – на долю серы гуминов. Для качественного состава гумуса верхних горизонтов характерно превалирование серы гуминовых кислот над серой фульвокислот.

Горизонты В отличаются приблизительно равным количеством серы гуминовых и фульвокислот.

3.5. Формы серы в бурых лесные почвах

Валовая сера. Основное направление почвообразования у бурых лесных почв обусловлено процессами умеренного накопления гумуса, выщелачивания, лессиважа и оглинивания с псевдооглеением (Вальков, 1977, Зайдельман, 2007). Эти процессы, обусловленные разнообразием горных пород и растительности, расчлененным рельефом, участвуют в накоплении и распределении серы в этих почвах.

В связи с меньшей интенсивностью гумусонакопления верхние горизонты бурых лесных почв менее обеспечены серой по сравнению с рендзинами. Среднее содержание валовой серы в горизонте A_2 этих почв составляет 15,8, а в горизонте В – 15,5 мг/100 г, т.е. интенсивного выноса элемента из элювиальных и привноса в иллювиальные горизонты не наблюдается. Иллювиальное накопление серы отмечено лишь в почвах с более легким гранулометрическим составом. Легкосуглинистые почвы беднее серой в пахотном слое, чем тяжелосуглинистые. Увеличение содержания серы в связи с утяжелением гранулометрического состава отмечено в почвах среднего Поволжья (Вальников, 1974, 1981). Элювиально-аккумулятивный коэффициент имеет максимальную величину в гумусовых горизонтах и уменьшается к почвообразующим породам, что подтверждает биологическую аккумуляцию элемента. Независимо от элементов рельефа по мере продвижения с северо-запада на юго-восток региона наблюдается закономерность, как и у рендзин, увеличения насыщенности серой гумуса верхних горизонтов.

В отличие от слабонасыщенных, кислые почвы под лесом с выраженным горизонтом A_2 имеют среднее содержание валовой серы по горизонтам A_1 , A_2 и В соответственно 22,7, 12,2 и 14,2 мг/100 г. Однако и здесь иллювиальное накопление элемента в горизонте В наблюдается не всегда. Низкая водопроницаемость горизонта В и высокая – горизонтов A_1 и A_1A_2 ,

обуславливает господство горизонтальных токов почвенной влаги с растворенными в ней веществами, коллоидами и илом (Вальков, 1977). Вероятно, это служит объяснением не всегда четким проявлениям элювиально-иллювиальных процессов на примере профильного распределения валовой серы в бурых лесных почвах.

Математическая обработка позволяет обобщить результаты исследования распределения валовой серы по профилю бурых лесных почв. Количество элемента в верхних горизонтах подтипов этих почв в 1,5-1,6 раза ниже, чем в дерново-карбонатных (табл. 21).

Таблица 21. Распределение валовой серы по профилю бурых лесных почв, мг/100 г почвы

№№ п/п	Горизонты	n	M±m	V, %	t _d	Сравни- ваемые горизонты
Слабонасыщенные						
1	A _{II} *	8	18,5±1,41	21,5	4,29	1-2
2	A ₁	11	26,5±1,22	15,3	4,18	2-3
3	A ₂	8	15,8±2,25	40,3	1,02	1-3
4	B	23	15,5±0,80	24,6	7,53	2-4
5	C	15	11,2±0,78	26,8	3,78	4-5
					13,85	2-5
Ненасыщенные						
6	A ₁	6	24,7±1,60	15,9	5,44	6-7
7	A ₂	4	12,2±1,65	27,0	0,82	7-8
8	B	7	14,0±1,47	27,8	2,86	8-9
9	C	6	9,2±0,81	21,6	4,91	6-9

*A_{II} – представлен для сравнения отдельно

Более высокое среднее содержание серы наблюдается в горизонтах A₁ слабонасыщенных целинных почв, меньше – у ненасыщенных и наименьшее количество – в пахотном слое слабонасыщенных освоенных. Распределение ее по генетическим горизонтам исследуемых подтипов неодинаково. У ненасыщенных, в отличие от слабонасыщенных бурых лесных почв, выявлено два максимума содержания элемента: в горизонтах A₁ и B.

Установлены достоверные различия в количестве элемента между всеми

горизонтами, за исключением A_2 –В. Минимальное среднее содержание серы отмечается в почвообразующих породах, на которых сформировались ненасыщенные почвы. Уменьшение серы в горизонте A_2 этого подтипа, на наш взгляд, связано с особенностями почвообразования. В.М. Фридланд (1953) отмечал более интенсивное уменьшение ила в верхней части профиля кислых почв по сравнению с типичными.

О сложности иллювиального накопления элемента в горизонте В свидетельствует также отсутствие существенной разницы в содержании между горизонтами A_2 –В и наличие ее между В–С. Содержание валовой серы в горизонтах В и С слабонасыщенных почв выше, чем в тех же слоях подтипа ненасыщенных. Аккумулируясь в тонкодисперсных фракциях гумусово-глинистых затеков, она способна передвигаться по трещинам, порам, ходам землероев и отмерших корней на большую глубину (Айдинян, 1964).

Следовательно, дифференциацию серы в профиле следует рассматривать как совокупность участия в ней элювиально-иллювиальных процессов, а также частичного выноса ее вместе с другими продуктами почвообразования внутрипочвенными боковыми токами по уклону местности. Следует отметить, что колебание содержания серы в горизонтах С бурых лесных почв значительнее, чем в материнских породах, на которых сформировались рендзины.

Установлены существенные различия в количестве серы между горизонтами A_1 и A_{II} бурых лесных целинных и пахотных почв, что связано с уменьшением гумуса в пахотных горизонтах, по сравнению с целинными почвами. Имеющиеся в литературе сведения подтверждают коррелятивную связь серы с гумусом для некоторых лесных почв (Вальников, 1981; Кулаковская, 1974). Коэффициент корреляции подтверждает предварительные выводы о тесной связи распределения серы и гумуса по профилю слабонасыщенных почв ($r = 0,71$). Следовательно, только 50 % изменений в содержании валовой серы обусловлено изменениями в распределении гумуса. Коррелятивная связь с гумусом по профилю бурых лесных слабонасыщен-

ных почв выражается линейным уравнением регрессии, которое показывает, что увеличению гумуса в слабонасыщенной почве на 1 % соответствует увеличение серы в среднем на 4,6 мг/100г почвы.

Корреляционная зависимость между содержанием валовой серы и гумуса в бурых лесных ненасыщенных почвах выражается большей величиной коэффициента корреляции по сравнению со слабонасыщенными, что свидетельствует о более тесной связи признаков ($r = 0,79$). Уравнение регрессии показывает, что повышение содержания гумуса в этом подтипе на 1 % соответствует увеличению серы в среднем на 4,1 мг/100 г почвы.

Итак, валовая сера в бурых лесных почвах имеет биогенное происхождение и ее содержание тесно связано с гумусонакоплением, что подтверждается элювиально-аккумулятивными коэффициентами. Коэффициенты корреляции и детерминации подтверждают тесную коррелятивную зависимость между серой и гумусом при распределении их по профилю почв. Выявлена тенденция увеличения содержания серы в гумусе верхних горизонтов почв по мере продвижения с северо-запада на юго-восток региона. Вниз по профилю количество серы уменьшается, а насыщенность ею гумуса растет. Поскольку различия в содержании серы между слабонасыщенными и ненасыщенными почвами статистически не доказаны, их можно отнести к одной группе по содержанию валовой серы, со средним ее количеством в горизонте A_1 24,7-26,5 мг/100 г почвы. Пахотные почвы с утратой гумуса меньше всего обеспечены серой (18,5 мг/100 г почвы). Коррелятивная связь серы и гумуса в бурых лесных почвах выражается линейными уравнениями регрессии.

Минеральная сера. Минеральная сера в кислых почвах представлена легкорастворимыми и адсорбированными формами ее соединений, которые являются основным источником питания сельскохозяйственных культур. Нами отмечалось выше, что насыщение почвы трехвалентными катионами железа снижает рН почвенного раствора и усиливает адсорбцию подвижной серы (Возбуцкая, 1964; Bahl G.S., Pagricha H.S., 1984). На бурых кислых поч-

вах окисление и выпадение в осадок гидрата окиси трехвалентного железа сопровождается аккумуляцией сульфатов. Они передвигаются из зоны восстановительных процессов в зону окисления. Внесение в почву органического вещества, как правило, вызывает поглощение сульфатов в кислых почвах. Повышение температуры уменьшает величину их поглощения (Никитишен, 1983). Окисление серы в аэробных условиях, помимо микроорганизмов, усиливает присутствие в почве кобальта и ванадия (Wainwright M., 1978).

Установлено, что наибольшее ее содержание, как и валовой, наблюдается в гумусово-аккумулятивных горизонтах A_1 (табл. 22). В литературе имеются сведения, свидетельствующие о влиянии внесения органического вещества на увеличение поглощения сульфатов (Никитишен, 1983). В горизонте A_2 обоих подтипов в связи с развитием элювиальных процессов количество минеральной серы уменьшается и увеличивается в горизонте В или материн-

Таблица 22. Распределение минеральной серы по профилю бурых лесных почв, мг/100г почвы

№№ п/п	Горизонты	n	$M \pm m$	lim	V, %	t_d	Сравни- ваемые горизонты
Слабонасыщенные							
1	A_{II}^*	8	$1,05 \pm 0,10$	0,69-1,58	27,9	2,04	1-2
2	A_1	11	$1,36 \pm 0,11$	0,76-1,78	27,2	5,13	2-3
3	A_2	8	$0,70 \pm 0,06$	0,41-0,89	26,0	2,87	1-3
4	В	23	$0,92 \pm 0,07$	0,41-1,65	35,2	2,35	3-4
5	С	15	$1,08 \pm 0,10$	0,55-1,78	37,1	1,00	4-5
Ненасыщенные							
6	A_1	6	$1,46 \pm 0,18$	0,96-1,99	30,4	4,50	6-7
7	A_2	4	$0,60 \pm 0,06$	0,48-0,76	19,9	3,72	7-8
8	В	7	$1,02 \pm 0,10$	0,69-1,37	24,8	1,15	8-9
9	С	6	$0,79 \pm 0,18$	0,48-1,65	54,7	2,65	6-9
* A_{II} – для сравнения представлен отдельно							

ской породе. Происходит некоторое перемещение ее из элювиальных горизонтов в иллювиальные, что связано с распределением полуторных окислов.

Статистическая обработка данных валового и гранулометрического состава, выполненная В.Ф. Вальковым (1977), показала наличие элювиального процесса в горизонтах A_1 и A_2 бурых лесных почв Северо-Западного Кавказа, что хорошо согласуется с распределением минеральной серы по профилю бурых лесных почв. Зарубежные исследователи объясняют содержание адсорбированных сульфатов в кислых почвах количеством глины, природой илистых минералов, распределением окислов железа и алюминия (Wrigley C. W. et al., 1980). Установлены существенные различия в содержании минеральной серы между горизонтами A_2 и В, что свидетельствует о значительной роли элювиально-иллювиальных процессов в распределении данной формы элемента по профилю почв. В связи с небольшим увеличением сульфатов вниз по профилю бурых лесных почв, в отличие от рендзин, наблюдается средняя коррелятивная связь их с валовой серой (табл.23).

Таблица 23. Показатели статистической обработки содержания серы, обменных оснований и рН солевой суспензии в профиле бурых лесных почв

Сравниваемые показатели	n	$M \pm m$	Коэффициенты корреляции содержания минеральной серы с другими показателями	Критерий существенности (t_d)
Слабонасыщенные				
Минеральная сера, мг/100 г	49	$1,04 \pm 0,06$	—	—
Валовая сера, мг/100 г	49	$16,9 \pm 0,92$	0,31	2,23
Подвижная сера, мг/100 г	49	$0,30 \pm 0,025$	0,31	2,23
Сумма обменных оснований, м.-экв/100 г	49	$20,6 \pm 1,37$	0,26	1,84
рН солевой суспензии	49	$5,15 \pm 0,14$	0,10	0,62
Ненасыщенные				
Минеральная сера, мг/100 г	24	$1,01 \pm 0,09$	—	—
Валовая сера, мг/100 г	24	$15,2 \pm 1,37$	0,73	5,00
Подвижная сера, мг/100 г	24	$0,2 \pm 0,031$	0,36	1,81
Сумма обменных оснований, м.-экв/100 г	24	$9,86 \pm 1,28$	0,14	0,75

рН солевой суспензии	24	4,06±0,074	0,37	1,87
----------------------	----	------------	------	------

Расчет коэффициентов детерминации показывает, что 10-50 % изменений минеральной серы по профилю бурых лесных почв связано с изменением валовой ее формы. В то же время, результаты корреляционного анализа указывают на отсутствие зависимости между профильным распределением сульфатов и обменных оснований. Этот факт также отмечен для бурых лесных почв исследователями Индии и Румынии (Bahl G.S., Pagricha H.S., 1984; Lacatusu R., et and., 1974). В ненасыщенных основаниями почвах, где преобладает более кислая реакция среды, наблюдалась тенденция усиления связи между показателями содержания минеральной серы и рН солевой суспензии по сравнению со слабоненасыщенными.

Содержание подвижной формы серы в гумусово-аккумулятивных и пахотных горизонтах бурых лесных почв составляет 0,37-0,55 мг/100г (табл.24).

Таблица 24. Распределение подвижной серы по профилю бурых лесных почв, мг/100 г почвы

№№ п/п	Горизонты	n	M±m	lim	V, %	t _d	Сравни- ваемые горизонты
Слабоненасыщенные							
1	A _п *	8	0,37±0,04	0,22-0,61	31,9	1,08	1-2
2	A ₁	11	0,55±0,05	0,18-0,72	29,5	7,06	2-3
3	A ₂	8	0,19±0,01	0,18-0,24	14,0	4,19	1-3
4	B	23	0,23±0,02	0,10-0,47	52,2	5,61	2-4
5	C	15	0,23±0,03	0,10-0,38	46,1	1,48	3-4
Ненасыщенные							
6	A ₁	6	0,42±0,05	0,26-0,62	32,2	2,09	6-7
7	A ₂	4	0,24±0,06	0,14-0,43	55,0	1,25	7-8
8	B	7	0,15±0,03	0,10-0,27	49,2	0,59	8-9
9	C	6	0,18±0,04	0,10-0,38	47,8	4,35	6-8

*A_п – для сравнения представлен отдельно

Максимальное количество ее в гумусовых горизонтах мы объясняем разложением органического вещества с образованием сульфатов. С увеличением содержания полуторных окислов железа и алюминия вниз по профилю уменьшается количество легкорастворимых сульфатов, которые являются ак-

тивной частью минеральной серы. Содержание подвижных сульфатов в горизонтах А₁, А₂, В, С бурых лесных слабонасыщенных и ненасыщенных почв соответственно составляет 40,4; 27,1; 25,0; 21,3 и 28,8; 40,0; 14,1; 21,8 % от минеральной серы.

Уменьшение процента содержания легкорастворимых сульфатов относительно минеральной серы вниз по профилю свидетельствует о связывании большей ее части в адсорбированной форме с полуторными окислами, т.е. снижении подвижности. Вот почему некоторое увеличение минеральной серы в нижней части слабонасыщенных почв, богатой полуторными окислами, сопровождается уменьшением подвижных сульфатов. Еще больше это проявляется в нижних горизонтах ненасыщенных почв. Подкисление раствора приводит к увеличению положительного потенциала коллоидов полуторных окислов железа и алюминия, что, в свою очередь, усиливает адсорбцию сульфатов. Результаты корреляционного анализа указывают на среднюю связь между распределением по профилю минеральной и подвижной серы. Только 10-16 % изменений по профилю минеральной серы сопряжено с изменениями подвижных сульфатов. В отличие от распределения минеральной серы разница в содержании подвижной серы между горизонтами А₂ и В незначительна. Это свидетельствует о промывании легкорастворимых сульфатов по всей толще бурых лесных почв, а также возможном их выносе боковым стоком. Лабильность сульфатов, сравнительно небольшие количества и высокая их вариабельность не позволяют достоверно утверждать о различии в содержании подвижной серы между верхними горизонтами целинных и пахотных почв.

Органическая сера. Основная часть серы в бурых лесных почвах, как и рендзинах, связана с их органическим веществом. Среднее содержание резервной серы тесно связано с распределением валовой и в горизонтах А₁, А₂, В и С слабонасыщенных почв составляет соответственно 94,9; 95,6; 94,1 и 90,4 % ее валового количества. Верхние горизонты слабонасыщенных освоенных почв, где не выражен горизонт А₂, имеют небольшой резерв серного

питания, который значительно отличает их от целинных. В среднем, содержание резервной серы в пахотных слоях слабонасыщенных освоенных почв не превышает 94,3 % от валового ее количества. Все это свидетельствует об усилении процесса минерализации органического вещества при сельскохозяйственном использовании почв.

Бурые лесные ненасыщенные почвы, отличающиеся ясной дифференциацией профиля от слабонасыщенных, имеют более четкое распределение резервной серы по генетическим горизонтам. Содержание ее в горизонтах A_1 , A_2 , В и С в среднем составляет 94,1, 95,1, 92,7 и 91,5 % по отношению к валовой. Ненасыщенные почвы с горизонтом A_2 отличаются обеднением этого горизонта резервной серой и наличием второго максимума ее содержания в иллювиальном горизонте. Ненасыщенные почвы, где горизонт A_2 не выражен, более обеспечены резервом серного питания.

Основное количество серы фульвокислот приурочено к гумусово-аккумулятивным горизонтам бурых лесных почв и составляет в среднем 14,2 мг/100 г почвы (табл. 25). В ненасыщенных почвах с горизонтом A_2 отмечается уменьшение этого компонента в данном горизонте и увеличение в иллювиальном. Слабонасыщенные почвы отличаются равномерным, как правило, уменьшением серы фульвокислот вниз к почвообразующим породам. Доля серы фульвокислот в валовом ее количестве велика и может составлять в верхнем горизонте 49,2-59,0 %, т.е. в 2-3 раза больше, чем в дерново-карбонатных почвах. Относительное содержание серы фульвокислот увеличивается от горизонта A_1 к В и составляет в них в среднем 52,0 и 58,1 % от валового количества (в горизонте A_2 – 55,7 %). В материнской породе амплитуда колебаний этих величин находится в пределах 33,7 и 53,2 %. Мы отмечали выше о способности серы фульвокислот аккумулироваться в тонкодисперсных фракциях гумусовых затеков и передвигаться по трещинам, порам и ходам отмерших корней. Индийские ученые высказывают гипотезу, что фульвокислоты являются биологически активным, лабильным транзитным резервуаром органически связанной серы (Sagger S. et al., 1984).

Таблица 25. Содержание органических форм серы в бурых лесных почвах

Гори- зонТ	Вало- вая сера, мг/100 г почвы	Сера фульвокислот (S _{ФК})		Сера гуминовых ки- слот (S _{ГК})		Сера негидро- лизуемого остатка почвы		S _{ГК} — S _{ФК}	Сера гумусо- вых кислот, % к валово- вой
		мг/100 г почвы	% к валовой	мг/100 г почвы	% к валовой	мг/100 г почвы	% к валово- вой		
		Слабонасыщенные							
A	25,40	12,5	49,2	10,5	41,3	1,37	5,4	0,84	90,6
A ₂	22,65	12,0	53,1	5,7	25,2	4,47	19,7	0,48	78,1
B	16,48	7,7	46,7	6,3	38,2	1,86	11,3	0,82	84,9
BC	14,85	9,0	60,6	3,5	23,6	1,59	10,7	0,39	84,2
A _п	26,09	15,4	59,0	5,7	21,8	3,75	14,4	0,37	80,9
B ₁	24,03	17,5	72,8	3,9	16,2	1,53	6,4	0,22	89,0
B ₂	14,42	10,1	70,0	2,6	18,0	1,03	7,1	0,26	88,1
C	17,16	9,3	54,2	3,6	21,0	2,48	14,4	0,39	75,2
A	30,21	15,9	52,6	7,7	25,5	5,17	17,1	0,48	78,1
B	15,10	7,8	51,6	4,1	27,1	1,83	12,1	0,52	78,8
BC	19,91	9,7	48,7	6,5	32,6	2,06	10,3	0,67	81,4
C	13,73	6,9	50,2	2,9	21,1	2,63	19,2	0,42	71,4
A	28,15	14,6	51,9	10,5	37,3	1,75	6,2	0,72	89,2
A	21,28	12,3	57,8	6,0	28,2	2,57	12,1	0,49	86,0
B	13,73	6,3	45,9	5,7	41,5	1,18	8,6	0,90	87,4
BC	9,61	5,2	54,1	3,1	32,2	0,76	7,9	0,60	86,4
C	8,28	3,8	45,9	2,6	31,4	0,74	8,9	0,68	77,3

Продолжение таблицы 2.5

Горизонт	Валовая сера, мг/100 г почвы	Серя фульвокислот (S _{ФК})		Серя гуминовых кислот (S _{ГК})		Серя негидролизуемого остатка почвы		S _{ГК} / S _{ФК}	Серя гумусовых кислот, % к валовой
		мг/100 г почвы	% к валовой	мг/100 г почвы	% к валовой	мг/100 г почвы	% к валовой		
Ненасыщенные									
A	26,77	13,8	51,5	8,5	31,8	2,69	10,0	0,62	83,3
B	18,54	11,2	60,4	4,9	26,4	1,27	6,8	0,44	86,8
BC	13,73	6,7	48,8	4,1	29,9	1,56	11,4	0,61	78,6
C	10,98	3,7	33,7	3,9	35,5	2,76	25,1	1,05	69,2
A ₁	24,71	13,3	53,8	6,1	24,7	3,32	13,4	0,46	78,5
A ₂	13,73	8,0	58,3	3,6	26,3	1,58	11,5	0,45	84,5
B	15,10	9,0	59,6	5,1	33,8	0,11	0,7	0,57	93,4
C	8,23	4,2	51,0	3,2	38,9	0,28	3,4	0,76	89,9

Содержание серы гуминовых кислот в горизонтах А₁, А₂, В и С бурых лесных почв в среднем составляет 30,4, 25,7, 28,7 и 29,6 % от валового ее количества. В бурых лесных почвах, с выраженным элювиальным горизонтом, количество серы гуминовых кислот в горизонте А₁ колеблется от 6,1 до 10,5 мг/100 г почвы, в горизонте А₂ содержание ее уменьшается и в горизонте В опять возрастает. В почве, где элювиальный горизонт не выражен, ее распределение отличается равномерным уменьшением к материнской породе. Наименьшее количество этого компонента приходится на пахотный слой слабонасыщенной почвы. Канадские ученые высказывают мнение, что при распаде гуминовых кислот и гумина в процессе минерализации высвобождаются низкомолекулярные серосодержащие вещества, которые постепенно накапливаются в составе фульвокислот (Bettany J.R., et al., 1984).

Содержание и распределение серы негидролизующего остатка в бурых лесных почвах значительно отличает их от рендзин. В верхнем горизонте слабонасыщенных почв ее количество колеблется в пределах 5,4-17,1 %, а в ненасыщенных почвах – 10,0-13,4 % валовой серы. Известно, что комплексные алюмо- и железогумусовые соединения образуются в почве в результате обменной реакции между несиликатными формами полуторных окислов и водородом функциональных групп, при этом возможно образование и внутрикомплексных соединений. Причем, элементами, вступающими в координационную связь с металлами, является азот, кислород и сера (Возбуцкая, 1964).

Показатель отношения серы гуминовых кислот к сере фульвокислот не превышает единицу по всему профилю обоих подтипов, что свидетельствует о преобладании серы фульвокислот над серой гуминовых кислот. В горизонте А₁ среднее содержание серы фульвокислот в 1,7 раза больше, чем серы гуминовых кислот, в горизонте А₂ – в 2,0 раза, а в горизонтах В и С – в 1,8 раза.

Суммарное количество серы гуминовых и фульвокислот в горизонтах А₁, А₂, В и С составляет соответственно 83,4; 81,3; 86,7 и 76,6 %. Это говорит о том,

что количество серы гумусовых кислот в бурых лесных почвах почти в 1,5 раза превышает ее содержание в рендзинах и является основным резервом серного питания сельскохозяйственных культур.

Итак, основная часть серы в бурых лесных почвах представлена резервной формой. Большая часть органической серы приходится на серу гумусовых кислот, меньшая на серу негидролизуемого остатка. Наиболее мобильным, биологически активным носителем органически связанной серы являются фульвокислоты. В составе гумуса бурых лесных почв сера фульвокислот преобладает над серой гуминовых кислот.

3.6. Сравнительная характеристика, группировка и оценка почв по содержанию и запасам в них серы

На основании изучения содержания, закономерностей распределения и особенностей трансформации форм серы нами была проведена группировка почв по их обеспеченности элементом (табл.26). По результатам вариационно-статистического анализа можно заключить, что пахотные горизонты чернозёмов по содержанию валовой серы существенно не отличаются друг от друга, за исключением чернозёмов южных. Среднее её количество в горизонте A_{II} составляет у обыкновенных, типичных и выщелоченных подтипов 33,4-39,3 мг/100г почвы.

Среди серых лесостепных почв максимальное количество валовой серы в горизонте A_1 выявлено у подтипов тёмно-серых (40,3мг/100г почвы), при несущественном различии в содержании этого компонента между подтипами серых и светло - серых лесостепных почв (30,5-33,3мг/100г почвы). Такая же закономерность установлена и у серых лесных почв, где наибольшее содержание валовой серы в горизонте A_1 выявлено у подтипов тёмно-серых (52,8мг/100г почвы), при несущественном различии в содержании этого компонента между подтипами серых и светло - серых лесных почв (30,6-32,4мг/100г почвы).

Таблица 26. Достоверность различий в содержании валовой серы между почвами, мг/100г почвы

№/пп	Название почвы, горизонт	n	$M \pm m$	t_d	t_{05}	Сравниваемые почвы
1	Чернозёмы южные, A_{II}	6	$23,1 \pm 1,64$	4,93	2,23	1–4*
2	Чернозёмы обыкновенные, A_{II}	6	$35,8 \pm 1,78$	1,09	2,23	2–4
3	Чернозёмы типичные, A_{II}	9	$39,3 \pm 5,05$	0,64	2,16	2–3
4	Чернозёмы выщелоченные, A_{II}	6	$33,4 \pm 1,3$	1,11	2,16	3–4
5	Чернозёмы выщелоченные слитые, A_{II}	6	$33,7 \pm 4,16$	0,10	2,23	4–5
6	Тёмно-серые лесостепные, A_1	9	$40,3 \pm 1,91$	2,59	2,05	6–7*
7	Серые лесостепные, A_1	20	$33,3 \pm 1,91$	3,73	2,15	6–8*
8	Светло-серые лесостепные, A_1	7	$30,5 \pm 1,81$	1,06	2,06	7–8
9	Тёмно-серые лесные, A_1	10	$52,8 \pm 4,83$	5,56	2,06	9–10*
10	Серые лесные, A_1	16	$32,4 \pm 2,76$	5,23	2,09	9–11*
11	Светло-серые лесные, A_1	11	$30,6 \pm 2,00$	0,53	2,06	10–11
12	Дерново-карбонатные типичные, A	10	$34,4 \pm 2,01$	0,72	2,20	12–13
13	Дерново-карбонатные выщелоченные, A	3	$37,1 \pm 3,15$	–	–	–
14	Бурые лесные слабонасыщенные освоенные, A_{II}	8	$18,5 \pm 1,41$	4,30	2,11	14–15*
15	Бурые лесные слабонасыщенные целинные, A_1	11	$26,5 \pm 1,22$	1,98	2,18	14–16
16	Бурые лесные ненасыщенные, A_1	6	$24,7 \pm 1,60$	0,90	2,13	15–16

*Существенные различия в содержании серы между почвами

Подтипы дерново-карбонатных почв не имеют существенного различия в содержании валовой серы, где оно составляет у типичных и выщелоченных 34,4-37,13 мг/100 г почвы. Бурые лесные неосвоенные слабонасыщенные и ненасыщенные почвы также существенно не отличались по количеству валовой серы (24,7-26,5 мг/100 г почвы). С самым низким содержанием валовой серы выделены бурые лесные слабонасыщенные освоенные почвы (18,5 мг/100 г почвы).

Таким образом, серые лесные, лесостепные и дерново-карбонатные почвы не уступают чернозёмам в содержании валовой серы в верхних гумусовых горизонтах, а иногда и превосходят их по этому компоненту. Наименьшее же содержание валовой серы в гумусово-аккумулятивных и пахотных горизонтах установлено у бурых лесных почв и чернозёмов южных.

Среди серых лесостепных почв максимальное количество минеральной серы в горизонте A_1 выявлено у подтипов тёмно-серых (3,40 мг/100 г почвы), при несущественном различии в содержании этого компонента между подтипами серых и светло - серых лесостепных почв (2,00-3,00 мг/100 г почвы). Такая же закономерность установлена и у серых лесных почв, где наибольшее содержание минеральной серы в горизонте A_1 выявлено у подтипов тёмно-серых (3,20 мг/100 г почвы), при несущественном различии в содержании этого компонента между подтипами серых и светло - серых лесных почв (1,70-2,20 мг/100 г почвы). Подтипы дерново-карбонатных почв не имеют существенного различия в содержании минеральной серы, где оно составляет у типичных и выщелоченных 1,71-1,97 мг/100 г почвы (табл. 27).

Бурые лесные неосвоенные слабонасыщенные и ненасыщенные почвы также существенно не отличались по количеству минеральной серы (1,36-1,46 мг/100 г почвы). С самым низким содержанием минеральной серы выделены бурые лесные слабонасыщенные освоенные почвы (1,05 мг/100 г почвы).

Таким образом, к группе почв с низким содержанием минеральной серы в верхних гумусовых горизонтах (<2,0 мг/100 г почвы) можно отнести светло-

серые лесные, дерново-карбонатные, бурые лесные почвы, а также южные и

Таблица 27. Достоверность различий в содержании минеральной серы между почвами, мг/100г почвы

№/пп	Название почвы, горизонт	n	$M \pm m$	t_d	t_{05}	Сравниваемые почвы
1	Чернозёмы южные, A_{II}	6	$1,50 \pm 0,24$	2,12	2,23	1–4
2	Чернозёмы обыкновенные, A_{II}	6	$1,60 \pm 0,18$	2,09	2,23	2–4
3	Чернозёмы типичные, A_{II}	9	$2,20 \pm 0,32$	0,35	2,16	3–4
4	Чернозёмы выщелоченные, A_{II}	6	$2,08 \pm 0,13$	2,59	2,23	4–5*
5	Чернозёмы выщелоченные слитые, A_{II}	6	$3,30 \pm 0,55$	2,39	2,23	2–5*
6	Тёмно-серые лесостепные, A_1	9	$3,40 \pm 0,37$	0,89	2,05	6–7
7	Серые лесостепные, A_1	20	$3,00 \pm 0,21$	3,11	2,15	6–8*
8	Светло-серые лесостепные, A_1	7	$2,00 \pm 0,15$	3,57	2,06	7–8*
9	Тёмно-серые лесные, A_1	13	$3,20 \pm 0,50$	1,78	2,05	9–10
10	Серые лесные, A_1	16	$2,20 \pm 0,26$	3,00	2,07	9–11*
11	Светло-серые лесные, A_1	12	$1,70 \pm 0,06$	1,85	2,06	10–11
12	Дерново-карбонатные типичные, A	10	$1,97 \pm 0,20$	0,60	2,20	12–13
13	Дерново-карбонатные выщелоченные, A	3	$1,71 \pm 0,38$	–	–	–
14	Бурые лесные слабонасыщенные освоенные, A_{II}	8	$1,05 \pm 0,10$	4,30	2,11	14–15*
15	Бурые лесные слабонасыщенные целинные, A_1	11	$1,36 \pm 0,11$	1,98	2,18	14–16
16	Бурые лесные ненасыщенные, A_1	6	$1,46 \pm 0,18$	0,90	2,13	15–16

* Существенные различия в содержании серы между почвами

обыкновенные чернозёмы.

Средне обеспечены этим компонентом (2,0-3,0мг/100г почвы) светло-

серые и серые лесостепные, серые лесные, а также чернозёмы выщелоченные (обычного рода) и типичные.

В группу высоко обеспеченных минеральной серой вошли чернозёмы выщелоченные слитые, тёмно-серые и серые лесостепные, а также тёмно-серые лесные почвы ($>3,0\text{мг}/100\text{г}$ почвы). Такой группировке придерживались авторы, проводившие опыты с серными удобрениями на серых лесостепных и бурых лесных почвах, когда классификация по содержанию подвижной серы в нашей стране отсутствовала (Тонконоженко, 1987; Слюсарев, 1988).

Результаты исследований содержания и распределения валовой и минеральной серы по профилям почв свидетельствуют о значительном их варьировании в пределах каждого подтипа при отсутствии в большинстве случаев достоверных различий между подтипами и типами. Следовательно, содержание валовой и минеральной серы не всегда может быть отнесено к диагностическим показателям этих почв. Однако данные формы серы могут свидетельствовать о состоянии дальнего и ближнего резерва серного питания, так как являются одним из компонентов потенциального плодородия почв.

Наиболее тесно связана с количественными и качественными характеристиками растений подвижная сера (табл. 28). Её содержание часто не зависит от количества валовых и минеральных форм элемента.

Пространственное распределение по типам и подтипам почв обусловлено особенностями микро-, мезорельефа и почвообразующих пород, характером выпадения атмосферных осадков, температурным режимом, физическими и химическими свойствами почв, антропогенным фактором и другими причинами. Почвы лесного типа почвообразования более обеспечены легко-растворимыми сульфатами, чем лесостепные почвы. Очень мало их в пахотных горизонтах чернозёмов. Вероятнее всего причинами этому являются не столько особенности их генезиса, сколько отсутствие наиболее полно сбалансированных по элементам питания удобрений и должной культуры агрохимического обслуживания пахотных почв.

Таблица 28. Достоверность различий в содержании подвижной серы между почвами, мг/100г почвы

№/пп	Название почвы, горизонт	n	M ± m	t _d	t ₀₅	Сравниваемые почвы
1	Чернозёмы южные, А _п	6	0,62±0,09	3,68	2,23	1–4*
2	Чернозёмы обыкновенные, А _п	6	0,34±0,04	1,40	2,23	2–4
3	Чернозёмы типичные, А _п	9	0,29±0,04	0,40	2,16	3–4
4	Чернозёмы выщелоченные, А _п	6	0,27±0,03	2,85	2,23	1–2*
5	Тёмно-серые лесостепные, А ₁	8	1,25±0,14	0,35	2,16	5–6
6	Серые лесостепные, А ₁	7	1,36±0,28	0,42	2,16	5–7
7	Светло-серые лесостепные, А ₁	7	1,40±0,32	0,10	2,18	6–7
8	Тёмно-серые лесные, А ₁	5	1,77±0,29	0,70	2,31	8–9
9	Серые лесные, А ₁	5	1,54±0,16	2,05	2,31	8–10
10	Светло-серые лесные, А ₁	5	0,97±0,26	1,90	2,31	9–10
11	Дерново-карбонатные типичные, А	10	0,34±0,05	0,88	2,20	11–12
12	Дерново-карбонатные выщелоченные, А	3	0,49±0,16	–	–	–
13	Бурые лесные слабонасыщенные освоенные, А _п	8	0,37±0,04	2,81	2,11	13–14*
14	Бурые лесные слабонасыщенные целинные, А ₁	11	0,55±0,05	0,78	2,18	13–15
15	Бурые лесные ненасыщенные, А ₁	6	0,42±0,05	0,71	2,13	14–15

*Существенные различия в содержании серы между почвами

Обращает на себя внимание тенденция превалирования подвижной серы в пахотных горизонтах чернозёмов степной зоны над лесостепными чернозё-

мами, что, безусловно, связано с особенностями водного режима этих почв и характером распределения по их профилю карбонатов кальция.

Мы уже отмечали, что в нашей стране агрохимической службой принята группировка почв по содержанию подвижной серы в вытяжке 0,2н раствора KCl, которая не отличается от используемой в США и Канаде, только там её привязывают к отдельным сельскохозяйственным культурам. Именно эта, наиболее доступная растениям подвижная сера имеет наибольшую связь с количественной отзывчивостью сельскохозяйственных культур на её внесение в качестве удобрения. Наличие в почве доступных для растений форм питательных элементов в должном соотношении является основным условием формирования урожаев. Это обстоятельство и определяет эффективное плодородие почв. В связи с этим, исследуемые почвы нами были сгруппированы по содержанию, прежде всего подвижной серы в три группы, которые существенно отличаются друг от друга по содержанию этого компонента (табл. 29).

Таблица 29. Группы почв по степени обеспеченности формами серы, мг/100г почвы

№/пп	Формы серы	M ± m	V,%	lim	t _d	t ₀₅	Сравниваемые группы
Низко обеспеченные (сгруппированы по 54 разрезам)							
1	Валовая	31,9 ± 2,84	23,5	18,5 - 39,3	1,20	2,23	1-7
2	Минеральная	1,72 ± 0,15	23,2	1,05 - 2,20	3,25*		2-8
3	Подвижная	0,36 ± 0,03	21,0	0,27 - 0,42	11,58*		3-9
Средне обеспеченные (сгруппированы по 28 разрезам)							
4	Валовая	26,7 ± 2,17	14,0	23,1 - 30,6	1,44	2,31	1-4
5	Минеральная	1,52 ± 0,10	11,2	1,36 - 1,70	0,74		2-5
6	Подвижная	0,71 ± 0,10	31,0	0,55 - 0,97	3,36*		3-6
Высоко обеспеченные (сгруппированы по 62 разрезам)							
7	Валовая	37,9 ± 4,08	24,1	30,5 - 52,8	2,40	2,45	4-7
8	Минеральная	2,76 ± 0,28	22,6	2,00 - 3,40	4,22*		5-8
9	Подвижная	1,46 ± 0,09	13,7	1,25 - 1,77	4,75*		6-9

*Существенные различия в содержании серы между группами почв

В группу с низкой обеспеченностью подвижными сульфатами вошли, в основном все пахотные почвы: чернозёмы (за исключением чернозёмов юж-

ных), бурые лесные слабонасыщенные освоенные, а также оба подтипа дерново-карбонатных почв и бурые лесные ненасыщенные почвы.

Все они содержат в верхних горизонтах менее 0,6мг/100г почвы подвижной серы, которая составляет 13-35% всей минеральной её формы. Количество валовой серы может колебаться в почвах данной группы от 24,7 до 39,3мг/100г почвы. Содержание минеральной серы не превышает в этой группе 2,2-6,2% валовой.

В группу со средней обеспеченностью подвижными сульфатами вошли бурые лесные слабонасыщенные неосвоенные, светло-серые лесные почвы и чернозёмы южные. Количество подвижных сульфатов колеблется от 0,55 до 0,97мг/100г почвы, что составляет 41,3-57,1% от минеральной её формы. Содержание валовой серы варьирует в почвах данной группы от 18,5 до 30,6мг/100г почвы. Количество минеральной серы составляет 5,6-6,5% валовой.

В группу с высокой обеспеченностью подвижными сульфатами вошли все подтипы серых лесостепных почв, а также тёмно-серые и серые лесные почвы. Это преимущественно неосвоенные почвы, находящиеся под естественной лесной растительностью. Количество подвижных сульфатов колеблется от 1,75 до 1,77мг/100г почвы, что составляет 36,8-70,0% от минеральной её формы. Содержание валовой серы колеблется в почвах данной группы от 30,5 до 52,8мг/100г почвы. Количество минеральной серы составляет в этой группе 6,1-9,0% валовой.

Таким образом, с увеличением обеспеченности подвижной серой содержание минеральной и валовой формы не всегда адекватно количеству легко-растворимых сульфатов в почвах выделенных групп. Установлено, что подвижность серы возрастает от почв с низкой обеспеченностью (13,0-35,0% минеральной) к почвам высоко обеспеченным этим компонентом (37-70% минеральной). При этом содержание минеральной серы в группах почв по мере их обеспеченности подвижными сульфатами увеличивается от 2,2-6,2 до 6,1-9,0% относительно валовой.

Для практического использования показателей обеспеченности почв элементами питания, сопоставления выноса их с урожаем сельскохозяйственных культур, расчёта баланса в севообороте, планирования тактики и стратегии агрохимического обслуживания и, наконец, знания наиболее полной характеристики элементов потенциального и эффективного плодородия большое значение имеют сведения о запасах форм серы в почвах исследуемого региона.

В расчётах запасов серы использовались морфометрические характеристики почв, полученные в ходе наших полевых исследований, а также среднестатистические показатели плотности почвы Валькова В.Ф. (1977). При этом мы учитывали запасы серы, в основном, гумусовых горизонтов. Для более объективной сравнительной характеристики в лесных почвах рассчитывались запасы в метровом слое, когда использовались иллювиальные, переходные горизонты и часть материнской породы. При этом мы руководствовались понятием «рухляковый слой» (Неговелов, Вальков, 1985).

Валовые запасы серы чернозёмов в слое А + АВ колеблются от 2,51 до 5,14т/га, что связано как с различным содержанием серы, так и неодинаковой мощностью их подтипов. Запасы минеральной серы в этом слое варьируют от 263 до 549кг/га, что составляет 7,72-10,30% валовых. Запасы подвижной серы у обыкновенных, типичных и выщелоченных чернозёмов примерно одинаковые и составляют 10,5-20,8% минеральной. Чернозёмы южные «богаче» запасами этого компонента почти в два раза по сравнению с другими подтипами, что объясняется обогащённостью серой третичных материнских пород (табл. 30).

Запасы валовой, минеральной и подвижной серы в пахотных горизонтах колеблются в пределах, соответственно 522,7 - 834,5; 36,3 - 53,2 и 6,91-15,0кг/га. Наиболее богаты запасами минеральной серы пахотные слои чернозёмов выщелоченных (53,2кг/га или 6,22% валовой), а запасами подвижной серы - чернозёмы южные (15,0кг/га или 41,3% минеральной). Основной запас серы в чернозёмах (слой А + АВ) приходится на резервную форму

Таблица 30. Средние запасы форм серы в чернозёмах, кг/га

Горизонт	Средняя мощность, см	Валовая	Резервная	Минеральная	Подвижная
Южные					
A _п	20	559,0	522,7	36,3	15,0
A	23	551,0	519,8	31,2	11,1
AB	65	1667,2	1471,5	195,7	78,1
A+AB	112	2777,2	2514,0	263,2	104,2
Обыкновенные					
A _п	20	873,5	834,5	39,0	8,30
A	28	1106,8	1061,0	45,8	8,88
AB	82	3409,6	3240,2	169,4	36,5
A+AB	130	5389,9	5135,7	254,2	53,7
Выщелоченные					
A _п	20	855,0	801,8	53,2	6,91
A	40	1546,2	1429,5	116,7	15,4
AB	87	2941,5	2562,1	379,4	27,6
A+AB	147	5342,7	4793,4	549,3	49,9
Типичные					
A	54	2674,0	2520,1	153,9	20,1
AB	86	2902,5	2589,0	313,5	29,0
A+AB	140	5576,5	5109,1	467,4	49,2

(89,7-95,3% от валовой).

Общие запасы серы в серых лесных и лесостепных почвах также как и у чернозёмов довольно высокие (табл. 31). В метровом слое темно-серых лесостепных почв общее количество серы в среднем немного превышает 5,0т/га, в темно-серых лесных — 4,5т/га. В подтипах серых и светло-серых почв каждого типа ее запасы на 10—30% меньше, чем в темно-серых. При этом в слое одинаковой мощности лесостепных почв ее обычно больше в гор. A₁, чем в гор. A₁A₂ или B_v.

Запасы минеральной серы в метровом слое почв составляют менее 10% от ее валового содержания и уменьшаются от темно-серых к светло-серым почвам. В подтипах серых лесостепных и лесных почв запасы минеральной серы в среднем на 15—26%, а в светло-серых на 26—59%, чем в темно-

Таблица 31. Средние запасы серы в серых лесостепных и лесных почвах, кг/га

Горизонт	Средняя мощность, см	Валовая	Резервная	Минеральная	Подвижная
Темно – серые лесостепные					
A ₁	25,6	1392,6	1274,3	118,3	43,5
A ₁ A ₂	26,1	1348,8	1256,4	92,4	51,8
B _v	48,3	2426,1	2145,8	280,3	79,9
A – B _v	0 – 100	5167,5	4676,5	491,0	175,2
Серые лесостепные					
A ₁	23,2	1041,2	959,2	82,0	37,2
A ₁ A ₂	26,0	884,0	819,0	64,7	10,8
B _v	50,8	2126,4	1910,2	216,2	59,0
A – B _v	0 – 100	4051,6	3688,7	362,9	107,0
Светло – серые лесостепные					
A ₁	17,8	739,2	697,4	41,8	29,3
A ₁ A ₂	38,8	1195,0	1132,8	62,2	8,4
B _v	43,6	1703,0	1603,9	92,1	80,6
A – B _v	0 – 100	6337,2	3434,1	203,1	118,3
Темно – серые лесные					
A	28,4	1580,0	1522,5	87,5	48,4
B	45,6	1417,3	1297,7	119,6	57,7
C	26,0	1517,9	1343,2	174,7	90,3
A – C	0 – 100	4515,2	4163,4	381,8	196,4
Серые лесные					
A	20,4	756,0	703,2	52,8	37,0
B	32,6	1127,3	1054,3	73,0	31,0
C	47,0	1896,5	1696,3	200,2	54,3
A – C	0 – 100	3779,8	3453,8	326,6	112,3
Светло – серые лесные					
A	28,5	1075,2	1019,2	55,8	31,8
B	29,6	1234,8	1159,2	75,6	30,8
C	41,9	1771,1	1619,9	151,2	50,4
A – C	0 – 100	4081,1	3798,5	282,6	113,0

серых. При этом темно-серые и серые лесные почвы имеют ее запасы на 10–22% меньше, чем соответствующие подтипы лесостепных почв. В светло-серых лесных почвах запасы минеральной серы были на 39% больше, чем в светло-серых лесостепных подтипах.

Рассматривая распределение минеральной серы по генетическим горизонтам, надо отметить более высокое ее абсолютное и относительное содержание в гор. A_1 , чем в гор. A_1A_2 . Следует отметить, что в гор. В и С количество компонента в среднем несколько превышает 10% от валового запаса, поэтому в слое одинаковой мощности оказываются запасы минеральной серы выше, чем в гор. А. Это связано с большим содержанием растворимых минеральных соединений серы, не связанных с органическим веществом. Основной запас серы в серых лесостепных и серых лесных почвах (слой 0-100см) приходится на резервную форму (54,2-92,2 и 91,4-93,1% валовой). Подводя итоги рассмотрению распределения и запасов серы в подтипах серых лесных и серых лесостепных почв, мы считаем, что все они имеют весьма значительные общие ее запасы. В то же время в них нередко наблюдается пониженное содержание растворимых минеральных соединений серы. Почвы, которые содержат менее 2,0мг/100 г минеральной серы (менее 50 кг/га в слое 0–25см) могут быть отнесены к недостаточно обеспеченным серным питанием, содержащие 2–3мг/100г почвы – к среднеобеспеченным и содержащие более 3,0мг/100г – к обеспеченным.

Результаты определения запасов форм серы в дерново-карбонатных и бурых лесных почвах показали, что наибольшие запасы валовой серы отмечены в гумусовых горизонтах рендзин. Причем, увеличение их количества в горизонте В дерново-карбонатных почв объясняется большей его мощностью и плотностью сложения, а не повышенным содержанием в нем валовой серы. Вниз по профилю запасы ее уменьшаются. Разное накопление гумуса и валовой серы обуславливают довольно высокое варьирование запасов валовой серы в гумусовых горизонтах, которое значительно уменьшается в материнской породе (табл.32).

Ввиду сравнительно небольшой почвенной толщи и близкого расположения к поверхности почвообразующих карбонатных пород большое значение

Таблица 32. Средние запасы серы в бурых лесных и дерново-карбонатных почвах, кг/га

Горизонт	Средняя мощность, см	Валовая	Резервная	Минеральная	Подвижная
Бурая лесная слабонасыщенная					
A	28,0	572	542	30,0	10,93
B	41,3	885	828	56,7	12,91
BC-C	30,7	557	502	55,0	11,80
A-C	0-100	2014	1872	142,1	35,64
Бурая лесная ненасыщенная					
A	26,7	572	540	32,1	11,46
B	42,8	792	734	38,3	8,81
BC-C	32,2	477	435	41,6	9,14
A-C	0-100	1841	1709	132,0	29,41
Дерново-карбонатная типичная					
A	22,8	1005	949,4	55,6	9,12
B	19,3	642	754	68,4	8,83
BC-C	57,9	1037	624	412,5	27,40
A-C	0-100	2684	2148	536,5	45,35
Дерново-карбонатная выщелоченная					
A	28,0	1300	1237	63,1	12,25
B	40,0	1394	1293	100,7	20,31
BC-C	32,0	587	370	217,1	19,10
A-C	0-100	3281	2900	380,9	51,66

представляют запасы валовой серы в горизонтах А + В, где они составляют 1,65-2,69т/га. Общее количество минеральной серы в слое А + В составило 124-164 кг/га, причем 38-45 % ее находится в горизонте А. Большое варьирование наблюдается в распределении запасов легкорастворимой серы по профилю дерново-карбонатных почв. Содержание их в слое А + В составляют 18-39 кг/га, из которых на горизонт А приходится 46,8-50,7 %.

В бурых лесных почвах запасы валовой серы горизонта А в 2 раза меньше, чем в рендзинах. Значительно меньше их и в слое А + В. Коэффициент варьирования распределения запасов серы по генетическим горизонтам увеличивается от валовых к минеральным формам также, как и в дерново-

карбонатных почвах. Содержание запасов минеральной серы в горизонте А также как и валовой, в 2 раза меньше по сравнению с дерново-карбонатными почвами и составляет 34-35 % от их количества в слое А + В. Запасы легко-растворимых сульфатов в слое А + В колеблются в среднем от 20,3 до 23,9 кг/га, причем 46-56 % их находится в гумусово-аккумулятивном горизонте. По запасам серы в слое 0-100см дерново-карбонатные почвы также превышает бурые лесные почвы: по валовой в 1,5 раза, резервной в 1,4 раза, минеральной в 3,3 раза. При этом следует отметить, что в гумусовых горизонтах рендзин запасы минеральной серы составляют 5,5-10,6 % в бурых лесных почвах – 5,3-6,4 % валовых. В горизонте ВС и С дерново-карбонатных почв относительное содержание запасов минеральной серы резко возрастает по сравнению с бурыми лесными почвами.

Известно, что основные сельскохозяйственные культуры выносят следующее количество серы с одного гектара: зерновые 5-30, бобовые 20-35, сахарная свекла 25-35, подсолнечник 40-45, капуста 30-60, рапс 80-85кг. Считается, что ежегодно расходуется 60-110кг серы с одного гектара, в зависимости от уровня урожая (Баранов, 1969; Слуцкая, 1972; Кореньков, 1985). Установлено также, что содержание легкорастворимой серы в почве, обуславливающее нормальное питание растений, должно составлять в пахотном слое не менее 10-15 кг/га. Дефицит серы в корневом питании сельскохозяйственных культур может наблюдаться при количестве легкорастворимых сульфатов в почве мене 0,5 мг/100г (Кореньков, 1985).

Таким образом, к характеристике групп почв по обеспеченности серой необходимо добавить, что почвы с низким содержанием подвижной серы имеют запасы минеральной и подвижной серы в слое А+АВ (степные почвы) и А+В (лесные почвы) соответственно 340,6 (132,0-549,3) и 41,5 (29,4-53,7)кг/га. В пахотных и гумусово-аккумулятивных слоях они составляют 47,5 (30,0-65,0) и 9,58 (6,91-12,25)кг/га. Поскольку запасы минеральной серы в горизонте А почв с низкой обеспеченностью не превышают 50кг/га, в том числе только около 10кг/га составляют запасы легкорастворимой серы,

то практически все сельскохозяйственные культуры, возделываемые на почвах этой группы могут испытывать недостаток в серном питании. Дефицит серного питания могут ощущать сельскохозяйственные культуры, в порядке возрастания их потребности к сере в ряду: зерновые – бобовые – крестоцветные.

Почвы средне обеспеченные подвижными сульфатами имеют запасы минеральной и подвижной серы в слое А+АВ (степные почвы) и А+В (лесные почвы) соответственно 272,9 (263,2-282,6) и 108,6 (104,2-113,0)кг/га. В пахотных и гумусово-аккумулятивных слоях они составляют 46,0 (36,3-55,8) и 23,4 (15,0-31,8)кг/га. При одинаковом с предыдущей группой уровне запасов минеральной серы, почвы этой группы имеют в два раза большие запасы подвижной. Умеренный недостаток в сере на почвах этой группы могут испытывать только наиболее требовательные к ней, преимущественно культуры семейства крестоцветных.

Группа почв высоко обеспеченных подвижными сульфатами имеет запасы минеральной и подвижной серы в слое А+В (лесные почвы) соответственно 347,0 (203,0-491,0) и 151,7 (107,0-196,4)кг/га. В гумусово-аккумулятивных слоях они составляют 80,0(41,8-118,3) и 38,8 (29,3-48,4)кг/га. Содержание, а также запасы минеральной и подвижной серы в почвах группы позволяют выращивать на них практически все культуры без применения серных удобрений. При интенсификации технологий возделывания сельскохозяйственных культур на почвах группы и увеличении выноса элемента с большими урожаями необходимо предусматривать корректировку и сбалансированность удобрений по элементам питания. Особенно это касается азотно-серного баланса.

Итак, установлены основные тенденции и закономерности распределения форм серы в профиле исследуемых почв, проведена их группировка по обеспеченности элементом. Намечен примерный перечень культур, для которых необходима проверка применения серных удобрений. Однако в ней нуждаются не только растения, но и почвы с их реакцией на данный агрономиче-

ский приём. Для первой очереди испытания серосодержащих удобрений нами выбраны прежде всего почвы, сформировавшиеся в условиях промывного водного режима и одного климата, но имеющие контрастные свойства. Наиболее подходящими такими объектами являются дерново-карбонатные и бурые лесные почвы, которые входят в группу почв с низкой обеспеченностью серой. Внесение серных удобрений на рендзинах не вызывает опасения за ухудшение их химических свойств. Напротив, имеются сведения, что внесенные на карбонатных почвах серные удобрения благоприятствуют улучшению пищевого режима: снижают щелочность и усиливают растворение фосфора, марганца, цинка, железа (Ахмедов, 1981; Kachirad A., 1972). Однако, для столь значительных изменений необходимы внушительные дозы серы. Использование же элементарной серы на бурых лесных, особенно освоенных, почвах может вызвать значительное их подкисление. Кроме этого, в профиле бурых лесных почв ярче выражены процессы иллювиирования, что благоприятствует наблюдениям за динамикой содержания форм серы и свойств, а также даёт возможность проследить в более короткие сроки за последствием внесения серных удобрений.

В качестве первого растительного объекта для дальнейших исследований нами выбран горох, который занимает в хозяйствах предгорной зоны значительные площади. Это культура бобовая, а бобовые растения занимают промежуточное положение между мало требовательными и наиболее требовательными культурами к серному питанию.

ГЛАВА 4. АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЕРЫ В ПОЧВАХ И ПОТРЕБНОСТЬ В СЕРНЫХ УДОБРЕНИЯХ

Изучение содержания, закономерностей и тенденций распределения форм серы в исследуемых почвах позволяет судить лишь в первом приближении о степени обеспеченности возделываемых на них сельскохозяйственных культур этим элементом. Различные по величине и качеству ёмкости катионного и анионного обмена, а вместе с этим, и буферная способность против подкисления почв лесного, лесостепного и степного типов почвообразования делает актуальной проблему поведения этого поливалентного элемента в разных агроэкологических ситуациях. Далеко не изучены вопросы поведения серы в различных условиях по степени увлажнения, температурному и окислительно-восстановительному режиму, при совместном применении серных и иных удобрений, степени её доступности растениям и, наконец, воздействия серных удобрений на свойства почв. Известно, что в окислительно-восстановительных реакциях участвуют как минеральные, так и органические формы серы. Часть из них осуществляется чисто химическим путем, но большое значение имеют биохимические процессы (Кауричев, Орлов, 1982). Поведение серы при различных окислительно-восстановительных режимах представляет большой интерес для объяснения особенностей распределения и трансформации её форм в исследуемых почвах, степени доступности ими сельскохозяйственных культур и влияния серных удобрений на физико-химические свойства почв.

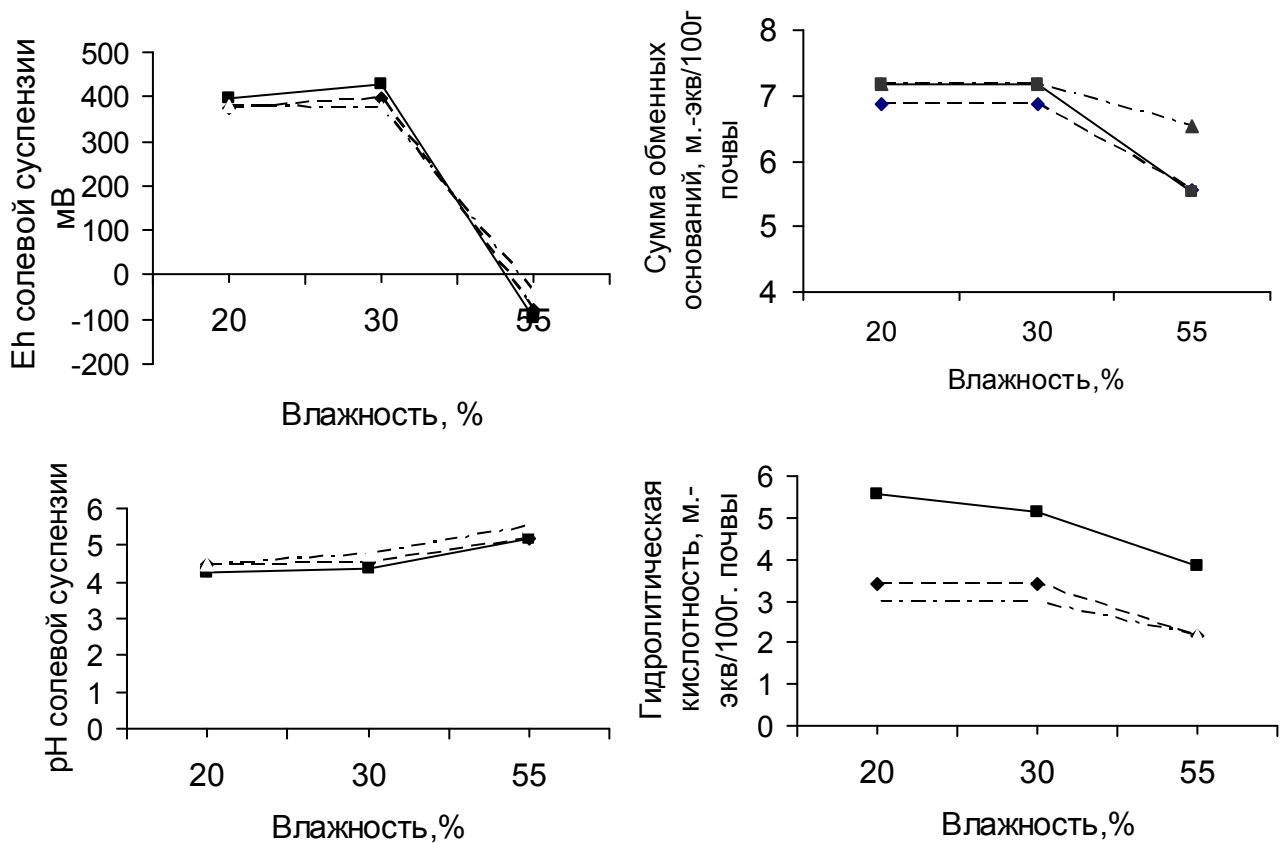
4.1. Трансформация форм серы и изменение свойств почв под действием удобрений

Лабораторные опыты №1 и №2 проводили с целью изучения действия повышенной дозы серных удобрений на изменение форм серы и свойств бурых лесных (№1) и дерново-карбонатных (№2) почв. Для этого использовали смешанные образцы почв из пахотного слоя 0-20см. Схема опыта: 1) Контроль – 100г почвы без удобрений (фон); 2) фон + гипс (10 мг S на 100г поч-

вы); 3) фон + сера элементарная (10 мг/100 г почвы). Опыты проводили тремя сериями, каждая из которых имел три уровня увлажнения, соответствующих капиллярной, предельно-полевой и полной влагоемкости. Для бурой лесной почвы они составили соответственно 20, 30 и 55, для дерново-карбонатной – 20, 35 и 60 % от массы почвы. Компостирование проводилось при температуре 20-25 °С. Потеря влаги за счет испарения компенсировалась путем добавления воды по весовой разнице. Через четыре месяца со времени закладки опыта в почвенных образцах определялись свойства почв, а также содержание форм серы.

Лабораторный опыт №1. Внесение в почву гипса и элементарной серы в контролируемых условиях по гидротермическому режиму не одинаково влияло на свойства бурых лесных почв. При влажности, составляющей 20% от массы почвы, значения ОВП для всех вариантов колебались от 375 до 395 мВ. Внесение в почву при той же её влажности гипса и серы привело к росту значений окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) соответственно на 2,7 и 5,3 % по отношению к контролю. Колебания ОВП на данном уровне увлажнения практически не изменили кислотности почвы на варианте с применением гипса. Взаимодействие же элементарной серы с почвой за четыре месяца привело к снижению рН солевой суспензии на 4,5 % относительно контроля и повышению гидролитической кислотности в 1,6 раза (рис. 1). Величина суммы обменных оснований при этом колебалась в пределах 6,9-7,2м.-экв/100 г почвы.

При увлажнении, соответствующем наименьшей влагоемкости, внесение гипса не оказывало значительного влияния на свойства почвы. В то же время, элементарная сера увеличивала значения ОВП на 35 мВ, при этом уровень гидролитической кислотности оставался достаточно высоким и превышал контрольный в 1,5 раза. Длительное увлажнение, соответствующее полной влагоёмкости, привело к падению ОВП до отрицательных его значений на всех вариантах. Эти процессы сопровождались увеличением показателей рН солевой суспензии, снижением величины гидролитической



----- Контроль, без удобрений; Гипс, 10 мг S на 100г; ————— Сера элементарная, 10 мг на 100г

Рис. 1. Действие серных удобрений на свойства бурой лесной почвы при различном её увлажнении

кислотности и суммы обменных оснований. В условиях преобладания восстановительных процессов внесенный гипс препятствовал снижению значений ОВП до крайних пределов, которые наблюдались на варианте с применением серы и контроле. При 55%-й влажности почвы вариант с применением гипса отличался от других более высокими показателями pH солевой суспензии и суммы обменных оснований. Внесение же элементарной серы при избыточном увлажнении максимально снижало значение ОВП. Гидролитическая кислотность превышала здесь контроль на 1,72 м.-экв/100г почвы. Другими исследователями также отмечается подкисляющая роль элементарной серы (Selim H.M. et al., 2004). Следует отметить, что при всех уровнях увлажнения внесение гипса способствовало росту степени насыщен-

ности основаниями, а применение элементарной серы значительно снижало ее величину.

В определенной связи с изменением химических свойств происходила трансформация форм серы в бурой лесной почве (рис. 2).

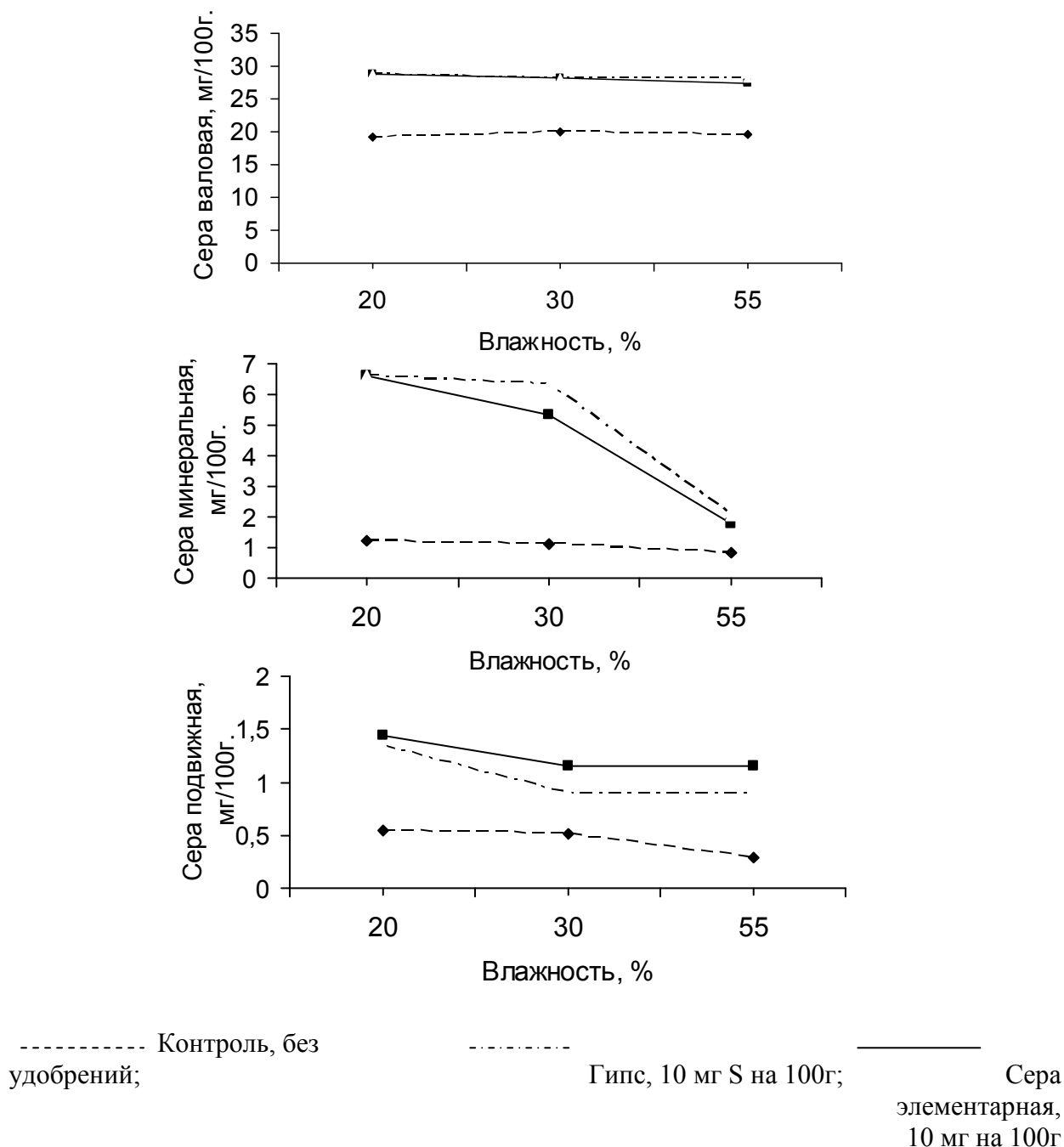


Рис. 2. Влияние серных удобрений на содержание валовой и минеральной серы в бурой лесной слабонасыщенной почве при различном её увлажнении

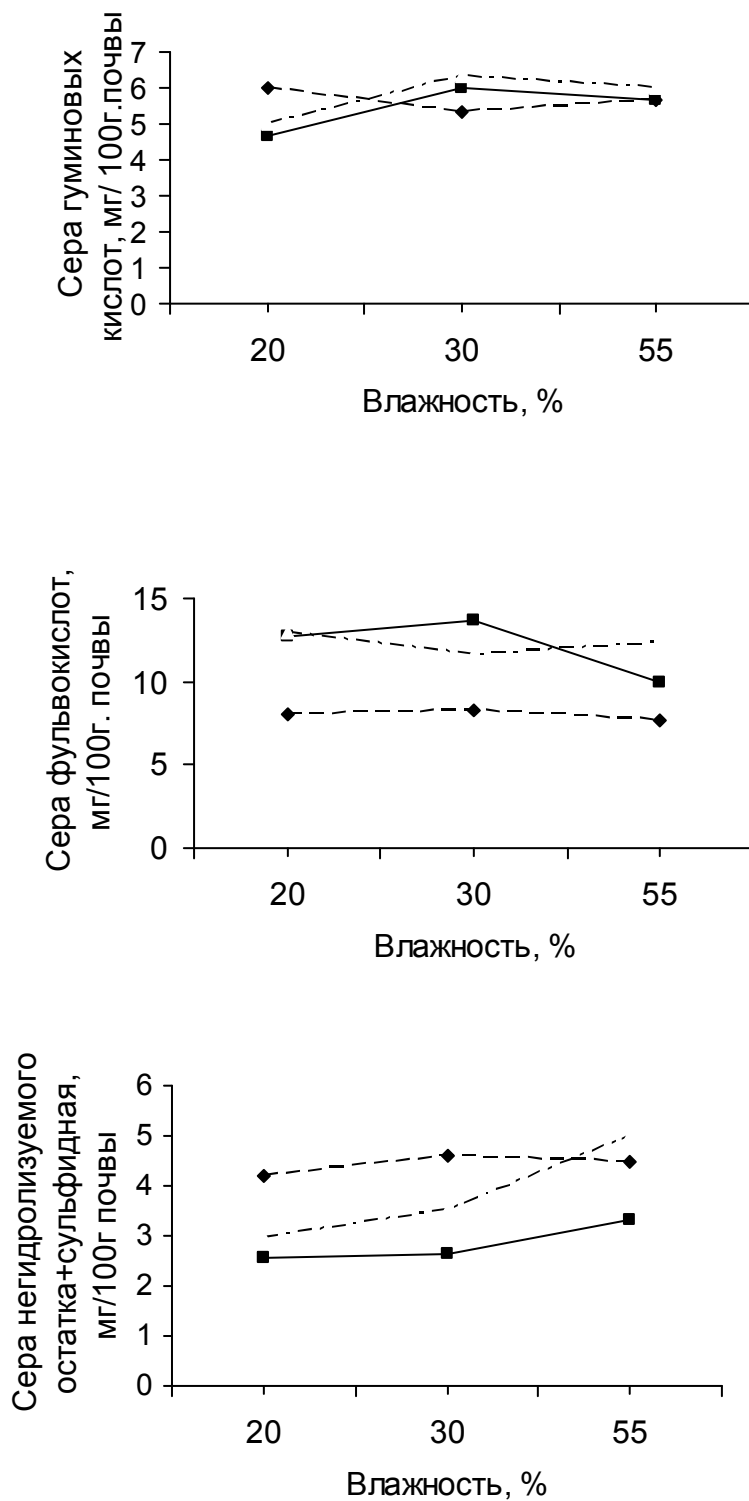
При определении валовой серы разница с контролем на всех вариантах составила в среднем 9,04 мг/100 г почвы. При 20%-й влажности количество минеральной серы в обоих опытных вариантах было на 5,36 мг/100 г больше, чем на контроле.

Всего за 4 месяца при этой влажности переходит в почвенный раствор из гипса немногим более 59 % внесенного количества сульфатов. Примерно столько же их образуется при окислении элементарной серы. На скорость окисления серы влияют несколько факторов: влажность, гранулометрический состав почвы, температура, заражение специфическими штаммами бактерий (Gupta U. C., 1976). Из результатов нашего опыта следует выделить, что при внесении серных удобрений количество минеральной серы увеличивается в 5,3 раза в то время, как содержание ее наиболее активной части – подвижной формы – только в 2,7 раза по отношению к контролю. Т.е. с применением гипса и элементарной серы общее количество ее минеральных форм увеличивается, однако подвижность перешедших в раствор из серных удобрений сульфатов остается незначительной. Вероятно, они адсорбируются полуторными окислами железа и алюминия. Увлажнение почвы до уровня наименьшей влагоемкости практически мало повлияло на содержание почвенных сульфатов в контрольном варианте. Всего за 120 дней при 30%-й влажности в почвенный раствор переходит из гипса 57,7 % внесенного количества сульфата, а при окислении элементарной серы при той же влажности - 47 %. Увлажнение почвы до 55 % в большей степени повлияло на трансформацию минеральной серы. На контроле ее количества уменьшилось на 0,42 мг/100 г, а содержание легкорастворимых сульфатов почти вдвое по сравнению с 20%-м увлажнением. В этих условиях внесенная элементарная сера почти не окислялась, а значительная часть серы гипса подвергалась восстановлению.

Наши расчеты показывают, что около 45,5 % всех сульфатов, перешедших в почвенный раствор из гипса, восстановились или изменили степень своего окисления. Индийские исследователи, изучая процессы восстановления сульфатов в связи с изменением ОВП и pH в красноземах,

пришли к аналогичному выводу (Rao Negeswara et al., 1984).

Наряду с неорганическими веществами в почвенных растворах присутствует органический материал, способный вступать в реакции окисления и восстановления. Большая часть этих реакций имеет необратимый характер. Степень окисленности гумусовых кислот близка к нулю. Для гумусовых кислот она колеблется в пределах $\pm 0,2$, для фульвокислот обычно имеет положительные значения (Кауричев, Орлов, 1982). В нашем опыте внесение серных удобрений на фоне различного увлажнения почв оказало определенное влияние на трансформацию серы гумусовых веществ. В меньшей мере это касалось гуминовых кислот. Внесение гипса и элементарной серы практически не повлияло на их количество (рис. 3). Иное действие оказало внесение серных удобрений на содержание серы фульвокислот. Увлажнение почвы до 20 % от её массы привело к значительному увеличению этого компонента в обоих опытных вариантах и составило 43,9 – 45,1 % валовой серы. По отношению к контролю увеличение составило 50,2 % на варианте с применением элементарной серы и 62,5 % – при внесении гипса. Увлажнение почвы до уровня предельно-полевой влагоемкости способствовало росту содержания серы фульвокислот при внесении элементарной серы по отношению к контролю на 63,9 %. В это же время, в варианте с гипсом, наблюдалось понижение количества компонента, по сравнению с прежним уровнем увлажнения. Все это говорит о большей лабильности серы фульвокислот по сравнению с серой гуминовых кислот. Компостирование почвы с гипсом при избыточном увлажнении не оказало значительного действия на содержание серы фульвокислот, если сравнивать с уровнем 30%-ого увлажнения. Это говорит о том, что, несмотря на частичное восстановление высвобождающихся при растворении гипса сульфатов, некоторая их часть все же принимает участие в трансформации органических соединений. В этих условиях увлажнения часть элементарной серы оставалась в том виде, в котором она была в начале



----- Контроль, без удобрений; -.-.-.-.- Гипс, 10 мг S на 100г; _____ Сера элементарная, 10 мг на 100г почвы

Рис. 3. Влияние серных удобрений на содержание резервных форм серы в бурых лесных слабонасыщенных почвах

компостирования, то есть в нулевой степени окисления. Об этом свидетельствовало низкое содержание минеральной серы и серы фульвокислот.

На опытных вариантах при 20 и 30 %-ой влажности почвы содержание серы гуминов мало отличалось от контроля. Избыточное увлажнение способствовало накоплению этого компонента гумуса в обоих опытных вариантах.

Величина отношения серы гуминовых кислот к сере фульвокислот на контроле при разном увлажнении варьировала в пределах 0,64-0,75. Внесение элементарной серы снижало пределы колебаний этого показателя до 0,37-0,57, а применение гипса – до 0,38-0,54. Расчет суммарного количества серы в гумусовых кислотах показывает, что внесение элементарной серы способствует вовлечению в процессы трансформации органических соединений при 20, 30 и 55 %-ой влажности соответственно 23,8; 43,9 и 17,5 %, а использование гипса – 28,6; 31,7 и 37,5 % серы относительно контроля.

Таким образом, увлажнение почвы до 20 - 30 % от ее массы приводит к созданию условий, благоприятных для окислительных процессов. Увлажнение почвы до уровня полной влагоемкости способствует созданию восстановительных условий с отрицательными значениями ОВП.

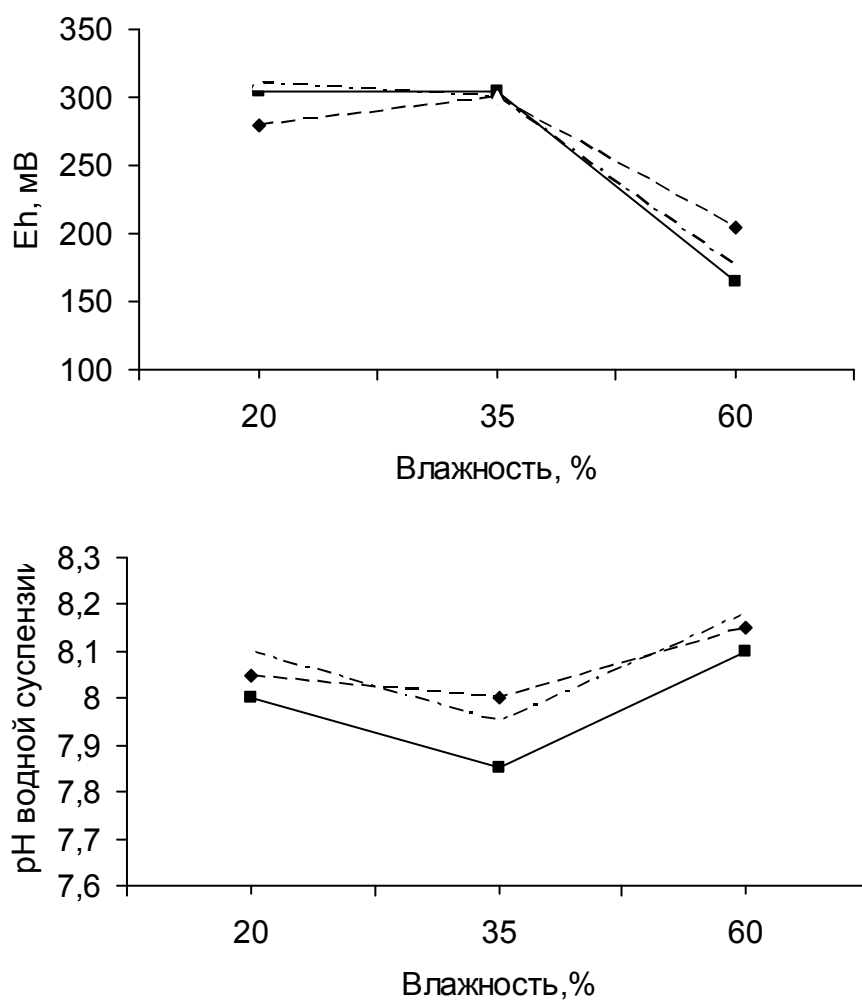
Применение гипса на фоне всех уровней увлажнения благоприятно влияло на свойства бурых лесных почв: препятствовало уменьшению значений ОВП, снижало кислотность почв, несколько увеличивало сумму обменных оснований и степень насыщенности ими почв. Внесение элементарной серы способствовало повышению кислотности почв и снижению степени насыщенности основаниями.

Компостирование бурых лесных почв с элементарной серой и гипсом из расчета 10 мг серы на 100г почвы при 20 % влажности способствует максимальному образованию в почве минеральной и легкорастворимой серы, а также серы фульвокислот.

В условиях увлажнения почвы, близкого к наименьшей влагоемкости, отмечена тенденция к уменьшению минеральных форм серы, хотя общий уровень минеральных сульфатов и серы фульвокислот остается высоким. Полное увлажнение почвы способствовало снижению содержания минеральной, легкорастворимой серы и серы фульвокислот.

При 20, 30 и 55 %-ой влажности почвы применение элементарной серы способствует вовлечению в процессы трансформации органического вещества, соответственно 33, 60 и 23% от внесённой с удобрениями, а применение гипса – 40, 43 и 50%.

Лабораторный опыт №2. Результаты компостирования дерново-карбонатной типичной почвы с серными удобрениями показывают, что при увлажнении до 20 % от массы почвы величина ОВП по сравнению с контролем повышается на 25-30 мВ (рис. 4)



----- Контроль, без удобрений; - - - - - Гипс, 10 мг S на 100г; ————— Серя элементарная, 10 мг на 100г почвы

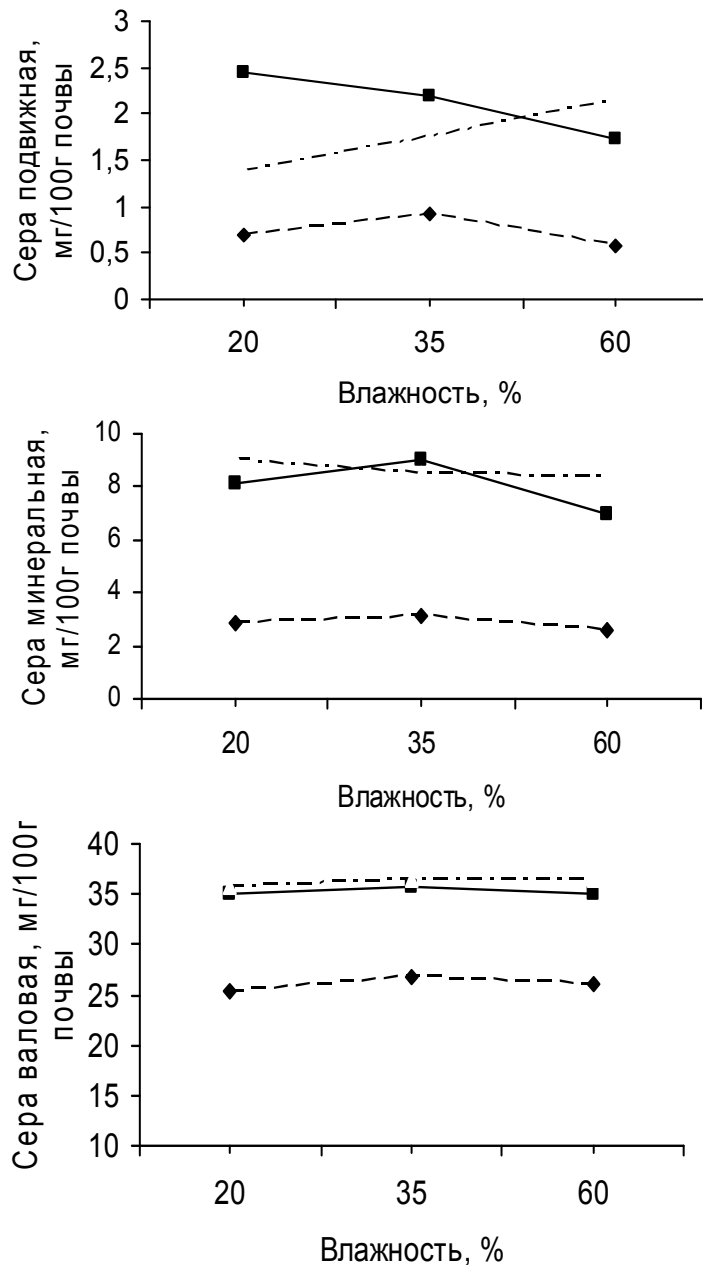
Рис. 4. Изменение ОВП и pH водной суспензии дерново-карбонатных почв под действием серных удобрений при различном увлажнении

Увлажнение, близкое к уровню наименьшей влагоемкости, выравнивает значение ОВП на всех вариантах, при этом происходит незначительное понижение показателей рН водной суспензии. При влажности, соответствующей полной влагоемкости исследуемых почв, наблюдалось падение значений ОВП на всех вариантах опыта, однако по сравнению с бурыми лесными почвами оно не достигало отрицательных значений. Серные удобрения слабо влияли на показатели ОВП рендзин, однако внесение элементарной серы уменьшало величину рН водной суспензии.

Определение валовой серы после компостирования на обоих опытных вариантах показало близкие значения, а разница с контролем составила в среднем 9,60 мг/100г (рис. 5). В отличие от бурых лесных почв, компостирование рендзин с серными удобрениями привело к значительному росту количества минеральной серы при всех уровнях увлажнения. Содержание ее на варианте с применением элементарной серы колебалось от 20,0 до 25,9 % валового количества. Максимум сульфатов, образовавшихся при окислении элементарной серы, приходился на увлажнение почвы, близкое к уровню наименьшей влагоёмкости. Увеличение минеральной серы на этом варианте составило в среднем 5,17 мг/100 г по отношению к контролю.

На варианте с внесением гипса количество минеральной серы варьировало в пределах 23,0-25,4 % валового ее содержания. Наибольшее количество сульфатов переходило в раствор из гипса при влажности 20 % от массы почвы. Увеличение их содержания на данном варианте составило в среднем 5,77 мг/100 г относительно контроля. Учитывая, что в опытных вариантах содержание почвенных сульфатов примерно такое же, как и на контроле, можно предположить, что на долю минеральной серы, перешедшей в раствор из гипса и образовавшейся при окислении элементарной серы, приходится в среднем соответственно 57,4 и 60,1 % от внесенного количества.

При внесении серных удобрений наравне с ростом содержания минеральной серы, увеличивается в той же мере и количество ее наиболее активной части



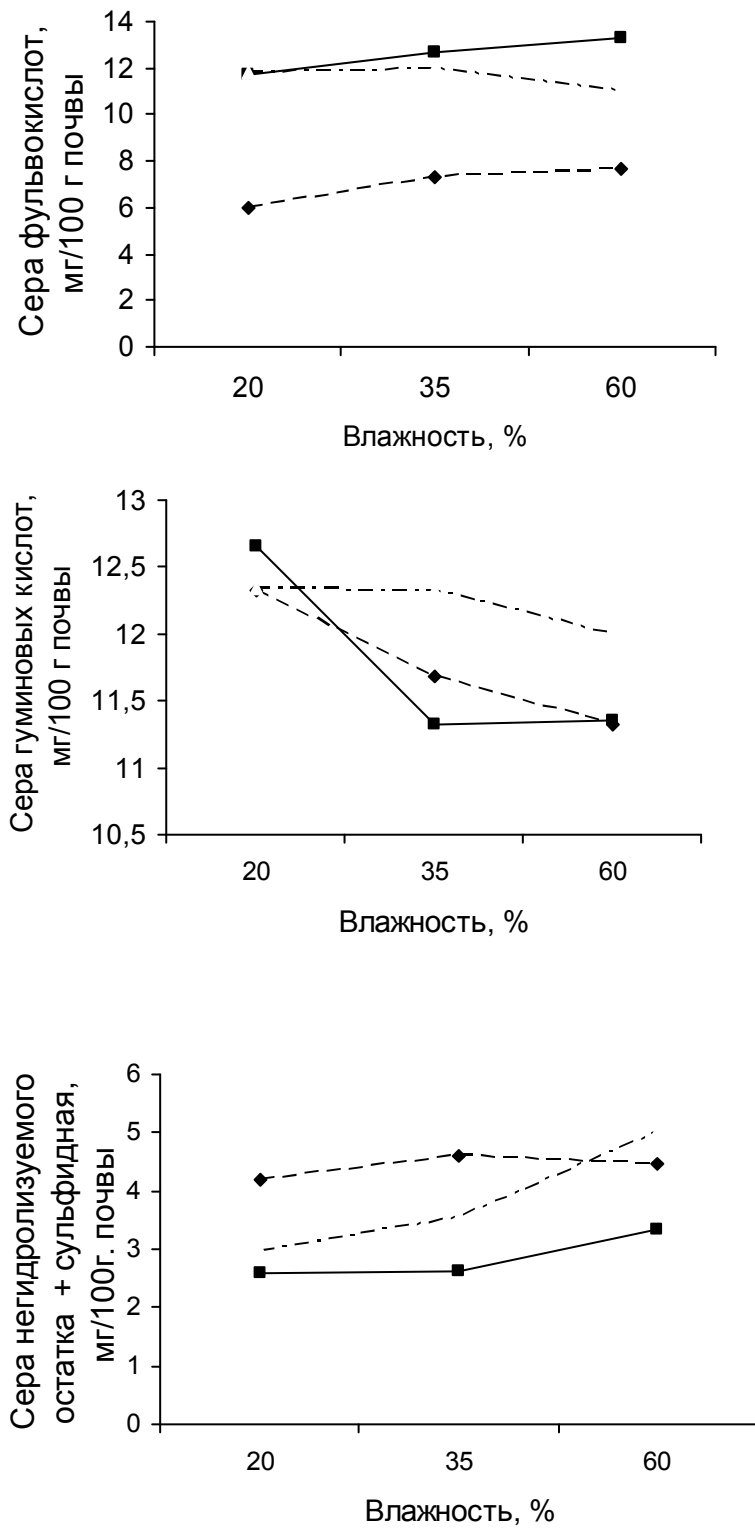
----- Контроль, без удобрений; - · - · - · - Гипс, 10 мг S на 100г ————— Сера элементарная, 10 мг на 100г почвы.

Рис. 5. Влияние удобрений на содержание валовой и минеральной серы в дерново-карбонатных типичных почвах при различном их увлажнении

– легкорастворимых сульфатов. Содержание их при внесении элементарной серы возрастает до 6,97 %, а применение гипса увеличивает количество легкорастворимой серы до 3,87-5,91 % валового содержания. Рост количества активных сульфатов на обоих опытных вариантах составляет соответственно в среднем 1,38 и 1,02 мг/100 г по отношению к контролю. Количество мине-

ральной серы и легкорастворимых сульфатов увеличивается одинаково: в 2,9 и 2,6 раза относительно контроля. Это говорит о том, что применение серных удобрений, способствуя росту минеральных соединений элемента, не снижает подвижности сульфатов, как это наблюдалось в бурых лесных почвах.

К числу факторов, стимулирующих окислительный распад гумусовых веществ под действием кислорода, относятся слабощелочная и щелочная среды (Кауричев, Орлов, 1982). Судя по значениям ОВП и pH водной вытяжки, а также интенсивному образованию сульфатов при окислении элементарной серы на всех вариантах нашего опыта окислительные процессы доминировали над восстановительными. Изменение режима увлажнения и внесение серных удобрений практически не влияло на содержание серы гуминовых кислот (рис. 6). С увеличением влажности почвы от 35 до 60 % её массы наблюдалась тенденция увеличения количества серы фульвокислот на варианте, где не вносились серные удобрения (от 6,0 до 7,67 мг/100 г). Возможно, повышенная влажность способствовала гидролизу органических веществ и усилению их микробиологического разложения, что привело к деструкции фульвокислот и увеличению их окисления. Внесение серных удобрений оказало значительное действие на рост количества серы фульвокислот. На варианте с элементарной серой ее содержание при 20 %-ой влажности составило 33,3, а с применением гипса – 31,7 % валовой серы. Повышение влажности почвы до 35 % способствовало росту содержания серы фульвокислот на опытных вариантах соответственно до 35,5 и 33,0 % валового количества. При избыточном увлажнении, по отношению к другим уровням влажности почвы, на варианте с гипсом роста количества серы фульвокислот не наблюдалось, в то время как внесение элементарной серы способствовало некоторому ее увеличению. Колебания содержания серы фульвокислот можно объяснить изменением условий растворимости и реакции почвенной среды в опыте. Соли фульвокислот со щелочноземельными металлами растворимы в воде, что улучшает их способность взаимодействовать с поступающими



----- Контроль, без удобрений; - - - - - Гипс, 10 мг S на 100г ————— Сера элементарная, 10 мг на 100г почвы

Рис. 6. Влияние удобрений и разных уровней увлажнения на содержание резервных форм серы в дерново-карбонатных типичных почвах

в раствор сульфатами. Однако, при значении рН, превышающих 8,0, часть фульвокислот осаждается гидроокисью кальция и это затрудняет их взаимодействие с сульфатами, образовавшимися при окислении элементарной серы растворения гипса. В среднем содержание серы фульвокислот увеличивалось в вариантах с внесением элементарной серы и гипса соответственно на 5,55 и 4,44 мг/100 г по отношению к контролю. Содержание серы негидролизуемого остатка на контроле колебалось независимо от увлажнения в пределах 16,5-17,2 % валовой серы. На опытных вариантах отмечалось тенденция к увеличению этого компонента с понижением влажности. На варианте с применением элементарной серы при 20, 35 и 60 %-ой влажности количество серы негидролизуемого остатка составило 7,44; 7,4 и 9,5 % валовой серы. Внесение гипса способствовало в тех же условиях увлажнения увеличению компонента от 8,3 до 13,8 % содержания валовой серы.

Рост содержания серы фульвокислот при внесении серных удобрений и неизменяющееся при этом количество серы гуминовых кислот в рендзине привело к значительному изменению их соотношения. Повышение увлажнения способствовало уменьшению показателя отношения серы гуминовых кислот к сере фульвокислот на контроле от 2,1 до 1,5. Применение серных удобрений снизило его до единицы, а на варианте с внесением элементарной серы при 35 и 60 %-ой влажности – до 0,85-0,89. Определение содержания серы в гумусовых кислотах показывает, что внесение элементарной серы способствует вовлечению в процессы трансформации органических соединений при 20, 35 и 60 %-ой влажности на 32,7, 26,2 и 29,9 % больше, чем на контроле, а использование гипса – на 29,1, 28,0 и 21,1 %.

Итак, применение серных удобрений при длительном увлажнении дерново-карбонатных почв не снижает ОВП до отрицательных значений, способствует значительному росту количества минеральной серы, а также серы фульвокислот и практически не влияет на содержание серы гуминовых кислот и величину рН водной суспензии.

Лабораторный опыт №3. Основной целью исследований было изучить действие лёссовидного суглинка, минеральных удобрений и элементарной серы на физико-химические свойства и содержание форм серы в чернозёме выщелоченном. В опыте (2×2×2) изучалось действие двух градаций (0 и 1) лёссовидного суглинка – ЛС (фактор А), N₉₀P₆₀K₆₀ (фактор В) и элементарной серы – S₆₀ (фактор С) на физико-химические свойства и содержание форм серы в чернозёме выщелоченном (табл. 33).

Таблица 33. Схема лабораторного опыта №3

Исследуемые факторы			№ варианта	Варианты опыта		
А (лёссовидный суглинок)	В (NPK)	С (S)				
0	0	0	1	0	0	0 (к)
		S ₆₀	2	0	0	S ₆₀
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0	3	0	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0
		S ₆₀	4	0	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	S ₆₀
ЛС	0	0	5	ЛС	0	0
		S ₆₀	6	ЛС	0	S ₆₀
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0	7	ЛС	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0
		S ₆₀	8	ЛС	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	S ₆₀

В качестве основных удобрений использовались аммофос, аммиачная селитра и калий хлористый. Чернозём отбирался из слоя 0 – 20см. Вскрышная порода для исследования была отобрана со дна карьера строительного сырья глубиной 8-10м. Компостирование проводилось в течение 4-х месяцев в стеклянных стаканах при постоянной влажности почвы (125г) и смеси (100г почвы + 25г лёссовидного тяжёлого суглинка), соответствующей 60% ППВ. После окончания компостирования в образцах почвы и смеси определялись физико-химические свойства и содержание форм серы.

Одной из причин снижения урожая является недостаточная обеспеченность серой сельскохозяйственных культур, возделываемых на Кубанских чернозёмах (Тонконоженко, 1978; Слюсарев, 2006). В тоже время применение серосодержащих удобрений (сульфат аммония, элементарная сера) спо-

собно подкислять почву. Подкисление почв носит на Кубани всеобщий характер. Наиболее опасно подкисление выщелоченных чернозёмов: за последние 25 лет в среднем активная кислотность увеличилась на 0,4 единиц рН (Агроэкол. мониторинг, 1997). В настоящее время среди многих проблем деградации чернозёмов, является истощение почвы, связанное с её естественным «старением» и обусловленное выветриванием первичных минералов, особенно в агроценозах. На пашне эволюционные процессы прекращают свое действие и начинается деградация. Ученые Ставрополя предлагают её называть метаморфозом, который характеризуется возрастанием темпов выветривания и каолинитизации (Цховребов, 2003). В своих исследованиях они доказывают, что обработка почв, орошение, внесение удобрений способствуют увеличению биомассы растений и объёмов выветривания. Плодородие почв было бы значительно ниже, если бы оно не поддерживалось выветриванием первичных минералов. Замедлить естественное «старение», то есть сдерживать процессы иллитизации-каолинитизации возможно с помощью реминерализации почвы, её «омоложения» материнской горной породой. Одним из возможных мелиоративных приёмов при этом является известкование (Иванов, Кузнецова, 2006). Однако, в условиях Азово-черноморской равнины необходимо изыскивать альтернативные, более дешёвые мелиоранты, которые могли бы использоваться как кальциевые и серные удобрения одновременно, а также играть роль фактора, сдерживающего подкисление чернозёмов. В связи с этим, особое значение имеют лёссовидные глины и суглинки вскрываемых карьерных пород. Они являются верхней частью четвертичных континентальных отложений мощностью до 90 м, которые сплошным слоем покрывают территорию равнины и являются почвообразующими породами для чернозёмов исследуемого региона. По «Классификации вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель» исследуемые в опыте породы отнесены в группу пригодных и подгруппу потенциально-плодородных пород с благоприятными физическими и

химическими свойствами для произрастания сельскохозяйственных растений (Терпелец, 1985, 1999).

Нашими исследованиями установлено существенное увеличение суммы обменных оснований по сравнению с контролем на вариантах с применением породы (11,5%) и породы с элементарной серой (17,8%). Это объясняется тем, что в условиях оптимальных для обменных реакций (по увлажнению и температуре) в соответствии с законом действующих масс энергичнее всего поглощаются катионы с более высокой концентрацией в почвенном растворе (табл. 34). Кроме этого, гумусовые кислоты, если их насыщать катионами повышенной валентности, приобретают способность коагулировать и закрепляться в почве, увеличивая при этом ёмкость катионного обмена.

Таблица 34. Влияние лёссовидного суглинка и минеральных удобрений на содержание форм серы и физико-химические свойства чернозёма выщелоченного

Варианты опыта (факторы АВС)	Сера			Сумма обменных оснований	Гидролитическая кислотность	рН	
	валовая	минеральная	подвижная			H ₂ O	КСI
	мг на 100г почвы			м. – экв. на 100г почвы			
1.Контроль(000)	35,7	1,92	0,46	33,8	1,74	7,09	5,99
2.S ₆₀	41,2	2,92	1,21	34,2	1,89	7,12	6,02
3. N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	36,4	2,63	0,79	33,0	2,18	7,10	6,00
4.N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ +S ₆₀	42,6	5,72	1,00	35,3	2,18	7,03	5,94
5.ЛС	33,0	2,33	0,53	37,7	1,31	7,34	6,32
6.ЛС+S ₆₀	39,8	5,15	2,04	39,8	1,31	7,38	6,27
7.ЛС+N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	34,8	3,13	0,99	35,7	1,31	7,34	6,18
8.ЛС+N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ +S ₆₀	41,6	6,17	2,42	34,8	1,31	7,30	6,20
НСР ₀₅ для: А, В, С; АВ, АС, ВС, АВС частных различий	1,61	0,13	0,08	1,19	0,08	0,02	0,04
	2,28	0,19	0,11	1,68	0,11	0,03	0,06
	3,22	0,27	0,16	2,43	0,16	0,04	0,08

Гидролитическая кислотность существенно изменялась на всех опытных вариантах, за исключением варианта с применением серы. Использование $N_{90}P_{60}K_{60}$ и $N_{90}P_{60}K_{60}S_{60}$ увеличивало этот показатель на 25,3%, а внесение одной породы и в сочетании её с минеральными удобрениями уменьшало его на 24,7%. При высокой концентрации катион водорода начинает энергично вытеснять из ППК основные катионы, уменьшая сумму обменных оснований и одновременно повышая гидролитическую кислотность. При этом активная кислотность, обусловленная оставшимися в почвенном растворе протонами, может частично уменьшаться, что и наблюдалось в нашем опыте. Активная и обменная виды кислотности существенно уменьшались на всех вариантах с применением как одной лёссовидной породы, так и в сочетании с минеральными удобрениями. Установлен положительный эффект от применения породы (0,25 ед. pH_{H_2O} и pH_{KCl}) и отрицательный – от применения $N_{90}P_{60}K_{60}$ (минус 0,04-0,07 ед. pH_{H_2O} и pH_{KCl}). Некоторые авторы рекомендуют показатели pH доводить до интервала 5,5-7,0. При этом доступность железа, меди, марганца и цинка снижается, а азота, серы, калия, кальция, магния, фосфора и молибдена возрастает (Панников, Минеев, 1977; Томпсон, Троу, 1982).

Установлено существенное влияние на содержание валовой серы применения породы, элементарной серы и их совместного внесения в почву (на 10,4-19,3% относительно контроля).

Содержание минеральной серы изменялось в опыте более динамично, чем валовой. Сера высвобождается из материнских пород по мере выветривания минералов. При разложении органического вещества почвы она минерализуется в начале в форме сульфидов и затем окисляется до сульфатной формы (Томпсон, Троу, 1982).

В нашем опыте элементарная сера, находясь в нулевой степени окисления, за время эксперимента частично окислялась до сульфатной формы. Об этом свидетельствует увеличение минеральной серы на варианте с применением одной серы (на 52% относительно контроля). Раздельное внесение породы и $N_{90}P_{60}K_{60}$ увеличивает количество этого компонента соответственно

на 21,4 и 37,0% по сравнению с контролем. Однако наибольшее увеличение в содержании минеральной серы установлено при совместном использовании элементарной серы с породой, с $N_{90}P_{60}K_{60}$ и особенно трёх факторов вместе (на 168, 198 и 221%). Это объясняется положительным взаимодействием изучаемых в опыте факторов, когда эффект от совместного их применения больше суммы эффектов от отдельного применения каждого из них (явление синергизма).

Исходное содержание подвижной серы на контрольном варианте исследуемого чернозёма характеризуется как низкое. Установлены значимые главные эффекты: от применения породы – 0,63; $N_{90}P_{60}K_{60}$ – 0,81 и элементарной серы – 0,98 мг на 100г почвы. Использование элементарной серы в сочетании с $N_{90}P_{60}K_{60}$, породой и трёх факторов вместе также увеличивало содержание подвижной серы в 2, 4 и 5 раз по сравнению с контрольным вариантом. Применение изучаемых факторов способствовало переводу исследуемой почвы в категорию со средним и высоким содержанием подвижной серы.

Таким образом, применение лёссовидного суглинка благоприятно действует на почвенно-поглощающий комплекс чернозёма выщелоченного. Изучаемая порода обеспечивает нужный запас основных катионов и мягкий, но достаточный подщелачивающий эффект. Применение одной породы и в сочетании её с минеральными удобрениями снижает уровни гидролитической, обменной и активной кислотности. Внесение породы, $N_{90}P_{60}K_{60}$ и серы увеличивает количество валовой, минеральной и подвижной серы в почве. Результаты исследований могут быть использованы агрохимиками и мелиораторами в качестве базовых вариантов полевого опыта по изучению реминерализации чернозёмов и увеличения в них содержания серы.

4.2. Почвенно-экологическая и агрономическая оценка применения серных удобрений при возделывании гороха на бурых лесных почвах

4.2.1. Влияние различных по растворимости сульфатных солей на свойства почвы и продуктивность гороха

Вегетационный опыт №1. Гипс является наиболее подходящим химическим соединением для удовлетворения потребности растений в сере, бла-

годаря широкому распространению в природе и дешевизне. Исследованиями ряда авторов установлено, что применение гипса и фосфогипса в качестве серного удобрения сопровождается благоприятным действием на содержание питательных веществ в почве и поступление их в растение (Усманов, 1936; Вальников, 1973; Шугля, 1978). Полученные при этом прибавки урожая обычно относят только за счет серы. Между тем известно, что гипс, наряду с серой, содержит кальций, магний, марганец, бор, вольфрам, стронций и целый ряд других биологически активных элементов, то есть по существу является природным комплексным удобрением (Фомин, 1976). Поэтому представляет интерес изучить действие на почву и растение основного компонента гипса – сульфата кальция без сопутствующих примесей, а также более растворимых сульфатов железа, магния и, наконец, элементарной серы. При этом необходимо уточнить и проверить ориентировочную дозу серы при выращивании опытной культуры. Дозу серы обычно рассчитывают с учетом биологических особенностей сельскохозяйственных культур, но она должна составлять не менее 30-40 кг/га (Кореньков, 1985). Для большинства культур эта доза обычно не превышает 60 кг/га, под культуры семейства крестоцветных составляет 100-120 кг/га (Слущкая, 1972). Среднее содержание минеральных сульфатов в горизонте А изучаемых почв составляет 30-32 кг/га, а с урожаем гороха может отчуждаться до 34 кг/га (Айдинян, 1964). Учитывая эти факты и выше изложенные рекомендации, мы использовали в вегетационных опытах ориентировочную гектарную дозу серы из расчета 40-50 кг/га. При этом нами учитывалось то, что выщелачивание сульфатов при промывном водном режиме превалирует над поступлением их с атмосферными осадками в зоне распространения бурых лесных почв. Несмотря на пониженную в 4 раза дозу серы по сравнению с используемой в лабораторных опытах №1 и №2, представляется важным проследить в вегетационном опыте и за действием серных удобрений на свойства кислой почвы.

Результаты анализов почвы после уборки гороха показали не одинаковое влияние на нее различных по растворимости сульфатов (табл. 35). Внесе-

ние сульфата кальция в одинарной дозе практически не способствовало подкислению почвенного раствора и изменению степени насыщенности основаниями. Хорошо растворимые сульфаты железа и магния в условиях 1983 года также не оказали значительного влияния на химические свойства почвы. Однако, в 1984 году на варианте с применением сульфата железа отмечено увеличение гидролитической кислотности. Применение элементарной серы мало влияло на изменение свойств почвы, хотя тенденции к небольшому подкислению все же отмечалась (в 1984 году),

Таблица 35. Влияние сульфатных солей на химические свойства бурых лесных слабоненасыщенных почв (вегетационный опыт №1)

Варианты опыта	Гидро- лити- ческая кислот- ность	Сумма обмен- ных ос- нова- ний	Степень насыщен- ности ос- новани- ями, %	рН со- левой сус- пензии	Мине- ральная сера, мг/100г почвы
	м.-экв на 100г поч- вы				
1983г.					
Фон - НРК	2,73	16,48	85,79	5,04	1,27
Фон + сульфат кальция	2,73	16,58	85,86	4,98	1,36
Фон + сульфат железа	2,84	16,58	85,38	4,94	1,65
Фон + сульфат магния	2,72	16,88	86,12	5,37	1,32
Фон + сера элементарная	2,89	16,78	85,31	5,01	1,42
Фон + сульфат кальция (двойная доза)	2,62	16,63	86,39	5,18	1,49
НСР ₀₅	0,58	-	-	0,49	0,16
P, %	7,05	-	-	3,24	3,87
1984г.					
Фон - НРК	2,70	16,43	85,89	4,97	1,28
Фон + сульфат кальция	2,75	16,79	85,93	4,89	1,32
Фон + сульфат железа	3,04	16,53	84,47	4,94	1,86
Фон + сульфат магния	2,53	17,05	87,08	5,12	1,53
Фон + сера элементарная	2,92	16,58	85,02	4,84	1,12
НСР ₀₅	0,28	-	-	0,25	0,20
P, %	3,22	-	-	1,62	4,12

но статистически она не подтверждалась. Изучение остаточного действия сульфата в почве дает возможность убедиться, что лучше всего используется

сера растениями на варианте с гипсом. Здесь нужно учитывать также возможность частичного связывания поступивших сульфатов с фульвокислотами бурых лесных почв, как это нами отмечалось в лабораторном опыте. Больше всего минеральной серы зафиксировано на варианте с применением сульфатов магния и железа. Известно, что сернокислое железо, окисляясь и гидролизуясь, переходит в гидрат окиси железа, освобождая серную кислоту (Возбуцкая, 1964; Орлов, 1992). Трудно растворимый сульфат кальция отдает серу в почвенный раствор постепенно и это создает лучшие условия для поступления его в растения.

Таким образом, поступившая с удобрениями сера частично связывается с органическим веществом почвы, усваивается растениями и некоторое количество остается в почвенном растворе в виде минеральной формы. Некоторые исследователи, также отмечали, что после внесения сульфатных солей, при выращивании вики в вегетационных опытах, часть серы в конце вегетации находилась в составе резервной фракции и легкорастворимых сульфатов дерново-подзолистой почвы (Фомин, 1971). Используемая в нашем опыте двойная доза сульфата кальция способствовала некоторому снижению кислотности и повышению степени насыщенности основаниями, однако статистически доказывалось только лишь остаточное увеличение минеральной серы в почве. Избыточное количество сульфатов, поглощенное растением, явилось причиной снижения продуктивности гороха на этом варианте (табл. 36). Растения здесь чувствовали себя угнетенными, что наблюдалось во время их вегетации. Об этом свидетельствует и анализ структурных элементов, составляющий биологический урожай культуры. Заметно снизилась масса одного растения и число продуктивных бобов. Зерна выглядели щуплыми, невыполненными и урожай их существенно отличался от контрольного варианта. Сербские ученые также установили, что повышение дозы сульфата аммония на фоне NPK от 100 до 200 кг/га оказывало отрицательное влияние на энергию прорастания, длину корешков и проростков гороха (Marcovic B., 1983). Оптимальные дозы серы, напротив, активизируют ростовые процессы,

протекающие в проростках гороха. При этом важную роль играет правильное соотношение нитратных, фосфатных и сульфатных анионов в почвенном растворе (Иванова, 1972). При низком содержании доступной серы в почве и при внесении полного минерального удобрения некоторые авторы рекомендуют вносить одну часть серы на 5-7 частей вносимого азота. Когда почвы бедны фосфором и серой, на каждые три части фосфора нужно внести одну часть серы.

Таблица 36. Влияние сульфатных солей на структуру урожая гороха (вегетационный опыт №1)

Варианты опыта	Масса 1-го растения, г	Число продуктивных бобов с 1 растения, шт.	Число зерен с 1 растения, шт.	Урожайность зерна, г/сосуд	Разность с контролем	
					г/сосуд	%
1983г.						
Фон - NPK	3,89	2,9	7,62	5,53	-	-
Фон + сульфат кальция	4,33	3,3	7,81	6,60	+1,07	19,4
Фон + сульфат железа	3,86	2,9	7,62	5,65	+0,12	2,17
Фон + сульфат магния	4,28	3,4	8,19	6,64	+1,11	20,1
Фон + сера элементарная	3,93	3,2	7,94	6,08	+0,55	9,94
Фон + сульфат кальция (двойная доза)	3,46	2,7	6,88	4,12	-1,41	-25,5
НСР ₀₅	-	-	-	-	1,00	17,16
P, %	-	-	-	-	5,52	
1984г.						
Фон - NPK	3,62	2,7	7,75	6,91	-	-
Фон + сульфат кальция	3,96	3,3	8,35	7,89	+0,98	4,18
Фон + сульфат железа	3,62	3,1	7,95	7,28	+0,37	5,35
Фон + сульфат магния	3,76	3,2	8,40	7,48	+0,57	8,25
Фон + сера элементарная	3,00	3,00	8,00	7,10	+0,19	2,75
НСР ₀₅	-	-	-	-	0,47	6,39
P, %	-	-	-	-	1,10	

В нашем опыте при внесении одинарной дозы серы в расчете 40-50 кг/га на фоне основного минерального питания выдерживалось отношение азота к сере 5:1 и фосфора к сере 2,5:1. Применение двойной дозы сульфата кальция

привело к изменению отношения азота к сере (2,5:1) и фосфора к сере (1,2:1). Вероятно, в условиях замкнутого цикла миграции серы в вегетационном со- суде избыточное количество внесенных сульфатов в большей мере проявляет отрицательное воздействие на рост и развитие опытной культуры. В то же время внесение серы в одинарной дозе (40-50 кг/га) оказало положительное воздействие на показатели, слагаемые биологический урожай гороха. Осо- бенно в этом отличаются варианты с использованием сульфатов кальция и магния. Благоприятное воздействие сульфатов на развитие генеративных ор- ганов способствовало существенному росту количества зерна гороха на этих вариантах. Следует отметить, что в условиях 1984 года прибавка урожайно- сти зерна гороха при внесении сульфата кальция почти вдвое превышала этот показатель на варианте с применением сульфата магния.

Сульфат железа и двойная доза сульфата кальция не оказали влияния на качество зерна гороха (табл. 37). Оптимальные дозы элементарной серы, сульфата магния и, особенно, кальция способствовали увеличению содержа- ния сырого белка в зерне гороха.

Таблица 37. Влияние сульфатных солей на содержание белка в урожае гороха (вегетационный опыт №1)

Варианты опыта	1983 год			1984 года		
	Азот соло- мы, %	Сырой белок зерна, %	Откло- нение от конт- роля	Азот соло- мы, %	Сырой белок зерна, %	Откло- нение от конт- роля
Фон - NPK	0,90	22,39	-	0,69	22,95	-
Фон + сульфат кальция	0,99	23,48	1,09	0,85	24,95	+1,99
Фон + сульфат железа	0,95	23,11	0,72	0,76	22,62	-0,33
Фон + сульфат магния	0,98	23,45	1,06	0,88	24,49	+1,54
Фон + сера элементарная	0,88	22,80	0,41	0,80	23,93	+0,98
Фон + сульфат кальция (двойная доза)	0,78	22,50	0,11	Вариант исключен		
НСР ₀₅	-	-	1,56	-	-	0,98
P, %	-	-	2,31	-	-	1,30

Таким образом, применение химически чистых сульфатных солей и элементарной серы на бурых лесных почвах при выращивании гороха в условиях вегетационного опыта показало, что оптимальной дозой серного питания является 40-50 кг серы на 1 га или 2,0-2,5 мг/100 г почвы. Из всех сульфатных солей наилучшие условия серного питания обеспечивали сульфаты магния, кальция, а также элементарная сера. Они не подкисляют бурую лесную почву, благоприятно влияют на состав обменных почвенных катионов, не способствуют остаточному накоплению сульфатов в почве после вегетации и хорошо усваиваются культурой гороха. Внесение сульфата железа способно увеличивать гидролитическую кислотность почвы.

На фоне полного минерального питания применение элементарной серы, сульфатов магния и кальция способствовало увеличению содержания сырого белка в зерне гороха на 1,0-2,0%, а сульфатов магния и кальция – и урожайности зерна гороха. Элементарная сера не оказала существенного влияния на урожайность гороха.

4.2.2. Действие и последствие серных удобрений на физико-химические свойства почвы

Полевой опыт №1. Проводился на бурых лесных слабонасыщенных почвах Северского района Краснодарского края в 1982-1984 гг. Целью опыта было изучить действие и последствие серных удобрений на содержание, распределение и трансформацию форм серы, физико-химические свойства почвы с промывным водным режимом, а также урожайность зерна гороха (сорт Рамонский 77) и элементы его качества. Схема опыта включала три варианта: 1. Контроль – фон $N_{35}P_{35}K_{35}$; 2. Фон + сера элементарная, 50 кг/га в д.в.; 3. Фон + гипс, 50 кг/га д.в. (по сере).

Опыт проводился без изменения общепринятой для данной зоны агротехники и системы удобрений. В опыте изучали также действие разового внесения серных удобрений на химические свойства бурых лесных почв и трансформацию форм соединений серы в течение 3-х лет после их применения.

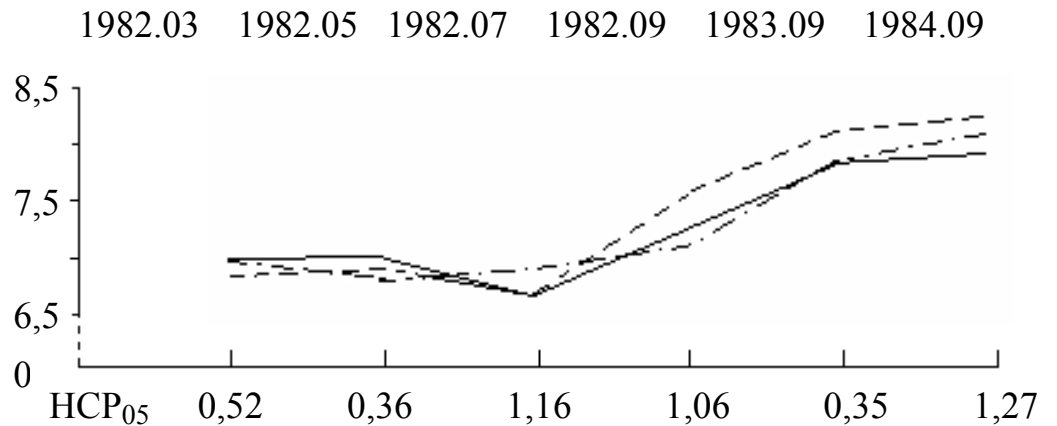
Почвенные образцы отбирали перед внесением серных удобрений (март 1982г.), затем через каждые 2 месяца первого года наблюдений (май, июль, сентябрь) и в сентябре 1983-1984гг.

Учитывая особенности бурых лесных почв и их невысокую буферную способность против подкисления, нам представлялось важным проследить за действием серных удобрений на физико-химические свойства, особенно кислотность. Результаты полевых исследований показали (рис. 7), что при разовом внесении гипса и элементарной серы в течение 2,5 лет не наблюдалось существенных изменений химических свойств почвы в пахотном слое. Средние показатели рН солевой суспензии, гидролитической кислотности и суммы обменных оснований на вариантах с применением серных удобрений существенно не отличались от контроля по всем датам отбора почвенных проб.

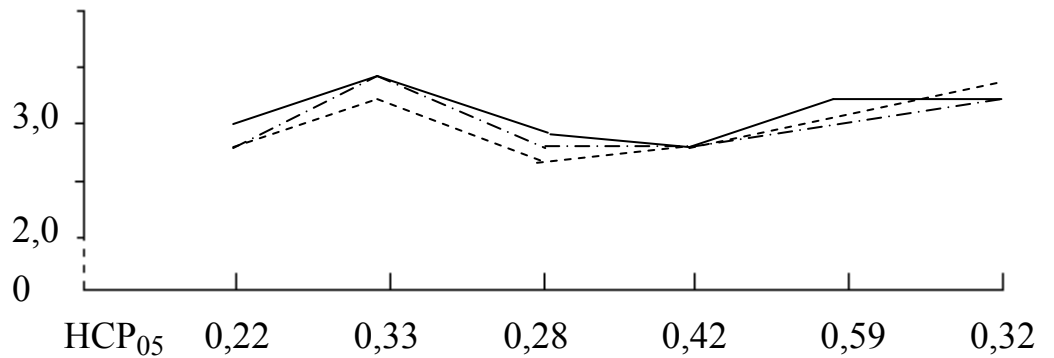
Наблюдения за свойствами по профилю почв также не выявили значительных изменений при внесении серных удобрений (рис. 8, 9). Показатели рН солевой суспензии в течение всего периода наблюдений на контрольном варианте в слое 20-40см колебались от 4,73 до 5,40, на варианте с внесением гипса – от 4,75 до 5,18, на варианте с применением серы – от 4,87 до 5,35. В одинаковых пределах изменялись значения рН и в горизонте В (слои 40-60 и 60-80см) всех вариантов за весь период наблюдений. Известно, что особой устойчивостью в отношении изменчивости считается показатель рН, однако у кислых почв наблюдают более широкий разброс его величин по сравнению с черноземами (Вальков, 1977).

Изменения гидролитической кислотности по профилю почв во время наблюдений также были одинаковыми на контрольном и опытном вариантах. В слое 20-40см на 1, 2 и 3 вариантах она варьировала по всем срокам отбора почвенных проб в пределах 2,10-2,62; 2,31-3,45 и 2,41-3,15м.-экв/100г, то есть различия между контрольным и опытными вариантами не превышали 1м.-экв на 100г. В горизонте В различий показателей гидролитической кислотности между вариантами опыта практически не было. В слое 80-100см наблюдались максимальные пределы размаха варьирования величины кислотности,

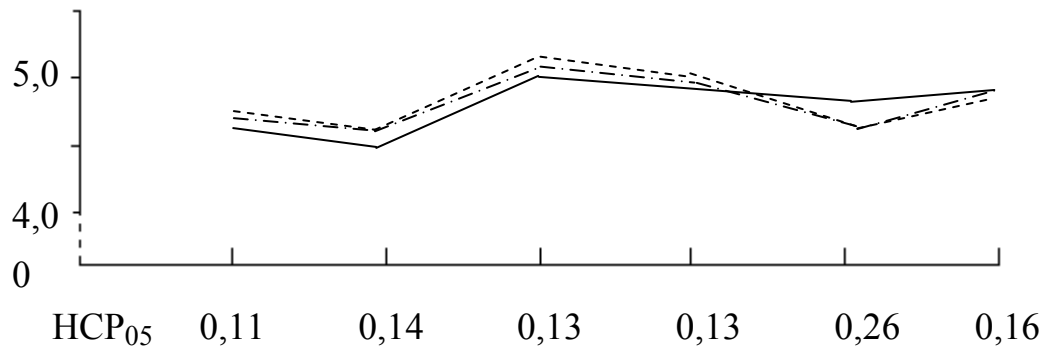
Сумма обменных оснований,
м.-экв/100г



Гидролитическая кислотность,
м.-экв/100г



pH солевой суспензии



— Фон (NPK)-контроль - - - - Фон + сера ······ Фон + гипс

Рис. 7. Изменение химических свойств бурых лесных почв при применении серных удобрений (слой 0-20см)

однако крайние показатели приходились во всех вариантах на время до внесения серных удобрений. Это свидетельствует о ее значительном естественном варьировании в связи с изменением интенсивности почвенных процессов во времени. Одной из причин тому может служить изменение влажности

почвы. Даже на глубине 80-100см колебания ее во времени достигали значительных величин.

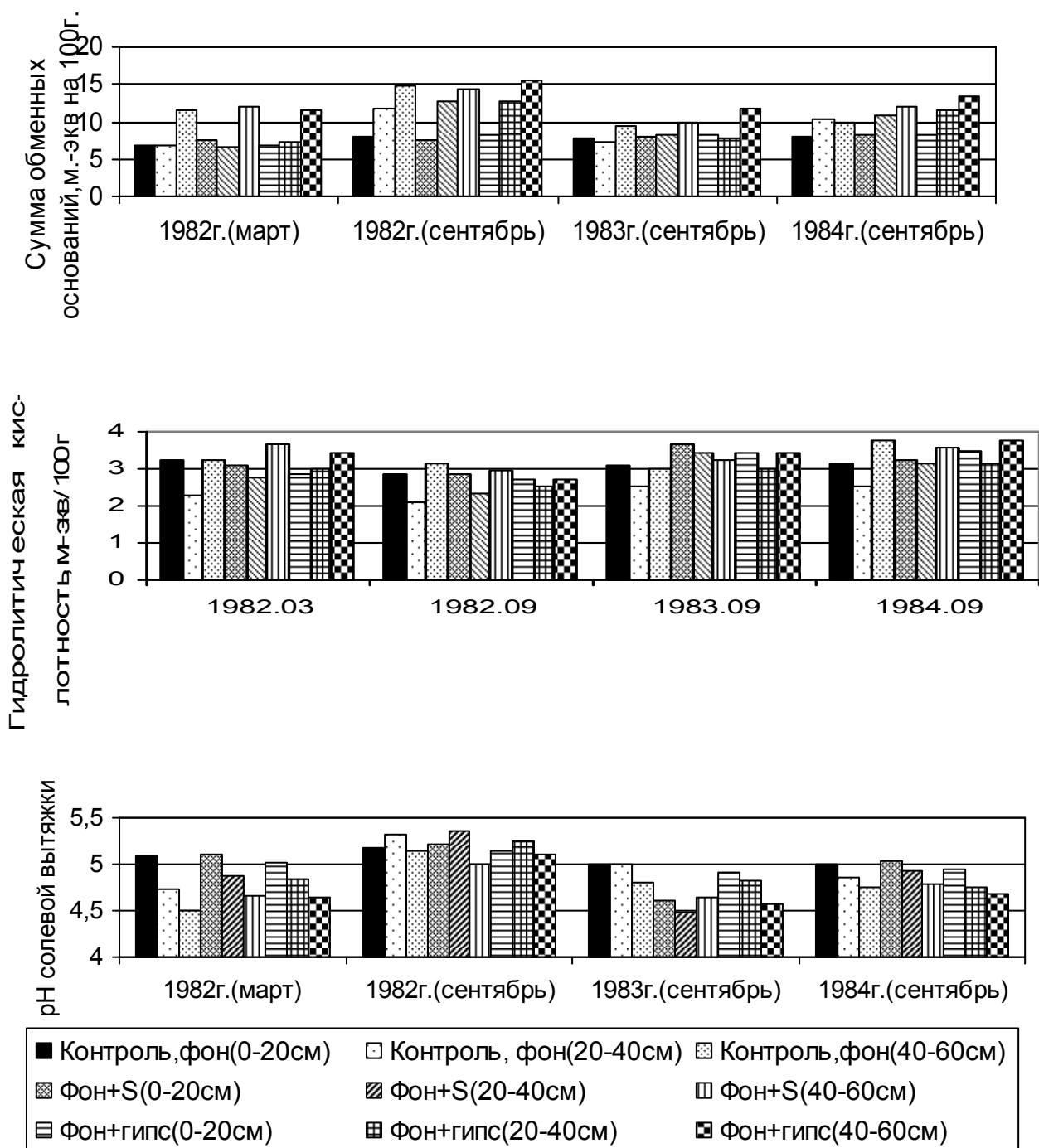


Рис. 8. Действие и последствие серных удобрений на физико-химические свойства в профиле бурых лесных почв

За весь период наблюдений в 1, 2 и 3 вариантах она изменялась на этой глубине в пределах 11,0-18,3; 10,4-18,0 и 11,4-17,9 %. В литературе имеются

сведения о том, что гидролитическая кислотность является самым неустойчивым показателем у всех почв (Вальков, 1977).

Применение серных удобрений не влияло на содержание обменных оснований в профиле почв. Пределы колебаний этого показателя в слое 20-

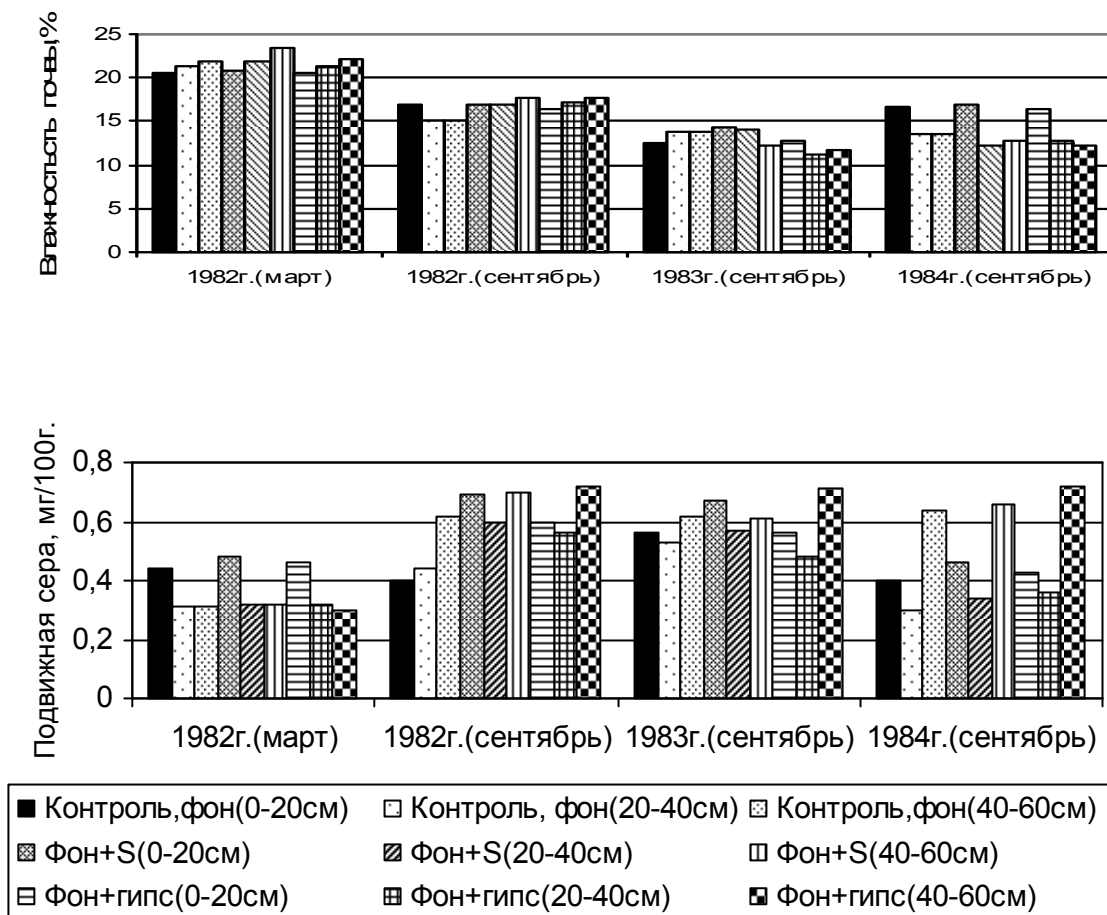


Рис. 9. Влажность и содержание подвижной серы в профиле бурых лесных почв в полевом опыте с серными удобрениями

40см составлял в 1, 2 и 3 вариантах соответственно 6,81-11,70; 6,55-12,67 и 7,34-12,67м.-экв/100 г.

В горизонте В, где возможно проявление иллювиальных процессов, размах варьирования этого показателя был несколько выше, чем в слое 20-40см, однако между вариантами опыта различий не наблюдалось. Так, на 1, 2 и 3 вариантах в слоях 40-60 и 60-80 сумма обменных оснований колебалась в пределах 9,45-14,78, 9,82-14,40 и 11,53-14,21м.-экв/100г. Одинаковые колебания этого показателя, но со значительно меньшей амплитудой, наблюда-

лись и в слое 80-100см по всем вариантам опыта. Особо широкой вариабельностью показателей суммы обменных оснований отличаются все подтипы бурых лесных почв (Вальков, 1977).

Таким образом, разовое внесение гипса и элементарной серы (50кг/га д. в.) не способствовало в последующие 3 года подкислению бурых лесных почв по всему ее профилю. Естественные же колебания величин рН солевой вытяжки, гидролитической кислотности и суммы обменных оснований вызваны особенностями процессов почвообразования, характерными для условий предгорной и горной зон.

4.2.3. Динамика содержания и распределения органических и минеральных форм серы в связи с применением серных удобрений

При трансформации серы в почвах в определенных условиях могут наблюдаться ее потери. На плотных непроветриваемых почвах сульфаты восстанавливаются до сероводорода, который может восстанавливать трехвалентное железо до двухвалентного. Это приводит к образованию сульфидов железа, сера которых непосредственно недоступна растениям (Никитишен, 1983). Такие процессы возможны в бурых лесных почвах, переувлажнение которых объясняется слабой дренированностью местности, низкой водопроницаемостью горизонта В и материнских пород, значительным количеством атмосферных осадков. По данным С.И. Долгова и А.А. Житковой (1960) водопроницаемость горизонта В бурой лесной почвы колеблется от 0,081 до 0,106 мм/мин. Верхняя полуметровая толщина характеризуется весьма высокой водопроницаемостью от 0,54 до 6,9 мм/мин. При такой водопроницаемости эти почвы могут впитывать осадки очень интенсивных ливней. Известно, также, что в условиях промывного режима в почве преобладают процессы выноса серы, которая частично выходит из биологического круговорота и с водами покидает ландшафт (Никитишен, 1983). При господстве промывного водного режима и боковых токов внутрипочвенной влаги геохимический вынос продуктов почвообразования естественен (Вальков, 1977).

Почва опытного участка характеризовалась хорошей водопроницаемостью и дренажем, о чем свидетельствуют показатели влажности почвы за весь период наблюдений. Максимальное увлажнение отмечено в ранневесенний период закладки полевого опыта в 1982 году, причем показатели его отличались равномерностью распределения по всему профилю. Некоторое увеличение влажности наблюдалось в горизонте В и С (см. рис. 9). Исходя из показателей увлажнения данной почвы, а также результатов проведенных лабораторных исследований, можно предположить, что в таких условиях элементарная сера будет довольно быстро окисляться. В то же время в весенний период еще достаточно влаги в почве для растворения гипса и высвобождения сульфатов. В этой связи представлялось важным проследить за процессами трансформации форм серы в условиях полевого опыта.

Ранее нами было установлено, что легкорастворимая сера отличается большой подвижностью и динамичностью распределению по профилю почв. Результаты наших исследований показывают, что быстрее всех включаются в почвенный цикл миграции сульфаты, образующиеся при растворении гипса в почве. Так, содержание легкорастворимых сульфатов пахотного слоя через два месяца после внесения гипса превышало более чем в 2 раза контроль. Наибольшее же их количество отмечено в июле 1982 года, то есть к концу вегетации гороха. В сентябре этого года оно несколько снизилось и в последующие 2 года практически не отличалось от контрольного варианта. Все это доказывается статистически. Известно, что растворение гипса максимально происходит начиная с 10°C (Гринченко, 1963). Кинетика окислительных реакций осложняется одновременно происходящими биологическими процессами в почве. В нашем опыте март 1982 года характеризовался температурой $2,8^{\circ}\text{C}$, которая в апреле составляла уже $12,9^{\circ}\text{C}$, постепенно повышалась в мае, июне и достигала максимальных значений в июле и августе. Таким образом, на варианте с гипсом создавались вполне благоприятные условия для серного питания гороха.

В варианте с применением элементарной серы поступление их в почву идет более медленно, и распределяются они во времени довольно равномерно (см. рис. 9). В связи с большей вариабельностью этой величины не всегда удается статистически доказать существенность различий её с контролем. Однако в мае 1982 года на этом варианте также наблюдалось повышенное количество сульфатов, как и на делянках с применением гипса. Важно отметить, что содержание легкорастворимых сульфатов в варианте с применением элементарной серы в пахотном слое остается значительным на длительное время, вплоть до сентября 1983 года.

Что касается распределения легкорастворимой серы по профилю почв, то широкий размах варьирования небольших величин данного компонента позволяет судить лишь о тенденциях его изменений в профиле почвы. Причиной этому может также быть неравномерность выпадения атмосферных осадков в этой зоне, значительные колебания влажности почвы по вариантам опыта и очень низкая концентрация изучаемой дозы в опыте.

Минеральная сера имеет меньшие колебания своего содержания в вариантах опыта, сравнительно с легкорастворимыми сульфатами. Количество ее в пахотном слое на контрольном варианте колеблется по всем срокам наблюдений от 1,02 до 1,23, а в горизонте В – от 0,72 до 1,10 мг/100 г. В варианте с применением серы до ее внесения в пахотный слой отмечалось в среднем 1,10, а в горизонте В – 0,92 мг/100 г почвы (рис. 10). Максимальное же содержание отмечено в слое 0-20см через 1,5 года после внесения удобрений.

До внесения гипса в пахотном слое почвы зафиксировано в среднем 1,0, в горизонте В – 0,86 мг/100 г. Наибольшее количество минеральной серы отмечено в пахотном слое через 6 месяцев сначала опыта. Различия в содержании минеральной серы по срокам наблюдения несущественны. Учитывая равномерный характер поступления сульфатов после внесения гипса и серы в почву, можно предположить, что часть их усваивается растениями, часть все же вымывается за пределы почвенного профиля, а некоторое количество

включается в процесс образования органических соединений, как это было отмечено в лабораторном опыте.

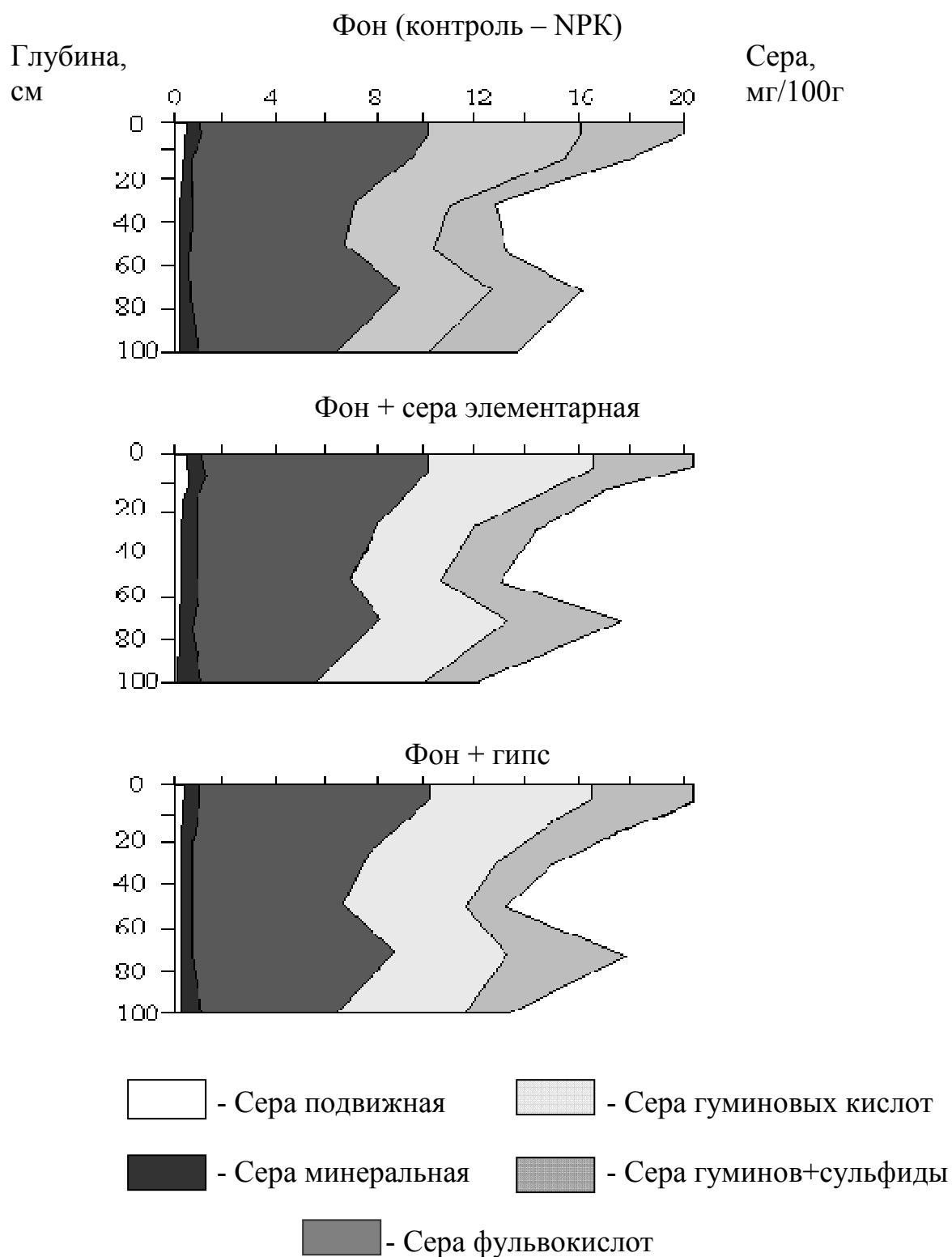


Рис. 10. – Распределение форм серы по профилю бурых лесных почв при внесении удобрений (1982.03)

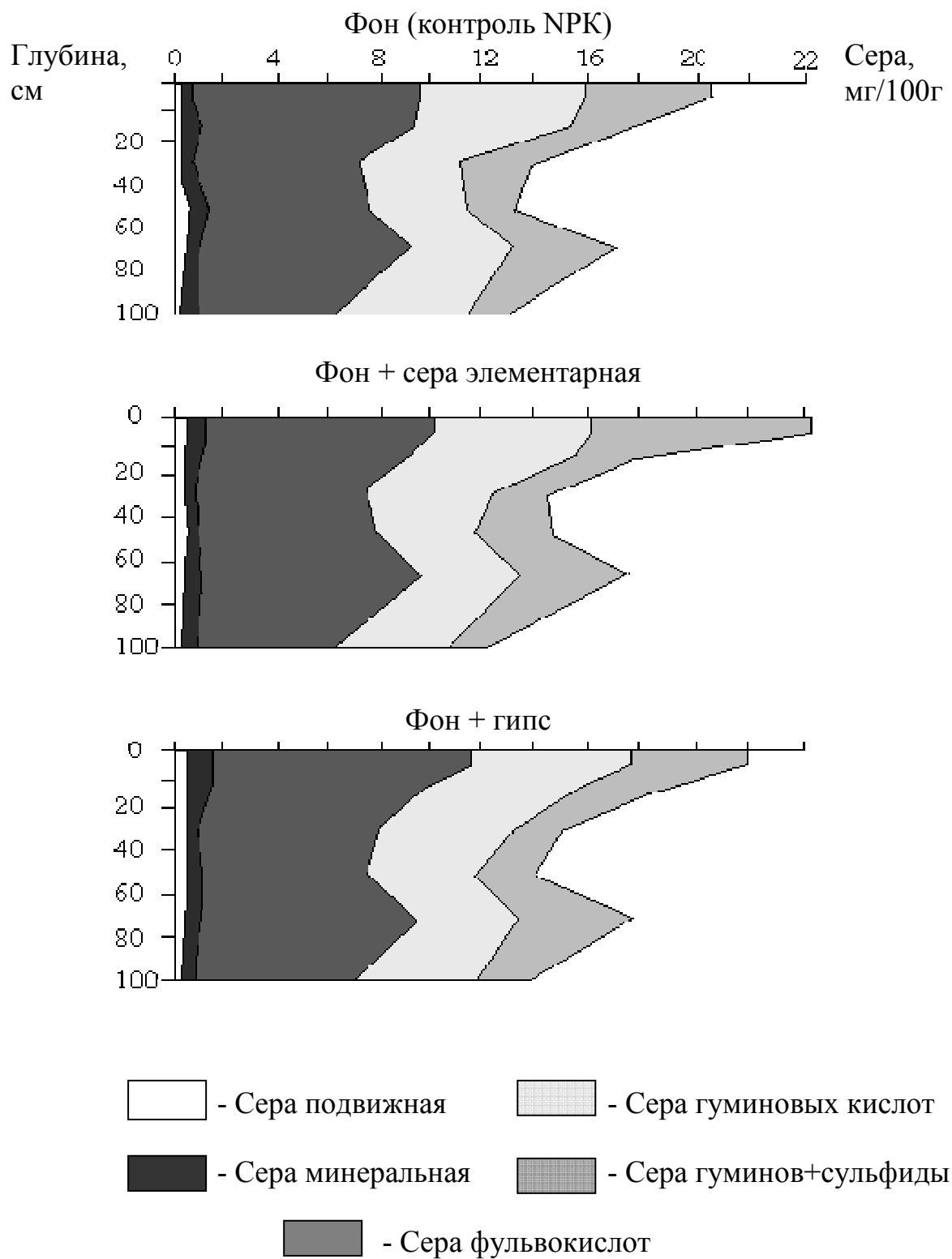


Рис. 11. Распределение форм серы по профилю бурых лесных почв после применения удобрений (1982.09)

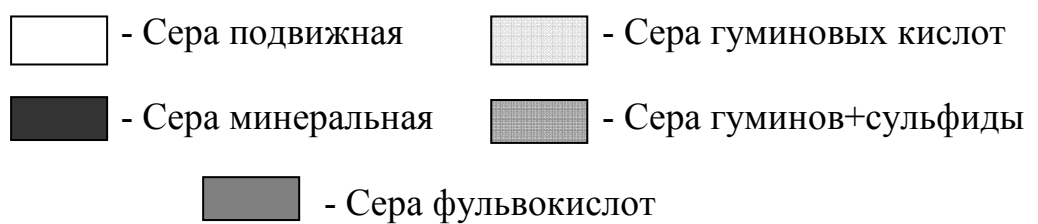
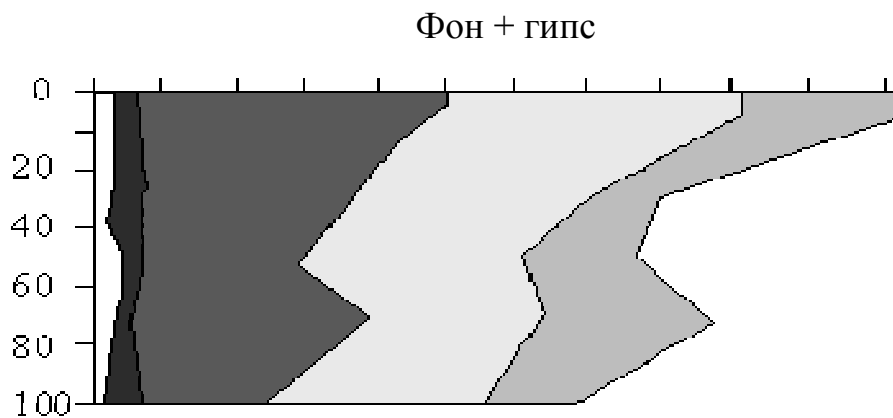
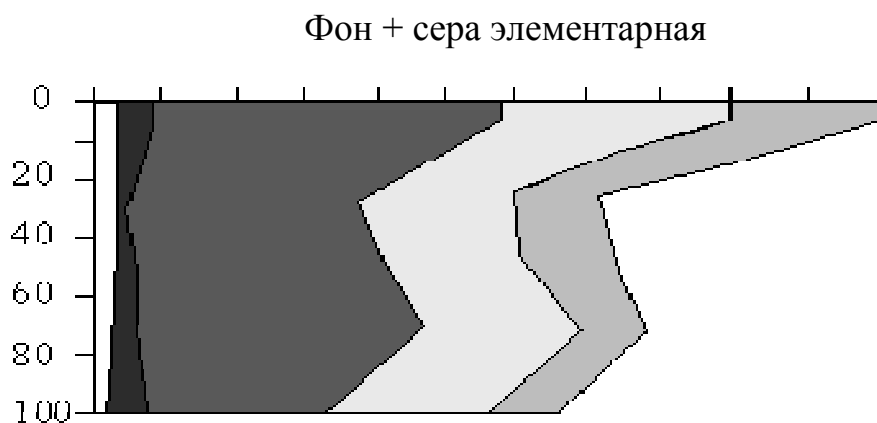
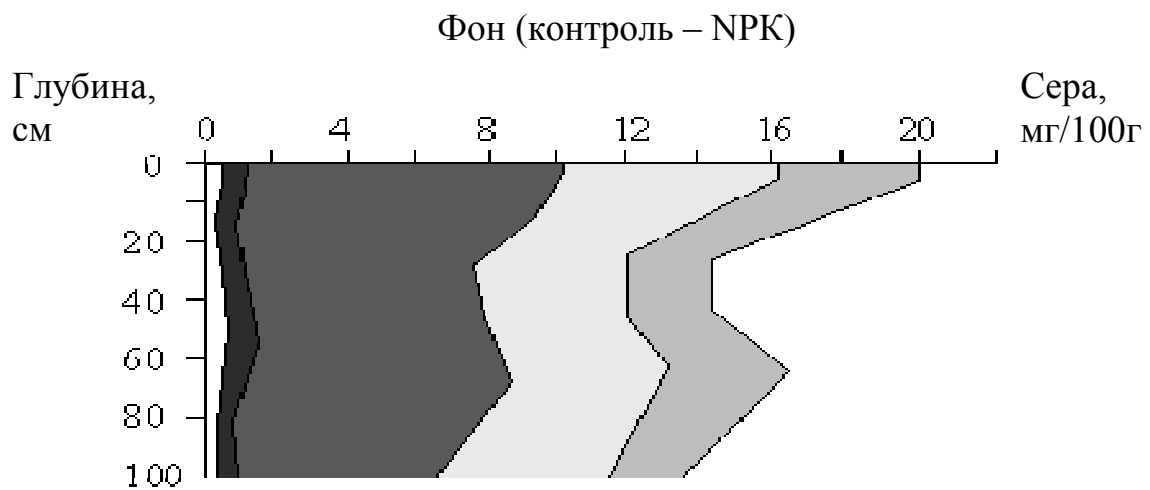


Рис. 12. Распределение форм серы по профилю бурых лесных почв после применения удобрений (1983. 09)

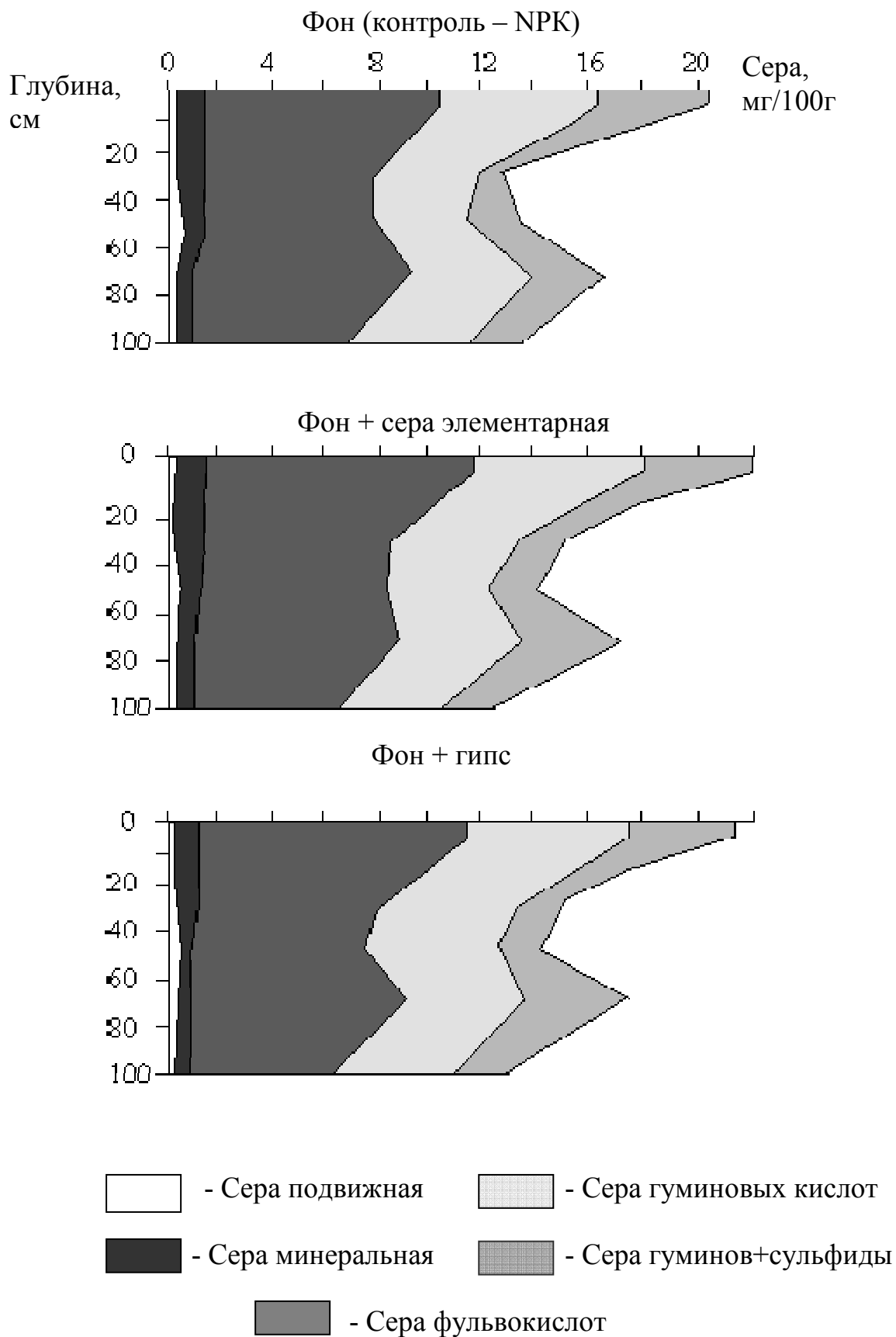


Рис. 13. Распределение форм серы по профилю бурых лесных почв после применения удобрений (1984.09)

Органическая сера занимает основную часть резерва серного питания по всему профилю почвы опытного участка (см. рис. 10-13).

Среднее содержание серы фульвокислот практически не изменилось на контроле в горизонтах $A_{\text{п}}$, В и составляло соответственно 8,7-8,8 и 6,9-7,3 мг/100г во все сроки наблюдений.

Внесение элементарной серы способствовало ее некоторому увеличению в пахотном слое, которое достигало максимума через 2,5 года после применения удобрений. В варианте с гипсом наибольшее количество серы фульвокислот наблюдалось в верхнем слое почвы через 1,5 года после его внесения. Среднее содержание элемента в горизонте В оставалось постоянным во все сроки наблюдения. Увеличение среднего содержания серы фульвокислот в пахотном слое опытных делянок существенно.

Содержание серы гуминовых кислот по слоям бурой лесной почвы практически не менялось при внесении серных удобрений и на всех вариантах опыта было значительно ниже, чем количество серы фульвокислот.

Наблюдения за содержанием серы гумусовых кислот при внесении серных удобрений даёт основание считать, что фульвокислоты являются наиболее активной частью органического вещества почвы, играющей важную роль в трансформации элемента. Такие же тенденции закрепления и вовлечения серы удобрений в почвенный цикл миграции наблюдались нами и в лабораторном опыте. Однако, сравнительно малые дозы элемента в условиях полевого опыта не позволяют достаточно точно проследить за его превращениями. И все же полученные результаты позволяют считать, что сульфаты образующиеся при растворении гипса быстрее вовлекаются в почвенные процессы, чем сульфаты образующиеся при окислении элементарной серы. Подтверждением этому служит наблюдение за количеством валовой серы (см. рис. 10-13). Среднее ее содержание в горизонте $A_{\text{п}}$ и В составляло на контроле 18,7-19,2 и 14,4-15,1 мг/100 г почвы во все сроки наблюдения.

Применение элементарной серы вызывало увеличение элемента в пахотном слое к концу лета 1982 года. Повышенное количества его наблюдалось и

через 2,5 года после внесения удобрения. Среднее содержание валовой серы в горизонте В практически не менялось на этом варианте.

Внесение гипса также способствовало повышению количества валовой серы к осени 1982 года в пахотном слое. Максимальное ее содержание отмечено здесь через 1,5 года после внесения удобрений. Причем в это же время наблюдалось повышенное среднее количество элемента и в горизонте В данного варианта. Это говорит о том, что сульфаты гипса сравнительно быстро растворяются, усваиваются растениями и частично мигрируют в иллювиальный горизонт бурой лесной почвы. В то время как сульфаты, образующиеся при окислении элементарной серы, поступают в почвенный раствор по мере своего образования более равномерно. Часть их включается в процессы образования органического вещества, как это было отмечено на примере серы фульвокислот, а часть используется сельскохозяйственными культурами для корневого питания. Повышенное содержание валовой серы в названных горизонтах для обоих опытных вариантов доказывается статистически.

Таким образом, разовое внесение серных удобрений обеспечивает дополнительное питание растений элементом в течение 1,5 - 2,5 лет после их внесения.

Процесс окисления элементарной серы происходит постепенно, что обеспечивает равномерное поступление легкорастворимой формы сульфатов в почву в течение 1,5 лет с момента внесения удобрений. Образующиеся за счет почвы и элементарной серы ее соединения частично включаются в процессы трансформации органического вещества и могут находиться в виде серы фульвокислот до 2,5 лет. Наблюдения позволяют считать, что эта форма серы является наиболее близким резервом серного питания в почве для сельскохозяйственных культур. Постепенное окисление элементарной серы равномерно обеспечивает растения сульфатами, препятствует их избыточному накоплению в пахотном слое и не способствует вымыванию элемента за пределы почвенного профиля.

Процесс растворения гипса протекает относительно быстро, что

обеспечивает интенсивное поступление дополнительного количества сульфатов в почву в течение 6 месяцев после внесения удобрения. Образующиеся за счет почвы и внесенного гипса формы серы, также участвуют в процессах трансформации органического вещества и могут находиться в составе фульвокислот до 1,5 лет. В условиях промывного режима бурой лесной почвы быстрое растворение гипса способствует миграции сульфатов в нижние горизонты уже через 1,5 года после внесения удобрения.

Длительное нахождение (до 2,5 лет) в почвенном цикле миграции соединений серы, образующихся в результате окисления элементарной серы, при более частом её внесении может способствовать избыточному накоплению элемента в почве и ее подкислению. Гипс целесообразно вносить ежегодно под бобовые растения, однако желательно, чтобы после его уборки использовалась промежуточная культура с глубоко проникающей корневой системой, например, кукуруза. Это позволяет максимально использовать серное питание по всему почвенному профилю и препятствовать вымыванию элемента с вертикальным и боковым стоком.

4.2.4. Влияние серных удобрений на урожайность гороха

Многолетними опытами Кубанского СХИ установлено, что на выщелоченном черноземе наибольшую прибавку зерна гороха обеспечивает внесение азотно-фосфорного и полного минерального удобрения под зяблевую обработку почвы. Внесение $N_{40}P_{40}$ под основную обработку почвы повышало урожай зерна гороха на 3,9, а $N_{40}P_{40}K_{40}$ – на 5,4 ц/га. Под действием азотных и фосфорных удобрений в зерне гороха увеличивалась содержание сырого белка на 1,1 – 3,8% (Савенко, 1970). При выращивании гороха на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве рекомендует вносить основное минеральное удобрение под предпосевную культивацию в дозах $N_{30-60}P_{40-80}K_{40-80}$. Многие исследователи, выделяя благоприятное внесение серных удобрений на бобовые культуры, подчеркивают, что эффективность их возможна на фоне полного минерального удобрения, когда создается максимальный урожай

(Братчиков, 1975; Егоров, Вальников, 1976). Мы изучали эффективность выращивания гороха на фоне основного минерального удобрения ($N_{35}P_{35}K_{35}$), которое применялось в зоне проведения опыта.

Результаты исследований показали, что внесение серных удобрений при посеве положительно влияло на показатели структуры урожая гороха: увеличивало число бобов, семян и массу семян с одного растения. Из этого следует, что серное питание способствует благоприятному развитию, прежде всего, генеративных органов гороха (табл. 38). Действие одних и тех же удобрений на одной и той же почве в разные годы было не всегда одинаковым. Например, в 1983 году отмечалось наименьшее число семян на растении, их массе, и как следствие, масса 1000 семян. Причиной этому можно считать недостаточное количество выпавших атмосферных осадков и повышение температуры в фазу образования генеративных органов. Однако растения на делянках с серными удобрениями лучше переносили неблагоприятные условия.

Таблица 38. Влияние серных удобрений на структуру урожая гороха (полевой опыт №1)

Варианты опыта	Высота растения, см	Масса одного растения, г	Число бобов с 1 растения, шт.	Число семян с 1 растения, шт.	Масса семян с 1 растения, г	Масса 1000 семян, г
1982г.						
Фон – NPK (контроль)	81,2	5,17	3,07	13,0	2,70	214,5
Фон + сера элементарная	81,0	6,48	3,82	16,0	3,40	216,3
Фон + гипс	82,0	6,97	3,98	16,0	3,41	217,5
1983г.						
Фон – NPK (контроль)	72,8	3,92	3,55	12,0	2,53	210,5
Фон + сера элементарная	74,6	5,24	4,00	14,0	2,69	213,4
Фон + гипс	74,5	5,33	4,41	15,0	3,13	214,6
1984г.						
Фон – NPK (контроль)	78,0	5,01	2,06	13,0	2,62	215,2
Фон + сера элементарная	78,0	5,86	2,72	15,0	3,04	215,5
Фон + гипс	78,2	6,17	3,25	16,0	3,20	216,5

В условиях 1984 года меньше образовалось бобов на одном растении, но число семян и их масса с одного растения способствовали формированию довольно высокого урожая зерна гороха. Во все годы отмечалась тенденция более благоприятного действия гипса, по сравнению с элементарной серой. Благоприятно воздействуя на генеративные органы, серные удобрения способствуют и росту урожайности гороха. Особенно эффективно внесение гипса (табл. 39). Относительно быстрое его растворение и своевременное высвобождение в почвенный раствор сульфатов, о чем отмечалось выше, способствовало повышению продуктивности опытной культуры. Наибольшая прибавка зерна гороха наблюдалась на этом варианте в неблагоприятный по климатическим условиям 1983 год. Значительное колебание урожаев по повторениям не всегда позволяет достоверно судить о прибавках зерна гороха на вариантах с внесением элементарной серы (1982 год).

Таблица 39. Влияние серных удобрений на урожайность гороха (полевой опыт №1)

Варианты опыта	Урожайность, ц/га		Отклонение от контроля	
	соломы	зерна	ц/га	%
1982г.				
Фон (контроль – NPK)	29,8	20,0	-	-
Фон + сера элементарная	31,0	22,2	2,2	11,0
Фон + гипс	31,1	23,3	3,3	16,5
НСР ₀₅	-	-	2,4	11,1
P, %			3,2	
1983г.				
Фон (контроль – NPK)	26,3	14,9	-	-
Фон + сера элементарная	28,1	17,1	2,2	14,8
Фон + гипс	29,6	18,6	3,7	24,8
НСР ₀₅	-	-	2,2	13,2
P, %			4,2	
1984г.				
Фон (контроль – NPK)	29,6	21,5	-	-
Фон + сера элементарная	30,4	23,5	2,0	9,3
Фон + гипс	31,7	24,0	2,5	11,7
НСР ₀₅	-	-	1,9	8,2
P, %			2,5	

Результаты исследований показывают явное увеличение содержания азота и серы в урожае гороха при внесении удобрений.

Количество серы в соломе было несколько ниже, чем в зерне и колебалось на контрольных вариантах от 0,14 до 0,9% . Некоторые авторы для определения нуждаемости гороха в серных удобрениях считают критическим содержанием серы в его соломе 0,10%. Превышение указанного уровня в 2 раза снимает потребность этой культуры в элементе (Кореньков, 1985). Следовательно, количество серы в соломе растений, выращенных на контрольных вариантах нашего опыта можно считать ниже критического.

Кроме содержания серы в растениях рекомендуется учитывать и соотношение в протеине растений азота к сере. Этот показатель предлагают считать критическим для зерна ячменя 13,1 – 16,4, а бобовых - 15 – 19 (Сдобникова, 1985). В нашем опыте отношение азота к сере в сыром белке зерна гороха на контрольных вариантах всех лет наблюдений колебалось в пределах 17,8–18,9, а на опытных – 13,3-17,5. Следовательно, в условиях данной сельскохозяйственной зоны на бурой лесной почве критическим пределом отношения N/S в сыром белке гороха является величина превышающая 17,5. Она свидетельствует о недостатке серы, которое испытывает растение гороха на фоне повышенного азотного удобрения. При недостаточном содержании подвижной серы в почве на вариантах с применением азотных удобрений возникает нарушение азотно-серного баланса в растении, когда темпы накопления азота заметно опережают накопление серы. Оптимизация содержания серы в растении способствует накоплению азота в зерне гороха, что вызывает увеличение количества сырого белка.

В среднем за три года исследований применение элементарной серы при выращивании на бурой лесной почве гороха способствовало увеличению урожайности зерна и содержания в нем сырого белка (табл. 41). Наиболее эффективным следует считать использование гипса.

Таблица 41. Влияние серных удобрений на урожайность зерна гороха (полевой опыт №1, средние за 1982 - 1984гг.)

Варианты опыта	Сырой белок, %	Отклонение от контроля, %	Урожайность зерна гороха, ц/га	Отклонение от контроля	
				ц/га	%
Фон (контроль – NPK)	23,7	-	18,8	-	-
Фон + сера	25,0	1,5	20,9	2,1	11,3
Фон + гипс	25,8	2,1	21,9	3,1	16,8
НСР ₀₅	-	1,1	-	0,9	4,1
P, %	1,2		-	1,5	

Данные производственных посевов подтвердили положительное влияние припосевного внесения гипса на урожай гороха, зафиксированное в полевых опытах (табл. 42). Так, прибавка урожая составляла 4,4 ц/га, или 22,9% относительно контроля. Для сравнения приведем данные 2^х-летнего полевого опыта на лесных почвах, где прибавки урожайности зерна гороха при использовании суперфосфата и гипса составили 4,2 и 4,0 ц/га (Крупский, 1967).

Таблица 42. Влияние внесения гипса на урожайность зерна гороха (производственное испытание, 1984г.)

Варианты опыта	Урожайность зерна, ц/га	Отклонение от контроля	
		ц/га	%
Фон (контроль – N ₃₅ P ₃₅ K ₃₅)	19,2	-	-
Фон + гипс, 50кг д.в.	23,6	4,4	22,9
НСР ₀₅		4,2	19,4
P, %		4,4	

Известно, что применение серных удобрений повышает в семенах бобовых культур содержание незаменимых аминокислот - лизина, цистеина и метионина на 23-30%, то есть улучшает качество белка. Дополнительный сбор аминокислот при использовании серы доходил до 30 кг/га (Бамберг, 1973). Нами сделан расчет сбора сырого белка с урожаем гороха при внесении серных удобрений (табл. 43).

Таблица 43. Сбор сырого белка с урожаем зерна гороха, ц/га

Варианты опыта	1982г.	1983г.	1984г.	Средний за 1982 – 1984 гг.
Фон (контроль – NPK)	4,21	2,72	4,71	3,84
Фон + сера	4,96	3,37	5,30	4,50
Фон + гипс	5,48	3,73	5,50	4,88

На вариантах с применением элементарной серы в среднем за три года прибавка составляла 0,7 ц/га. Использование гипса в качестве серного питания способствовало увеличению сбора сырого белка с урожаем зерна гороха на 1,0 ц/га по сравнению с контрольным вариантом.

Таким образом, применение серных удобрений, особенно гипса, при выращивании гороха на бурой лесной почве благоприятно влияет на формирование генеративных органов растения, обеспечивает существенные прибавки урожая зерна, повышает содержание в нем сырого белка и позволяет получить дополнительный его сбор.

4.3. Эффективность серных удобрений при выращивании сои на чернозёме выщелоченном

Удобрение сои серой практикуется в некоторых штатах США уже более 50 лет. Содержание серы в растениях сои находится в пределах 0,12-0,22 %. Отмечено увеличение прибавок урожая от внесения серы на фонах N, P, K, Ca и NPK. Сера положительно влияла на образование клубеньковых бактерий и химический состав растений сои (Tisdale S. L., 1977). Под влиянием серы в урожае бобовых культур становится больше не только азота, но и фосфора, кальция, а также микроэлементов. Элементарная сера увеличивает накопление сухого вещества растениями сои, способствует повышению массы 1000 зерен и урожая (Целковский, 1978). При этом в общем объеме накопленного азота повышается доля именно белкового, а доля небелковых азо-

тистых веществ уменьшается. Серосодержащие удобрения активизируют жизнеспособность клубеньковых бактерий, что усиливает симбиотическую фиксацию атмосферного азота (Лавриненко, 1968; Пайкова, 1968). Таким образом, вопросы оптимизации минерального питания ценной белковой культуры сои, возделываемой на чернозёмах Кубани, является весьма актуальным и перспективным направлением исследований.

4.3.1. Динамика содержания нитратов, сульфатов и подвижного фосфора в почве при внесении азотно-фосфорных и серных удобрений

Особенный интерес представляет поведение сульфатов в почве при совместном внесении серных и азотно-фосфорных удобрений в различных по увлажнению и температурному режиму условиях. Изучению этих вопросов и посвящены наши исследования.

В полевом опыте №2 изучалось поведение серы, азота и фосфора в почве при совместном внесении серных и азотно-фосфорных удобрений, а также их влияние на рост, развитие, урожайность сои и элементы качества зерна (1987-1991г.г.) Почвы опытного участка представлены чернозёмами выщелоченными слабогумусными сверхмощными легкоглинистого гранулометрического состава (Занин, 1992). Предшественник – сорго техническое. Схема двухфакторного опыта 3x2 с расщепленными делянками: 1.N₀P₀S₀; 2.N₀P₀S₆₀; 3.N₃₀P₄₀S₀; 4.N₃₀P₄₀S₆₀; 5.N₆₀P₈₀S₀; 6.N₆₀P₈₀S₀. В качестве удобрения использовали нитродиааммофос и элементарную серу, которые вносили при посеве вручную. В опыте высевались семена сои сорта Ранняя-10, первой репродукции, 1 класса. Посев проводился широкорядным способом с шириной междурядий 45см. Норма высева 400 тыс. всхожих семян на гектар. Наблюдения за динамикой в почве подвижных форм азота, фосфора и серы проводили в 1988, 1990 и 1991гг. Почвенные образцы отбирали по фазам вегетации с глубины 0-20см. Чернозем опытного поля среднеобеспечен серой, так как содержит менее 2,0 мг её минеральной формы на 100г почвы.

Средняя годовая температура воздуха по многолетним данным около 10,7°C, с колебанием в отдельные годы от 8,5°C до 12,5°C (рис. 15).

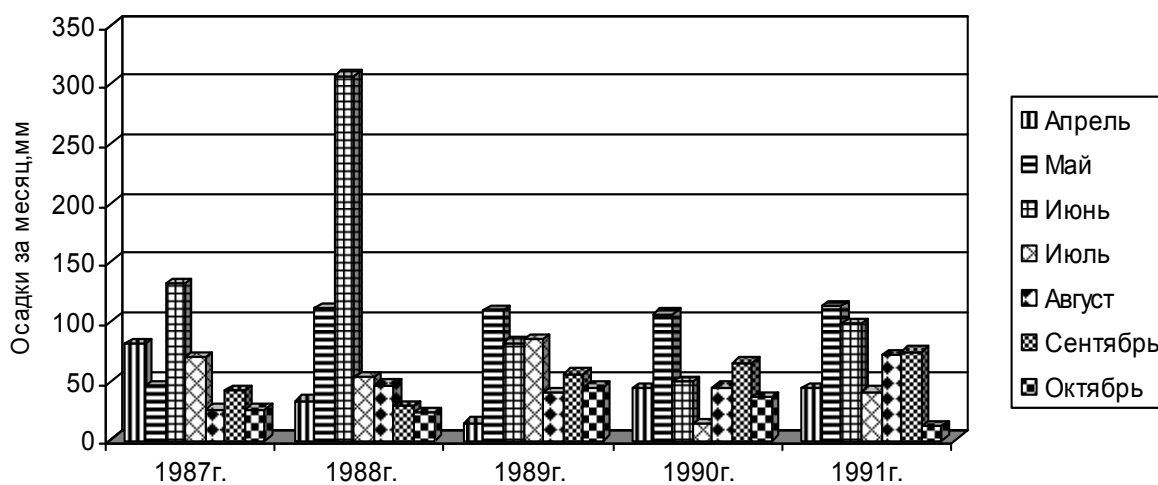


Рис. 14. Среднемесячные осадки за вегетационный период сои

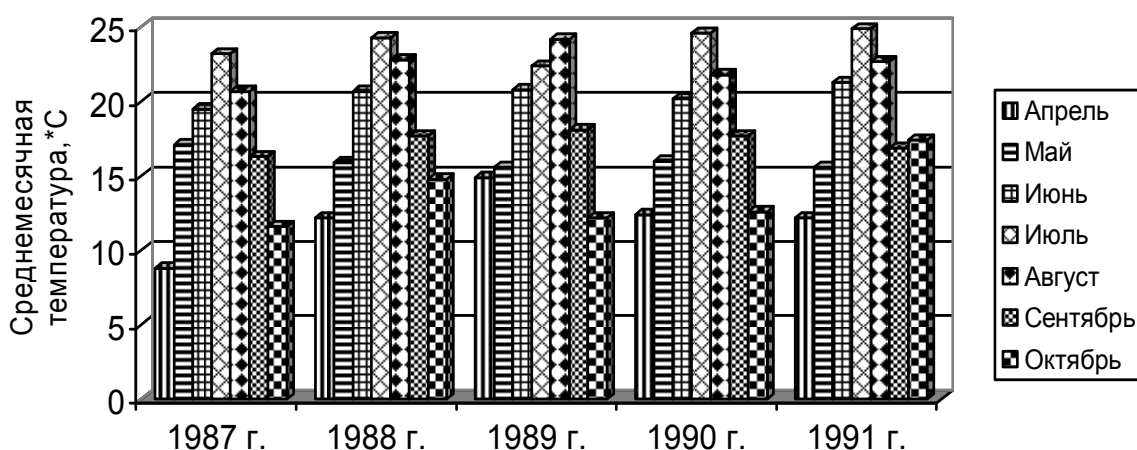


Рис. 15. Среднемесячная температура воздуха за вегетационный период сои в годы исследований

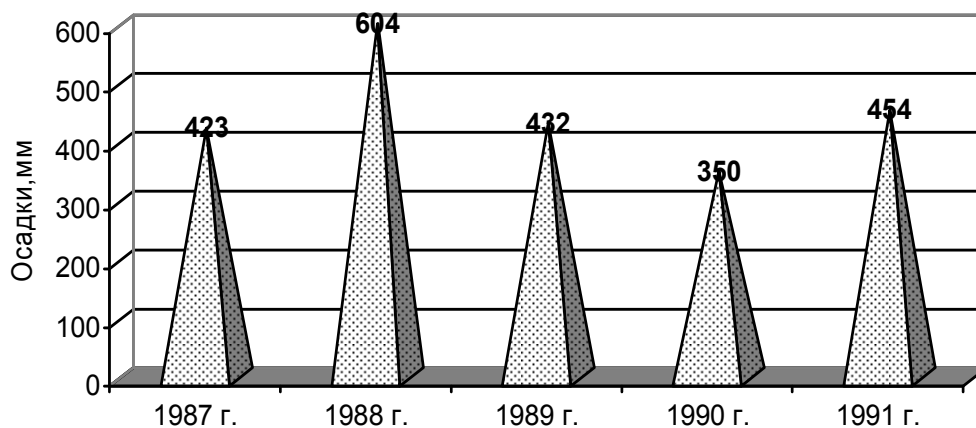


Рис. 16. Сумма атмосферных осадков за вегетационный период сои в годы исследования

Средняя температура воздуха за вегетационный период сои в опыте по годам исследования колебалась от 16,7 до 18,3°C. По увлажнению территория относится к зоне неустойчивого увлажнения: годовая сумма осадков колеблется от 589 до 638мм. Сумма осадков за период вегетации сои варьировала от 350 до 604мм (рис. 16). Осадки выпадали в течение вегетационного периода неравномерно, особенно этим отличался 1988г. (рис. 14). Фазу всходов растения проходили во все годы исследования при выпадении обильных атмосферных осадков, за исключением 1987 года. Для фазы цветения неблагоприятными были 1990 и 1991г.г., когда в июле выпало только 14 и 41мм осадков. Для налива зерна сои критическим по увлажнению был август 1987года (26мм), а для созревания – 1991г. (75мм).

Устойчивый переход температуры воздуха через 15°C происходил в первой декаде мая. За пятилетний период среднемесячная температура воздуха колебалась в следующих пределах (°C): 8,8-14 (апрель), 15,6-17,1 (май), 19,5-21,3 (июнь), 22,4-24,9(июль), 20,7-24,2(август), 16,3-18,1(сентябрь), 11,6-17,4 (октябрь). Таким образом, менее благоприятным для развития сои был засушливый 1990 год, последствия чего сказались и на снижении урожая в 1991году, так как запасы влаги не успели восстановиться полностью по всему профилю почвы.

Результаты изучения динамики влаги в самом активном пахотном слое чернозёма выщелоченного показывают их зависимость от количества и распределения атмосферных осадков, а также фенологических фаз развития сои (рис. 17). Самым засушливым по суммарному количеству осадков за вегетацию был 1990г., а наиболее влажным – 1988г. В 1991г. количество осадков было близким к норме. В 1988 и 1991гг. количество почвенной влаги постепенно уменьшалось от фазы всходов до фазы бобообразования в зависимости от потребления её соей и сравнительно равномерного распределения осадков. В 1990 году в связи с резким нарастанием температуры воздуха и небольшим количеством осадков наблюдалось довольно резкое снижение влажности

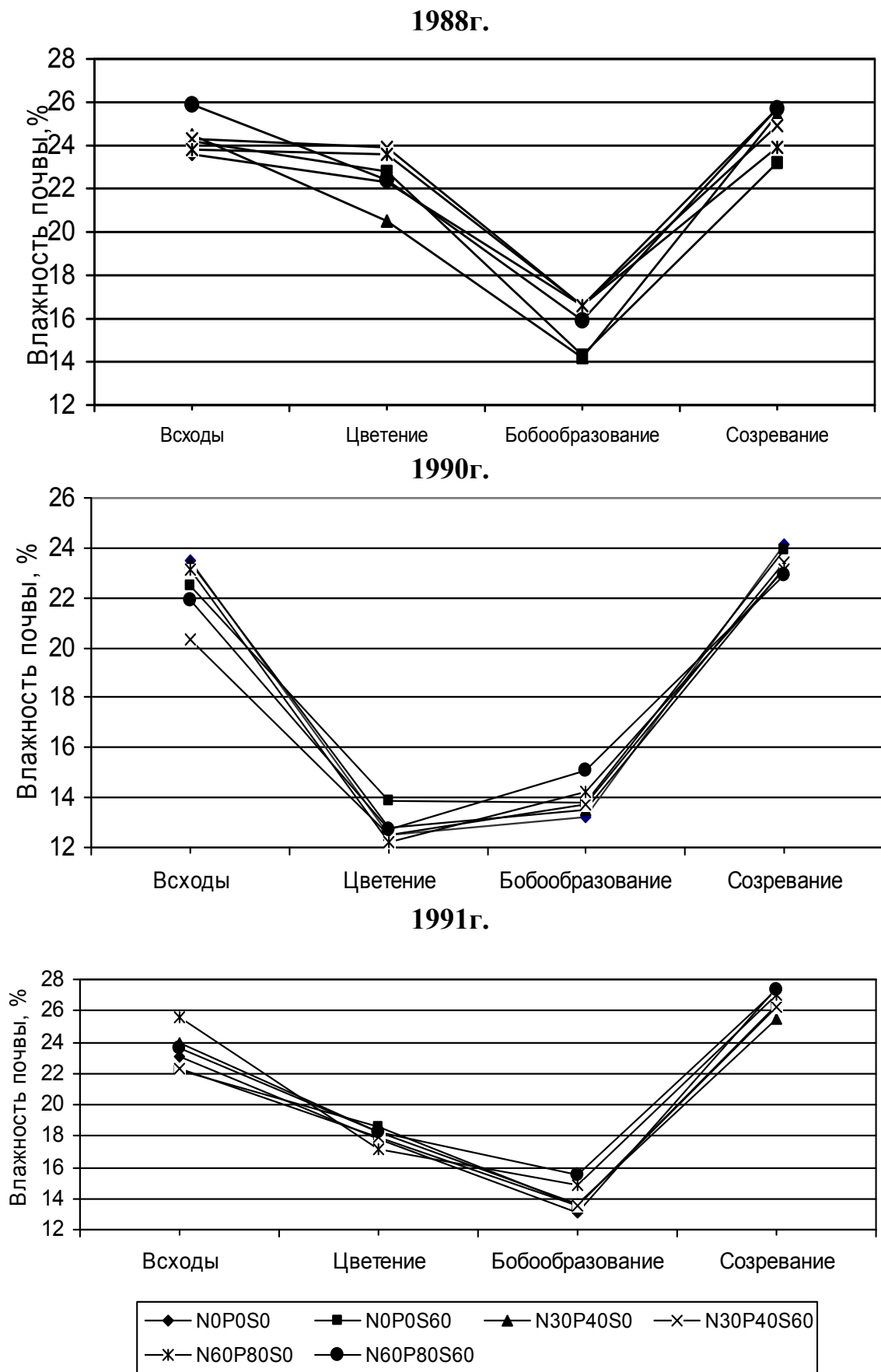


Рис. 17. Динамика полевой влажности чернозёма выщелоченного под соей (полевой опыт №2)

почвы, которая уже в фазу цветения достигла критических значений. Период закладки генеративных органов совпал с почвенной засухой, что неблагоприятно сказалось затем на урожае сои. Снижение влажности в фазах цветения и бобообразования объясняется тем, что в этот период растения сои больше потребляют влаги для формирования сухого вещества. Кроме того, в период прохождения растениями этих фаз выпадало меньше осадков.

В проведённых исследованиях было уделено внимание изучению динамики подвижных элементов питания, так как от них в большой степени зависит уровень эффективного плодородия чернозёма и величина урожайности сои. С целью установления обеспеченности почвы основными подвижными формами питательных веществ в фазе всходов, цветения, бобообразования и созревания определяли содержание нитратного азота, подвижного фосфора и минеральной серы.

В питании растений значительная роль принадлежит нитратам. Соя в начальный период развития потребляет азот из минеральных удобрений. После цветения её развитие в меньшей степени связано с содержанием в почве минеральных форм азота и может осуществляться за счет фиксации атмосферного азота. Для сои критическим периодом в отношении азотного питания является 2-3 недели до цветения и 2 недели после цветения. Недостаток азота в этот период ведет к заметному снижению урожайности.

Из наших исследований следует, что наибольшее количество нитратного азота наблюдалось во время всходов и образования бобов. По мере роста и развития растений от всходов до цветения содержание нитратов снижалось. В фазе созревания количество нитратов в 1990-1991г.г. было в 2-3 раза ниже, чем в фазе бобообразования (рис. 18). Нарушение этой тенденции наблюдалось в 1988 году. С увеличением доз азотных удобрений, содержание нитратов в почве увеличивалось по всем фазам вегетации. К созреванию сои существенных различий в их количестве по вариантам не наблюдалось. Снижение содержания нитратов в период цветения объясняется интенсивным потреблением их корнями растений в процессе питания и вымыванием в нижние го-

ризонты почвы. Увеличение их в почве во время образования бобов связано с отсутствием атмосферных осадков и созданием благоприятного температур-

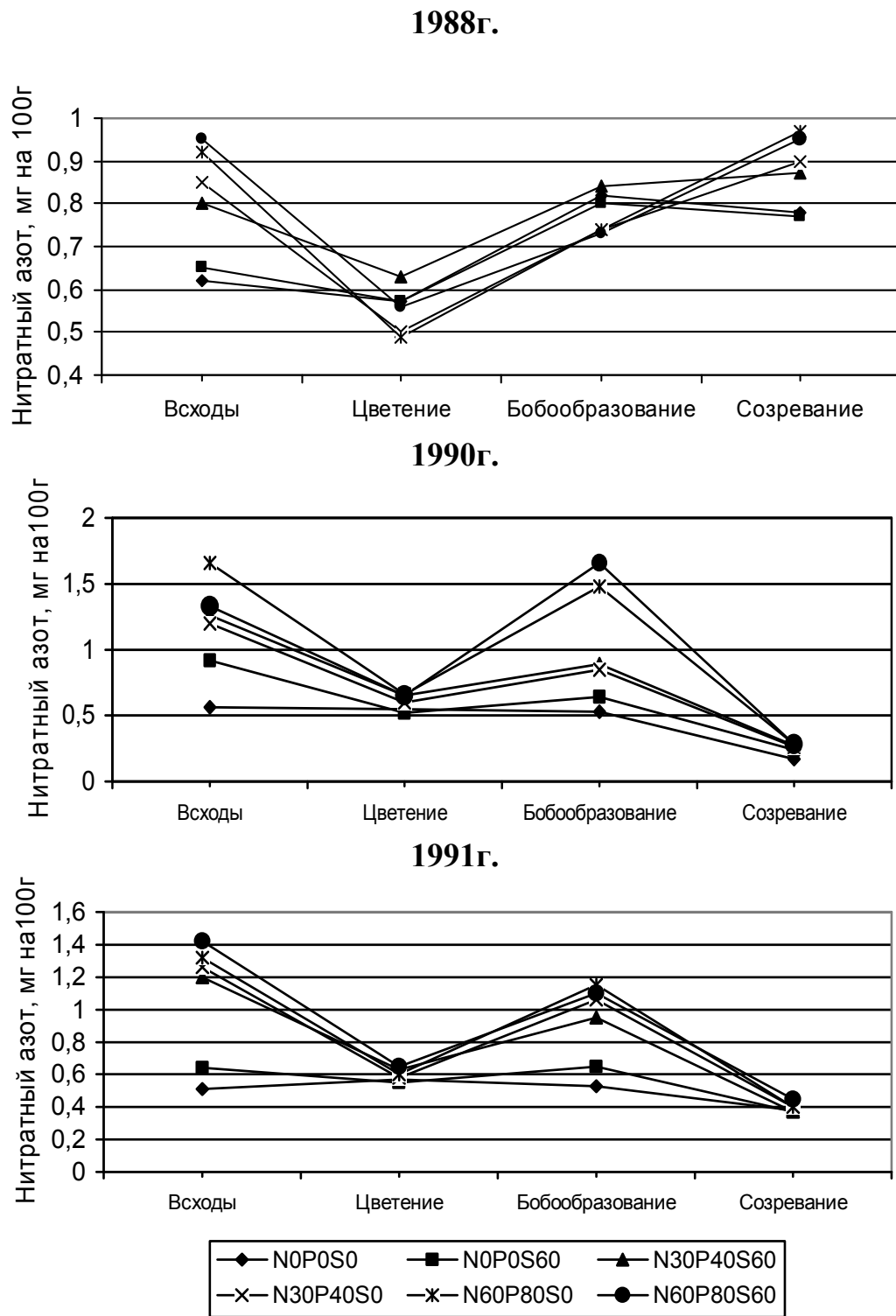


Рис. 18. Динамика нитратов в чернозёме выщелоченном под соей в зависимости от доз минеральных удобрений

ного режима для активизации процесса нитрификации. Внесение удобрений в целом не нарушало общего характера содержания нитратов в почве по фазам развития сои.

Накопление доступных для растений фосфатов зависит от многих факторов: запасов их в почве, видов и форм тех соединений, в составе которых находится фосфор, биологической активности почвы, условия увлажнения, агротехнических условий, видов и приемов использования удобрений (рис.19). Обеспечение бобовых растений фосфором приводит к более интенсивной фиксации азота клубеньковыми бактериями и лучшему развитию растений (Мякушко, Баранов, 1984; Целковский, 1978). Динамика подвижного фосфора в нашем опыте показывает, что в течении вегетации потребление фосфора соей различно. От всходов до созревания наблюдается уменьшение количества подвижных фосфатов в среднем с 19-34 до 12-18 мг на 100г почвы. Эта тенденция в большей мере справедлива для 1988 и 1991г.г., когда выпало наибольшее количество атмосферных осадков. В наиболее засушливом 1990 году отмечено незначительное изменение в содержании подвижных фосфатов от всходов до цветения. В 1988 году, на этот период пришёлся максимум выпадения атмосферных осадков, в связи с чем наблюдалось резкое снижение фосфатов в почве. Общая тенденция снижения подвижного фосфора в почве объясняется прежде всего тем, что в первый период жизни (от всходов до цветения) растениям необходим фосфор, играющий важную роль при закладке генеративных органов. В период вегетации особенно в фазе образования бобов, соя потребляет также много фосфора (Мякушко, Баранов, 1984). В большинстве случаев на неудобренных вариантах содержание подвижного фосфора было ниже, чем на участках с совместным применением серных и азотно-фосфорных удобрений. В целом, внесение нитродиамофоса при посеве способствовало образованию дополнительного количества подвижных фосфатов в течение всей вегетации сои.

Динамика содержания сульфатов в известной степени напоминает динамику содержания нитратов. Результаты наших исследований показывают,

что в течение вегетации сои содержание минеральной серы к фазе цветения уменьшалось незначительно по сравнению с нитратами.

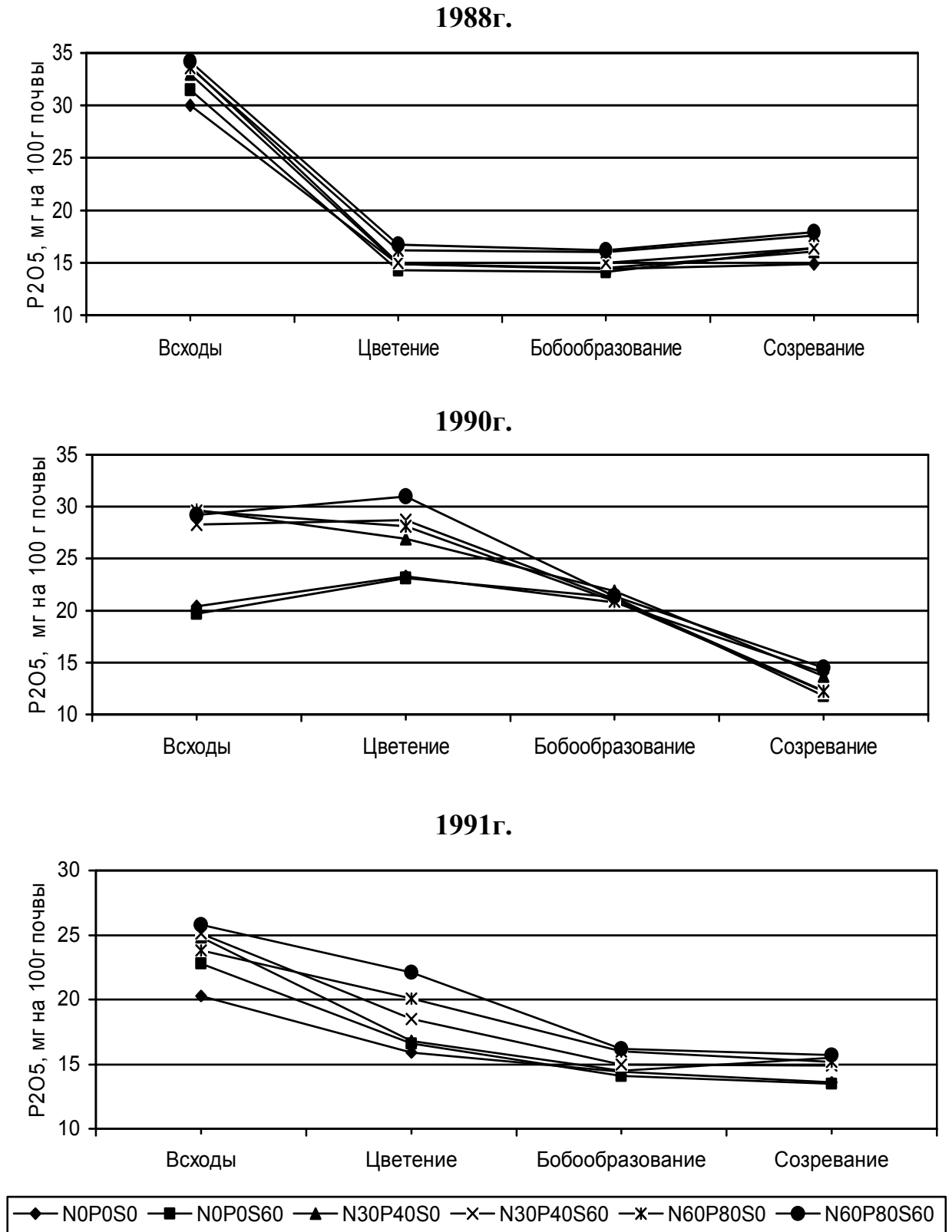


Рис. 19. – Динамика подвижных фосфатов в чернозёме выщелоченном под соей в зависимости от доз минеральных удобрений (0 – 22см)

Прежде чем поступить в почвенный раствор, элементарная сера должна пройти стадию окисления до сульфатов (рис. 20).

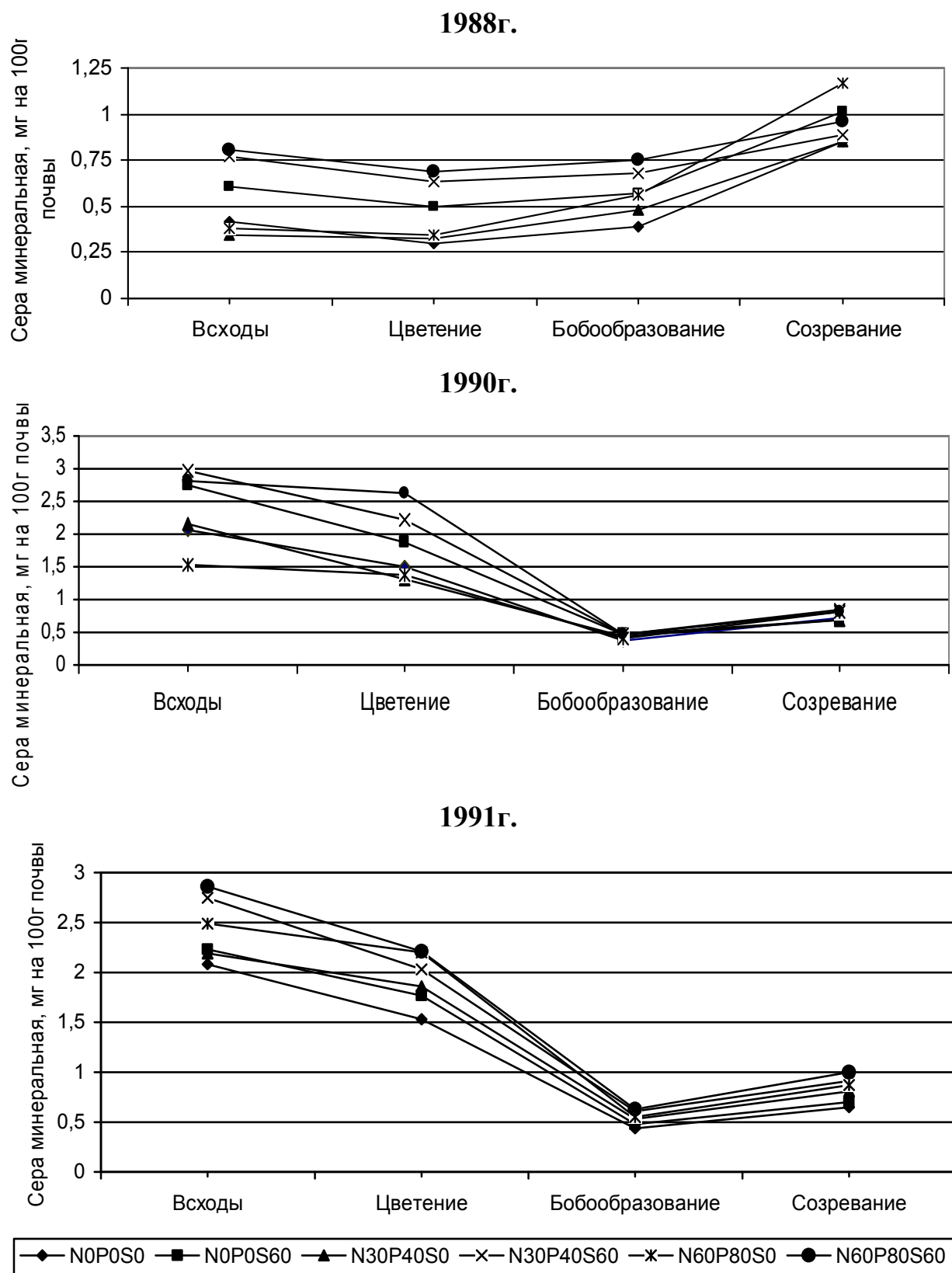


Рис. 20. Динамика сульфатов в чернозёме выщелоченном под соей в зависимости от доз минеральных удобрений (0 – 22см)

Этот процесс протекает постепенно, в зависимости от гидротермических факторов. Условия увлажнения 1988г. сказались на содержании сульфатов, количество которых в начале вегетационного периода было в 2-3 раза меньше по сравнению с другими годами исследований. В период от всходов до образования бобов наблюдалось уменьшение количество серы, а затем в фазе созревания установлено незначительное увеличение ее содержания в почве. Эта тенденция нарушалась лишь в 1988 году (3-я декада июля и 1-я декада августа), когда выпало всего 3мм осадков и зафиксировано небольшое повышение содержания минеральной серы, вследствие поднятия её к верхним горизонтам с капиллярной влагой при интенсивном испарении. Низкое содержание серы в почве в фазы цветения и образования бобов в другие годы объясняется ее интенсивным потреблением для формирования генеративных органов. К моменту созревания на всех вариантах содержание сульфатов выравнивается. В 1990 и 1991г.г. завершение вегетации сои совпало с выпадением обильных атмосферных осадков, которые способствовали вымыванию сульфатов за пределы пахотного слоя почвы.

Установлено, что внесение элементарной серы при посеве обеспечивает дополнительное высвобождение в почвенный раствор сульфатов и равномерное их распределение в течение вегетации сои.

Анализ корреляционной зависимости содержания минеральной серы в пахотном слое от влажности почвы, температуры воздуха, содержания нитратного азота и подвижного фосфора в течение вегетации сои по вариантам опыта подтвердил сложность взаимосвязи этих факторов, характерной для наиболее активного и динамичного пахотного горизонта чернозёма выщелоченного (табл. 44). Связь содержания серы и влажности характеризуется как слабая, что объясняется дополнительным влиянием на них растений в разные фазы вегетации, которое не учитывалось в этом анализе. Между содержанием серы и температурой воздуха установлена обратная средняя корреляционная зависимость, которая прежде всего опосредована деятельностью бактерий - сульфификаторов и условиями их жизнедеятельности. Естественно, что

зависимость между температурой воздуха и влажностью почвы отрицательная высокая (r_{BT} минус 0,70 - минус 0,81), что объясняется непосредственным влиянием температуры на процессы испарения влаги из почвы. Здесь следует учитывать наложение действия растений, когда в период максимального развития вегетативной массы они полностью затеняют почву и влияют на процессы испарения влаги из почвы.

Таблица 44. Корреляционная зависимость содержания минеральной серы от гидротермических условий и применения минеральных удобрений под сою в пахотном слое чернозёма выщелоченного (1988-1991г.г.)

Вариант	Коэффициенты корреляции (числитель) и детерминации, % (знаменатель)						Множественный коэффициент корреляции (числитель) и доли влияния, % (знаменатель)	
	r_{SB}	r_{ST}	r_{BT}	r_{SN}	r_{SP}	r_{NP}	$R_{S'BT}$	$R_{S'NP}$
$N_0 P_0 S_0$	$\frac{0,10}{1}$	$\frac{-0,43}{18}$	$\frac{-0,78}{61}$	$\frac{-0,28}{9}$	$\frac{0,20}{4}$	$\frac{0,14}{2}$	$\frac{0,56}{31}$	$\frac{0,32}{10}$
$N_0 P_0 S_{60}$	$\frac{0,10}{1}$	$\frac{-0,42}{18}$	$\frac{-0,81}{66}$	$\frac{0,32}{10}$	$\frac{0,01}{0}$	$\frac{0,02}{0}$	$\frac{0,59}{35}$	$\frac{0,32}{10}$
$N_{30} P_{40} S_0$	$\frac{0,20}{4}$	$\frac{-0,42}{18}$	$\frac{-0,81}{66}$	$\frac{0,28}{9}$	$\frac{0,42}{18}$	$\frac{0,43}{18}$	$\frac{0,48}{23}$	$\frac{0,43}{18}$
$N_{30} P_{40} S_{60}$	$\frac{-0,10}{1}$	$\frac{-0,39}{15}$	$\frac{-0,70}{49}$	$\frac{0,43}{18}$	$\frac{0,53}{28}$	$\frac{0,63}{40}$	$\frac{0,62}{38}$	$\frac{0,54}{29}$
$N_{60} P_{80} S_0$	$\frac{0,13}{2}$	$\frac{-0,33}{11}$	$\frac{-0,81}{66}$	$\frac{0,19}{4}$	$\frac{0,23}{5}$	$\frac{0,50}{25}$	$\frac{0,41}{17}$	$\frac{0,25}{6}$
$N_{60} P_{80} S_{60}$	$\frac{-0,10}{1}$	$\frac{-0,32}{10}$	$\frac{-0,78}{61}$	$\frac{0,20}{4}$	$\frac{0,58}{34}$	$\frac{0,38}{14}$	$\frac{0,62}{38}$	$\frac{0,34}{12}$

Примечание: S – содержание минеральной серы, мг на 100г; N – количество нитратного азота, мг на 100г почвы; P – содержание подвижного фосфора, мг на 100г почвы; T – температура воздуха, °C; B – влажность почвы, %.

Связь между содержанием минеральной серы и нитратного азота характеризуется как слабая и средняя, причём на контрольном варианте она даже отрицательная. Установлена тенденция увеличения тесноты связи между ними на вариантах, где применялись серные удобрения. Доля участия подвижного

фосфора в изменении содержания серы составила на вариантах с применением азотно-фосфорных и серных удобрений 29-34% (без учета влияния фаз развития растений). Это подтверждает мнение ученых о благоприятном влиянии серосодержащих удобрений на растворимость фосфатов и степень доступности их растениям (Сдобникова, 1985; Целковский, 1978). На этих же вариантах установлена прямая средняя корреляционная зависимость между содержанием подвижного фосфора и нитратного азота.

В качестве меры тесноты линейной связи трёх изучаемых признаков нами использовались множественные коэффициенты корреляции. В одном случае множественный коэффициент использовался как показатель тесноты связи между содержанием минеральной серы и совокупностью влажности почвы и температуры воздуха ($R_{S_{BT}}$). Кроме этого, он использовался как показатель тесноты связи между содержанием минеральной серы и совокупностью количества нитратного азота и подвижного фосфора ($R_{S_{NP}}$). Анализ множественной корреляционной зависимости изучаемых признаков показал, что на содержание сульфатов в пахотном слое в течение всей вегетации сои оказывало значительное влияние совместное действие температуры воздуха и влажности почвы. Об этом свидетельствует устойчивая средняя корреляционная связь, которая закономерно всегда более тесная на вариантах с применением серных удобрений ($R_{S_{BT}}$ 0,59-0,62). Это подтверждает наши предыдущие выводы о значительном влиянии гидротермических условий на окисление элементарной серы до сульфатов и на общие процессы сульфофикации в пахотном слое чернозёма выщелоченного. Теснота корреляционной зависимости содержания серы от совокупного количества нитратов и подвижных фосфатов на вариантах с применением элементарной серы характеризуется как прямая средняя ($R_{S_{NP}}$ 0,32-0,54).

Таким образом, внесение элементарной серы и нитродиамофоса при посеве сои повышает в пахотном слое чернозёма выщелоченного содержание нитратов, подвижных фосфатов и минеральной серы в течение её вегетации, не нарушая при этом характера течения почвенных процессов. Корреляцион-

ная связь между содержанием минеральной серы и подвижного фосфора характеризуется как средняя, а между сульфатами и нитратами – как слабая и средняя, причем теснота связи между соединениями значительно увеличивается на вариантах с применением минеральных удобрений. Совместное действие температуры воздуха и влажности почвы на содержание минеральной серы в течение всей вегетации сои характеризуется устойчивой средней корреляционной связью, которая закономерно всегда более тесная на вариантах с применением серных удобрений ($R_{S_{\text{ВТ}}}$ 0,59-0,62). Установлено, что содержание минеральной серы в пахотном слое чернозёма выщелоченного находится в прямой средней корреляционной зависимости от совокупного количества нитратного азота и подвижного фосфора ($R_{S_{\text{НР}}}$ 0,32-0,54).

4.3.2. Действие азотно-фосфорных и серных удобрений на урожайность и качество зерна сои

Рост и развитие растительного организма обеспечивает реализация наследственной программы и определяет интенсивность накопления биомассы растениями. По их масштабам можно судить об осуществлении программы урожая и степени оптимизации условия его выращивания (Мякушко, Баранов, 1984).

В 1988 и 1991 г.г., характеризующиеся наибольшим увлажнением, период вегетации сои был наиболее продолжительным (129 и 133 дня). В 1990 году, когда выпало минимальное за годы исследования количество осадков, вегетационный период был наиболее коротким (120 дней).

Улучшение питания растений проявляется в усилении их роста и ускорении развития (Мякушко, Баранов, 1984). Полученные нами данные о высоте растений показывают, что на величину этого показателя оказывали влияние как применяемые в опыте удобрения, так и гидротермические условия. Азотно-фосфорные и серные удобрения в разных условиях по увлажнению не одинаково влияли на высоту растений. Наиболее интенсивный рост растений сои по всем вариантам наблюдался в период от фазы образования трех листьев – до цветения.

Наибольшее увеличение высоты растений от применения только серных удобрений установлено в 1988 году, когда создавались оптимальные условия для окисления элементарной серы до сульфатов, доступных растениям (рис. 21).

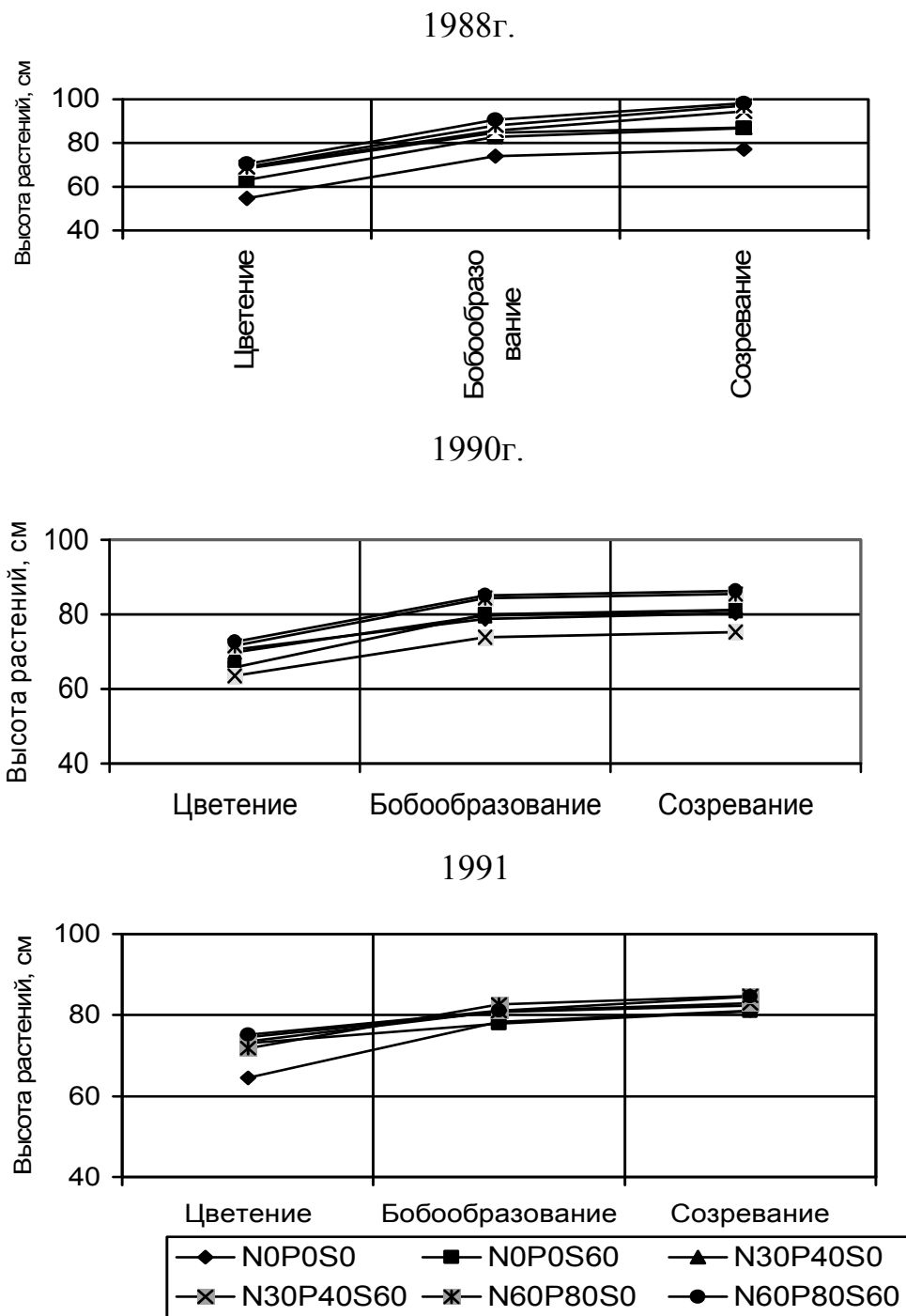


Рис. 21. Динамика высоты растений сои в зависимости от применения минеральных удобрений

Прирост к контрольному варианту в этом году составил в фазы цветения, образования бобов и созревания соответственно 15,0; 11,8 и 12,3%. В 1990 наи-

более засушливом году прирост растений в высоту практически отсутствовал при использовании одних серных удобрений, так как сложились менее благоприятные гидротермические условия для образования сульфатов.

Средний прирост сои в высоту при использовании только азотно-фосфорных удобрений по тем же фазам развития составил в 1988 году соответственно 15,9; 16,9 и 19,2% к контролю. В 1990 году он оставался на низком уровне (0,5; 4,2 и 3,7%). Наибольший средний прирост растений сои в высоту во все годы наблюдений (кроме 1990г.) установлен на вариантах с совместным применением азотно-фосфорных и серных удобрений. В 1988 году он колебался по фазам вегетации от 24,6 до 27,7% к контрольному варианту, а в 1991 году – от 3,3 до 15,4 %.

Следовательно, внесение одних только серных удобрений в засушливые годы не способствует созданию оптимальных условий для роста растений сои в высоту. Совместное же применение азотно-фосфорных и серных удобрений благоприятно действует на ростовые процессы, что может положительно влиять на накопление биомассы сои.

Под действием удобрений улучшается минеральное питание сои, при этом увеличивается фотосинтетический аппарат, а также размеры накопления сухого вещества растениями сои (Целковский, 1978). В нашем опыте накопление биомассы продолжалось до начала созревания, хотя скорость его проявлялась не одинаково. При увеличении доз азотно-фосфорных и серных удобрений наблюдался рост количества сухого вещества по всем фазам развития сои, причём динамика его несколько отличалась от изменения показателей высоты растений по фазам вегетации (рис. 22). На вариантах с применением только серных удобрений в 1988, 1990, 1991г.г. прирост сухого вещества составил в фазы цветения, образования бобов и созревания соответственно 3,88-57,9; 8,1-89,1 и 3,40-75,4% к контрольному варианту. Прирост был значительно выше при использовании только азотно-фосфорных удобрений (45,2-96,8; 69,9-109,1 и 65,7-93,3%). Совместное использование всего комплекса удобрений способствовало наибольшему приросту сухого вещест-

ва по всем фазам развития и во все годы наблюдений (87,7-114,5; 104,1- 115,6 и 105,8-153,8% к контролю.

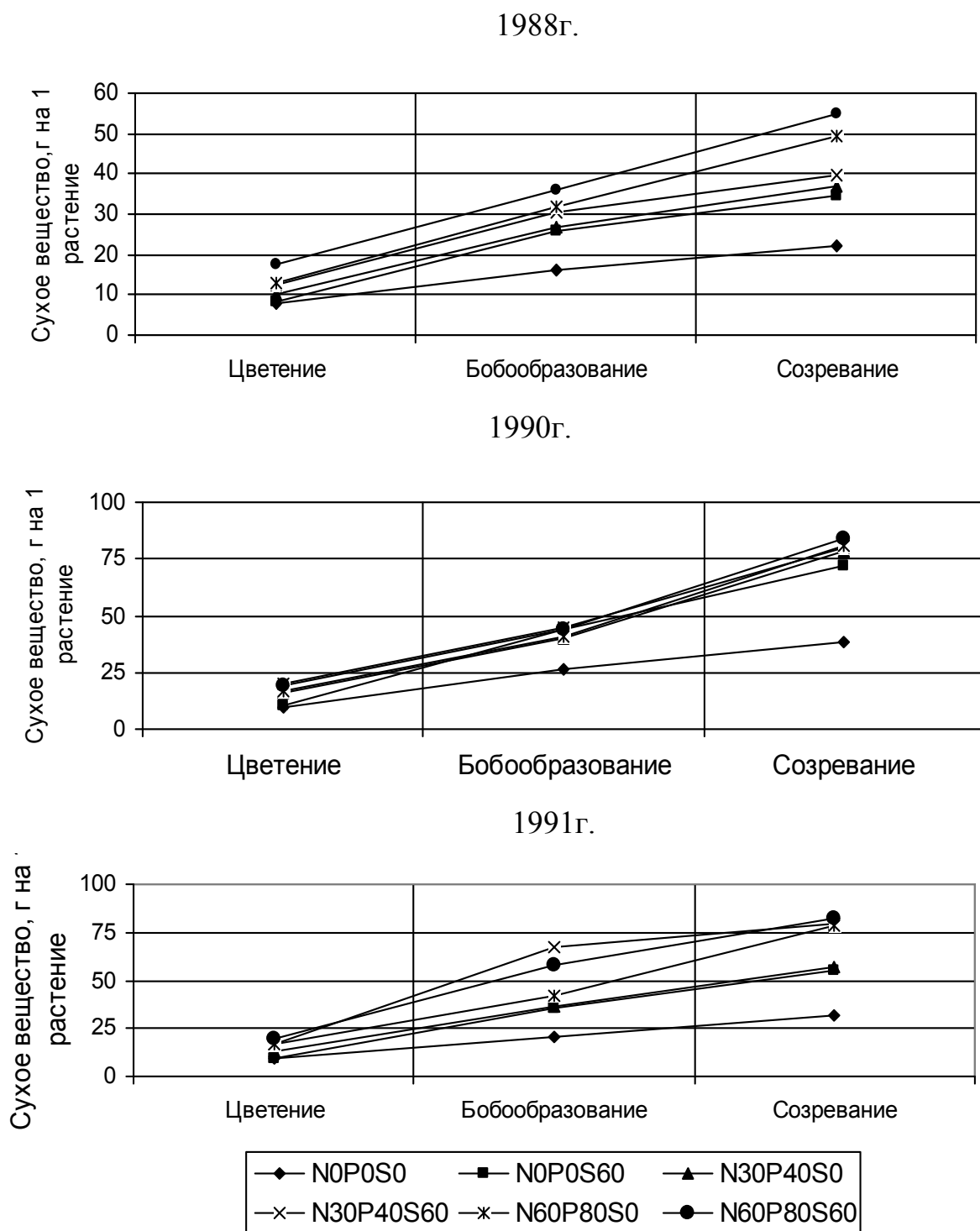


Рис. 22. – Накопление сухого вещества по фазам развития сои в зависимости от применения минеральных удобрений

Таким образом, серные удобрения положительно влияли на накопление сухого вещества соей в различных гидротермических условиях, особенно при

совместном применении их с азотно-фосфорными удобрениями. Установлено, что на удобренных вариантах соя лучше усваивает серу не только удобрений, но и из почвы. Интенсивное накопление биомассы соей во второй и особенно третий периоды питания (5-12 этапы органогенеза) совпадает с уменьшением содержания подвижных форм азота, фосфора и серы в пахотном слое почвы. Это подтверждает положение о том, что растения сои максимально потребляют эти элементы, особенно серу, в данный период его развития.

Многие авторы единодушны во мнении, что сельскохозяйственные растения рациональнее используют азот, фосфор, калий, йод, марганец, цинк при достаточном их обеспечении серой (Анспок, 1987; Баранов, 1973; Вальников). С. Л. Тисдайл приводит примеры повышения доступности растениям фосфора, йода, марганца и цинка от применения элементарной серы и сульфатов. Эффект он относит за счёт снижения рН под влиянием образующейся в почве серной кислоты (Tisdale S. L., 1977). М. П. Шкель (1989) отмечает положительное влияние серы на усвоение растениями как азота, так и фосфора с калием. Систематическое применение серы в севообороте на дерново-подзолистой почве в республике Беларусь повышало коэффициент использования растениями азота на 1,6-5,2, фосфора – 2,1-7,5 и калия – 6,8-14,2% (Шугля, 1969).

Во все годы наблюдений при повышении вносимых доз азотно-фосфорных удобрений количество бобов и масса зерна с одного растения увеличивалась. Такая закономерность наблюдалась и при совместном применении азотно-фосфорных и серных удобрений (табл. 45). При изучении структуры урожая нами было уделено внимание тем его элементам, которые связаны с образованием генеративных органов, так как потребность в серном питании у сои возрастает с наливом зерна и формированием белка. Внесение одной только серы в почву практически не оказало значительного влияния на

Таблица 45. Элементы структуры урожая сои в зависимости от применения серных и азотно-фосфорных удобрений (1987-1991г.г.)

Варианты опыта	Количество бобов	Отклонение от контроля		% к контролю		г на 1 растение	Масса зёрен	Отклонение от контроля		% к контролю		г	Масса 1000 семян	Отклонение от контроля	% к контролю
		шт. на 1 растение	г на 1 растение	г на 1 растение	г на 1 растение										
N ₀ P ₀ S ₀ (K)	65	-	-	100	100	17,2	153,6	-	100	-	100	153,6	-	100	
N ₃₀ P ₄₀ S ₀	89	24	4,7	136,9	123,7	21,9	153,4	4,7	123,7	-0,2	99,9	153,4	-0,2	99,9	
N ₆₀ P ₈₀ S ₀	122	57	12,9	187,7	175,0	30,1	156,8	12,9	175,0	3,2	102,1	156,8	3,2	102,1	
N ₀ P ₀ S ₆₀	68	3	-0,2	104,62	98,8	17,0	155,3	-0,2	98,8	1,7	101,1	155,3	1,7	101,1	
N ₃₀ P ₄₀ S ₆₀	97	32	6,1	149,2	135,5	23,3	156,3	6,1	135,5	2,7	101,8	156,3	2,7	101,8	
N ₆₀ P ₈₀ S ₆₀	131	66	14,7	201,5	185,5	31,9	159,2	14,7	185,5	5,6	103,7	159,2	5,6	103,7	
НСР ₀₅ для NP		28,9	8,8					8,8		8,4			8,4		
НСР ₀₅ для S		15,1	2,9					2,9		2,1			2,1		

формирование бобов и увеличение массы зерна на одном растении, но увеличило массу 1000 семян. В 1990 наиболее засушливом году урожайность сои была самой низкой за все годы исследований. Однако и в этих условиях серные и азотно-фосфорные удобрения способствовали увеличению количества бобов, массы зёрен с одного растения и особенно массы 1000 семян сои по сравнению с вариантами, где серные удобрения не вносились. Аналогичные результаты были получены на бурых лесных почвах Амурской области учеными Дальнего Востока при изучении эффективности элементарной серы (Панников, Минеев, 1977).

Таким образом, регулируя серное питание сои с помощью внесения азотно-фосфорных и серных удобрений, можно добиться формирования оптимального количества генеративных органов, с целью дальнейшего повышения её продуктивности. Полученные результаты учётов урожая сои согласуются с данными структуры урожая. Во все годы исследований эффект от действия азотно-фосфорных удобрений без серы был достоверен по существу (табл. 46). На вариантах с одинарными дозами азота и фосфора прибавки урожайности зерна колебались от 1,0 до 3,8 ц на 1га, а на делянках с внесением двойных доз – от 0,7 до 5,7 ц на 1га. Несущественным было увеличение урожайности зерна сои на этих вариантах только в 1988 году, когда за май и июнь выпало более 400мм атмосферных осадков. Они способствовали миграции азота и фосфора, внесённого с нитродиамофосом, за пределы пахотного горизонта. Применение элементарной серы существенно усиливало эффективность азотно-фосфорных удобрений. Достоверные прибавки урожайности зерна на соответствующих вариантах составили 1,5 - 5,3 ($N_{30}P_{40}S_{60}$) и 2,4 - 8,3 ц на 1га ($N_{60}P_{80}S_{60}$) во все годы исследований. Что касается эффекта от применения серы (без азотно-фосфорных удобрений), то в разные годы наблюдений он выражался или отсутствием прибавок урожайности зерна (1987-1988г.г.), или они колебались от 1,3 до 3,3 ц на 1га и были достоверными по существу только в 1989 году.

Таблица 46. Действие серных удобрений при разных уровнях азотно-фосфорного питания, на урожайность зерна сои

Варианты опыта	Урожайность зерна, ц /1га						Прибавка зерна к контролю, ц /га	% к контролю
	1987г	1988г	1989г	1990г	1991г	Средняя за 5 лет		
1.N ₀ P ₀ S ₀ (контроль)	27,4	32,0	28,2	24,0	24,0	27,1	-	100
2.N ₃₀ P ₄₀ S ₀	31,2	33,0	32,0	26,5	26,6	29,9	2,80	110,3
3.N ₆₀ P ₈₀ S ₀	31,1	32,7	33,9	26,5	27,0	30,3	3,20	111,8
4.N ₀ P ₀ S ₆₀	27,5	31,7	31,5	25,4	25,1	28,2	1,10	104,1
5.N ₃₀ P ₄₀ S ₆₀	31,3	33,5	33,5	26,8	27,8	30,6	3,50	112,9
6.N ₆₀ P ₈₀ S ₆₀	32,5	34,4	36,5	28,8	28,4	32,1	5,00	118,4
НСР ₀₅ для фактора NP	3,0	1,2	0,4	2,4	2,5			
НСР ₀₅ для фактора S	2,2	1,4	1,0	2,1	3,4			

Применение одних только серных удобрений в среднем за пять лет полевых исследований способствовало увеличению урожайности зерна сои на 1,1 ц на 1га (104,1% к контролю). Использование только азотно-фосфорных удобрений без серы увеличивало урожайность в среднем на 2,8-3,2 ц на 1га (110-112%), а с серными удобрениями – на 3,5-5,0 ц на 1га или 113-118% к контролю. Рассматриваемые результаты согласуются с исследованиями многих отечественных и зарубежных авторов, которые отмечают, что зачастую

положительное влияние серы сильнее проявлялось на содержании белковых веществ в растениях бобовых культур, нежели на их общей продуктивности (Алыков, 2003; Баранов, 1969).

Таким образом, максимальный эффект от применения азотно-фосфорных удобрений наблюдался при совместном внесении их с серой во все годы проведения эксперимента. Максимальная средняя за 5 лет прибавка урожайности зерна получена при внесении двойной дозы нитродиамофоса совместно с элементарной серой (5,0 ц/га).

Важными показателями качества семян сои являются содержание в них белка и масла, которые определяют питательную ценность семян и продуктов ее переработки. Между их содержанием установлена достоверная отрицательная зависимость. Особенностью белков сои является высокая концентрация в них лизина. Масло сои относится к группе полувывсыхающих. В углеводную группу семян сои входят растворимые сахара, крахмал, клетчатка и пектиновые вещества (Мякушко, Баранов, 1984). Многочисленными исследованиями установлено, что достаточное обеспечение бобовых серой способствует усилению синтеза белковых веществ в зерне и вегетативной массе растений, в результате увеличивается общий сбор белка с единицы площади (Бамберг, 1973; Вальников, 1976; Кегля, 1971). Под действием серосодержащих удобрений в составе белков зерна гороха и фасоли увеличивалось количество хорошо усвояемых человеком и животными водорастворимых и солерастворимых фракций белков (Pumphrey F. V., Moore D. P., 1965).

Действие азотно-фосфорных и серных удобрений на содержание белка и масла в зерне сои по годам наших исследования было неоднозначным (табл.47). Наиболее эффективно удобрения влияли на содержание белка. Расчёт средних величин за годы наблюдений показал, что применение элементарной серы обеспечивает увеличение среднего содержания белка на 1,4%(103,5% к контролю), а внесение азотно-фосфорных удобрений – на 0,8-1,2% (102-103% к контролю). Совместное их использование увеличивает

среднее количество этих компонентов на 1,6-2,1% (104,0-105,7% к контролю).

Таблица 47. Элементы качества урожая зерна сои в зависимости от применения серных и азотно-фосфорных удобрений (средние за 4 года)

Варианты опыта	Содержание белка	Отклонение от контроля	% к контролю	Содержание масла	Отклонение от контроля	% к контролю
	%			%		
1.N ₀ P ₀ S ₀ (К)	40,5	-	100	19,7	-	100
2.N ₃₀ P ₄₀ S ₀	41,3	0,8	102,0	21,1	1,4	107,1
3.N ₆₀ P ₈₀ S ₀	41,7	1,2	103,0	19,7	0	100
4.N ₀ P ₀ S ₆₀	41,9	1,4	103,5	19,3	-0,4	98,0
5.N ₃₀ P ₄₀ S ₆₀	42,1	1,6	104,0	20,1	0,4	102,0
6.N ₆₀ P ₈₀ S ₆₀	42,8	2,1	105,7	19,8	0,1	100,5
НСР ₀₅ для NP		0,92			F _{ф.} < F _{теор.}	
НСР ₀₅ для S		0,44				

Содержание масла в зерне сои зависело от количества белка и с его увеличением оно закономерно уменьшалось, за исключением 1987 года. Среднему за годы исследования увеличению содержания масла способствовало только применение одинарной дозы нитродиамофоса без серы. Внесение одной элементарной серы и совместное с азотно-фосфорными удобрениями не оказывали существенных изменений в количестве этого компонента. Учеными Всероссийского института растениеводства и Молдавского НИИ почвоведения и агрохимии также было установлено положительное влияние серы на фракционный состав белковых веществ в растениях бобовых (Кореньков, 1965; Мосолов, 1959).

Таким образом, совместное применение серных и азотно-фосфорных удобрений при возделывании сои обеспечивает максимальное увеличение

урожайности зерна и повышает содержание в нём белка. Влияние серных удобрений на количественные показатели урожайности сои не стабильно и чаще не существенно. Они в большей мере улучшают качественную характеристику зерна и по воздействию на содержание белка могут конкурировать с азотно-фосфорными удобрениями.

4.4. Влияние гипса и микроудобрений на урожайность люцерны, возделываемой на чернозёме выщелоченном

Полевой опыт №3. Люцерна занимает ведущее место среди других многолетних трав, благодаря её ценным биологическим и кормовым достоинствам. По сравнению с другими бобовыми культурами она содержит больше переваримого протеина, богата минеральными соединениями и витаминами. Люцерна имеет большое агротехническое значение. Она обогащает почву органическими веществами, а также улучшает её структуру. В двухлетнем микрополевым опыте с минеральными удобрениями на серой лесной почве установлено увеличение зелёной массы трёх укосов и выноса N, P, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn и Cu с урожаем (Губайдуллин, 1982).

В центральной зоне Краснодарского края в орошаемых условиях в настоящее время рекомендуют для производства сорта американской селекции Пионер 5262, Магнум 3. Однако в течении 2-х лет отечественный сорт Багира превосходил их по урожайности, поэтому его возделывание в данной зоне предпочтительнее. К тому же сорта Пионер 5262, Пионер 5454, Пионер 5683, ДК 170, Парад при воздействии кратковременной низкой температуры в условиях тёплой и бесснежной зимы изреживаются на 90% и более (Василько и др., 2001). Согласно сводке, выполненной в институте серы, серные удобрения увеличивают урожай клевера и люцерны на 4-13 % в районах с дефицитом серы в почвах США и Канады (Spencer K., Freney J. R., 1980). Бобовые культуры особенно отзывчивы к недостатку серы, поскольку она необходима для фиксации азота (Томпсон, Трой, 1982). Урожаи люцерны и кормовых культур могут удваиваться или утраиваться при внесении серы в почвы, ис-

пытывающие недостаток этого элемента (Adams C. A., Sheard Я. W., 1966). Широкое распространение в агрономической практике получил эффективный приём повышения качества и количества растительной белковой продукции – инокуляция семян бобовых препаратами, содержащими не только штаммы азотфиксирующих бактерий, но и микроэлементы, серу и другие элементы (В.П. Шабает, 2006).

Опытами в штате Миннесота (США) установлено, что выживаемость люцерны в зимний период благодаря удобрению серой повышается на 21-72 % (Pumphrey F. V., Moore D. P., 1965). В опытах Квинслендского университета в Австралии при достаточном обеспечении люцерны этим элементом засоренность ее посевов снижается на 16 % (Esminger L.E., Freney 1966). В полевых опытах АН Латвии сбор незаменимых аминокислот (лизина, метионина, цистеина) с урожаем клевера красного при внесении гипса был почти в 1,5 раза выше, чем в контроле без серы (Анспек, 1973). В рамках проекта научных исследований по кормам в Рахури (Индия) при внесении 20кг/га серы на фоне $N_{20}P_{90}K_{40}$ в посевах клевера александрийского установлено увеличение урожая зелёной массы от 586,5 до 621,8ц/га и содержание сырого протеина - от 16,3 до 18,2%. Дальнейшее повышение доз серы было неэффективно (Bhilare R.L., Desale J.S., 2003)

Полевой опыт №3 проводился в 1988 и 1989 гг. на опытном поле кафедры почвоведения и земледелия с целью испытания серного удобрения (гипс) и микроудобрений (борная кислота и молибденово-кислый аммоний) в посевах люцерны (сорт Краснодарская ранняя). Сорт относится к виду люцерна посевная, зимостойкий, засухоустойчивый, раннеспелый. Предшественник – озимая пшеница. Почва опытного участка представлена чернозёмом выщелоченным слабогумусным сверхмощным легкоглинистого гранулометрического состава. Схема опыта: 1.Контроль (смачивание семян перед посевом дистиллированной водой); 2.Предпосевное смачивание семян 0,3%-м раствором H_3BO_3 ; 3. Предпосевное смачивание семян 0,5%-м раствором $(NH_4)_6 Mo_7 O_{24}$; 4. Внесение в почву $CaSO_4 \times 2H_2O$ при посеве, 100 кг/га. Учёты

урожая проводили в первые два года вегетации люцерны по результатам первого укоса.

Фенологическими наблюдениями установлено, что изучаемые приёмы возделывания не оказали влияния на продолжительность прохождения фаз вегетации растениями люцерны в первый год своего роста и развития. Однако замеры высоты растений в фазу цветения показали, что она составила на 1, 2, 3, и 4-м вариантах, соответственно 26,0; 27,5; 27,4 и 28,2 см.

В первый год вегетации микроудобрения снижали урожайность зелёной массы люцерны на 3-4% относительно контрольного варианта (табл. 48). В 1989 году борсодержащие микроудобрения способствовали достоверному увеличению урожайности зелёной массы (на 10,6%), в то время как молибденово-кислый аммоний существенного действия не оказал на этот показатель. В среднем за два года эффект от применения борсодержащих микроудобрений составил 5,3% относительно контроля. Исследования действия микроудобрений на рост, развитие и урожайность культуры люцерны сотрудниками кафедры агрохимии КГАУ подтверждают наши результаты (Шеуджен и др., 2006).

В отличие от микроудобрений, применение небольшой дозы гипса при посеве стабильно увеличивало количество зелёной массы люцерны, причём, если в первый год вегетации эффект составил 5,0%, то в 1989 году он был уже значительно выше (16,4%). В среднем за два года серосодержащие удобрения способствовали увеличению зелёной массы на 12,7% относительно контрольного варианта. В 1989 году анализ сухой массы растения люцерны показал, что эффект от применения гипса в посевах люцерны в 2-4 раза превышал эффект от микроудобрений и составил 46,3% по отношению к контрольному варианту. Вестерманн установил, что люцерна очень чувствительна к недостатку серы и даёт максимальный урожай при содержании её в сухом веществе от 0,15 до 0,20% (Westermann D.T., 1975).

Таблица 48. Урожайность зелёной и сухой массы люцерны в зависимости от применения гипса и микроудобрений

Вариант опыта	1988г.		1989г.		Средние за 2 года		1989г.	
	Урожайность, кг/м ²	Отклонение от контроля, %	Урожайность, кг/м ²	Отклонение от контроля, %	Урожайность, кг/м ²	Отклонение от контроля, %	Сухая масса 1 растения, г	Отклонение от контроля, %
1. Контроль (Н ₂ О)	1,00	-	2,00	-	1,50	-	2,16	-
2. 0,3%-й раствор Н ₃ ВО ₃ .	0,96	-4,0	2,21	10,6	1,58	5,33	2,72	25,9
3. 0,5%-й раствор (NH ₄) ₆ Мо ₇ О ₂₄ .	0,97	-3,0	2,01	0,60	1,49	-0,67	2,42	12,0
4. СаSO ₄ ×2Н ₂ О, 100 кг/га.	1,05	5,0	2,33	16,4	1,69	12,7	3,16	46,3
НСР ₀₅	0,02	1,84	0,19	8,90	-	-	0,13	05,0

Таким образом, применение гипса в дозе 100кг/га при посеве благоприятно действовали на рост, развитие и накопление зелёной массы люцерны, возделываемой на чернозёме выщелоченном в течение 2-х лет. Серосодержащие удобрения способствовали увеличению зелёной массы на 12,7% , а сухой массы – на 46,3% по отношению к контрольному варианту. Эффект от применения гипса в посевах люцерны в 2-4 раза превышал эффект от микроудобрений.

4.5 Агроэкологическая оценка технологий выращивания озимой пшеницы, возделываемой на чернозёме выщелоченном в связи с обеспеченностью серой

На содержание и трансформацию серы в почве действуют многочисленные факторы: от внешних гидротермических условий до конкретных физико – химических свойств почвы. Они отражают состояние почвенно – поглощающего комплекса (ППК), который представлен минеральными, органическими и органо-минеральными коллоидами.

Минеральные коллоиды связаны с гранулометрическим и минералогическим составами, которые изменяются во времени очень медленно. В чернозёме выщелоченном они представлены иллитом (40%), который содержит до 10% K_2O и является основным источником калия для растений; смектитом (30%), где преобладает группа монтмориллонита, и каолинитом (30%). В наших чернозёмах идёт медленный процесс иллитизации, когда монтмориллонит поглощает калий и трансформируется в иллит. Внося в почву хлористый калий, мы способствуем, в какой-то мере, усилению этого процесса. Нарушение баланса между монтмориллонитом и каолинитом в пользу последнего приводит к каолинитизации или «старению» почвы (Соляник, 2004).

Органические и органо-минеральные коллоиды чернозёма преимущественно состоят из гумусовых кислот и их солей, в основном гуматов кальция. Именно эти соли слабо растворимы и способствуют гумусонакоплению. Поэтому при потере поглощающим комплексом кальция снижается содержание гумуса. Внесение больших доз органических удобрений способст-

вует увеличению количества гумуса, но низкого качества, с преобладанием фульвокислот, которые образуют растворимые соли и легко минерализуются и даже вымываются осадками вместе с кальцием (Загорулько, Слюсарев и др., 2005). Кроме этого, потери кальция усиливают минеральные удобрения, содержащие одновалентные анионы (NH_4NO_3 , KCl). Нитраты и хлориды, вымываясь из почвы, выносят с собой эквивалентное количество кальция. Его место занимает водород, подкисление ещё больше уменьшает отрицательный заряд коллоидов, что приводит к уменьшению суммы обменных оснований. Следовательно, кальций и богатый гуминовыми кислотами гумус обеспечивают высокую буферность почв, оптимальную реакцию, стабилизируют почвенно – поглощающий комплекс, агрегируют черноземы.

Таким образом, почвенно-поглощающий комплекс это своеобразный «центр управления» почвенной системой, что необходимо учитывать при разработке новых технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Процессы дегумификации черноземов Кубани, потеря обменного кальция из ППК и увеличение гидролитической кислотности оказывают влияние на содержание элементов питания, особенно биогенных, и на пищевой режим черноземов в целом. В связи с этим, становится актуальной проблема дефицита серы при использовании различных агротехнологий.

4.5.1. Влияние различных технологий на физико-химические свойства почвы, содержание и распределение форм серы

Полевой опыт №4. Современные технологии должны быть направлены не только на повышение урожайности растений и их качество, но и сохранение плодородия черноземов. В связи с этим, целью наших исследований в опыте было оценить способность различных технологий обеспечить растения озимой пшеницы серой в условиях агроэкологического мониторинга и изучить их действие на свойства чернозема выщелоченного слабогумусного сверхмощного легкоглинистого. Опыт развертывался на трех полях с размещением культур на первом поле в 1997г. – озимой пшеницы, в 1998г. – яро-

вого ячменя с подсевом люцерны, в 1999г. – люцерны, в 2000г. – люцерны, в 2001г. – озимой пшеницы, в 2002г. – озимого ячменя, в 2003г. – подсолнечника, в 2004г. – озимой пшеницы, в 2005г. – кукурузы на зерно, в 2006г. – озимой пшеницы. На втором и третьем полях севооборота шло смещение культур на 1 год (Агроэколог. мониторинг, 1997). Звено «подсолнечник (сорт Триумф) – озимая пшеница (сорт Краснодарская-99)» изучалось в 2004 - 2006 году. Поскольку севообороты размещены на трёх полях, где чередование культур начиналось с разницей в один год, то в течение трёх лет озимая пшеница изучалась на разных полях по одному предшественнику при соблюдении повторности в пространстве и во времени. Уровни плодородия (А) создавались путем разового внесения в почву в начале ротации возрастающих доз органических удобрений и фосфора: А₀ - без удобрений, А₁ - 200 кг/га P₂O₅ и 200 т/га подстилочного навоза, А₂ и А₃ - означают удвоенные и утроенные дозы удобрений.

Нормы удобрения (фактор В) под полевые культуры в изучаемом звене севооборота определились на основе балансового метода с учетом планируемой урожайности, требуемого качества продукции, заданных темпов повышения плодородия, благоприятного состояния окружающей среды. Под озимую пшеницу вносили следующие нормы удобрений: В₀ - без удобрения; В₁ (минимальная) - N₆₀P₃₀K₃₀; В₂ (средняя) и В₃ (высокая) - соответственное увеличение в 2 и 4 раза минимальной дозы минеральных удобрений.

Система защиты растений (С) от сорняков, вредителей и болезней строилась с учетом экологического порога их вредоносности: С₀ - без применения средств защиты растений, С₁ - биологическая система защиты растений от болезней и вредителей, С₂ – химическая защита от сорняков, С₃ - химическая защита от болезней, вредителей и сорняков. Исследования проводились на фоне трех способов обработки почвы (D): D₁ - безотвальная (почвозащитная), D₂ – рекомендуемая (применяемая в зоне) и D₃ - отвальная с периодическим глубоким рыхлением.

Кодирование вариантов проводилось по специальной символике, в которой первая цифра - уровень плодородия, вторая - норма удобрений, третья - система защиты растений. Результаты эксперимента подвергали дисперсионному анализу по схеме двухфакторного опыта 3×4: фактор 1 - основная обработка почвы (D₁, D₂, D₃) и фактор 2 - приёмы возделывания (А, В, С) в четырёх градациях (000, 111, 222, 333). При описании результатов исследования использовались условные названия технологий: 000 – экстенсивная, 111 – беспестицидная, 222 – экологически допустимая, 333 – интенсивная.

Погодные условия значительно колебались в период ротации севооборота. Близкими к средней многолетней (643мм) по увлажнению были 2000 и 2003 гг., все остальные годы превышали этот показатель на 26 – 49% (рис. 23). Наиболее влажными отмечены 1997г. (960мм) и 2001г. (863мм). Среднегодовая температура воздуха превышала многолетнюю (10,8°С) весь период исследования на 8 – 18%.



Рис. 23. Динамика годовой суммы осадков за ротацию звена севооборота

Наиболее тёплыми были 1999, 2001 и 2005 годы, а близкими к средней многолетней по этому показателю отмечены 1997 и 2003 годы (рис. 24).

Таким образом, довольно высокие увлажнение и температура за 10-ти летний период могли способствовать усилению процессов выщелачивания, выветривания почвенных минералов и минерализации гумуса.



Рис. 24. Среднегодовая температура воздуха за ротацию звена севооборота

В среднем за 2004, 2005 и 2006 сельскохозяйственные годы температура составила соответственно 12,5; 12,9 и 12,1°C, а сумма осадков – 996,9; 735,0 и 820,8мм. Следовательно, за 3-х летний период наиболее засушливым и теплым вегетационным сезоном отличался 2005 год, а наиболее обильным по увлажнению - 2004 год.

Состав обменных катионов и виды кислотности являются важными показателями плодородия почвы. Сумма обменных оснований зависит от гранулометрического состава (количества илистой фракции), минералогического состава этих фракций и количества гумуса. Содержание гумуса в горизонте А изучаемых вариантов не превышало 3,72% (табл. 49). Несмотря на высокие дозы органических удобрений, внесенные для создания высокого уровня плодородия, исследуемые черноземы по-прежнему относятся к слабогумусным. Однако следует отметить его увеличение (на 18%) в пахотном слое на участках с интенсивной технологией выращивания пшеницы (3331, 3333) по сравнению с экстенсивной (0001,0003).

Таблица 49. Распределение форм серы и гумуса в профиле чернозема выщелоченного при разных технологиях выращивания озимой пшеницы

Индекс технологий (ABCD)	Горизонт	Глубина, см	pH _{Н₂O}	Гумус, %	Сера		
					валовая	минеральная	подвижная
					мг на 100г почвы		
0001	Ап	0-22	6,80	3,08	30,2	1,72	0,25
	А	22-50	7,15	2,40	28,2	2,06	0,31
	АВ ₁	50-98	7,40	1,86	26,1	2,95	0,22
	АВ ₂	98-128	7,60	1,40	23,3	3,64	0,22
	В	128-182	8,10	1,18	22,6	4,12	0,20
	С	182-200	8,45	0,70	18,3	4,72	0,19
3331	Ап	0-22	6,95	3,72	36,4	2,40	0,39
	А	22-50	7,25	2,58	28,2	2,26	0,46
	АВ ₁	50-98	7,50	2,17	25,4	3,09	0,31
	АВ ₂	98-128	7,65	1,45	24,0	3,84	0,25
	В	128-182	8,40	1,40	22,6	4,46	0,19
	С	182-200	8,55	0,63	18,5	4,87	0,19
0003	Ап	0-22	6,85	2,85	30,9	1,78	0,22
	А	22-50	7,30	2,13	30,2	2,06	0,16
	АВ ₁	50-98	7,50	1,72	24,7	3,30	0,20
	АВ ₂	98-128	7,60	1,40	24,0	3,57	0,17
	В	128-182	8,50	1,27	23,3	4,05	0,16
	С	182-200	8,55	0,82	17,2	4,80	0,18
3333	Ап	0-22	6,95	3,26	37,8	2,33	0,31
	А	22-50	7,10	2,58	36,4	2,40	0,22
	АВ ₁	50-98	7,30	2,17	24,0	3,30	0,20
	АВ ₂	98-128	7,60	1,86	24,7	3,78	0,22
	В	128-182	8,10	1,49	22,0	3,98	0,22
	С	182-200	8,30	0,77	16,5	4,60	0,21

Используемые в стационарном опыте минеральные удобрения, содержащие одновалентные катионы и анионы (NH₄NO₃, KCl), отрицательно действуют на состояние ППК в течение ротации севооборота: катионы усиливают гидрофильные свойства гумусовых кислот (пептизацию) и их миграцию в ниже лежащие горизонты, а анионы (NO₃⁻, Cl⁻), вымываясь из почвы, выносят с собой эквивалентное количество кальция. Применяемые в интенсивных технологиях большие дозы органических удобрений способствовали в большей мере образованию фульвокислот, но не гуминовых кислот, участвующих в

связывании и закреплении кальция в ППК (Загорулько, Слюсарев и др., 2005). Гумусированные горизонты профиля характеризуются более высокой емкостью обмена, так как гумусовые вещества обладают емкостью обмена, достигающей 200-500м.-экв на 100г почвы (Панников, Минеев, 1977).

Реакция почвенного раствора изменялась от нейтральной (гор.А) до среднещелочной (гор. С). Установлено небольшое подкисление в пахотном слое на вариантах с экстенсивной технологией, на вариантах с экстенсивной технологией, что связано в большей степени потерей гумуса и кальция. В этих условиях содержание минеральной серы постепенно увеличивалось вниз по профилю почвы. Варианты с интенсивной технологией возделывания пшеницы отличались увеличением количества минеральной и подвижной серы в пахотном слое соответственно на 35,4 и 52,2% по сравнению с экстенсивной. Пределы колебаний содержания подвижной серы уменьшались от 0,16-0,46 (гор. А) до 0,16-0,21 мг на 100г почвы (гор. С).

Системы основной обработки почвы не оказали заметного влияния на распределение форм серы в профиле чернозема. Установлено лишь более равномерное распределение валовой серы в горизонтах Ап и А на вариантах, где применялась вспашка с оборотом пласта и периодическим глубоким рыхлением (D₃), по сравнению с безотвальной обработкой почвы (D₁).

Таким образом, применение органических удобрений и использование биологических средств защиты при выращивании озимой пшеницы создают благоприятные условия для образования сульфатов в профиле чернозёма выщелоченного. Однако, общий уровень минеральных форм серы в почве остается достаточно низким, так как изучаемые технологии предусматривают использование безбалластных минеральных удобрений и не обеспечивают в полной мере растения серным питанием. В целом, интенсификация технологий выращивания озимой пшеницы при минимализации системы основной обработки почвы оказали положительное влияние на содержание гумуса и реакцию почвенного раствора по профилю чернозема выщелоченного.

Наибольший интерес вызывают наблюдения за физико-химическими

свойствами и формами серы в пахотном и подпахотном слое почвы, а также за возможными связями между ними.

Колебания средних значений содержания валовой, минеральной и подвижной серы в пахотном слое на вариантах с применением экстенсивной технологии (000) составили 30,2-31,4; 1,87-1,94 и 0,27-0,31 мг на 100г почвы (2004-2006гг.). В подпахотном слое эти показатели мало отличались от пахотного и варьировали в пределах 28,3-29,2; 1,93-2,02 и 0,23-0,25 мг на 100г почвы (табл. 50). При применении беспестицидных (111) и экологически допустимых (222) технологий установлена тенденция к увеличению изучаемых форм серы соответственно до 32,1-35,0; 2,16-2,43 и 0,35-0,38 мг на 100г почвы в слое 0-20см, а в слое 20-40см – до 29,4-33,2; 1,93-2,35 и 0,28-0,34 мг на 100г почвы. Варианты с интенсивной технологией выращивания пшеницы (333) отличались максимальным количеством валовой, минеральной и подвижной серы как в пахотном слое (35,8-37,4; 2,36-2,60 и 0,35-0,39 мг на 100г почвы), так и в подпахотном слое (30,6-34,3; 2,11-2,55 и 0,31-0,40 мг на 100г почвы).

Относительное содержание минеральной серы на вариантах 111 увеличивается в слое 0-20см до 6,73-7,15% валовой по отношению к вариантам 000 (5,96-6,42% валовой). Это объясняется увеличением минерализации органического вещества почвы и ещё незначительным выносом серы с относительно невысокими урожаями при данной технологии выращивания озимой пшеницы. Затем, по мере интенсификации технологий и увеличения выноса элемента с более высокими урожаями, этот показатель уменьшается на вариантах 222 и 333 соответственно до 6,46-6,94 и 6,38-6,95% валовой. Такие же тенденции отмечены и при анализе средних за три года показателей относительного содержания подвижной серы в почве: на контрольных вариантах (000) они колебались в пределах 13,9-16,2% минеральной серы, на вариантах с экстенсивными технологиями (111) увеличивались до 15,7-17,6%, а с интенсификацией технологий они уменьшались до 13,5-16,0% минеральной серы (333).

Таблица 50. Содержание форм серы в чернозёме выщелоченном при выращивании озимой пшеницы различными технологиями (средние за 2004-2006г.г.)

Индекс технологий (ABCD)	Глубина, см	Сера					
		валовая	минеральная	подвижная	минеральная	резервная	подвижная, % минеральной
		мг на 100г почвы			% валовой		
0001	0-20	31,4	1,87	0,28	5,96	94,0	15,0
	20-40	28,3	2,00	0,23	7,07	92,9	11,5
1111	0-20	32,1	2,16	0,38	6,73	93,3	17,6
	20-40	29,4	1,93	0,30	6,56	93,4	15,5
2221	0-20	34,5	2,23	0,35	6,46	93,5	15,7
	20-40	32,5	1,98	0,28	6,09	93,9	14,1
3331	0-20	37,0	2,36	0,36	6,38	93,6	15,2
	20-40	30,6	2,11	0,3 1	6,89	93,1	14,7
0002	0-20	31,3	1,91	0,31	6,10	93,9	16,2
	20-40	28,9	1,93	0,25	6,68	93,3	13,0
1112	0-20	32,8	2,23	0,37	6,80	93,2	16,6
	20-40	30,6	2,10	0,34	6,86	93,1	16,2
2222	0-20	34,3	2,26	0,36	6,59	93,4	15,9
	20-40	32,3	2,19	0,32	6,78	93,2	14,6
3332	0-20	35,8	2,43	0,39	6,79	92,8	16,0
	20-40	30,8	2,21	0,40	7,18	92,8	18,7
0003	0-20	30,2	1,94	0,27	6,42	93,6	13,9
	20-40	29,2	2,02	0,24	6,92	93,1	11,9
1113	0-20	33,0	2,36	0,37	7,15	92,8	15,7
	20-40	31,2	2,30	0,30	7,37	92,6	13,0
2223	0-20	35,0	2,43	0,35	6,94	93,1	14,4
	20-40	33,2	2,35	0,32	7,08	92,9	13,6
3333	0-20	37,4	2,60	0,35	6,95	93,0	13,5
	20-40	34,3	2,55	0,34	7,43	92,6	10,3

Известно, что биологическая активность почв снижается при внесении больших доз минеральных удобрений. Снижение подвижной серы частично объясняется депрессией биологической активности почв при очень высоких дозах туков (Жуков, Попов, 1988).

Таким образом, установлена тенденция увеличения содержания валовой серы в почве с интенсификацией технологий в пахотном слое в среднем от

30,2 (000) до 37,4 (333) мг на 100г почвы, а в подпахотном соответственно – от 28,3 до 34,3 мг на 100г почвы.

Содержание минеральной серы в почве по мере интенсификации технологий увеличивалось в слое 0-20см в среднем от 1,87 до 2,60 мг на 100г почвы, а в слое 20-40см – от 1,93 до 2,55 мг на 100г почвы. Количество подвижных сульфатов в почве в пахотном слое с интенсификацией технологий увеличивалось от 0,27 до 0,39 мг на 100г почвы, а в подпахотном – от 0,23 до 0,40 мг на 100г почвы. Это свидетельствует о том, что ни одна из оцениваемых технологий не обеспечивала растения пшеницы оптимальным серным питанием, так как почвы всех изучаемых вариантов относятся к категории низко обеспеченных подвижной серой ($<0,6\text{мг}/100\text{г}$).

Нами была проведена оценка существенности средних эффектов влияния приёмов на содержание форм серы по двум факторам: технологии возделывания (ABC) и системы обработки почвы (D). Так как основная масса корней озимой пшеницы находится в пахотном и подпахотном слоях, учитывая, что проводилась разноглубинная обработка почвы, расчёты проводились в слое 0-40см (табл. 51).

В среднем за три года по фактору ABC интенсификация технологий способствовала увеличению содержания валовой серы от 5,69 (111) до 15,4% (333). Наблюдалась тенденция увеличения её количества на вариантах с рекомендуемой и отвальной системами обработки почвы (D_2, D_3) по сравнению с безотвальной (D_1).

Увеличение содержания минеральной серы по фактору ABC на вариантах 111, 222, 333 колебалось от 0,29 до 0,60 мг на 100г почвы, причём на вариантах 222 и 333 оно было в 1,5-2 раза меньше (15-23%), чем на варианте 111 (31% относительно 000). Это связано с резким увеличением урожайности пшеницы при её выращивании более интенсивными технологиями и увеличением выноса серы из почвы с урожаем. Увеличение количества минеральной серы на вариантах с рекомендуемой и отвальной системами обработки почвы (D_2, D_3) по сравнению с безотвальной (D_1) составило 4,81-11,06%.

Таблица 51. Влияние приёмов возделывания озимой пшеницы на содержание форм серы в чернозёме выщелоченном (0-40см)

Технологии (ABC) и системы обработки почвы (D)	2004г.			2005г.			2006г.			Среднее за 3 года		
	Серя, мг на 100г почвы											
	вало- вая	мине- раль- ная	под- виж- ная	вало- вая	мине- раль- ная	под- виж- ная	вало- вая	мине- раль- ная	под- виж- ная	вало- вая	мине- раль- ная	под- виж- ная
Экстенсивная (000)	30,3	1,74	0,24	29,4	2,02	0,22	29,9	2,07	0,32	29,9	1,94	0,26
Беспестицидная (111)	31,7	2,41	0,32	31,4	2,10	0,37	31,7	2,12	0,33	31,6	2,21	0,34
Экологически допустимая (222)	33,6	2,20	0,31	33,5	2,24	0,39	33,8	2,26	0,29	33,6	2,23	0,33
Интенсивная (333)	34,5	2,42	0,42	34,2	2,39	0,40	34,5	2,32	0,25	34,5	2,38	0,36
Безотвальная (D ₁)	31,6	2,17	0,32	32,2	2,05	0,32	32,2	2,02	0,29	32,0	2,08	0,31
Рекомендуемая (D ₂)	32,7	2,19	0,37	31,9	2,08	0,35	31,9	2,26	0,30	32,2	2,18	0,34
Отвальная (D ₃)	33,2	2,22	0,28	32,4	2,42	0,37	33,2	2,30	0,30	32,9	2,31	0,32
НСР ₀₅ для ABC: для D: для частн.различ.:	1,12 0,97 1,93	0,15 0,13 0,26	0,04 0,03 0,07	1,11 0,94 1,93	0,21 0,18 0,36	0,02 0,01 0,03	1,35 1,17 2,34	0,08 0,07 0,14	F _ф < F ₀₅			

Среднее увеличение подвижной серы по фактору ABC на вариантах 111, 222, 333 колебалось от 0,07 до 0,10 мг на 100г или 27-38% относительно (000). Достоверность среднего эффекта от действия систем обработок почвы на содержание подвижной серы установлена только в 2004 и в 2005 году. В среднем за три года увеличение количества подвижной серы на вариантах с рекомендуемой и отвальной системами обработки почвы (D₂, D₃) составило 0,01-0,03 мг на 100г почвы или 3,22-9,68% относительно безотвальной обработки (D₁).

Следовательно, среднее содержание этого компонента колебалось по всем вариантам опыта в слое 0-40см от 0,26 до 0,36 мг на 100г почвы. Это подтверждает наши предварительные выводы о том, что исследуемые чернозёмы имеют низкое содержанием подвижной серы. Изучаемые технологии не обеспечивали достаточного серного питания пшеницы.

Различные по степени интенсификации технологии возделывания культур оказывают большое влияние не только на содержание форм серы, но и на физико-химические свойства чернозёма выщелоченного, что важно с точки зрения их агроэкологической оценки (табл.52). Установлено довольно стабильное увеличение суммы обменных катионов по мере интенсификации технологий. В среднем за три года величина суммы обменных оснований с интенсификацией технологий повышалась на 2,70-4,39% по отношению к экстенсивной технологии. Влияния системы обработки почвы на физико-химические свойства не установлено, лишь в 2005г. зафиксировано существенное увеличение суммы обменных оснований на вариантах с рекомендуемой основной обработкой (D₂).

Установлена тенденция снижения величины гидролитической, активной и обменной кислотности с интенсификацией приёмов возделывания пшеницы соответственно на 7,24-12,6; 1,36-2,11 и 1,12-1,31% относительно экстенсивной технологии. Такая же тенденция наблюдалась на вариантах с безотвальной обработкой почвы (фактор D).

В среднем за три года величина гидролитической и активной кислотности

Таблица 52. Физико-химические свойства чернозёма выщелоченного под озимой пшеницей в агроэкологическом мониторинге (2004-2006г.г.)

Технологии (ABC) и системы обработки почвы (D)	Сумма обменных оснований	Гидролитическая кислотность	Ёмкость катионного обмена	Степень насыщенности основаниями, %	pH	
					м.-экв. на 100г почвы	
Экстенсивная (000)	37,1	4,04	41,2	90,1	6,64	5,34
Беспестицидная (111)	38,1	3,74	41,8	91,1	6,78	5,40
Экологически допустимая (222)	38,5	3,53	42,1	91,5	6,73	5,41
Интенсивная (333)	38,7	3,61	42,3	91,6	6,75	5,41
Безотвальная (D ₁)	38,0	3,65	41,6	91,3	6,79	5,39
Рекомендуемая (D ₂)	38,4	3,79	42,2	91,1	6,70	5,39
Отвальная (D ₃)	37,8	3,73	41,5	91,0	6,69	5,41
НСР ₀₅ для ABC	0,49-1,21	0,09-0,58	-	-	0,05-0,12	0,09-0,12
НСР ₀₅ для D	0,42-1,05	0,08-0,50	-	-	0,05-0,11	0,08-0,10
НСР ₀₅ для частн. различий	0,84-2,10	0,15-1,00	-	-	0,11-0,21	0,16-0,21

уменьшалась на 2,19-3,83 и 1,32-1,47% по сравнению с отвальной (D₃) и рекомендуемой в сельскохозяйственной зоне системой обработки почвы (D₂). Сокращение числа обработок почвы, замена глубокой отвальной вспашки мелкими поверхностными обработками, использование вместо механической химической прополки снижают минерализацию гумуса (Жуков, 1988).

Таким образом, интенсификация технологий и минимализация системы обработки почвы способствуют оптимизации физико-химических свойств чернозёма выщелоченного: снижаются уровни гидролитической, активной и обменной кислотности, несколько повышается величина суммы обменных

оснований. Эти тенденции подтверждаются также увеличением ёмкости катионного обмена (на 2,67%) и степени насыщенности основаниями (на 1,66%) по мере интенсификации технологий.

В связи с агроэкологической оценкой приёмов возделывания сельскохозяйственных культур представлялось интересным проследить возможные тенденции зависимости содержания форм серы от физико-химических свойств почвы. В результате корреляционного анализа, проведённого с использованием экспериментальных данных полученных на вариантах с экстенсивной технологией в пахотном слое, между содержанием минеральной и подвижной серы установлена прямая средняя корреляционная зависимость ($r_{xy}=0,54$). Следовательно, на долю участия подвижной серы в изменении содержания минеральной приходится 29,2%. Зависимость между содержанием минеральной серы и гидролитической кислотностью почвы отрицательная высокая ($r_{xz}=-0,72$), а между количеством подвижных сульфатов и гидролитической кислотностью – отрицательная средняя ($r_{zy}=-0,58$). На долю участия величины гидролитической кислотности в варьировании содержания подвижной серы приходится 33,6%, а минеральной – 51,8% (табл. 53).

Таблица 53. Корреляционная зависимость содержания серы от величины гидролитической кислотности (2004-2006г.г.)

Слой почвы, см	Коэффициенты корреляции (числитель) и детерминации, % (знаменатель)			Множественный коэффициент корреляции (числитель) и доли влияния, % (знаменатель)	
	r_{xy}	r_{zy}	r_{xz}	$R_{x'yz}$	$R_{y'xz}$
0-20	<u>0,54</u> 29,2	<u>-0,58</u> 33,6	<u>-0,72</u> 51,8	<u>0,74</u> 54,8	<u>0,61</u> 37,2
20-40	<u>0,36</u> 13,6	<u>0,18</u> 3,24	<u>-0,12</u> 1,44	<u>0,41</u> 16,8	<u>0,42</u> 17,6

Примечание: x – содержание минеральной серы, мг на 100г почвы; y – количество подвижной серы, мг на 100г почвы; z – гидролитическая кислотность, м.- экв. на 100г почвы.

Следовательно, увеличение кислотности почвенной среды чернозёма выщелоченного способствует снижению содержания в нём подвижных и доступных растениям форм серы. Причиной могло быть закрепление серы адсорбцией с увеличением кислотности (Welsch Daniel L. et al., 2004). Приобретая кислотность, чернозёмы выщелоченные могут снижать и величину суммы обменных оснований, так как ГК и ФК, являясь отрицательно заряженными коллоидами, при подкислении понижают свой электрический потенциал. Весенние подкормки аммиачной селитрой способны усиливать эти процессы.

В качестве меры тесноты линейной связи трёх изучаемых признаков нами использовались также множественные коэффициенты корреляции. В одном случае множественный коэффициент использовался как показатель тесноты связи между содержанием минеральной серы и совокупностью количества подвижных сульфатов с величиной гидролитической кислотности ($R_{x'yz}$). Кроме этого, он использовался как показатель тесноты связи между содержанием подвижных сульфатов и совокупностью минеральной серы с величиной гидролитической кислотности ($R_{y'xz}$). Анализ множественной корреляционной зависимости изучаемых признаков показал, что на содержание сульфатов в пахотном слое оказывало значительное влияние совместное действие кислотности с содержанием одной из форм серы. Об этом свидетельствует устойчивая средняя ($R_{y'xz} = 0,61$) и высокая ($R_{x'yz} = 0,74$) корреляционная связь (см.табл. 53). Следовательно, теснота корреляционной связи между содержанием в пахотном слое подвижной и минеральной серы усиливается с увеличением гидролитической кислотности. В подпахотном слое установлена прямая средняя корреляционная зависимость только между содержанием минеральной и подвижной серы ($r_{xy}=0,36$). Корреляционная связь форм серы с гидролитической кислотностью в слое 20-40см практически отсутствует. Результаты анализа множественной корреляции в этом слое не существенны $F_{\phi}(1,52-1,61) < F_{05}(3,60)$. Следовательно, обменные реакции наиболее активно протекают в пахотном слое, где в основном сосредоточена масса корней пшеницы и куда вносят основные дозы удобрений.

Таким образом, применение органических удобрений и использование биологических средств защиты при выращивании озимой пшеницы создают благоприятные условия для образования сульфатов в профиле чернозёма выщелоченного. Однако общий уровень минеральных форм серы в почве остается достаточно низким. Изучаемые технологии выращивания пшеницы не оказали влияния на профильное распределение форм серы.

Содержание форм серы в пахотном слое существенно не отличается от подпахотного. Интенсификация технологий способствует увеличению в этих слоях содержания валовой, минеральной и подвижной серы соответственно на 9,1; 0,73 и 0,17 мг на 100г почвы.

По мере интенсификации технологий содержание валовой серы в слое 0-40см увеличивалось на 5,69-15,4%, а подвижной – на 27-38% относительно вариантов с экстенсивной технологией (000). Содержание же минеральной серы при этом на вариантах 222 и 333 было в 1,5-2 раза меньше (15-23%), чем на варианте 111 (31% относительно 000).

Увеличение количества подвижной и минеральной серы на вариантах с рекомендуемой и отвальной системами обработки почвы (D_2 , D_3) составило, соответственно 3,22-9,68 и 4,81-11,06% относительно безотвальной обработки (D_1).

Среднее содержание подвижной серы в слое 0-40см колебалось по всем вариантам от 0,26 до 0,36 мг на 100г почвы, следовательно, агрономические технологии не обеспечивали достаточного уровня серного питания пшеницы.

Интенсификация технологий способствовало увеличению в слое 0-40см суммы обменных оснований на 2,70-4,31% и снижению гидролитической, активной и обменной кислотности, соответственно на 7,24-12,6; 1,36-2,11 и 1,12-1,31% относительно экстенсивной технологии.

Безотвальный способ основной обработки почвы (D_1) повлиял на снижение видов кислотности: гидролитической на 2,19-3,83% и активной - на 1,32-1,47% относительно отвальных способов (D_2D_3).

Между содержанием минеральной и подвижной серы установлена прямая средняя корреляционная зависимость: в пахотном слое чернозёма выщелоченного она более тесная ($r_{xy}=0,54$), чем в подпахотном ($r_{xy}=0,36$).

Корреляционная связь между уровнем гидролитической кислотности и содержанием в пахотном слое минеральной и подвижной серы обратная высокая ($r_{xz}=-0,72$) и обратная средняя ($r_{zy}=-0,58$).

4.5.2. Влияние различных технологий на обеспеченность серным питанием, урожайность и качество озимой пшеницы

Почвенный тест даёт величину содержания подвижной серы, которая должна интерпретироваться на основе связи с количественной отзывчивостью растений на внесение элемента с удобрением (Маслова, 1993). В связи с этим, необходимо было проследить за влиянием технологий возделывания озимой пшеницы на содержание азота и серы в зерне при сложившемся низком уровне количества сульфатов в почве. Во все годы исследования минимальное содержание азота в зерне озимой пшеницы в опыте было получено при возделывании её с исходным уровнем плодородия и средств защиты растений. По мере интенсификации приёмов выращивания озимой пшеницы этот показатель постоянно возрастал и достигал максимума на варианте с высоким уровнем почвенного плодородия, высокой нормой удобрения, химической защитой растений от вредителей, болезней и сорняков, независимо от системы обработки почвы. В среднем за три года содержание азота в зерне составило на вариантах 000, 111, 222 и 333, соответственно 1,91-1,93; 2,15-2,17; 2,30-2,33 и 2,36-2,42%.

Наименьшее содержание серы в зерне озимой пшеницы в опыте во все годы исследования было получено при возделывании её с исходным уровнем плодородия и средств защиты растений. По мере интенсификации приёмов выращивания озимой пшеницы этот показатель постоянно возрастал, независимо от системы обработки почвы. В среднем за три года содержание серы в зерне составило на вариантах 000, 111, 222 и 333, соответственно

0,113-0,117; 0,122-0,125; 0,128-0,131 и 0,129-0,133% (табл. 7.12). Интенсификация технологий возделывания способствовала росту содержания азота в зерне озимой пшеницы на 12,3-24,3, а серы – только на 7,0-14,2 относительных процента. Следовательно, темпы роста содержания азота в 1,6-1,7 раза опережали темпы роста содержания серы в зерне пшеницы. Это объясняется увеличением выноса серы с урожаем пшеницы при интенсивном её выращивании. Изучаемые технологии не предусматривали компенсацию потерь серы (в отличие от азота), что систематически приводило к нарушению баланса азота и серы в зерне озимой пшеницы. Об этом можно судить по отношению азота к сере (N/S), которое считается оптимальным, когда не превышает 17 (Кретович, 1991; Маслова, 1993; Маслова, Якушева, 2004).

Во все годы исследования минимальное соотношение азота к сере в зерне озимой пшеницы в опыте было получено при возделывании её с исходным уровнем плодородия и средств защиты растений. По мере интенсификации приёмов выращивания озимой пшеницы этот показатель постоянно возрастал и достигал максимума, независимо от системы обработки почвы. В среднем за три года отношение N/S на вариантах 000, 111, 222 и 333 составил соответственно 16,5-16,9; 17,4-17,7; 17,8-18,1 и 18,1-18,3. Величина отношения $N/S > 17$ свидетельствует о дефиците серы, который испытывают растения озимой пшеницы при выращивании её по экологически допустимой и интенсивной технологиям.

Минимальная урожайность зерна озимой пшеницы в опыте была получена при возделывании её с исходным уровнем плодородия и средств защиты растений. По мере интенсификации приёмов выращивания урожайность озимой пшеницы возрастала на 29,9-32,5% и достигала максимума на варианте с высоким уровнем почвенного плодородия, высокой нормой удобрения, химической защитой растений от вредителей, болезней и сорняков (табл. 54). Однако эта тенденция нарушалась в 2005 году, когда на вариантах с применением интенсивной технологии (333) урожайность была

Таблица 54. Действие приёмов выращивания на урожайность зерна озимой пшеницы и элементы его качества

Система обработки почвы (D)	Плодородие, удобрения, защита растений (ABC)	Урожайность, ц/га			% к конт-ролю	Содержание в зерне (среднее за три года), %		N/S
		2004г.	2005г.	2006г.		Средняя	N	
Безотвальная	000	39,5	50,6	42,0	44,0	97,6	0,113	16,9
	111	40,9	77,2	57,6	58,6	129,9	0,122	17,7
	222	46,8	84,9	69,7	67,1	148,8	0,128	18,0
	333	68,1	81,3	79,7	76,4	169,3	0,129	18,3
Рекомендуемая	000(К)	41,9	51,3	42,2	45,1	100,0	0,115	16,8
	111	42,1	76,8	56,9	58,6	129,9	0,122	17,6
	222	45,4	85,2	70,7	67,1	148,8	0,131	17,8
Отвальная с периодическим глубоким рыхлением	333	68,9	79,9	78,3	75,7	167,8	0,132	18,1
	000	42,0	54,7	41,3	46,0	102,0	0,117	16,5
	111	41,0	80,0	58,3	59,8	132,5	0,127	17,4
	222	45,9	87,1	71,3	68,1	150,9	0,129	18,1
	333	69,8	81,5	77,9	76,4	169,4	0,133	18,2
НСР ₀₅ для ABC		0,89	1,51	0,95			0,005-0,040	
НСР ₀₅ для D		0,77	1,26	0,82			F _ф < F ₀₅	
НСР ₀₅ для частн. различий		1,55	2,62	1,63				

существенно ниже, чем при использовании экологически допустимой (222). Сера реутилизируется в пшенице слабее азота. В зерно переходит не более 50% накопленной растением серы, тогда как азота – 70-80%. Кроме того, обильное обеспечение растения азотом продлевает период вегетативного развития и отдаляет процесс старения, снижая отток веществ из вегетативных органов в репродуктивные. Следовательно, зерновка пшеницы в период налива нуждается в экзогенном сульфате. Деятельность корней в этот период ослаблена из-за конкуренции за углеводы с надземной массой. Поэтому недостаточный приток серы в колос часто служит причиной снижения урожая и качества зерна (Маслова, 1993; Маслова, Якушева, 2004).

Сопоставляя урожайность и азотно-серный баланс зерна пшеницы можно определить критическую величину урожайности, при которой растения испытывают необходимость в сере. Исследования 2004, 2005, 2006 гг. показали, что величина урожайности колебалась на вариантах с экстенсивной технологией от 39,5 до 54,7 ц/га, а на вариантах с интенсивной технологией - от 68,1 до 81,5 ц/га. Соотношение N/S в зерне озимой пшеницы колебалось в пределах соответственно 16,0-17,4 и 17,4-18,9. Среднему за три года урожаю (44,0-46,0 ц/га), выращенному по экстенсивной технологии, соответствовало среднее отношение содержание азота к сере (16,5-16,9). При выращивании пшеницы по экологически допустимой и интенсивной технологиям урожайность возрастала до 67,1-76,4 ц/га, при этом накопление азота в зерне шло более интенсивно, чем серы, о чём свидетельствует соотношение N/S (17,8-18,3). Следовательно, нарушение азотно-серного баланса в метаболизме растения наступало при урожае зерна свыше 40-45 ц/га, когда растения испытывали дефицит серы.

Поскольку урожайность зерна озимой пшеницы в значительной мере зависит от уровня минерального питания, то необходимо было выяснить тесноту связи урожайности с содержанием в почве минеральной и подвижной форм серы (табл. 55).

Результаты корреляционного анализа показали, что при возделывании

Таблица 55. Влияние интенсификации технологий на корреляционную связь урожайности зерна озимой пшеницы с содержанием минеральной и подвижной серы в чернозёме выщелоченном, слой 0-40см (2004-2006г.г.)

Технологии возделывания (ABC)	Коэффициенты корреляции (числитель) и детерминации (знаменатель, %)*		
	r_{xy}	r_{zy}	r_{xz}
Экстенсивная (000)	<u>0,34</u> 11,6	<u>0,39</u> 15,2	<u>0,59</u> 34,8
Интенсивная (333)	<u>0,02</u> 0,04	<u>0,25</u> 6,25	<u>0,38</u> 14,4

*x – урожайность зерна озимой пшеницы, ц/га; y – содержание минеральной серы, мг на 100г почвы; z – количество подвижной серы, мг на 100г почвы ($F_{\phi} = 5,26 > F_{05} = 5,14$).

пшеницы на вариантах с экстенсивной технологией коррелятивная связь между урожайностью зерна и формами серы была средней, причём она более тесная с содержанием подвижной серы ($r_{xz} = 0,59$), чем с количеством минеральной формы ($r_{xy} = 0,39$). Эта связь практически утрачивалась на вариантах с интенсивной технологией, когда используются большие нормы азотных удобрений и резко нарушается азотно-серный баланс. Более ранние исследования влияния различных приёмов выращивания озимой пшеницы (сорт Нота) на её качество показали, что доля влияния удобрений на содержание клейковины была значительно выше (28%), чем уровня плодородия почвы (3%) (Букреев, 2001). Статистическая обработка позволила выявить наличие тесной (0,89) связи между содержанием в зерне белка и клейковины. При выращивании озимой пшеницы на почвах с исходным уровнем плодородия без применения удобрений и средств защиты растений сила муки была минимальной (289 е.а.). По мере интенсификации технологии возделывания культуры величина этого показателя возрастала на 55-94 е.а. или на 19,0-32,5%. Уровень плодородия и удобрения положительно (доли влияния 15-16%) сказывались на физических свойствах теста, а применение средств защиты растений и интенсификация основной обработки почвы не

приводили к существенному изменению этого показателя (Букреев, 2001).

Результаты наших исследований показателей качества зерна озимой пшеницы (сорт Краснодарская-99) не установили значительных изменений качества клейковины по мере интенсификации технологий (табл. 56).

Таблица 56. Оценка существенности средних эффектов от воздействия приёмов выращивания на урожайность и качество зерна озимой пшеницы (2004-2006гг.)

Индекс технологии (ABC) и обработки почвы (D)	Урожайность, ц/га	Качество клейковины, ед. ИДК	Содержание белка в зерне, %	Содержание клейковины в муке, %	Хлебопекарная сила муки, е.а.	N S
Экстенсивная (000)	45,0	65,2	11,0	22,7	177,8	16,3
Беспестицидная (111)	59,0*	72,8*	12,5*	26,0*	200,3	17,6
Экологически – допустимая (222)	67,4*	70,6*	13,7*	27,8*	222,0*	18,0
Интенсивная (333)	76,2*	67,4	14,0*	28,9*	235,5*	18,2
Безотвальная (D ₁)	61,5	68,1	12,5	26,3	201,2	17,7
Рекомендуемая (D ₂)	61,6	69,0	12,6	26,4	203,8	17,6
Отвальная (D ₃)	62,6	69,1	12,6	26,3	221,5	17,5
НСР ₀₅ D	0,77-2,62	4,34	0,30	0,78	20,2	-
НСР ₀₅ ABC	0,89-1,51	4,99	0,35	0,90	23,4	-
НСР ₀₅ част.р	1,55-1,26	8,68	0,60	1,56	40,5	

*Существенные отклонения от варианта с экстенсивной технологией (000)

По фактору ABC на варианте с интенсивной технологией (333) уменьшение

составило 5,37 ед. ИДК (7,38% относительно 111) и 3,2 ед. ИДК или 4,4% относительно вариантов с экологически допустимой технологией (222). По фактору системы обработки почвы (D) достоверных различий в качестве клейковины не установлено. Следовательно, по мере интенсификации агроприёмов (урожайность зерна >45-50ц/га) качество клейковины практически не изменялось. Экологически допустимая (222) и интенсивная (333) технологии способствовали повышению хлебопекарной силы муки по сравнению с экстенсивной технологией (000), соответственно на 24,9 и 32,4%. Установлена тенденция увеличения этого показателя на варианте с отвальной и периодическим глубоким рыхлением системой обработки почвы (D₃).

Интенсификация технологий способствовала существенному повышению содержания клейковины в муке и белка в зерне. Увеличение этих показателей на вариантах с применением беспестицидной (111), экологически допустимой (222) и интенсивной (333) технологий возделывания составило, соответственно 15,0; 22,5; 27,3 и 13,6; 24,5; 27,3% относительно экстенсивной технологии. Системы обработки почвы практически не оказали никакого влияния на содержание этих компонентов.

Необходимо отметить тот факт, что существенные различия между экологически допустимой (222) и интенсивной (333) технологиями возделывания культуры по таким показателям, как содержание белка и клейковины, а также качество клейковины и хлебопекарная сила муки отсутствуют. Следовательно, чрезмерная интенсификация не оправдывает себя в получении высококачественной продукции. Одним из сдерживающих факторов формирования белка, клейковины в муке, а также ограничивающих хлебопекарную силу муки и качество клейковины, является нарушение азотно-серного баланса. Накопление серы существенно отстаёт от аккумуляции азота в зерновке на вариантах с максимальными дозами азотных удобрений. Этот факт подтверждается соотношением азота и серы в зерне пшеницы, о чём мы упоминали выше. Об этом же свидетельствует средняя корреляционная зависи-

мость содержания серы в зерне с количеством клейковины муки ($r = 0,52$), качеством клейковины ($r = 0,42$) и сильная - с содержанием белка ($r = 0,93$) и хлебопекарной силой муки ($r = 0,97$). Из этого следует, судя по коэффициентам детерминации, что доля участия серы в формировании количества и качества клейковины составляет соответственно 27 и 18%. А 86,5 и 94,1% изменчивости количества белка и хлебопекарной силы муки связано с изменчивостью содержания серы в зерновке (табл. 57). Примечательно, что с такими показателями, как качество клейковины и хлебопекарная сила муки коэффициенты корреляции содержания азота в зерне даже несколько меньше, чем серы: $r = 0,37$ и $r = 0,42$ соответственно.

Таблица 57. Показатели статистической обработки элементов качества зерна озимой пшеницы, 2004-2006гг. (n=12)

Сравниваемые показатели	Средняя арифметическая величина (в опыте)	Коэффициенты корреляции (r) с другими показателями содержания		Критерии существенности (t_d)
		серы	азота	
Содержание серы в зерне, %	0,125	–	0,93	8,02
Содержание азота в зерне, %	2,20	0,93	–	8,02
Хлебопекарная сила муки, е.а.	208,8	0,97	0,92	9,80-43,0
Содержание клейковины в муке, %	26,4	0,52	0,99	2,23-22,3
Качество клейковины, ед. ИДК	69,0	0,42	0,37	1,96-2,23

Таким образом, интенсификация технологий выращивания озимой пшеницы способствует увеличению содержания форм серы в чернозёме выщелоченном. Средний за 3года эффект действия технологий на содержание валовой, минеральной и подвижной серы в слое 0-40см чернозёма достоверен и по мере их интенсификации колеблется в пределах 5,7-15,4%; 15,3-31,0 и 27-38% относительно экстенсивной технологии.

Системы основной обработки почвы действуют на содержание форм серы нерегулярно и эффект их влияния не всегда существенный. Предпочти-

тельное отвальные обработки, создающие лучшие условия для аэрации почвы, минерализации органического вещества и поступления сульфатов в почвенный раствор. Средний за 3 года эффект действия отвальных (D_2, D_3) способов основной обработки почвы на увеличение содержания форм серы в слое 0-40 составил: минеральной - 4,81-11,06%, подвижной - 3,22-9,68% относительно безотвальной обработки.

Изучаемые технологии не обеспечивают растения озимой пшеницы оптимальным серным питанием: содержание подвижной серы в почве не превышает 0,26-0,36 мг на 100г.

Интенсификация технологий с внесением повышенных доз азотных удобрений способствует нарушению азотно-серного баланса, увеличивая отношение N/S в зерне озимой пшеницы от 16,3 (экстенсивная технология) до 18,2 (интенсивная технология).

Сера не лимитирует урожай зерна озимой пшеницы на чернозёмах выщелоченных, если он не превышает 45-50 ц/га. Дальнейшее увеличение урожая может ограничиваться дефицитом серного питания озимой пшеницы.

Корреляционная связь урожайности зерна озимой пшеницы, выращенной по экстенсивной технологии, с содержанием форм серы средняя: с содержанием подвижной серы она более тесная ($r_{xz}=0,59$), чем с минеральной ($r_{xy}=0,39$). При возделывании пшеницы по интенсивной технологии и нарушении азотно-серного баланса связь урожайности с содержанием сульфатов в почве утрачивается.

Установлена средняя корреляционная зависимость содержания серы в зерне с количеством клейковины муки ($r=0,52$), качеством клейковины ($r=0,42$) и сильная - с содержанием белка ($r=0,93$) и хлебопекарной силой муки ($r=0,97$).

Чрезмерная интенсификация технологий без применения сбалансированной системы удобрения не оправдывает себя в получении высококачественной продукции, о чём свидетельствует отсутствие достоверных различий в показателях качества зерна озимой пшеницы, возделываемой экологически

допустимой (222) и интенсивной (333) технологиями.

О необходимости проведения некорневых серных подкормок можно судить по величине ожидаемого урожая, которая определяется после выколашивания пшеницы по размерам колоса и числа колосьев на единице площади. На чернозёмах выщелоченных некорневая подкормка эффективна, когда ожидаемый урожай зерна превышает 45-50 ц/га, она явно необходима при урожае свыше 60 ц/га. Если планируется получение урожая зерна свыше 70 ц/га, то серу, кроме того, необходимо вносить в почву с основными удобрениями.

Таким образом, чернозёмы выщелоченные Северо-Западного Предкавказья отличаются сравнительно низким содержанием форм серы. Особенно мало в них минеральной и подвижной серы. Количество доступного растениям сульфата, как правило, оценивается не выше среднего, а чаще низкого уровня, что создаёт предпосылки проявления дефицита серы. Чрезмерная интенсификация технологий не обеспечивает растения озимой пшеницы оптимальным серным питанием, способствует нарушению азотно-серного баланса, увеличивая отношение N/S в зерне озимой пшеницы, и не оправдывает себя в получении высококачественной продукции. Оптимальное соотношение N/S является необходимым условием формирования высоко качества зерна озимой пшеницы, особенно при её возделывании интенсивными технологиями.

4.5.3. Баланс серы при различных технологиях возделывания озимой пшеницы в зернотравяно-пропашном севообороте

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур и плодородие почв тесно связаны с сознательным регулированием круговорота веществ. Баланс питательных веществ в земледелии это количественный учёт в круговороте химических элементов в системе почва↔растение за определённый промежуток времени, выражающийся в кг/га или тоннах на суммарную площадь. Он подразделяется на биологический, хозяйственный и внешне хозяй-

ственный. Хозяйственный баланс учитывает вынос питательных элементов единицей урожая основной и побочной продукции и их возврат в почву с органическими и минеральными удобрениями. Такой баланс определяется с целью выявления экономической и экологической оценки ведения сельского хозяйства и применяемых систем агротехнических мероприятий в хозяйстве, районе, крае. Расчёты хозяйственного баланса под отдельными культурами позволяют установить обеспеченность их питательными веществами, помогают составить более обоснованные системы удобрений с учётом биологических особенностей растений. В зонах интенсивной химизации избыточное содержание в почве азота, фосфора и калия приводит не только к неэффективному использованию удобрений, но и опосредованно сказывается на балансе всех биогенных элементов.

При программировании урожая озимой пшеницы необходимо учитывать не только содержание элементов питания в почве, но и потери их с эвапотранспирацией. При урожае в 46 ц/га потери сульфатов с парами воды из пшеницы составляют 3 кг/га. Мигрирующие при транспирации анионы располагаются в следующем убывающем порядке: $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{H}_2\text{PO}_4^-$ (Гехаев, 2006). Баланс питательных веществ в земледелии необходимо знать прежде всего для определения обеспеченности урожаев элементами питания, поступающими с удобрениями. Некоторые авторы считают, что долю элемента, которая произвольно теряется из почвы, выпадает из сельскохозяйственного круговорота веществ, не принимает участия в формировании урожая и повышении плодородия почв, не следует включать в активные статьи баланса (Кулаковская, 1974).

Нами проведён расчёт баланса серы в 2004-2006 гг. под культурой озимой пшеницы на вариантах с применением технологий различной интенсивности (000, 111, 222, 333). С минеральными удобрениями сера в почву не вносилась (применялись аммиачная селитра, мочевины, диаммофос, хлористый калий). В годы с избыточным увлажнением атмосферные осадки приносят больше серы, чем в сухие. Известно также, что в местах, отдалённых

от городов, поступление серы с осадками не превышает на территории России 3,7-5,0 кг S на 1 га за год (Панников, 1977; Слуцкая, 1972). Столько же её уходит в атмосферу в виде сернистого газа при разложении растительных остатков (Томпсон, Трой, 1982). Поступление серы с пожнивными и корневыми остатками предшественника озимой пшеницы - подсолнечника колеблется в зависимости от интенсификации технологий возделывания от 0,83 до 1,00 кг/га. Однако они компенсируются потерями серы при выщелачивании из почвы (Эйсерт, Ачканов, 1987). Статья прихода складывается, таким образом, из серы, поступившей с внесением навоза в основном при создании уровней плодородия в начале ротации севооборота. Однако, следует учитывать, что только 35% серы, поступившей с навозом используется растением, причём только первые 3-4 года (Кулаковская, 1974; Эйсерт, Ачканов, 1987). Следовательно, эта статья распространяется только на культуры, выращиваемые в первой половине ротации севооборота. Таким образом, статья прихода в балансе серы под озимой пшеницей, выращиваемой в конце ротации севооборота, практически отсутствовала.

Средний за три года баланс на всех вариантах опыта был отрицательным, что объясняется увеличением урожая и выноса с ним серы (табл. 58). На вариантах с применением экстенсивной технологии баланс серы колебался в пределах минус 10,9 - минус 11,5, а на делянках с возделыванием пшеницы по интенсивной технологии он увеличился почти в два раза и составил минус 22,1 - минус 22,4 кг/га. Установлено, что при возделывании озимой пшеницы по экстенсивной и беспестицидной технологии разница между балансом и запасами подвижной серы в почве была положительной. В то же время отмечена явная тенденция недостатка серы на вариантах с применением экологически допустимой и интенсивной технологий, где разница показателей баланса с запасами подвижной серы в почве была устойчиво отрицательной.

Таким образом, изучаемые технологии, не предусматривающие внесение серных удобрений, создают отрицательный баланс серы при выращивании озимой пшеницы в конце ротации 11-польного зернотравяно-пропаш-

Таблица 58. Баланс серы в посевах озимой пшеницы, возделываемой на чернозёме выщелоченном различными технологиями, кг/га (2004-2006гг.)*

Индекс технологий (ABCD)	Запасы серы в слое 0-40см		Вынос серы с урожаем		Потери с транспирацией	Баланс ±	Разница с запасами подвижной серы (±)
	минеральной	подвижной	зерна	соломы			
0001	100,5	13,2	4,97	4,89	0,96	-10,8	+2,4
1111	111,5	17,6	7,14	6,90	1,32	-15,4	+2,2
2221	107,7	16,0	8,58	8,63	1,46	-18,7	-2,7
3331	112,0	16,8	10,7	9,35	1,66	-21,7	-4,9
0002	98,3	14,5	5,17	4,79	0,98	-10,9	+3,6
1112	114,3	17,6	7,08	7,17	1,28	-15,5	+2,1
2222	111,9	17,3	8,77	8,49	1,46	-18,7	-1,4
3332	114,9	19,5	10,6	9,15	1,65	-21,4	-1,9
0003	101,4	13,2	5,35	4,88	1,00	-11,2	+2,0
1113	117,3	16,8	7,45	7,51	1,30	-16,3	+0,5
2223	120,3	17,0	8,77	8,65	1,48	-18,9	-1,9
3333	127,6	17,2	10,1	9,21	1,66	-21,0	-3,8

*Баланс серы после уборки предшественника (подсолнечника) составлял в среднем по вариантам -4,3...-5,0кг/га

ного севооборота. Повышение интенсификации технологии выращивания озимой пшеницы способствовало увеличению отрицательного баланса серы в её посевах почти в два раза. Учитывая, что баланс серы после уборки предшественника (подсолнечника) составлял в среднем по вариантам минус 4,3 - минус 5,0кг/га, можно говорить о дефиците элемента под озимой пшеницей, возделываемой как экстенсивными, так и интенсивными технологиями.

Для составления систем удобрений, сбалансированных по элементам питания, особый интерес представляют расчёты баланса элемента в отдельных севооборотах. Они позволяют свести до минимума потери элементов питания из сельскохозяйственного круговорота, помогают составить более обоснованные системы удобрений с учётом биологических особенностей растений и их чередования в севообороте.

Нами проведены расчёты элементов баланса серы под культурами севооборота за его ротацию на вариантах с применением различных технологий возделывания (табл. 59). При этом использовались полученные в годы наших исследований урожайности культур севооборота с использованием

Таблица 59. Элементы баланса серы в севообороте в зависимости от технологий возделывания культур

Индекс технологий (АВС)	Средняя урожайность основной продукции культур севооборота**	Количество пожнивных, поукосных и корневых остатков	Вынос серы с урожаем основной продукции	Поступление серы в почву с пожнивными, поукосными и корневыми остатками
Озимая пшеница*				
000	45,0	51,1	11,0	5,26
111	61,8	70,2	15,7	7,23
222	67,4	76,6	18,8	7,89
333	76,2	86,6	21,4	8,92
Люцерна с учётом подсева ячменя в 1-й год вегетации (средние за 3 года)				
000	79,6	124,7	33,2	43,6
002	76,7	120,2	33,1	42,1
020	99,0	155,1	43,3	54,3
022	100,9	158,1	43,5	55,3
Сахарная свёкла				
000	385	42,9	34,1	22,3
111	464	51,7	41,1	26,9
222	463	51,6	41,0	26,9
333	478	53,3	42,3	27,7
Кукуруза на зерно				
000	37,9	50,8	6,04	9,14
111	43,3	58,0	6,93	10,44
222	51,4	68,9	8,22	12,40
333	53,9	72,2	8,62	13,00
Подсолнечник				
000	19,7	11,7	5,12	0,83
111	21,9	12,6	5,69	0,92
222	23,6	13,3	6,14	1,00
333	23,1	13,1	6,01	0,97

*Вынос серы с урожаем зерна и соломы рассчитывали с учётом потерь при эвапотранспирации [70].

**Урожайность средняя, независимо от способов основной обработки почвы.

данных по сахарной свёкле – Кравцова А.М. (2001), по люцерне, кукурузе и подсолнечнику – Малюги Н.Г. (2005). Количество пожнивных и поукосных

остатков определяли расчётным методом по урожаю основной продукции (Шапошникова, 2004). Содержание серы, отчуждаемой с урожаем, использовали по справочной литературе (Кулаковская, 1974; Куркаев, Шеуджен, 2000; Эйсерт, Ачканов, 1987). Данные по озимой пшенице, которые использовались в расчёте баланса серы, были получены нами в ходе исследований.

Наибольшее среднее количество серы поступало на одно поле севооборота с послеуборочными остатками люцерны (42,1-55,3кг/га) и сахарной свёклы (22,3-27,7кг/га), а наименьшее – с пожнивными остатками подсолнечника (0,83-1,00кг/га), озимой пшеницы (5,26-8,92кг/га) и кукурузы на зерно (9,14-13,00кг/га). По мере интенсификации технологий и роста урожайности сельскохозяйственных культур в севообороте количество серы, поступающей с послеуборочными остатками, возрастало в 1,2-2,0 раза по сравнению с вариантами, где применялась экстенсивная технология.

В среднем по севообороту баланс серы на одном поле за ротацию был положительным (табл. 60).

Таблица 60. Баланс серы в среднем за ротацию на одно поле 11-польного зернотравяно-пропашного севооборота, кг/га в год

Индекс технологий	Внесено с навозом	Поступило в почву с послеуборочными остатками	Вынос с урожаем основной продукции	Баланс в среднем за ротацию на одно поле севооборота (±)	Разница с запасами подвижной серы (±)
000	без удобрений	17,2	13,1	4,1	-9,50
111	3,1	17,7	16,4	4,4	-12,9
222	6,1	22,1	19,1	9,1	-7,70
333	9,7	22,9	20,7	11,9	-5,90
Средние по опыту	4,72	20,0	17,3	7,38	-9,00

На вариантах с возделыванием культур по экстенсивной и бесpestицидной технологиям он составил 4,1-4,4кг/га. Применение экологически допустимой и интенсивной технологий способствовало увеличению положительного баланса в 2 раза (9,1-11,9кг/га). Однако, разница баланса с запасами подвиж-

ной серы в почве была отрицательной и в зависимости от интенсификации технологий колебалась от минус 12,9 (000) до минус 5,9 кг/га в год (333).

Таким образом, технологии выращивания сельскохозяйственных культур различной интенсивности с использованием традиционных на Кубани минеральных удобрений (аммиачная селитра, мочевины, диаммофос, хлористый калий) предусматривали поступление серы в почву, в основном, с органическими удобрениями и послеуборочными остатками. Статьи прихода серного баланса компенсировали вынос элемента с урожаем культур в среднем расчёте на одно поле севооборота. Однако, при рассмотрении элементов баланса отдельно по культурам 11-польного зернотравяно-пропашного севооборота установлено явное превышение выноса серы над её поступлением у озимой пшеницы и, особенно, подсолнечника. При размещении пшеницы по подсолнечнику главная зерновая культура испытывала дефицит серы и нуждалась в дополнительном её внесении. После размещения озимой пшеницы по сахарной свёкле и, особенно, по люцерне необходимость в дополнительном применении серных удобрений утрачивалась.

При соизмерении баланса серы со средними запасами её подвижной формы в почве установлено, что в среднем на одном поле севооборота дефицит почвенной серы составил при применении экстенсивной и беспестицидной технологий минус 9,5 - минус 12,9 кг/га. Экологизация и интенсификация технологий способствовала уменьшению дефицита почвенной серы почти вдвое.

4.6. Целесообразность применения серных удобрений при возделывании озимой пшеницы на чернозёме выщелоченном

Наличие отрицательного баланса серы в агроэкосистеме свидетельствует о целесообразности разработки новых подходов к практике применения систем удобрений. Приемлемы и жизненно необходимы только научно обоснованные решения вопросов биологизации и экологизации технологий возделывания полевых культур. Интенсивные технологии предусматривают примене-

ние возрастающих доз азотных удобрений. Это повышает урожай озимой пшеницы до определённого уровня, за пределами которого дальнейшее увеличение количества туков не влияет на урожай или даже снижает его. Одной из причин снижения урожая является недостаточная обеспеченность растений серой. В то же время, с повышением урожаев становится актуальной проблема качества зерна. Не умаляя значения селекционных работ, направленных на повышение содержания белка в зерне, нельзя отказываться от вклада в эту проблему возможностей минерального питания, его регулирования.

Известно, что отношение массы колоса (с зерном) к массе стебля (без колоса) называется аттрактивной активностью колоса, которая отражает относительную эффективность транспортных потоков пластических веществ к формирующимся зерновкам. В период налива зерна соломина служит основным проводником потоков ассимилятов и источником вторичных метаболитов. Низкие температуры и высокие дозы азотных удобрений снижают аттрактивную активность и задерживают отток пластических веществ из стебля в колос. Эталонной величины отношения сухой массы/стебель достигало у растений, удобренных серой. Под её влиянием возрастали темп и продолжительность поглощения экзогенного азота в период налива зерна, повышалось его общее количество в растении, улучшались реутилизация эндогенного и усвоение вновь поглощённого азота. Сера способствовала более полной реализации компенсаторного потенциала продукционного процесса пшеницы, повышала урожай зерна и улучшала его качество (Маслова, 1993; Маслова, Якушева, 2004).

Важнейшей проблемой рационального применения минеральных удобрений является повышение коэффициента использования элементов питания и снижения их потерь – источника загрязнения природной среды. Больше всего проблем создают азотные удобрения. Использование адекватных количеств серы позволяет уравновесить вносимые дозы азота и повысить коэффициент использования его из удобрений.

4.6.1. Влияние способов применения серных удобрений на содержание форм серы, физико-химические свойства почвы и продуктивность озимой пшеницы (вегетационный опыт)

Вегетационный опыт №2. Пшеница выносит с урожаем сравнительно немного серы (7-15кг на га), поэтому не является требовательной к этому элементу культурой. Однако значение серных удобрений определяется не столько количественным повышением урожайности пшеницы, сколько качеством её клейковинного белка. С повышением урожаев проблема качества зерна становится весьма актуальной. С начала 90-х годов в хозяйствах Краснодарского края применяются различные технологии возделывания полевых культур. Системы удобрения озимой пшеницы имеют широкий диапазон доз азота, включая дозы, которые превосходят необходимые для увеличения урожая. В таких ситуациях возникает дисбаланс в соотношении N:S в зерне. Применение серных удобрений способно устранить этот недостаток в питании пшеницы и повысить качество зерна основной продовольственной культуры Кубани.

Целью наших исследований было изучение в условиях вегетационного опыта действия минеральных удобрений на содержание форм серы и свойства чернозёма выщелоченного, а также урожай озимой пшеницы (сорт Краснодарская-99), элементы его структуры и качества. Схема трёхфакторного опыта $2 \times 2 \times 2$ включала две градации (0 и 1) по каждому фактору: $N_{90}P_{60}K_{60}$ при посеве (фактор А), элементарная сера (S_{50}) при посеве (фактор В) и сульфатная (0, 5% S) некорневая подкормка (фактор С). В качестве удобрений использовались аммофос, аммиачная селитра, калий хлористый, элементарная сера. В качестве некорневой сульфатной подкормки использовался раствор химически чистого сульфата аммония (0,5% по сере). Опрыскивание проводили спустя две недели после начала цветения (появление пыльников на 50% колосьев главных побегов пшеницы). Растения на контрольных вариантах опрыскивали нитратом аммония, выравнивая дозу азота.

Некорневые сульфатные подкормки на неудобренном фоне не оказали существенного влияния на показатели количества зерна в колосе и массы зерна с одного колоса (табл. 61).

Таблица 61. Влияние минеральных удобрений на урожай озимой пшеницы, элементы его структуры и качества (вегетационный опыт №2)*

Варианты опыта и факторы АВС	Количество зёрен в колосе, шт.	Масса зёрен одного колоса, г	Урожай зерна, г/сосуд	Содержание в зерне пшеницы		N/S
				азота	серы	
				%		
1.Контроль – 0 0 0	23,7	0,72	7,87	1,86	0,124	15,0
2.S ₁₀	<u>24,1</u> 0,4	<u>0,66</u> - 0,06	<u>7,11</u> - 0,76	<u>1,78</u> - 0,08	<u>0,137</u> 0,013	13,0
3.S ₆₀	<u>24,9</u> 1,2	<u>0,83</u> 0,11	<u>9,04</u> 1,17	<u>1,81</u> - 0,05	<u>0,138</u> 0,014	13,1
4.S ₆₀ +S ₁₀	<u>25,0</u> 1,3	<u>0,80</u> 0,08	<u>9,30</u> 1,43	<u>2,17</u> 0,31	<u>0,154</u> 0,030	14,1
5.N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	<u>27,8</u> 4,1	<u>0,79</u> 0,07	<u>12,79</u> 4,92	<u>2,12</u> 0,26	<u>0,119</u> - 0,05	17,8
6.N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + S ₁₀	<u>32,9</u> 9,2	<u>1,08</u> 0,36	<u>17,61</u> 9,74	<u>2,05</u> 0,19	<u>0,135</u> 0,011	15,2
7.N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ S ₆₀	<u>27,9</u> 4,2	<u>1,00</u> 0,28	<u>16,99</u> 9,12	<u>2,10</u> 0,24	<u>0,138</u> 0,014	15,1
8.N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ S ₆₀ +S ₁₀	<u>32,8</u> 9,1	<u>1,20</u> 0,48	<u>19,98</u> 12,11	<u>2,32</u> 0,46	<u>0,160</u> 0,036	14,5
НСР ₀₅ для: А, В, С; АВ, АС, ВС, АВС; частных различий	0,93 1,32 1,87	0,03 0,05 0,07	0,52 0,73 1,03	0,09 0,13 0,18	0,002 0,003 0,005	Не опр.

* В знаменателе отклонение показателя опытных вариантов от контрольного

Вероятно, позднее вмешательство в метаболизм растений серы подкормок не могло повлиять на количественные показатели формирования генеративных органов. Однако, внесение в почву серы на ранних этапах развития пшеницы увеличивало число и массу зёрен колоса на 5,1 и 15,3% относительно контрольного варианта, а в сочетании этих факторов (S₆₀ + S₁₀) - на 5,5 и 11,1%. На фоне полного минерального питания действие серных удобрений на чис-

ло зёрен и их массу в колосе усиливалось. Причём, действие некорневой подкормки в сочетании с NPK способствовало увеличению этих показателей в большей степени (38,8-50,0%), чем стартовые дозы серы (17,7 и 38,9% относительно контроля). По всей видимости, окисление элементарной серы, внесенной при посеве, в условиях относительно низких осеннее - зимних температур проходило слабо. Некорневые подкормки были своевременны и эффективнее действовали, чем стартовые дозы серного удобрения, существенно влияя на налив зерна.

В соответствии с изменениями исследуемых элементов структуры урожая под действием серных удобрений изменялась и урожайность зерна озимой пшеницы. На неудобренном фоне сульфатная подкормка была неэффективна, а сочетание её со стартовой дозой серного удобрения обеспечило прибавку урожая зерна на 18,2% относительно контрольного варианта. Применение серы при посеве на этом фоне также было эффективным (14,9%). Фоновое минеральное питание (NPK) способствовало увеличению урожая зерна на 62,5%, а его сочетание с подкормкой и стартовой дозой серы - соответственно на 123,8 и 115,5% по сравнению с контролем. Более результативным по урожайности был вариант, в котором сочеталось стартовое внесение серы с поздней подкормкой. Сера, внесённая в период вегетации, оказалась доступнее растениям по сравнению с серой внесённой при посеве. Наибольшая урожайность зерна пшеницы получена при использовании сочетания трёх факторов (NPK+ S₆₀+S₁₀). Её увеличение относительно контроля составило 53,9%.

В гумусе почвы соотношение азота к сере более узкое (8-10), чем требуется растениям (15-17), поэтому при его минерализации образуется как бы некоторый избыток серы по отношению к обеспеченности азотом. Если азотные удобрения применяют в небольших дозах, то растениям для нормального метаболизма достаточно почвенной серы (Маслова, 1993). В нашем опыте наименьшее содержание серы в зерне озимой пшеницы установлено на вариантах без применения серных препаратов. Использование одних только сер-

ных удобрений способствовало накоплению серы в зерне на 10,5-11,3% больше, чем на контрольном варианте, однако содержание азота при этом существенно не изменялось. Применение стартовой дозы серы в сочетании с подкормкой на неудобренном фоне повышало содержание азота и серы в зерне соответственно на 16,7 и 24,2%, т.е. уровень накопления серы в 1,5 раза превышал количество азота. По литературным данным пшеница, выращенная на чернозёме выщелоченном и серой лесной почве, содержала в зерне 0,121-0,124, а в соломе – 0,095-0,105% серы. М. Кемпфер и Е. Цеглер приводят для пшеницы, выращенной во Франции содержание серы в соломе 0,09, в зерне – 0,17% (Маслова, 1993).

Применение фонового удобрения без серы повышало содержание азота в зерне пшеницы на 14%, но количество серы при этом было ниже, чем на контроле. При внесении повышенных доз азотных удобрений баланс между двумя элементами нарушался, о чём свидетельствует отношение N/S (17,8). Выравнивание уровней накопления азота и серы начало происходить при использовании серных удобрений в сочетании с NPK: увеличение их содержания составило соответственно 10,2-12,9 и 8,9-11,3% относительно контрольного варианта.

Таким образом, сера хуже, чем азот, повторно используется в вегетативных органах пшеницы в фазу репродуктивного развития. При обильной обеспеченности растений азотом они дольше остаются «молодыми», и значительно бóльшие количества серы задерживаются в белках вегетативных органов. Это способствует усилению дефицита серы в питании пшеницы.

Физико – химические свойства отражают состояние почвенно – поглощающего комплекса (ППК), влияя на содержание элементов питания, особенно биогенных, и на пищевой режим черноземов в целом. Они зависят от содержания гумуса, его качества, а также минералогического и гранулометрического состава почв.

Результаты изучения физико-химических свойств чернозёма выщелоченного в условиях вегетационного опыта показали, что отдельное применение

серных удобрений без основного минерального питания (NPK) не оказывало на них отрицательного влияния (табл. 62).

Таблица 62. Влияние минеральных удобрений на физико-химические свойства чернозёма выщелоченного (вегетационный опыт №2)

Варианты опыта (факторы ABC)	Сумма обменных оснований	Гидролитическая кислотность	Ёмкость катионного обмена	pH	
	м. – экв. на 100г почвы			H ₂ O	KCl
1.Контроль (0 0 0)	38,9	2,32	41,2	6,85	5,86
2.S ₁₀	39,7	2,43	42,1	6,68	5,84
3.S ₆₀	40,1	2,30	42,4	6,90	5,74
4.S ₆₀ +S ₁₀	39,6	2,40	42,0	6,84	5,74
5.N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	38,2	3,48	41,7	6,84	5,71
6.N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ +S ₁₀	38,4	3,44	41,8	6,85	5,84
7.N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ S ₆₀	38,6	3,53	42,1	6,85	5,78
8.N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ S ₆₀ +S ₁₀	38,6	3,58	42,2	6,85	5,74
НСР ₀₅ для: А, В, С; АВ, АС, ВС, АВС; частных различий	1,03 1,45 2,06	0,17 0,24 0,34	Не опр.	F _{φ<} F ₀₅	F _{φ<} F ₀₅

Применение NPK, S₆₀ и S₁₀ как отдельно, так и в сочетании друг с другом не сказалось существенно на величинах суммы обменных оснований, активной и обменной кислотности. Из трёх изучаемых факторов установлено существенное влияние на величину гидролитической кислотности лишь NPK. Гидролитическая кислотность – это начальная форма кислотности в почве, которая возникает в самом начале обеднения почвы основаниями. Она обусловлена менее подвижным водородным ионом, который вытесняется и переходит в почвенный раствор в обмен на катион гидролитически щелочной соли. Такие соли вносили в почву с основным минеральным удобрением, что спо-

способствовало увеличению этого показателя в условиях вегетационного опыта на 50% относительно контроля. Применение NPK в сочетании с элементарной серой (S_{60}) повышало величину гидролитической кислотности на 52,2%, а совместное использование всех изучаемых в опыте факторов - на 54,3%.

Следовательно, на чернозёме выщелоченном подкисляющее воздействие в условиях вегетационного опыта оказывали основные минеральные удобрения. Известно, что аммиачная селитра, мочевина и другие удобрения по окисляющему действию на единицу азота приравниваются к аммиаку. Внешение сульфата аммония вызывает в два раза большее подкисление. Механизм подкисления основан на обменном поглощении катиона аммония корнями растений и выделении в ризосферу иона водорода, а также особенностями химических свойств данного удобрения (Панников, Минеев, 1977; Томпсон, Трой, 1982).

Нашими исследованиями не установлены достоверные различия в содержании валовой серы по вариантам опыта (табл. 63). Применение удобрений увеличивало урожайность зерна озимой пшеницы, а вместе с ним и вынос подвижных сульфатов с урожаем, особенно на вариантах с использованием NPK. Отдельное действие изучаемых факторов реализовалось в существенном снижении содержания минеральной подвижной серы в чернозёме к уборке урожая пшеницы.

Отрицательные эффекты от применения NPK составили для минеральной серы минус 0,19 мг на 100г почвы, а для подвижной – минус 0,18 мг на 100г почвы. В вегетационных сосудах минерализация органического вещества, как правило, идёт интенсивнее, чем в поле, чему способствуют и минеральные удобрения.

Таким образом, результаты вегетационного опыта подтвердили, что потребность в серных удобрениях возникает у озимой пшеницы преимущественно на фоне высокой обеспеченности элементами питания и, прежде всего, азотом.

Таблица 63. Действие минеральных удобрений на содержание форм серы в чернозёме выщелоченном при выращивании озимой пшеницы (вегетационный опыт №2)

Варианты опыта (факторы АВС)	Сера					
	валовая	минеральная	подвижная	органическая	минеральная	подвижная, % от минеральной
	мг на 100г почвы			% от валовой		
1.Контроль (0 0 0)	34,2	2,21	0,42	93,5	6,47	19,0
2.S ₁₀	32,3	2,18	0,43	93,2	6,76	19,7
3.S ₆₀	33,8	2,20	0,41	93,5	6,51	18,6
4.S ₆₀ +S ₁₀	34,5	2,19	0,40	93,6	6,35	18,3
5.N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	34,7	2,15	0,28	93,8	6,20	13,0
6.N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ +S ₁₀	35,0	1,99	0,26	94,3	5,68	13,1
7.N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ S ₆₀	35,9	1,97	0,22	94,5	5,49	11,2
8.N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ S ₆₀ +S ₁₀	35,7	1,90	0,19	94,7	5,32	10,0
НСР ₀₅ для: А, В, С; АВ, АС, ВС, АВС; частных различий	F _ф < F ₀₅	0,10 0,14 0,20	0,005 0,008 0,011			

При низкой обеспеченности почвенными сульфатами эффективно стартовое внесение элементарной серы (S₆₀), которое обеспечивает увеличение числа зёрен в колосе и их массу, особенно на фоне N₉₀P₆₀K₆₀, на 5,1 и 15,3% относительно контроля. Применение одной серной некорневой подкормки неэффективно.

Наибольший урожай зерна озимой пшеницы обеспечивало применение полного минерального питания в сочетании с некорневой сульфатной

подкормкой ($N_{90}P_{60}K_{60}S_{60} + S_{10}$), когда прибавка составила 53,9% относительно контроля.

Серные удобрения увеличивают накопление серы в зерне пшеницы и способствуют оптимизации азотно-серного баланса в метаболизме растения на фоне высокого азотного питания.

Содержание минеральной и, особенно, подвижной серы в почве существенно снижалось к уборке вариантов с наибольшим урожаем, при неизменном количестве валовой серы. Это обусловлено её частичным переходом в резервную форму.

На чернозёме выщелоченном основное подкисляющее воздействие оказывали минеральные удобрения, особенно аммиачная селитра. Гидролитическая кислотность в условиях вегетационного опыта увеличивалась к концу вегетации на 50% от исходной величины. Испытываемая доза стартового внесения элементарной серы не оказывала подкисления почвы, но в сочетании с полным минеральным удобрением усиливала его (52,2% относительно контроля).

4.6.2. Действие серных удобрений на урожайность и элементы качества озимой пшеницы, возделываемой различными технологиями

Одним из способов более быстрого обеспечения растений элементами питания, по сравнению с основным удобрением, является некорневая подкормка. В период налива зерна в полевых условиях функционирование корневой системы ослаблено. Обеспечение растения элементами питания с помощью опрыскивания в этот момент является единственно возможным способом подкормки (Маслова, 1993). Для достижения максимального успеха применения некорневых подкормок серой необходимо решить несколько задач: подобрать легко проникающие в лист растворимые серосодержащие соединения и их концентрацию, а также определить оптимальные сроки опрыскивания. Наиболее эффективны подкормки, приходящиеся на самое начало дефицита. Некорневая подкормка пшеницы мочевиной в период налива зерна

способствует оттоку серы из вегетативных органов в зерно. Содержание серы в зерне пшеницы можно повысить до уровня, превышающего критический (0,12%), с помощью поздних некорневых подкормок мочевиной или сульфатом при концентрации серы в листьях во время подкормки не менее 0,2% (Маслова, 1993; Дуденко, 1998).

В нашей работе рассматривается возможность повышения эффективности применения некорневых подкормок сульфатами на фоне различных элементов агрономических технологий для получения качественной продукции, с учётом уровня обеспеченности чернозёмов формами серы.

В схеме мелкоделяночного полевого опыта №5 принята индексация вариантов, где первая цифра – уровень плодородия почвы – А (0, 1, 2, 3), вторая – норма удобрения – В (0, 1, 2, 3) третья – система защиты растений – С (0, 1, 2, 3) и четвертая – некорневая подкормка серой – D (0- без подкормки, 1- с подкормкой). Основная часть наблюдений, учетов и анализов в наших исследованиях проводилась на следующих технологиях – 000, 111, 222, 333 на фоне рекомендуемого способа основной обработки почвы. При описании результатов технологии условно названы: 000 – экстенсивная, 111 – беспестицидная, 222 – экологически допустимая, 333 – интенсивная (см. подраздел 4.5.1.).

Положительное влияние интенсификации технологий на урожайность зерна совместно с применением серных подкормок, вызвало необходимость вычленения эффекта действия технологий и серных подкормок в отдельности (табл. 64).

Результаты изучения эффективности действия технологий выращивания озимой пшеницы и серных подкормок на элементы структуры урожая позволили установить существенное увеличение массы зерна с одного колоса. Средний эффект от действия интенсификации технологий на величину массы зерна с 1 колоса, независимо от применения серных подкормок, был достоверен по существу только на вариантах с применением интенсивной технологии (333), где он варьировал от 7,14 (111) до 25,9% (333) относительно

Таблица 64. Оценка существенности средних эффектов от действия приёмов возделывания и серных удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы и элементы её структуры

Приёмы возделывания (ABC) и подкормки (D)	2004г.			2005г.			2006г.			Средние за 3 года		
	Урожайность, Г/М ²	Масса, г		Урожайность, Г/М ²	Масса, г		Урожайность, Г/М ²	Масса, г		Урожайность, Г/М ²	Масса, г	
		зёрна с 1 колоса	1000 зёрен		зёрна с 1 колоса	1000 зёрен		зёрна с 1 колоса	1000 зёрен			
000	440,0	1,07	34,7	464,0	1,04	35,2	454,8	1,25	39,7	452,9	1,12	36,5
111	461,0	1,04	34,6	505,0	1,21	36,6	551,2	1,35	39,8	505,7	1,20	37,0
222	494,5	1,02	33,8	623,2	1,25	38,5	612,2	1,30	40,7	576,6	1,19	37,7
333	740,5	1,29	40,7	744,4	1,39	41,6	685,8	1,55	43,1	723,6	1,41	41,8
D ₀	516,0	0,92	35,3	575,8	1,16	37,2	546,5	1,32	39,9	546,1	1,13	37,5
D ₁	552,0	1,29	36,6	592,4	1,29	38,8	605,5	1,41	41,7	583,3	1,33	39,0
НСР ₀₅ (ABC)	21,3	0,10	2,24	34,2	0,23	2,92	67,3	0,26	0,57	-	-	-
НСР ₀₅ (D)	15,1	0,07	1,58	24,2	0,16	2,07	47,6	0,18	0,40	-	-	-
НСР ₀₅ (част.р.)	30,2	0,14	3,17	48,3	0,32	4,14	95,1	0,37	0,80	-	-	-

контроля. Эффект действия серных удобрений на этот же элемент структуры урожая, независимо от интенсификации технологий, был достоверен только в 2004 году. В среднем за три года он составил 17,7% относительно вариантов без применения серных подкормок.

Масса 1000 зёрен является важным элементом структуры урожая озимой пшеницы, который активно реагирует на изменения технологий её возделывания и применение серных некорневых подкормок. В среднем за три года интенсификация технологий способствовала увеличению массы 1000 зёрен от 1,37 до 14,5% относительно варианта с экстенсивной технологией (000). Эффект от действия серных удобрений на величину этого же элемента структуры урожая был достоверен только в 2006 году. В среднем за три года он составил 4,0% относительно вариантов без применения серных подкормок.

Существенное увеличение массы зерна с одного колоса и массы 1000 зёрен в зависимости от применения различных технологий в сочетании с внекорневыми серными подкормками положительно сказалось на формировании урожайности зерна в целом. Эффект действия интенсификации технологий на величину урожайности зерна, независимо от применения серных подкормок, составил на вариантах 111, 222, 333 соответственно на 11,6; 27,3 и 59,8% относительно варианта с экстенсивной технологией (000). Существенное увеличение урожайности от действия серных удобрений было только в 2004 году. Средний эффект за три года составил 6,81% относительно вариантов без применения серных подкормок.

Таким образом, во все годы исследования минимальная урожайность зерна озимой пшеницы в опыте была получена при возделывании её с исходным уровнем плодородия и средств защиты растений. Применение серных подкормок значительно повышало эффективность интенсификации технологий выращивания пшеницы. В среднем за три года на вариантах 111, 222, 333 урожайность зерна увеличивалась у S-обеспеченных растений на 17,8-74,0%, а у S-дефицитных растений – на 14,3-58,0% по отношению к контролю. Имея надёжные диагностические критерии, позволяющие

обнаружить недостаток серы, можно в некоторой степени корректировать его негативное влияние на развитие растений с помощью серных подкормок и добиться влияния на определённые элементы продуктивности озимой пшеницы. Однако стабильного влияния на количественные показатели структуры урожая серные подкормки не оказывают. В связи с этим особый интерес вызывают вопросы изучения их влияния на элементы качества урожая озимой пшеницы.

Обильное обеспечение растения азотом продлевает период вегетативного развития и отдаляет процесс старения, тем самым, снижая отток веществ из вегетативных органов в репродуктивные. В зерно переходит не более 50% накопленной растением серы, тогда как азота – 70-80%. Следовательно, зерновка пшеницы в период налива нуждается в экзогенном сульфате, особенно на фоне низкого содержания подвижной серы, который мы наблюдали в чернозёме выщелоченном. Деятельность корней в этот период ослаблена из-за конкуренции за углеводы с надземной массой и недостаточный приток серы в колос может служить причиной снижения качества зерна (Маслова, Якушева, 2004).

Нашими исследованиями установлено, что содержание азота в зерне озимой пшеницы с интенсификацией технологий на вариантах с применением некорневой подкормки возрастало (табл. 65). В зерне S-дефицитных растений (варианты без серных подкормок) с интенсификацией технологий количество азота увеличивалось, но в меньшей степени. Торможение накопления азота в зерне S-дефицитных растений объясняется тем, что сера входит в состав ферредоксинов, белков – переносчиков электронов, участвующих в процессе восстановления нитратов. В связи с этим, недостаток серы тормозит восстановление и ассимиляцию азота растением (Маслова, 1993). Установлена тенденция уменьшения содержания азота в зерне тех растений, когда оно больше содержит серы и наоборот.

В результате вычленения эффектов действия изучаемых факторов в

Таблица 65. Оценка существенности средних эффектов от действия приёмов возделывания и серных удобрений на элементы качества зерна озимой пшеницы

Приёмы возделывания (ABC) и подкормки (D)	2004г.			2005г.			2006г.			Средние за 3 года		
	N	S	N/S	N	S	N/S	N	S	N/S	N	S	N/S
	%			%			%			%		
000	1,88	0,124	15,2	2,02	0,136	14,8	2,08	0,129	16,1	1,99	0,130	15,3
111	2,15	0,137	15,7	2,28	0,138	16,5	2,26	0,140	16,1	2,23	0,138	16,2
222	2,40	0,142	16,9	2,36	0,138	17,1	2,40	0,139	17,3	2,39	0,140	17,1
333	2,41	0,146	16,5	2,44	0,136	17,9	2,46	0,141	17,5	2,44	0,141	17,3
D ₀	2,18	0,122	17,9	2,17	0,125	17,4	2,20	0,123	17,9	2,18	0,123	17,7
D ₁	2,24	0,153	14,6	2,38	0,149	16,0	2,40	0,152	15,8	2,34	0,151	15,5
HCP ₀₅ (ABC)	0,06	0,028	-	0,06	0,009	-	0,04	0,008	-	-	-	-
HCP ₀₅ (D)	0,04	0,020	-	0,04	0,007	-	0,03	0,006	-	-	-	-
HCP ₀₅ (част.р.)	0,08	0,039	-	0,08	0,014	-	0,06	0,011	-	-	-	-

отдельности на показатели азотно-серного баланса в метаболизме пшеницы установлено, что в среднем за 3 года беспестицидная (111), экологически допустимая (222) и интенсивная (333) технологии обеспечили увеличение количества азота в зерновке на 12,1; 20,1 и 22,6%. Некорневые серные подкормки в меньшей мере, чем технологии, но достаточно стабильно также увеличивали содержание азота: в 2004г. – на 2,75%, в 2005г. – на 9,7% и в 2006г. – на 9,1% относительно вариантов без применения подкормок.

Исследуемые технологии оказали существенное воздействие на содержание серы в зерновке только в 2006г. В среднем за три года увеличение этого показателя составило, в зависимости от уровня интенсификации, 6,15-8,46%. Повышение количества серы в зерне пшеницы от применения некорневых подкормок было существенным все годы исследования и в среднем составило 22,8%.

Установлено, что по мере интенсификации технологий, независимо от применения серных некорневых подкормок, отношение N/S в зерне пшеницы увеличивалось от 15,3 (111) до 17,3 (333), то есть превышало критическое значение (Церлинг, 1990; Маслова, 1993). Подкормки сульфатом оптимизировали азотно-серный баланс в метаболизме растения и понижали отношение N/S до 15,5.

Таким образом, беспестицидная (111), экологически допустимая (222) и интенсивная (333) технологии обеспечили прибавку урожая зерна пшеницы на 11,6; 27,3 и 59,8% относительно экстенсивной технологии. Средний эффект от применения сульфатной некорневой подкормки был достоверным по существу только в 2004г. и в среднем за три года составил 8,81% относительно вариантов без подкормок.

Интенсификация технологий выращивания озимой пшеницы способствовала увеличению массы зерна одного колоса и массы 1000 зёрен, соответственно на 7,14-25,9 и 1,37-14,5%. Воздействие серных подкормок на элементы структуры урожая были не стабильными. Они влияли, в основном, на наполненность зерна – составляющий элемент структуры урожая, формирую-

щийся в период налива зерна.

Применение интенсивных технологий способствовало увеличению содержания азота в зерне на 12,1-22,6% относительно экстенсивной технологии и не оказало существенного влияния на содержание серы. Применение некорневых серных подкормок существенно повышало как содержание азота (на 7,3%), так и количество серы в зерновке (22,8%).

Чрезмерная интенсификация технологий, предусматривающих большие дозы азотных удобрений, вызывает нарушение азотно-серного баланса в метаболизме растений, при этом отношение N/S превышает критический предел и составляет 17,3-17,7.

Применение серных подкормок устраняло дисбаланс в содержании азота и серы в зерне пшеницы, создающийся интенсивными технологиями, приводя его к оптимальному соотношению (15,5) и повышая качество.

Положительное влияние серных подкормок на элементы качества зерна подтверждает наличие дефицита серного питания в посевах озимой пшеницы, особенно при её выращивании с использованием экологически допустимой и интенсивной технологий. Этот факт ещё раз убедительно подтверждает важную роль минерального питания в формировании качественного урожая и необходимость применения систем удобрений, сбалансированных по макро- и микроэлементам, включая серу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предлагаемой читателю монографии предпринята попытка обобщить результаты изучения серы в почвах лесных, лесостепных и степных ландшафтов Северо-Западного Кавказа. Поскольку степная зона региона представлена преимущественно чернозёмами, интенсивно подвергающимся агрогенному прессингу, то речь в этом случае шла, в основном, о почвах агроландшафтов. Главными причинами, вызвавшими необходимость проведения этой работы, явились пренебрежительное отношение к почве, как системе и всеобщий принижённый социальный статус почвоведения, который имеет место в нашем обществе последние десятилетия. Игнорирование в современном земледелии особенностей почвенного покрова различных природных зон и ландшафтов, недооценка большой пространственной разнородности почв и динамики их свойств по годам, шаблонный подход к севооборотам, удобрениям, мелиорациям до предела обострили проблему несвойственных ранее зональным почвам форм деградации. Степная зона с её уникальными чернозёмами быстро эволюционирует в опустыненные степи, теряя, прежде всего, энергетические ресурсы – органическое вещество. Вместе с ним претерпевают изменения главные по объёму поступления в почву биофилы – углерод, азот, фосфор, сера. Они входят в состав химических соединений, которые могут представлять опасность для экологических систем и здоровья человека. Поведение этих элементов в почвенных системах не позволяет контролировать отсутствие крупномасштабного учёта состояния почв и сезонных особенностей их функционирования.

Сера так же, как и азот играет исключительную роль в большом и малом круговоротах веществ нашей планеты. Она так же, как и азот, входит в состав белков и потребляется растением из почвы. Метаболизм этих элементов тесно взаимосвязан. При дефиците одного из них нарушается синтез белка — основа всех жизненных процессов. Между тем сере уделя-

лось неоправданно мало внимания по сравнению с азотом и нам хотелось частично восполнить этот пробел в региональном почвоведении.

Среднее содержание валовой серы в гумусово-аккумулятивных и пахотных горизонтах чернозёмов, серых лесостепных, серых лесных, дерново-карбонатных и бурых лесных почв Северо-Западного Кавказа составляет соответственно 23,1-39,3; 30,5-40,3; 30,6-52,8; 34,3-37,1 и 18,5-26,5 мг/100 г почвы. Между содержанием валовой серы и распределением гумуса в профиле исследуемых почв выявлена тесная коррелятивная зависимость, которая выражается линейными уравнениями регрессии. В профильном распределении валовой серы лесных почв, большое значение имеют элювиально-иллювиальные процессы.

Среднее содержание минеральной серы в гумусово-аккумулятивных и пахотных горизонтах чернозёмов составляет 1,5-3,3, серых лесостепных – 2,0-3,4, серых лесных – 1,7-3,2 дерново-карбонатных почв – 1,7-2,0, а бурых лесных почв – 1,0-1,5 мг/100 г почвы. Распределение минеральной серы по профилю дерново-карбонатных почв находится в тесной коррелятивной зависимости с показателями pH_{H_2O} и количеством свободных карбонатов кальция, а в бурых лесных почвах оно обусловлено содержанием валовой серы и не зависит от реакции среды и количества обменных оснований.

Наиболее активная часть минеральной серы представлена легкорастворимыми сульфатами, содержание которых в гумусово-аккумулятивных и пахотных горизонтах исследуемых почв составляет в среднем 0,27-1,77 мг/100г почвы. Основная часть серы исследуемых почв находится в недоступной растениям резервной форме, которая в гумусово-аккумулятивных и пахотных горизонтах составляет 91-96 % валовой. Содержание серы гумусовых кислот в дерново-карбонатных и бурых лесных почвах варьирует в пределах 51,8-67,7 и 78,1-90,1 % валовой, при этом отношение $S_{ГК} : S_{фк}$ для горизонтов А, В и С дерново-карбонатных почв равно 2,1; 1,4 и 1,0, а для горизонтов А₁, А₂, В и С бурых лесных почв – 0,6; 0,5; 0,6 и 0,7.

По содержанию и запасам серы в пахотных и гумусово-аккумулятивных горизонтах исследуемые почвы объединены в три группы.

В группу с низкой обеспеченностью подвижными сульфатами вошли чернозёмы (за исключением чернозёмов южных), бурые лесные слабонасыщенные освоенные и ненасыщенные почвы, а также оба подтипа дерново-карбонатных почв. Они содержат менее 0,6мг/100г почвы подвижной серы, валовой – 24,7-39,3мг/100г почвы, из которой 2,2-6,2% приходится на минеральную форму. Запасы минеральной и подвижной серы составляют 47,5 и 9,58кг/га. Сельскохозяйственные культуры, возделываемые на почвах этой группы, могут испытывать недостаток в серном питании в порядке возрастания их потребности к сере (зерновые – бобовые - крестоцветные).

В группу со средней обеспеченностью подвижными сульфатами вошли бурые лесные слабонасыщенные неосвоенные, светло-серые лесные почвы и чернозёмы южные. Количество подвижных сульфатов колеблется от 0,55 до 0,97мг/100г почвы, валовой от 18,5 до 30,6мг/100г почвы. Количество минеральной серы составляет 5,6-6,5% валовой. Запасы минеральной и подвижной серы составляют 46,0 и 23,4кг/га. Умеренный недостаток в сере на почвах этой группы могут испытывать только наиболее требовательные к ней культуры.

В группу с высокой обеспеченностью подвижными сульфатами вошли все подтипы серых лесостепных почв, а также тёмно-серые и серые лесные почвы. Они содержат в верхних горизонтах 1,75-1,77мг/100г почвы подвижной серы, валовой – 30,5-52,8 мг/100г почвы, из которой 6,1-9,0% приходится на минеральную форму. Запасы минеральной и подвижной серы составляют 80,0 и 38,8кг/га. На почвах группы можно выращивать практически все культуры без применения серных удобрений. При интенсификации технологий возделывания сельскохозяйственных культур необходимо предусматривать корректировку азотно-серного баланса.

Исходя из экологической безопасности и агрономической целесообразности, при разработке систем удобрений, сбалансированных по элементам

питания и включающим серу, нами предлагаются следующие научно-обоснованные рекомендации:

1. При разработке системы удобрения необходим учёт как потенциальных форм (валовой и минеральной) серы, так и подвижных (активных) сульфатов в конкретной почве. Среднее количество минеральной серы в пахотных слоях чернозёмов и почв лесостепной и лесной зоны, обеспечивающее нормальное питание растений, должно составлять 40-60кг/га или 2,0-2,5мг на 100г почвы, а подвижной серы – 10-15кг/га или не менее 0,5-0,7мг на 100г почвы.
2. Знать биологическую значимость серы для выращиваемых культур применительно к конкретному региону и рассчитывать её вынос сельскохозяйственными культурами севооборота с урожаем. Учитывать, что растения семейства бобовых не испытывают недостатка в сере при содержании в почве подвижных форм элемента $>1,0-1,5$ мг на 100г почвы, злаковых – $> 0,5-0,7$ мг на 100г почвы. Внесение избыточной дозы гипса из расчёта 100-150кг серы на 1га под горох (культуры средней требовательности к серному питанию) приводит к снижению массы одного растения, числа продуктивных бобов и урожая в целом.
3. При возделывании гороха на бурых лесных почвах рекомендуется припосевное внесение гипса (ежегодное) или элементарной серы (один раз в два года) в дозе 50 кг/га д.в. в ранневесенний период. Это обеспечит равномерное поступление серного питания в течение всей вегетации, предупредит потерю сульфатов от вымывания атмосферными осадками и избыточное накопление элемента в почве, особенно с тяжёлым гранулометрическим составом.
4. Внесение гипса и элементарной серы (50кг д.в.) на лесных почвах способствует вовлечению в процессы трансформации органического вещества дополнительно образовавшегося количества серы фульвокислот, которая может в течение 1,5-2,5лет находиться в почвенном цикле миграции элемента. С целью предупреждения загрязнения агроланд-

- шафтов лесных почв необходимо предусматривать после предшественника, удобренного серой, растения с глубоко проникающей корневой системой (кукуруза, сахарная свёкла, табак, люцерна, рапс и др.).
5. При использовании интенсивных технологий возделывания озимой пшеницы на чернозёмах выщелоченных Северо-Западного Предкавказья необходима корректировка азотно-серного баланса в метаболизме растений. Эффективны поздние (начало налива зерна) некорневые сульфатные подкормки, особенно в районах, где некорневые подкормки только азотом не дают ожидаемого эффекта.
 6. Поздняя некорневая подкормка сульфатами эффективна, когда ожидаемый урожай зерна превышает 45-50ц/га, она явно необходима при урожае 60-70ц/га. Если планируется получение урожая зерна свыше 70ц/га, то серные удобрения, кроме того, необходимо применять в почву с основными удобрениями. О необходимости проведения некорневых серных подкормок можно судить по величине ожидаемого урожая.
 7. В целях выбора технологии выращивания будущего урожая, можно использовать ретроспективную диагностику обеспеченности озимой пшеницы серой путём определения содержания серы и азота в зерне урожая текущего года. При содержании серы в зерне пшеницы $< 0,120-0,125\%$ и отношении $N/S > 17,2-17,7$ (сорт Краснодарская-99) рекомендуется включение в систему удобрения пшеницы следующего вегетационного сезона проведение подкормки сульфатами (при условии использования тех же доз азотных туков, что и в текущем году).
 8. Применение технологий выращивания сельскохозяйственных культур с использованием традиционных на Кубани минеральных удобрений предусматривают поступление серы в почву, в основном, с органическими удобрениями и послеуборочными остатками (исключая зоны техногенного загрязнения почв). При размещении озимой пшеницы по подсолнечнику в 11-польном зернотравяно-пропашном севообороте зерновая культура испытывает явный дефицит серы и нуждается в до-

полнительном её внесении. После размещения озимой пшеницы по сахарной свёкле и, особенно, по люцерне необходимость в дополнительном применении серных удобрений уменьшается или полностью утрачивается (в зависимости от степени интенсификации технологии выращивания).

Результаты настоящей работы, мы надеемся, сформируют у читателя новое, более широкое и объективное представление о важнейшем химическом элементе, который скромно называется серой, а также его месте в природе и нашей жизни. Они заинтересуют специалистов в области почвоведения, агрохимии, растениеводства, экологии, мелиорации, помогут подобрать и наладить производство необходимых для нужд сельского хозяйства сложных, сбалансированных удобрений с максимальным использованием местных агроруд, без которых невозможно получать устойчивые высокие урожаи необходимого качества, и, самое главное, без нанесения ущерба компонентам окружающей среды.

Культура и точность приложения представленных в монографии сведений должны соответствовать экологическим условиям местности, требованиям растений и планируемым урожаям. Только планомерное воздействие на все факторы жизни почвы и растений даёт возможность управлять их плодородием и получать качественную продукцию в аграрном секторе экономики нашей страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агроклиматические ресурсы Краснодарского края. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 276 с.
2. Агроэкологический мониторинг в земледелии Краснодарского края. – Краснодар, 1997. – 236с.
3. Айдинян Р.Х. Содержание и формы соединений серы в различных почвах СССР и ее значения в обмене веществ между почвой и растениями / Р.Х. Айдинян // Агрохимия. – 1964. - № 10. – С. 3-15.
4. Айдинян Р.Х. Методы извлечения и определения различных форм серы в почвах и растениях (инструкция) / Р.Х. Айдинян, М.С. Иванова, Т.Г. Соловьева. – М., 1975. – 20 с.
5. Алексеева Е.Н. Миграция подвижной серы по профилю чернозема при внесении удобрений / Е.Н. Алексеева // Агрохимия. – 1975. - № 6. – С. 93-95.
6. Алыков Н. М. Влияние серосодержащих удобрений на всхожесть семян и рост корневой системы подсолнечника, пшеницы и сои / Н.М. Алыков, В. Н Пилипенко В.Н., В.С. Бодня // Агрохимия. – 2003. - № 12. – С. 38-41.
7. Анспок П.И. Влияние серосодержащих удобрений на урожай и качество сельскохозяйственных культур в зависимости от почвенных условий / П.И. Анспок, А.Д. Клуша // Улучшение плодородия почвы. – Рига, 1973. – С. 147-161.
8. Анспок П. И. Применение магния, серы, микроудобрений и нитрагина / П.И. Анспок П. // Научные основы применения удобрений в Белорус. ССР, Лит. ССР, Латв. ССР и Эстон. ССР. – Минск, 1976. – С. 43 - 56.
9. Ахмедов А.Р. Влияние серосодержащих удобрений на динамику питательных элементов в почве и продуктивность растений / А.Р. Ахмедов // Резистентность растительных организмов к действию физ. и хим. факторов. – Баку, 1981. – С. 93-99.

10. Бамберг К.К. Серосодержащие удобрения повышают урожай и улучшают качество белка / К.К. Бамберг // Изв. АН Латв. ССР. – 1973. - № 5. – С. 140-142.
11. Бамберг К.К. Содержание серы в растениях и значение ее для удобрения сельскохозяйственных культур / К.К. Бамберг // Изв. АН Латв. ССР. – 1973. - № 7. – С. 3-11.
12. Баранов П.А. Сера в растениях и почвах / П.А. Баранов // Сел. хоз-во за рубежом. Растениеводство. – 1969. - № 4. – С. 16-21.
13. Барахтенова Л. А. Влияние сернистого газа на фотосинтез растений / Л.А. Барахтенова, В.С. Николаевский. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1988. – 86 с.
14. Беспалов А.Л. Сера в питании и продуктивности риса в условиях правобережья р. Кубани: автореф. дис. ... канд. биол. наук / А.Л. Беспалов; КубГАУ. – Краснодар, 2004. – 23 с.
15. Бетехтин А.Г. Минералогия / А.Г. Бетехтин. – М., 1950. – 539 с.
16. Блажний Е.С. Некоторые особенности водно-физических свойств и динамика влажности бурых лесных оподзоленных почв предгорий Краснодарского края / Е.С. Блажний, Ю.И. Бридько // Третий делегат. съезд почвоведов. – М., 1968. – С. 134-145.
17. Братчиков В.Г. Влияние условий питания растений гороха серой на формирование урожая / В.Г. Братчиков // Агрехимия. – 1975. - № 1. – С. 105-109.
18. Бридько Ю.И. Изменение содержания азота и биологической активности в бурых лесных почвах при их окультуривании / Ю.И. Бридько // Тр. / Кубан. СХИ. – 1985. – Вып. 252 (280). – С. 23-27.
19. Бугакова А.Н. Зависимость роста растений от условий питания серой / А.Н. Бугакова, Л.П. Суханькова, А.Ф. Кнорре // Управление скоростью и направленностью биосинтеза у растений. – Красноярск, 1973. – С. 47-48.

20. Букреев П.Т. Влияние отдельных приёмов агротехники на урожайность и качество зерна озимой пшеницы / П.Т. Букреев // Тр. / КубГАУ. – 2001. – Вып. 388 (416). – С. 115-121.
21. Вальков В.Ф. Генезис почв Северного Кавказа / В.Ф. Вальков. – Ростов-н/Д: Изд-во РГУ, 1977. – 159 с.
22. Вальников И.У. Содержание различных форм серы в лесостепных почвах Татарской АССР и значение серы в их плодородии / И.У. Вальников // Агрохимия. – 1970. – №2. – С. 60-64.
23. Вальников И.У. Круговорот серы и значение его для сельскохозяйственных культур в Татарской АССР / И.У. Вальников // Почвоведение. – 1971. – № 3. – С. 40-47.
24. Вальников И.У. Сера в слитых черноземах Чувашии / И.У. Вальников, П.В. Гришин, Е.И. Ломако // Агрохимия. – 1971. – № 8. – С. 93-96.
25. Вальников И.У. Влияние серы и гипса на агрохимические свойства дерново-подзолистых почв Предкамья Татарии / И.У. Вальников, В.И. Мещанов, С.Ш. Цуриев // Агрохимия. – 1973. – № 9. – С. 83-86.
26. Вальников И.У. Формы серы в почвах Среднего Поволжья / И.У. Вальников, А.М. Мишин // Агрохимия. – 1974. – № 12. – С. 112-118.
27. Вальников И.У. Влияние серосодержащих удобрений на урожай культур в условиях Северного Поволжья / И.У. Вальников, Г.С. Егоров // Агрохимия. – 1976. – № 8. – С. 100-104.
28. Вальников И.У. Баланс серы в земледелии Среднего Поволжья / И.У. Вальников // Агрохимия. – 1981. – № 1. – С. 50-57.
29. Василько В.П. Адаптивность и сравнительная оценка сортов американской селекции при орошении в условиях центральной зоны Краснодарского края / В.П. Василько, В.И. Герасименко, П.Т. Букреев // Тр. / КубГАУ. – 2001. – Вып. 388(416). – С. 269-276.
30. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружение / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1965. – 328 с.

- 31.Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: АН СССР, 1957. – 234 с.
- 32.Виткаленко Л.П. Улучшение качества зерна озимой пшеницы под влиянием серы / Л.П. Виткаленко // Вопросы физиологии пшеницы. – Кишинев, 1981. – С. 119-122.
- 33.Владимирова Э.Д. Действие серосодержащих удобрений на урожай и качество сельскохозяйственных культур в зависимости от агрохимических свойств почвы: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук / Э.Д. Владимирова. – Горьки, 1974. – 24 с.
- 34.Возбуцкая А.Е. Химия почв / А.Е. Возбуцкая. – М.: Высш. шк., 1964. – 426 с.
- 35.Гаврилова Л.Н. Изучение механизма транслокации в рибосомах / Л.Н. Гаврилова, А.С. Спирин // Молекулярная биология. – 1972. - № 2. – С. 311-319.
- 36.Гехаев Т.Я. Миграция ионов в агроэкосистемах / Т.Я. Гехаев // Плодородие. – 2006 - №3(30). – С.14-15.
- 37.Голов В. И. Содержание серы и микроэлементов в пахотных вулканических почвах Камчатки / В. И Голов, С. М. Бахова // Почвоведение. – 1996. - № 6. – С. 775-782.
- 38.Гончаренко В.В. К вопросу применения серосодержащих веществ под гречиху на черноземах Харьковщины / В.В. Гончаренко // Тр. / Горьк. СХИ. – 1969. – Т. 73. – С. 158-163.
- 39.Горюнов С.В. О роли серосодержащего полинуклеотидпептидного комплекса в делении клеток хлореллы / С.В. Горюнов, М.А. Пушева, Л.М. Герасименко // Докл. АН СССР. – 1970. - № 4. – С. 966-968.
- 40.ГОСТ 26490 – 85. Почвы. Определение подвижной серы по методу ЦИ-НАО // Контроль качества и эколог. безопасности по междунар. стандартам. – Справочник. – М.: Изд-во «Протектор». – 2001. – 300с.

- 41.Гринченко О.М. Влияние кальцийсодержащих соединений на повышение плодородия черноземов и темно-серых оподзоленных почв Лесостепи Украины / О.М. Гринченко // Вест. с.-х. науки. – 1963. – №5. – С. 33-41.
- 42.Губайдуллин Х.Г. Люцерна на корм и семена / Х.Г. Губайдуллин, Р.С. Еникеев. – М.: Россельхозиздат, 1982. - 111 с.
- 43.Гулимов С. О содержании серы и ее форм в орошаемых почвах Узбекистана / С. Гулимов, В.Л. Муханова // Почвоведение. – 1976. - № 11. – С. 28-32.
- 44.Давтян Г.С. Некоторые исследования круговорота серы в Армянской ССР / Г.С., Давтян, Т.Т. Варданян // Сообщ. лаб. агрохимии / АН Арм. ССР. – 1964. - № 5.– С. 33-35.
- 45.Дмитриенко П.О. Влияние различных форм минеральных удобрений на содержание крахмала и аскорбиновой кислоты в клубнях картофеля / П.О. Дмитриенко, М.С. Головащук // Украин. биохим. журн. – 1962. – Т. 34, № 6. – С. 863-870.
- 46.Долгов С.И. Водно-физические свойства чаепригодных почв северных склонов западной части Кавказского хребта / С.И. Долгов, А.А. Житкова // Почвы предгор. р – нов Краснодар. края и освоение их под культуру чая. – М., 1960. – С. 207-250.
- 47.Дуденко Н. В. Изменение урожайности и качества зерна различных сортов озимой пшеницы при внекорневом применении азота, фосфора и серы / Н.В. Дуденко // Влияние регуляторов роста на развитие и продуктивность растений. – Ставрополь, 1988. – С. 156-162.
- 48.Егоров Г.С. Серосодержащие удобрения служат резервом повышения урожайности гороха и других сельскохозяйственных культур / Г.С.Егоров, И.У. Вальников // Тр. / Татар. НИИСХ. – 1976. – Вып. 6. – С. 87-88.
- 49.Жуков А.И. Регулирование баланса гумуса в почве / А.И. Жуков, П.Д. Попов. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 40 с.
- 50.Загорулько А.В. Влияние возделывания полевых культур на изменение плодородия почвы в звене зернотравяно–пропашного севооборота / А.В.

- Загорулько, В.Н. Слюсарев, В.Г. Живчиков // Тр. / КубГАУ. – 2005. – Вып. 425 (453). – С. 172-192.
51. Зайдельман Ф.Р. Лёссиваж и его связь с гидрологическим режимом почв / Ф.Р. Зайдельман // Почвоведение. – 2007. - №2. – С. 133-134.
52. Занин И.В. Физические свойства бурых горно-лесных почв Адыгеи / И.В. Занин // Тр. / Куб СХИ. – 1976. – Вып. 117 (145). – С. 9-10.
53. Занин И.В. Почвы Адыгейской автономной области: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук / И.В. Занин; Куб СХИ. – Краснодар, 1979. – 22 с.
54. Занин И.В. Состав и свойства чернозема выщелоченного опытного поля / И.В. Занин // Тр. / Куб ГАУ. – Краснодар, 1992. – Вып. 325(353). – С. 83 – 91.
55. Зырин Н.Г. Справочные и расчетные таблицы для физико-химических методов исследования почв / Н.Г. Зырин, Д.С. Орлов, Л.А. Воробьев. – М.: МГУ, 1965. – 131 с.
56. Иванов Д.В. Мелиоративное почвоведение: Учебное пособие / Д.В. Иванов, Е.В. Кузнецова. – Воронеж: ВГАУ, 2006. – 278с.
57. Иванова А.И. Влияние отношений анионов в питательной среде на продуктивность растений гороха / А.И. Иванова // Тр. НИИ зерно-бобовых культур. – 1972. – Т. 4. – С. 118-126.
58. Касимова Г.С. Влияние серосодержащего органического удобрения на микрофлору почвы / Г.С. Касимова, Х.К. Мамедова // К изучению резистентности растений при экстремальном воздействии среды. – Баку, 1932. – С. 119-120.
59. Кауричев И.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв / И.С. Кауричев, Д.С. Орлов. – М.: Колос, 1982. – 242 с.
60. Кегля Г.М. Влияние условий питания на содержание белков в семенах фасоли / Г.М. Кегля // Агрехимия. – 1971. - № 4. – С. 59-63.
61. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 223 с.

62. Козин В.К. Запас энергии в гумусе как критерий для бонитировки почв / В.К. Козин // Почвоведение. – 1990. - №3. – С. 153-155.
63. Копцик Г. Н. Кислотность и катионно-обменные свойства почв лесных экосистем национального парка «Русский север» / Г. Н Копцик, С. Ю. Ливанцова // Почвоведение. – 2003. - № 6. – С. 670-681.
64. Кореньков Д.А. Продуктивное использование минеральных удобрений / Д.А. Кореньков. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 219 с.
65. Коссович П.С. О круговороте серы и хлора на земном шаре и о значении этого процесса в природе, почве и культуре сельскохозяйственных растений / П.С. Коссович // Сообщения из бюро по земледелию и почвоведению. – СПб., 1913. – Вып. 12. – С. 9-12.
66. Кравцов А.М. Динамика влажности почвы и водопотребление полевых культур в звене севооборота сахарная свёкла - озимая пшеница в зависимости от приёмов их выращивания / А.М. Кравцов // Тр. / КубГАУ. – 2001. – Вып. 388(416) . – С. 38-48.
67. Кретович В. Л. Биохимия зерна и хлеба / В. Л. Кретович .— М.: Наука, 1991.— 136 с.
68. Крупенников И. А. Типизация антропогенных процессов деградации чернозёмов / И. А. Крупенников // Почвоведение. – 2005. - № 12. – С. 1509-1517.
69. Крупская З.К. Распределение серы по профилю чернозёмов Донбасса / З.К. Крупская // Агрохимия и почвоведение: респ. межведомств. темат. науч. сб. – 1974. – Вып. 25. – С. 21-22.
70. Крупский Н.К. Влияние серы на урожай гороха / Н.К. Крупский, В.Е. Гончаренко // Химия в сел. хоз-ве. – 1967. - № 9. – С. 9-11.
71. Крупский Н.К. О содержании серы в гуминовых кислотах и фульвокислотах некоторых почв УССР / Н.К. Крупский, Е.Г. Мамонтов, А.А. Бацула // Почвоведение. – 1971. - № 10. – С. 37-40.

72. Кулаковская Т.П. Баланс серы на пашне БССР / Т.П. Кулаковская, Л.П., Детковская, Э.Д. Владимирова / Вестник АН БССР: Сер. с.-х. наук. – 1974. - № 4. – С. 26-29.
73. Кулаковская Т.П. Справочник агрохимика / Т.П. Кулаковская. – Минск: Ураджай, 1974. – 368 с.
74. Куркаев В.Т. Агрохимия: учеб. пособие / В.Т. Куркаев, А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2000. – 552 с.
75. Лавриненко Т.Т. Сера в питании культурных растений / Т.Т. Лавриненко // Сел. хоз-во за рубежом. (Растениеводство). – 1968. - № 8. – С. 13-15.
76. Липман Ф. Современный этап эволюции биосинтеза и предшествовавшее ему развитие / Ф. Липман // Происхождение предбиол. систем. – М., 1975. – С. 261-283.
77. Маданов П. Соотношение азота и серы в гумусе почв степного типа / П. Маданов // Почвоведение. – 1946. - № 9. – С. 517-528.
78. Малюга Н.Г. Альтернативные агротехнологии выращивания основных полевых культур / Н.Г. Малюга, А.М. Кравцов, А.В. Загорюлько // Тр./ КубГАУ. Вып. 425(453). – 2005. – С. 342-368.
79. Мамедов Р.Ю. Влияние серы на урожай и качество кукурузы / Р.Ю. Мамедов // Агрохимия. – 1978. - № 1. – С. 113-114.
80. Мамедов Р.Ю. Влияние серы на урожай и качество картофеля / Р.Ю. Мамедов // Агрохимия. – 1976. - № 1. – С. 101-103.
81. Маслова И. Я. Диагностика и регуляция питания яровой пшеницы серой / И. Я. Маслова. – Новосибирск: ВО «Наука»; Сиб. изд-я фирма, 1993. – 124 с.
82. Маслова И.Я. Роль серы в продукционном процессе и усвоении азота в период налива зерна яровой пшеницы / И. Я. Маслова, Т.Г. Якушева // Агрохимия. – 2004. – №7. – С. 22 – 32.
83. Морозов В.И. Влияние серосодержащих удобрений на урожай и качество культур севооборота / В.И. Морозов, Н.Г. Иванов, Е.Г. Кархалева // Агрохимия. – 1976. - № 4. – С. 56-60.

84. Мочалов А.Д. Обеспеченность растений серой в Подмоскowie / А.Д. Мочалов, Э.С. Ефремова // *Агрохимия*. – 1974. - № 8. – С. 100-106.
85. Неговелов С.Ф. Почвы и сады / С.Ф. Неговелов, В.Ф. Вальков. – Ростов-н/Д: Изд-во РГУ, 1985. – 190 с.
86. Никитишен В.И. Круговорот и баланс серы в земледелии / В.И. Никитишен, Л.К. Дмитракова // *Агрохимия*. – 1983. - № 9. – С. 113-123.
87. Оголева В.П. Содержание и закономерности распределения валовой серы в почвах Волгоградской области / В.П. Оголева, Г.А. Вершинина // *Агрохимия*. – 1976. - № 3. – С. 89-91.
88. Орлов Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 400 с.
89. Пайкова И.В. Влияние содержащих серу удобрений на накопление азота бобовыми культурами / И.В. Пайкова. – М.: Изд-во ВНИИ кормов, 1968. – С. 103-106.
90. Панников В.Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев – М.: Колос, 1977. – 412 с.
91. Пашова В.Т. Запасы и формы соединений серы в черноземе и размеры потребления ее кукурузой / В.Т. Пашова // *Агрохимия и почвоведение: респ. межведомств. темат. науч. сб.* – 1975. – Вып. 9. – С. 65-68.
92. Пейве Я. В. Биохимия почв / Я. В. Пейве. – М.: Сельхозгиз, 1961. – 422 с.
93. Петербургский А.В. Агрохимия и физиология питания растений / А.В. Петербургский. – М., 1971. – 335 с.
94. Савенко Б.А. Урожай и качество зерна гороха в зависимости от видов удобрений на выщелоченном черноземе Краснодарского края / Б.А. Савенко // *Тр. / КубСХИ*. – 1970. – Вып. 20 (48). – С. 48-55.
95. Сдобникова О.В. Фосфорные удобрения и урожай / О.В. Сдобникова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 219 с.
96. Слуцкая Л.Д. Сера как удобрение / Л.Д. Слуцкая // *Агрохимия*. – 1972. - № 1. – С. 130-143.

97. Слюсарев В.Н. Содержание некоторых микроэлементов в бурых лесных и перегнойно-карбонатных почвах Кубани и применение микроудобрений / В.Н. Слюсарев // Тр. / КубСХИ. – 1979. – Вып. №170 (198). – С. 20-23.
98. Слюсарев В.Н. Содержание микроэлементов в почвах предгорий Краснодарского края и эффективность микроудобрений / В.Н. Слюсарев // Тр./ КубСХИ. – 1981. – Вып. №203 (231). – С. 53-57.
99. Слюсарев В.Н. Содержание серы в бурых лесных почвах предгорий Кубани / В.Н. Слюсарев // Тр. / КубСХИ. – 1983. – Вып. № 226 (154). – С. 103-111.
100. Слюсарев В.Н. Сера в дерново-карбонатных почвах Краснодарского края / В.Н. Слюсарев // Тр. / КубСХИ. – 1985. – Вып. №252 (280). – С. 166-172.
101. Слюсарев В.Н. Эффективность серных удобрений при возделывании гороха на бурых лесных почвах / В.Н. Слюсарев // Тр. / КубСХИ. – 1988. – Вып. №286(314). – С.31-38.
102. Слюсарев В.Н. Легкорастворимая сера в почвах предгорий Кубани и обеспеченность ею растений / В.Н. Слюсарев // Тр. / КубСХИ. – 1989. Вып. № 301(329). – С.82-87.
103. Слюсарев В.Н. Действие серных удобрений при различном увлажнении бурых лесных почв на их свойства и содержание серы / В.Н. Слюсарев // Тр. / КубСХИ. – 1990. – Вып. №308 (336). – С. 32-38.
104. Слюсарев В.Н. Влияние серных удобрений и увлажнения дерново-карбонатных почв на содержание различных форм серы / В.Н. Слюсарев // Тр. / КубГАУ. – 1992. Вып. №325 (353). – С. 70-75.
105. Слюсарев В.Н. Действие азотно-фосфорных и серных удобрений при возделывании сои на выщелоченном черноземе Кубани / В.Н. Слюсарев // Тр. / КубГАУ. – 1994. – Вып. №339 (367). – С. 100-104.
106. Слюсарев В.Н. Сера в дерново-карбонатных и бурых лесных почвах Северо-Западного Кавказа / В.Н. Слюсарев // Тр. / КубГАУ.– 1999. – Вып. № 373(401). – С. 109-129.

107. Слюсарев В.Н. Свойства чернозема выщелоченного и его обеспеченность сульфатами при различных технологиях выращивания озимой пшеницы / В.Н. Слюсарев // Агрэкол. проблемы в сел. хоз-ве: сб. науч. тр. / Воронеж. ГАУ. – Воронеж, 2005. – ч.2. – С. 107-111.
108. Слюсарев В.Н. Диагностика обеспеченности растений серой и физико-химические свойства чернозёма выщелоченного в системе агроэкологического мониторинга / В.Н. Слюсарев // Экология и биология почв: проблемы диагностики и индикации. – Ростов н/Д, 2006. – С. 449-453.
109. Слюсарев В.Н. Свойства чернозёмов Западного Предкавказья и обеспеченность их серой / В.Н. Слюсарев // Тр. / КубГАУ. – 2006. – Вып. №2. – С. 157-165.
110. Слюсарев В.Н. Действие лёссовидного суглинка и минеральных удобрений на содержание форм серы и свойства чернозёма выщелоченного / В.Н. Слюсарев // Энтузиасты аграр. науки: Тр. / КубГАУ. – 2006. Вып. №5. – С. 338-350.
111. Слюсарев В.Н. Применение серных удобрений при возделывании озимой пшеницы на чернозёме выщелоченном / В.Н. Слюсарев // Плодородие (прилож.). – 2007. – №2 (35). – С. 34-35.
112. Смирнов Ю. А. О балансе серы в земледелии зарубежных стран / Ю. А. Смирнов // Сел. хоз-во за рубежом.– 1983. – № 10. – С. 10-13.
113. Смирнов Ю.А. Повышение урожаев и качества сельскохозяйственной продукции при использовании серных удобрений: обзорная информация / Ю. А. Смирнов. – М., 1985. – 61 с.
114. Соя / под ред. Ю.П. Мякушко и В.Ф. Баранова. – М.: Колос, 1984. – 280с.
115. Соляник Г.М. Почвы Краснодарского края: учеб. пособие / Г.М. Соляник. – Краснодар: Куб гос. ун-т, 2004. – 70с.
116. Сырый Н.М. Действие серы и некоторых ее соединений на урожайность и качество зерна ячменя, выращенного на мощном черноземе / Н.М. Сырый // Тр. / Харьк. СХИ. – 1970. – Т. 87. – С. 168-172.

117. Сырый Н.М. Последствие серосодержащих и минеральных удобрений на урожай и качество люцерны на черноземе мощном / Н.М. Сырый // Тр. /Харьк. СХИ. – 1972. – Т. 161. – С. 194-202.
118. Терпелец В. И. Биологическая рекультивация земель, нарушенных в зоне чернозёмов Кубани / В. И. Терпелец // Тр. / КубСХИ. – 1985. – Вып. №252(280). – С.17-23.
119. Терпелец В. И. Сельскохозяйственная рекультивация нарушенных земель и техногенных ландшафтов Краснодарского края / В. И. Терпелец // Тр. / КубГАУ. – 1999. – Вып. №373(401). – С.130-139.
120. Тонконоженко Е.В. Обеспеченность чернозёмов Кубани серой / Е.В. Тонконоженко // Тр. / КубСХИ. – 1988. – Вып. 286 (314). – С. 26-31.
121. Тонконоженко Е.В. Формы серы в серых лесных почвах Краснодарского края / Е.В. Тонконоженко // Тр. / КубСХИ. – 1985. – Вып. 252 (280). – С. 159-166.
122. Тонконоженко Е.В. Формы серы в серых лесостепных почвах Северо-Западного Кавказа / Е.В. Тонконоженко // Почвоведение. – 1987. – №8. – С. 120-126.
123. Тонконоженко Е.В. Подвижная сера в серых лесостепных и лесных почвах северо-западного Предкавказья / Е.В. Тонконоженко // Тр. / КубСХИ. – 1989. – Вып. №301(329) – С. 77-82.
124. Убугунов Л. Л. Сера в аллювиальных почвах бассейна Селенги / Л. Л. Убугунов // Почвоведение. – 2000. - № 6. – С. 716-722.
125. Усманов Ю.А. Применение гипса на удобрение / Ю.А. Усманов, Р.Э. Абзалов // Химизация сел. хоз-ва Башкирии. – Уфа, 1936. – Вып. №5. – С. 85-90.
126. Фомин П.И. Влияние сульфата кальция на агрохимические свойства почвы и поступление серы и молибдена в растениях / П.И. Фомин, О.Г. Фомина // Агрохимия. – 1976. - №9. – С. 107-111.

127. Фомин П.И. Влияние серных удобрений на урожай, поступление в растения и фракционный состав серы в почве / П.И. Фомин, О.Г. Фомина, Ф.В. Янишевский // *Агрохимия*. – 1978. - №3. – С. 38-90.
128. Фридланд В.М. Бурые лесные почвы Кавказа / В.М. Фридланд // *Почвоведение*. – 1953. - №12. – С. 28-45.
129. Ха Куанг Хай. Подвижная сера в лесостепных почвах Северо-Западного предкавказья / Ха Куанг Хай // *Тр. / КубСХИ*. – 1983. – Вып. №226 (254). – С. 118-121.
130. Хала В.Г. О регулировании баланса серы в Волгоградской области / В.Г.Хала // *Агрохим. вестн.* – 2001. – №5. – С.19-20.
131. Хоменко А. Д. Серное питание и продуктивность растений / А. Д. Хоменко // *Серное питание и продуктивность растений*. – Киев, 1983.— С. 5—29.
132. Целковский Г.А. Влияние элементарной серы на химический состав растений и урожайность сои на бурых лесных почвах / Г.А. Целковский // *Условия произрастания и урожай сои*. – Новосибирск, 1978. – С. 41-46.
133. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: Справочник / В.В. Церлинг. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235с.
134. Цховребов В.С. Агрогенная деградация чернозёмов Центрального Предкавказья / В.С. Цховребов. – Ставрополь: Изд-во СтГАУ «Агрбус», 2003. – 224 с.
135. Челомбитько В.Г. Эффективность серосодержащих удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур в условиях Гродненской области / В.Г. Челомбитько // *Плодородные почвы и урожай*. – Вильнюс, 1974. – С. 405-411.
136. Челомбитько В.Г. Отзывчивость озимой пшеницы на дополнительное внесение в почву серосодержащих удобрений / В.Г. Челомбитько, А. Илючик, С. Синкевич // *Тр. / БСХА*. – 1975. – Вып. № 5. – С. 34-39.

137. Чернова Л.М. Диагностика и способы регуляции серного питания растений / Л.М. Чернова, А.Д. Хоменко // Пути регуляции процессов и способов корневого питания растения. – Киев, 1978. – С. 117-139.
138. Шабаев В.П. Минеральное питание и продуктивность люцерны при инокуляции смешанными бактериями / В.П. Шабаев // Агрохимия. – 2006. - № 9. – С. 24-32.
139. Шапошникова И.М. Плодородие чернозёмов Юга России / И.М. Шапошникова. – Ростов-на/Д, 2004. – 118с.
140. Шевякова Н.И. Метаболизм серы в растениях / Н.И. Шевякова. – М.: Наука, 1979. – 165 с.
141. Шеуджен А.Х. Плодородие почвы и продуктивность люцерны при внесении микроудобрений / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, Х.Д. Хурум // Плодородие. – 2006 - №1(28). – С.18-19.
142. Ширшов В.Г. Влияние серосодержащих удобрений на накопление азота растениями вики / В.Г. Ширшов, И.Н. Пайкова // Агрохимия. – 1968. – №10. – С. 140-143.
143. Шкель М.П. Влияние серосодержащих удобрений на урожай и качество зерна / М.П. Шкель // Проблемы интенсификации растениеводства. – Таллин, 1975. – С. 395-398.
144. Шугля Э.И. Влияние серосодержащих удобрений на урожай кормовой капусты / Э.И. Шугля // Агрохимия. – 1976. - №9. – С. 29-32.
145. Штомпель Ю.А. Почвенно-экологические основы и проблемы земледелия в Северо-Западном Предкавказье.: учеб. пособие / Ю.А. Штомпель, Н.Н. Нещадим. – Краснодар: Сов. Кубань, 2006. – 332 с.
146. Эйсерт Э. К. Справочник агрохимика Кубани / Э.К. Эйсерт, А.Я. Ачканов. – Краснодар: Кн. изд-во, 1987. – 256с.
147. Яппаров Ф.Ш. и др. Сульфатный раствор как серное удобрение / Ф.Ш. Яппаров // Агрохимия. – 1973. - №6. – С. 80-83.

148. Яшин И.М. Почвенно-экологические исследования в ландшафтах / И.М. Яшин, Л.Л. Шишов, В.А. Раскатов. – М.: Изд-во МСХА, 2000. – 560 с.
149. Bahl G.S. Adsorption and desorption of sulfate by soils pretreated with different cations / G.S. Bahl, H.S. Pagricha // Int. J.Trop.Agr. – 1984. – V. 2, №2, P. 143-150.
150. Bettany J. The nature and forms of soils selected along an environmental gradient / J. Bettany // Soil Sc. Soc. America J. – 1979. – V.43. – P. 981-985.
151. Bettany J.R., Saggar S., Stewart J.W.B. Comparison of the amounts and forms of sulphur in soil organic matter fractions after 65 years / J.R. Bettany, S. Saggar, J.W.B. Stewart // J. Indian Soc. Soil Sci. – 198. – V.35, N4. – P.27-29.
152. Bergseth H. Verteilung von Gesamt-Schwefel und Sulfationen verschiedener Bindungsstärke in norwegischen Waldböden / H. Bergseth H. // Acta agr. – Scand. – 1978. – V.28, №3. – P. 313-322.
153. Bhilare R.L. Effect of sulphur fertilization on fodder quality of berseem / R.L. Bhilare, J.S. Desale // J. Maharashtra Agr. Univ. – 2003. – V.28, №3. – P. 317-318.
154. Bloem Elke. Einfluss der Schwefelversorgung auf die unterschiedlichen Schwefelfractionen bei verschiedenen Rapslinien / Bloem Elke, Salas Ioana, Haneklaus Silvia // Bundesforschungsanst. Landwirt (FAL). – Braunschweig, 2002. – P. 1.
155. Chatterjee C. Zinc stress in mustard as altered by sulfur deficiency / C.Chatterjee, Sinha Pratima, B.K. Dube // J. Plant Nutr. – 2005. – V.28, №4. – P. 683-690.
156. Esminger L.E., Freney J.N. Diagnostic techniques for determining sulfur deficiencies in crops and soils / L.E. Esminger, J.N. Freney // Soil Sci. – 1966. – V.101, №4. – P. 283-290.
157. Fawzi A. Rate of elemental sulfur oxidation in some soil of Egypt as affected by the salinity level, moisture content, texture, temperature and inocula-

- tion / A. Fawzi // Beitr. Trop. Landwirsch. Veter.-Med. – 1977. – V.14, №2. – P.179-186.
158. Grant C.A. Sulphur fertilizer and tillage effects on canola seed quality in the Black soil zone of western Canada / C.A. Grant, G.W. Clayton G.W. A.M. Johnston // Can. J. Plant Sci. – 2003. – V.83, №4. – C.745-758.
159. Gupta U. C. Tissue sulfur levels and additional sulfur needs for various crops / U. C. Gupta // Can. J. Plant Sci. – 1976. – V. 56. – P. 651-657.
160. Hayfa Sawsan. Einfluss der Schwefelversorgung zu *Tropaeolum majus* L. auf den Gehalt an Schwermetallen im Pflanzenmaterial / Hayfa Sawsan, Bloem Elke, Haneklaus Silvia // Bundesforschungsanst. Landwirt (FAL). – Braunschweig, 2003. – S. 15.
161. Influence des fertilisants sur l'evolution du pH du Sol // Trait Union Agr. – 1978. – V.68. – P. 3-8.
162. Ivanic J. Dynamica zminn obsuhe roslionych frakeii siry v pode vo vztehu k jej resorocii rastlinami jacmena pocas vegetacil / J.Ivanic // J. Acta fytotechu. – 1981. – V.37. – P. 139-149.
163. Järvan Malle. Влияние некорневой подкормки серой на элементы структуры урожая и урожай зерна мягкой озимой пшеницы / Järvan Malle, Kuuskla Mati // Conferens of the Faculty of Agronomy of EOU Estonian Research Institute of Agriculture and Jõgeva Plant Breeding Institute «Agronomi 2005», Tartu, 2005. – Est. Agr. Univ. Trans. – 2005. – V.220. – P. 63-65.
164. Lacatusu R. Distributia sulfatilor usor solubill in soluri sonale, cufolosintaricols din R.S.Romania / R. Lacatusu // Publ. Soc. Nat. Rom., pentru Sti. Sol. – 1974. – №14A. – P. 167-181.
165. Liao Bo-han. Адсорбция и десорбция SO_4^{2-} , NO_3^- в двух лесных почвах провинции Хунань / Liao Bo-han, Qu Zhoang-xin // Nongye huanjing kexue xuebao = J. Agro-Environ. Sci. – 2004. – V.23. – №2. – P.313-317.
166. Liu Zhengian. Характеристика форм серы в кислых сульфатных почвах при разных водных режимах почв / Liu Zhengian, Duan Shunshan, Li Aifen,

- Xu Ning, Wang Jianwu, Li Minghui // *Yingyong shengtai xuebao* = *Chin J. Appl. Ecol.* – 2004. – 15, №9. – 1570-1574.
167. Malhi S.S. Influence of fur successive annual applications of elemental S and sulphate-S fertilizers on yield S uptake and seed quality of canola / Malhi S.S. // *Can. J. Plant Sci.* – 2005. – V.85, №4. – P.777-792.
168. Malhi S.S. Influence of formulation of elemental S fertilizer on yield, quality and S uptake of canola seed / S.S Malhi, E.D. Solberg, M. Nyborg // *Can. J. Plant Sci.* – 2005. – V.85, №4. – P.793-802.
169. Marcovic B. Uticcol dubriva i xlaznosti semljianta na Klijavost Semena i osobine Kijanaca glaska / B. Marcovic B. // *Agronomija.* – 1983. – № 5/6. – P. 207-211.
170. Mathew Gracy. Effect of phosphorus and sulphur on growth, yield and nutrient uptake of rainfed upland cowpea / Mathew Gracy, Sreenivasan E., Anilakumar K.J.// *Trop. Agr.* – 1998. – V.36. – №1-2. – P. 31-33.
171. Metson A.J. Sulphur in New Zealand Soils / A.J. Metson // *N. Z. J.Agr.Res.* – 1972. – V.22, №1. – P. 95-114.
172. Moinuddin Umar Shahid. Influence of combined application of potassium and sulfur on yield, quality, and storage behavior of potato / Moinuddin Umar Shahid // *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* – 2004. – V.35, №7-8. – P. 1047-1060.
173. Murphy M. D. Fifteen years of sulphur research in Ireland / M. D. Murphy // *Sulphur in Agriculture.* – 1990. – V. 14. – P. 10-12.
174. Patil S.S. Effect of nitrogen and sulphur levels on yield, quality and nutrient uptake by niger (*Guizatia abissinica* Cass.) in lateritic soil of Konkan / Patil S.S., Danke D.J., Dongale J.H. // *J. Maharashtra Agr. Univ.* – 2006. – V.31. – №1. – P. 1-4.
175. Peller D. Optimisation de la fumure soufrée par estimation du risqué de carence. 1. Colza d` autumn / Peller D., Mercier Edith, Balestra Ursula // *Rev. suisse agr.* – 2003. – V.35, №4. – P. 161-167.

176. Peverill K.J., Briner P. Movement of phosphorus and sulphur in soils of Victoria / K.J. Peverill, P. Briner // *Agrochim. Soils.* – Oxford e.a., 1980. – P. 307-312.
177. Pierzinski Gari M. Plant nutrient issues for sustainable land application: Докл. [Sustainable Land Application Conference, Orlando, Fla, 2004] / Pierzinski Gari M., Gehl Katherin A. // *J. Environ. Qual.* – 2005. – 34, № 1. – С. 18-28.
178. Pumphrey F. V., Moore D. P. Diagnosing sulfur deficiency of alfalfa (*Medicago sativa* L.) from plant analysis / F.V.Pumphrey, D. P.Moore // *Agron. J.* – 1965. – V. 57. – P. 364—366.
179. Rao Negeswara. Transformation of added sulphate in relation to changes in Eh, pH, iron and manganese on flooded soils / Rao Negeswara, C.C.Biddape, V.Sercunen // *J.Indiau Soc. Soil, Sci.* – 1984, V.32, №1, P.62-66.
180. Reisenauer H.M. Soil assays for the recognition of Sulphur deficiency / H.M. Reisenauer // *Sulphur Anst. Agr., Sydney.* – 1975. – P. 182-187.
181. Rejmen-Czajkowska Malgorzata. Wplyw oglejenia na migracye siarki // Rejmen-Czajkowska Malgorzata // *Roc.glelozu.* – 1972. – V.23, №1. – P. 223-249.
182. Sagger S., Bettany J.R., Stewart J.W.B. Incorporation of sulphur, nitrogen and carbon into organic matter following incubation / S. Sagger, J.R.Bettany, J.W.B. Stewart // *J. Indian Soc.Soil Sci.* – 1984. – V.32, №1. – P. 20-25.
183. Scott N. Evaluation sulphat status of Soil by plant and Soil teste / N. Scott // *J. Sc. Food Agr.* – 1981. – V.32, №2. – P. 193-199.
184. Selim H.M. Mobiliti of sulfat in forest soils Kinetik modeling / H.M. Selim, G.R.Gobran, X.Guan X. // *J. Environ. Qual.* – 2004. – V.33, № 2. – P.488-495.
185. Singh D . Qualiti and Nutriet uptake in mustard as influenced bi levels of nitrogen and sulphur / D.Singh, K.K.Jian K.K, S.K. Sharma // *J. Maharachtra Agr. Univ.* – 2004 . – V.29, №1. – P. 87-88.
186. Spencer K. Sulphur requirements of plants / K. Spencer // *Sulphur in Australasian agriculture.* – Sydney, 1975. – P. 98-108.

187. Spencer K. A comparison of several procedures for estimating the sulphur status of Soil / K. Spencer, J. R. Freney // *Austr. J. Agr. Res.* – 1960. – V. 11. – P. 948-959.
188. Spencer K., Freney J. R. Assessing the sulfur status of field-grown wheat by plant analysis / K. Spencer, J. R. Freney // *Agr. J.* – 1980. – V.72. – P. 469-472.
189. Stevenson F. J. Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micro-nutrients / F. J. Stevenson // N. Y.: Wiley. – Indescience, 1986. – 380 p.
190. Tisdale S. L. Sulphur in forage quality and ruminant nutrition / S. L. Tisdale // *Sulphur Institute Technical Bulletin.* – 1977. – № 2. – P. 2-4.
191. Wainvaright M. Microbial sulphur oxidation in soil / M. Wainvaright // *Sc. Progr.* – 1978. – V.65, №260. – P. 475-495.
192. Welsch Daniel L. Processes affecting the response of sulfate concentrations to clearcutting in a northern hardwood forest Catskill Mountains New York USA / L. Welsch Daniel, A. Burns Douglas, S. Murdoch Peter // *Biogeochemistry.* – 2004. – V.68, №3. – P. 337-354.
193. Westermann D.T. Indexes of Sulfur Deficiency in Alfalfa / D.T. Westermann // *Plant Analyses. Agron.* – 1975. – №67. – P. 265-268.
194. Xu Cheng-Kai. Atmospheric sulfur deposition for a red soil broadleaf forest in southern China / Xu Cheng-Kai, Hu Zheng –Yi, Cai Zu-Cong // *Pedosphera.* – 2004. – V.14, №3. – P. 323-330.

Научное издание

СЛЮСАРЕВ ВАЛЕРИЙ НИКИФОРОВИЧ

**СЕРА В ПОЧВАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА
(АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ)**

Монография

Подписано в печать 02.11.2007 г.

Бумага офсетная. Формат 60×84 ¹/₁₆

Тираж 500 экз., усл. п. л. – 14,4.

Заказ № 626

Отпечатано с оригинал-макета, подготовленного автором электронным способом на кафедре почвоведения Кубанского госагроуниверситета, учебный корпус факультета защиты растений, ком. 323.

Типография Кубанского государственного аграрного университета
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13