

Научная статья/Research Article

УДК 631.81:631.445

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-90-100

Ольга Анатольевна Сорокина

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

geos0412@mail.ru

О ПРОБЛЕМЕ ДЕФИЦИТА ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Цель исследований – комплексная оценка проблемы дефицита основных питательных веществ в пахотных почвах Красноярского края. Обобщены материалы последних циклов агрохимического обследования пахотных почв Красноярского края. Приведены результаты почвенной диагностики на содержание гумуса, нитратного азота, подвижного фосфора, обменного калия, подвижной серы и микроэлементов по зонам деятельности агрохимической службы и в целом по Красноярскому краю. Установлен острый дефицит таких важнейших макроэлементов питания, как нитратный азот, подвижный фосфор и подвижная сера. Отмечена низкая обеспеченность почв такими микроэлементами, как молибден, марганец и цинк. Низкое содержание азота в почвах связано с угнетением процессов нитрификации, зависящих от жестких биоклиматических условий региона, внедрением минимальной технологии обработки почв, а также слабой ролью парового предшественника как накопителя азота. Дефицит подвижного фосфора зависит от бедности почвообразующих пород края фосфорсодержащими минералами и крайне низкого уровня применения фосфорных удобрений. Обеспеченность подвижной серой очень слабая практически на всей обследованной площади пашни, что также обусловлено ограничивающими природными факторами, которые снижают интенсивность процессов сульфатации, приводят к переводу органической серы в минеральную, доступную для растений. Дефицит трех важнейших элементов питания (азота, фосфора и серы), а также микроэлемента молибдена приводит к нарушению процесса биосинтеза белка. Недостаток подвижного фосфора и серы существенно снижает синтез растительных масел. Ухудшается качество получаемой продукции, что влечет за собой экологические и экономические издержки.

Ключевые слова: элементы питания почвы, почва, агрохимическое обследование почвы, обеспеченность почв микроэлементами, нитратный азот, подвижный фосфор, подвижная сера, микроэlementы почвы

Для цитирования: Сорокина О.А. О проблеме дефицита элементов питания в пахотных почвах Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2025. № 4. С. 90–100. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-90-100.

Olga Anatolyevna Sorokina

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

geos0412@mail.ru

ON THE PROBLEM OF NUTRIENT DEFICIENCY IN ARABLE SOILS OF KRASNOYARSK REGION

The objective of research is a comprehensive assessment of the problem of deficiency of basic nutrients in arable soils of the Krasnoyarsk Region. The materials of the latest cycles of agrochemical survey of arable soils of the Krasnoyarsk Region are summarized. The results of soil diagnostics for the content of humus, nitrate nitrogen, mobile phosphorus, exchangeable potassium, mobile sulfur and microelements are presented in the areas of activity of the agrochemical service and in the Krasnoyarsk Region as a whole. An acute deficiency of such essential macronutrients as nitrate nitrogen, mobile phosphorus and mobile sulfur has been established. Low provision of soils with such microelements as molybdenum, manganese and zinc is noted. Low nitrogen content in soils is associated with the inhibition of nitrification pro-

cesses, depending on the harsh bioclimatic conditions of the region, the introduction of minimum soil cultivation technology, as well as the weak role of the fallow predecessor as a nitrogen accumulator. The deficiency of mobile phosphorus depends on the poverty of soil-forming rocks of the region in phosphorus-containing minerals and the extremely low level of application of phosphorus fertilizers. The availability of mobile sulfur is very low in almost the entire surveyed area of arable land, which is also due to limiting natural factors that reduce the intensity of sulfification processes and lead to the conversion of organic sulfur into mineral sulfur, which is available to plants. Deficiency of three essential nutrients (nitrogen, phosphorus and sulfur), as well as the microelement molybdenum, leads to disruption of the protein biosynthesis process. Deficiency of mobile phosphorus and sulfur significantly reduces the synthesis of vegetable oils. The quality of the resulting products deteriorates, which entails environmental and economic costs.

Keywords: soil nutrients, soil, agrochemical soil survey, soil microelement supply, nitrate nitrogen, mobile phosphorus, mobile sulfur, soil microelements

For citation: Sorokina OA. On the problem of nutrient deficiency in arable soils of Krasnoyarsk Region. *Bulletin of KSAU*. 2025;(4):90-100. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-90-100.

Введение. К современным вызовам необходимости решения проблемы продовольственной безопасности страны относятся три основных положения. Первое, это обеспечение продовольственно-сырьевых потребностей увеличивающегося населения на территориях проживания и в районах нового освоения. Важнейшее значение имеет анализ сельскохозяйственного потенциала почвенных ресурсов, включая качество почв, обеспеченность их элементами питания, пригодность для сельскохозяйственных культур, оптимизацию размещения культур, выделение особо ценных продуктивных почв, возвращение земель в сельскохозяйственный оборот, рекультивацию и др. Третий вызов – это слабое почвенное и агрохимическое сопровождение, необходимое для решения современных социально-экономических, экологических задач, а также проблемы продовольственной безопасности. Исходя из этих вызовов, в настоящее время выделяют следующие основные направления решения поставленных вопросов. Одним из главных является сохранение потенциально- и эффективного плодородия почвы по основным базовым показателям (содержанию и запасам гумуса, реакции почвы, агрофизическим свойствам, обеспеченности элементами питания и др.), которые обеспечивают урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции.

Важное направление заключается в выявлении биологических показателей для оценки состояния микробных комплексов по численности и соотношению различных групп микроорганизмов в почве, которые влияют на направление почвенных процессов, природную и агрогенную трансформацию свойств почв, особенно эле-

ментов питания, в первую очередь необходимых для растений.

Актуальным направлением решения экологических проблем в сельском хозяйстве является контроль показателей загрязнения почвы различными веществами, такими как тяжелые металлы, радионуклиды, нефтепродукты и другие вещества. Они негативно влияют на комплекс почвенных свойств, качество сельскохозяйственной продукции, следовательно, на здоровье животных и человека.

На основе параметров качества почв для производства сельскохозяйственных культур проведены расчеты и установлены результаты, свидетельствующие, что по перечню показателей, соответствующих ГОСТ, большая часть Сибирского федерального округа характеризуется почвами среднего и ниже среднего качества. Эти показатели включают содержание гумуса, содержание физической глины, мощность гумусового/пахотного слоя, а также лимитирующие свойства (эрозия, переувлажнение, засоление и др.). Особую тревогу в сельскохозяйственном производстве вызывает дефицит подвижных форм питательных веществ, доступных для растений [1–3]. Это нарушает требования регулирования и оптимизации многоэлементного сбалансированного питания, которое основано на использовании не менее 15 макро- и микроэлементов. Многоэлементная система применения удобрений все больше обращает на себя внимание [4]. Между элементами питания в процессе их поступления в растения существует взаимосвязь, то есть при изменении содержания одного элемента в почве меняется поступление в растение других. Исходя из этого, традиционный блок удобрений, включающий азот,

фосфор и калий, должен быть основательно расширен. Регулирование и оптимизация многоэлементного сбалансированного минерального питания является важным резервом для получения высоких урожаев и повышения качества продукции, особенно содержания белка и растительных масел. Для условий Сибири с ее жестким биоклиматическим потенциалом, достаточно низким бонитетом почв, дефицитом питательных веществ решение этой задачи является первоочередным [5, 6].

Цель исследований – комплексная оценка проблемы дефицита основных питательных веществ в пахотных почвах Красноярского края.

Материалы и методы. Использованы материалы агрохимической службы Красноярского края по обследованию пахотных почв на содержание основных элементов питания. Обобщены результаты последних циклов агрохимического обследования по нитратному азоту, подвижному фосфору, обменному калию и подвижной сере, а также микроэлементам. Проведен расчет площадей и группировка почв по степени обеспеченности указанными элементами питания в зональном аспекте на основании материалов обследования трех агрохимических лабораторий края: ФГБУ ГЦАС «Красноярский», ФГБУ ГСАС «Минусинская», ФГБУ ГСАС «Солянская». Дана комплексная оценка проблемы дефицита основных питательных веществ – биогенов, от которых напрямую зависит величина урожая и качество продукции.

Результаты и их обсуждение. Продуктивность сельскохозяйственных культур обусловлена комплексом природных и агротехнических факторов, формирующих почвенное плодородие.

Среднее и низкое качество почв Красноярского края обусловлено целым рядом глобальных и региональных вызовов агроосферы региона. Оно связано со специфическим географическим положением и геоморфологическими особенностями территории, наклоненной к Северному ледовитому океану, открытой холодным арктическим массам, выхолаживающим поверхность. Островной (котловинный) характер лесостепной земледельческой части края, жесткий биоклиматический потенциал и тренды изменения климата также ограничивают продуктивность сельскохозяйственного производства. Существуют достаточно острые проблемы в

землепользовании, связанные с большими площадями заброшенных пахотных угодий, их состоянием, высокой долей паров, нарушением агротехнологий. Вызывает тревогу современное состояние почвенного плодородия, а также динамика агрохимических свойств пахотных почв в многолетнем цикле, свидетельствующая о развитии процессов деградации. Низкий уровень химизации и нарушение сбалансированного питания сельскохозяйственных культур влекут за собой экономические и экологические издержки.

Ведущее значение в получении высоких уровней урожайности и повышении качества продукции имеет обеспеченность почвы элементами питания, прежде всего азотом. В почвах пахотных и кормовых угодий Красноярского края существует острый дефицит нитратного азота, подвижного фосфора, подвижной серы, молибдена, марганца, а также недостаток цинка и кобальта.

Активность процессов нитрификации и темпы накопления нитратного азота зависят прежде всего от погодных условий, технологий обработки почвы и предшественника. Сплошное обследование почв, проведенное агрохимической службой Красноярского края, свидетельствует об остром дефиците минерального азота. Жесткие биоклиматические условия нашего региона угнетают активность микробиологических процессов, существенно снижая интенсивность нитрификации и образование нитратного азота [7–10]. Минимизация обработки почвы, прямой посев также ограничивают активность этих процессов, снижая обеспеченность нитратным азотом при сильном уплотнении почвы, усиливая денитрификацию и увеличивая газообразные потери азота за счет работы бактерий, разлагающих большое количество растительных остатков в верхних слоях почвы [11–15].

Обобщенные результаты агрохимического обследования пахотных почв Красноярского края с 2020 по 2024 г. свидетельствуют о дефиците нитратного азота на 57,4 % площади. Установлено, что под урожай 2025 г. более половины обследованных площадей почв в целом по краю характеризуется очень низкой и низкой обеспеченностью нитратным азотом. Еще ниже обеспеченность этой важнейшей формой питательного вещества в почвах Южно-Минусинской и Восточной групп районов, что следует из таблицы 1.

Результаты почвенной диагностики на содержание нитратного азота под урожай 2025 г.
Results of soil diagnostics for nitrate nitrogen content for the 2025 harvest

Зона деятельности	Обследованная площадь пашни (%) с содержанием нитратного азота, мг/кг почвы	
	до 12	более 12
ФГБУ ГЦАС «Красноярский»	39,9	48,1
ФГБУ ГСАС «Минусинская»	76,5	23,4
ФГБУ ГСАС «Солянская»	68,0	32,0
Всего по краю	60,0	35,2

По результатам тканевой диагностики на азот также установлено, что большие площади обследованных производственных посевов сельскохозяйственных культур, в том числе яровой пшеницы разных сортов, размещенной по различным предшественникам, характеризуются острым дефицитом нитратного азота. Кроме того, эти посевы отличаются очень высокой пространственной неоднородностью, так называемым «пестропольем», содержания не только азота, но и других элементов питания, что ухудшает качественное состояние стеблестоя и приводит к затруднению при уборке урожая [16–18]. Использование данных метода тка-

невой диагностики сельскохозяйственных культур на нитратный азот, полученных в большинстве опытов, также свидетельствуют о дефиците минерального азота. Как правило, обеспеченность этим элементом питания вегетирующих растений не выходит за пределы 2–3 баллов, что по существующим градациям указывает на их азотное голодание в течение вегетации. Это требует регулирования и оптимизации питания сельскохозяйственных культур, как при основном внутрпочвенном внесении удобрений, так и в течение вегетации за счет проведения некорневых подкормок «по листу» широким спектром препаратов нового поколения.

Результаты почвенной диагностики на содержание нитратного азота по пару под урожай 2022 г.
Results of soil diagnostics for nitrate nitrogen content after fallow for the 2022 harvest

Зона	Обследовано, га	Содержание N-NO ₃			
		менее 12 мг/кг		более 12 мг/кг	
		га	%	га	%
Центральная и западная, ФГБУ ГЦАС «Красноярский»	83505,0	23853,3	28,6	59651,7	71,4
Южная, ФГБУ ГСАС «Минусинская»	22448,0	16496,0	73,5	5952,0	26,5
Восточная, ФГБУ ГСАС «Солянская»	53062,0	16613,0	31,3	36449,0	68,7
Всего по краю	159015,0	56962,3	35,8	102052,7	64,2

Обобщенные результаты агрохимического обследования пахотных почв с 2016 по 2021 г. на содержание нитратного азота по предшественникам также свидетельствуют о том, что в полях чистого пара нитрификация существенно ослаблена. Этот предшественник не оправдывает свое назначение как отличного накопителя нитратного азота в почвах всех природных округов [19]. Площади почв с дефицитом нитратного азота по зерновому предшественнику составляли за этот

период 67,1 %, а по чистому пару 47,6 %, т. е. практически половину от обследованных.

После 2022 г. агрохимическая служба прекратила сплошное обследование на нитратный азот по предшественникам. Из таблицы 2 отчетливо видно, что паровой предшественник в этом году также отличался слабой нитрификационной способностью почв. Более трети обследованных площадей характеризовались дефицитом нитратного азота. Острейший недостаток этого эле-

мента питания традиционно отмечается в почвах Южно-Минусинской зоны, где более 70 % площади пашни испытывали первоочередную потребность в азотных удобрениях по паровому предшественнику (см. табл. 2). Определение нитратного азота по чистому пару в почвах опытов, проводимых на кафедре почвоведения и агрохимии, также свидетельствует о дефиците в них этого важнейшего питательного элемента.

Фосфор по своей значимости в питании сельскохозяйственных культур в условиях Сибири имеет существенное, а в некоторых случаях решающее значение. Он повышает урожайность, качество продукции, ускоряет созревание, укорачивает вегетационный период. Фосфор увеличивает содержание белка, сахаров, жиров, прочность волокна, зимостойкость и морозоустойчивость, засухоустойчивость, так как способствует развитию хорошей корневой системы. Он усиливает поглощение других элементов питания, особенно азота и большинства микроэлементов. Наибольшую тревогу вызывает остродефицитный баланс как общего, так и подвижного фосфора, который в почвах Красноярского края связан с бедностью почвообразующих пород фосфорсодержащими минералами. Кроме того, в последние десятилетия хозяйствами нашего края отмечается крайне низкий уровень приме-

нения фосфорных удобрений. Двойной гранулированный суперфосфат не применяется уже более 20 лет. Основные фосфорсодержащие удобрения в регион поступают в виде двойных (аммофоса или нитроаммофоса) или тройных (аммофоска, азофоска, диаммофоска, NPK) комплексных удобрений. Эти удобрения дорогие, а доля фосфора в большинстве их низкая, что приводит к увеличению норм внесения и снижению окупаемости прибавкой урожая. Потребность сельского хозяйства края в фосфорных удобрениях (за счет комплексных) удовлетворяется не более чем на 10–15 %. В этой связи необходимо значительно ограничить экспорт апатитового концентрата и фосфорсодержащих удобрений как стратегического (невозобновляемого) ресурса, необходимого для обеспечения продовольственной безопасности страны на десятилетия вперед.

По результатам последнего цикла агрохимического обследования (2020 г.) обеспеченность подвижным фосфором пахотных почв края низкая или средняя. Максимальную площадь пашни занимают почвы с очень низким и низким содержанием подвижного фосфора (37,9%), со средним – 28 %. Средневзвешенное его количество в почвах края составляет 157,6 мг/кг почвы (табл. 3).

Таблица 3

Результаты агрохимического обследования по зонам края
Results of agrochemical survey by zones of the region

Зона	Гумус, %	Элементы питания, мг/кг почвы		
		подвижный фосфор	обменный калий	подвижная сера
Центральная и западная, ФГБУ ГЦАС «Красноярский»	6,7	119,7	141,7	6,48
Южная, ФГБУ ГСАС «Минусинская»	6,1	186	99,7	3,2
Восточная, ФГБУ ГСАС «Солянская»	5,7	167,3	146,6	3,09
Всего по краю	6,2	157,6	129,3	4,26

Проявляется определенная зональность в степени обеспеченности почв подвижным фосфором по природным округам края. Наиболее бедны подвижными фосфатами почвы Чулымско-Енисейской, Ачинско-Боготольской, Минусинской и южной части Канской лесостепи. В этих природных округах на долю почв с очень низким и низким содержанием P_2O_5 приходится более 50 % площади пашни. Почвы северных районов

Канской лесостепи образуют свой агрохимический округ, что связано с их более высокой обеспеченностью подвижным фосфором. Основные площади, на которые приходится 82,9 % обследованной пашни края, нуждаются в первоочередном внесении фосфорных удобрений.

Красноярский край и Республика Хакасия богаты залежами фосфоритов, агоруд, из которых можно производить фосфорные удобрения, что-

бы покрыть их острейший дефицит в сельском хозяйстве. Для этого необходимо научное обоснование и организация производства по переработке фосфатных руд местных месторождений. Данная проблема пристально обсуждается учеными и производителями нашего региона, так как на территории Енисейской Сибири разведаны и в разной степени изучены многие месторождения Восточного и Западного Саяна, Кузнецкого Алатау. Наиболее перспективными месторождениями фосфоритов с практической и экономической точки зрения являются залежи этих агроруд, расположенных в Алтае-Саянском фосфоритоносном бассейне. Изучение и оценка агроэкологических свойств и эффективности фосфорных удобрений из фосфоритов местных месторождений, разработка технологических основ их получения крайне необходимы.

В то же время пахотные почвы Красноярского края по содержанию гумуса и обменного калия характеризуются достаточно высоким естественным плодородием. Они отличаются повышенной степенью гумусированности, особенно в Центральной и Западной группе районов, а также высоким и очень высоким содержанием обменного калия, доступного для растений, что следует из таблицы 3.

Сера необходима для протекания очень многих физиолого-биохимических процессов в сельскохозяйственных культурах. Потребность растений в сере намного выше, чем в кальции и магнии, особенно при достаточном количестве в почве минеральных форм азота, фосфора и калия. В большинстве почв сера находится в органических соединениях, в валовой форме (до 90 %), не доступной для растений. Существенно меньше ее содержится в минеральной доступной форме, в виде сульфат ионов SO_4 (10–15 %). Содержание валовой серы в почвах зависит от количества гумуса. Сера органических соединений почвы переходит в минеральную форму, усвояемую растениями, в результате процесса сульфатификации, очень требовательно к внешним условиям. В отличие от азота и

фосфора обращение серы в биосфере намного быстрее, а ее резервы для обеспечения растений в почве беднее. В то же время интенсивность процесса сульфатификации в два раза слабее, чем нитрификации [20–22].

В питании растений сера играет многостороннее физиолого-биохимическое значение. При недостатке серы задерживается биосинтез белков, растительных масел, замедляется развитие и рост растений, уменьшаются размеры, бледнеет зеленая окраска. Сера улучшает использование других питательных веществ. Способствует фиксации азота, усиливая образование клубеньков у растений.

В условиях резко континентального климата Сибирского региона при ограничивающих природных факторах в большинстве случаев минеральная (сульфатная) сера, как и нитратный азот, находится в дефиците за счет угнетения активности микробиологических процессов в почвах. Эти почвы сезонно-мерзлотные. Весной и в начале лета часто бывают низкие температуры и заморозки, что резко тормозит деятельность сульфатредуцирующих бактерий и интенсивность процессов сульфатификации.

Почвы сельскохозяйственных угодий лесостепной зоны Красноярского края характеризуются достаточным содержанием валовой серы, что связано с их высокой степенью гумусированности. В то же время содержание подвижной серы в почвах очень низкое из-за ослабленных процессов сульфатификации, более требовательных к внешним условиям, даже по сравнению с нитрификацией. Средневзвешенное содержание серы в обследованных почвах края составляет 4,9 мг/кг почвы, что соответствует низкой обеспеченности (табл. 4). В почвах Восточной зоны 78 % обследованной площади имеют очень низкое содержание этого элемента питания, равное 3,8 мг/кг почвы. Еще беднее подвижной серой пахотные почвы Южно-Минусинской зоны, где средневзвешенное ее количество за последние 5 лет составляет всего 3,2 мг/кг почвы.

Таблица 4

Группировка пахотных почв Красноярского края по обеспеченности подвижной серой
Grouping of arable soils of Krasnoyarsk Region by availability of mobile sulfur

Обследованная площадь	Площади почв по классам обеспеченности, тыс. га			Средневзвешенное содержание, мг/кг почвы
	низкая	средняя	высокая	
2456,19, тыс. га	1746,2	573,12	136,87	4,9
%	71,1	23,3	5,6	

Пахотные почвы Красноярского края характеризуются устойчивым отрицательным балансом серы в многолетнем цикле. Вносимые виды и дозы минеральных и органических удобрений не компенсируют отчуждение серы с урожаями сельскохозяйственных культур [23, 24]. Отсюда нарушаются процессы биосинтеза белка и растительных масел, существенно снижается величина урожая и качество продукции.

В сельское хозяйство края поступает ограниченный ассортимент серосодержащих удобрений, в основном это сульфат аммония и сульфат калия. В последние годы появились обогащенные серой комплексные удобрения – сульфоаммофос, нитроаммофоска, обогащенная серой, а также сульфат аммония, обогащенный серой и гуматом калия. В серии модельных опытов, проведенных на кафедре почвоведения и агрохимии, эти удобрения показывают достаточно высокую эффективность при внесении под горох, рапс и яровую пшеницу, как на черноземах, так и на агросерых почвах [25].

Для улучшения серного питания сельскохозяйственных культур необходимо выбирать серосодержащие удобрения и увеличивать дозы их внесения, особенно под культуры белкового типа питания (зерновые, бобовые), а также масличные (рапс, рыжик, горчица). Оптимизация серного питания растений с учетом агрохимических свойств зональных почв повысит эффективность применения макро- и микроудобрений и увеличит продуктивность и качество сельскохозяйственных культур.

Природное содержание и разнообразие микроэлементов зависит прежде всего от биогеохимических особенностей ландшафтов, а также от генетических свойств почвы, связанных с химическим составом почвообразующих пород. В определенной степени количество микроэлементов

обусловлено поступлением из атмосферного воздуха, а также частично из почвенно-грунтовых вод [26]. Важное эколого-агрохимическое значение имеет оценка поступающих микроэлементов под влиянием техногенных потоков веществ промышленных предприятий, транспорта и энергетики, которые могут являться загрязнителями почвы и сельскохозяйственной продукции. Преобладающая часть микроэлементов, содержащихся в почве, представлена в валовой форме, которая растениям недоступна. Большинство подвижных форм микроэлементов, которые усваиваются растениями из почвы, как правило, находятся в дефиците.

Обеспеченность пахотных почв края основными микроэлементами в подвижной форме неодинакова, что следует из таблицы 5. Около 70 % обследованных площадей характеризуются высоким содержанием бора, играющего ведущее значение в опылении растений, в делении клеток верхушечной меристемы и т. д. В почве бор взаимосвязан с гумусом, чем выше содержание гумуса, тем выше обеспеченность бором. В почвах края эта агрохимическая зависимость четко проявляется. Высокое содержание меди объясняется тяжелым гранулометрическим составом почв края. Более половины обследованной площади пашни отличаются высоким содержанием цинка и кобальта, что обусловлено богатством наших почв кальцием, проявляющим сродство с этими микроэлементами. Острый дефицит установлен по содержанию молибдена, очень важного микроэлемента для растений. Молибден входит в состав фермента нитратредуктазы, который участвует в синтезе белка. В условиях края проблема синтеза белка культурами этого типа питания стоит очень остро, так как его содержание в продукции низкое.

Таблица 5

Содержание подвижных микроэлементов в почвах края
Content of mobile microelements in soils of the region

Микроэлемент	Площадь, тыс. га	Степень обеспеченности, %		
		низкая	средняя	высокая
Бор	1599,2	1,4	29,0	69,6
Молибден	1579,2	58,7	39,2	2,1
Медь	1666,9	7,8	3,0	89,2
Цинк	1657,2	33,6	7,7	58,7
Марганец	1264,4	26,8	49,7	23,5
Кобальт	1732,3	1,8	40,8	57,3

Содержание подвижного марганца в почвах зависит от степени их кислотности. С повышением кислотности почвы увеличивается содержание подвижного марганца. Дефицит марганца в пахотных почвах края объясняется тем, что они имеют нейтральную или близкую к нейтральной реакцию, а доля кислых почв незначительная. Следовательно, необходимо регулирование питания сельскохозяйственных культур всеми микроэлементами за счет микроудобрений или комплексных минеральных удобрений нового поколения, обогащенных ими.

Баланс элементов питания в земледелии является показателем уровня воспроизводства плодородия почв. В последние 14 лет состояние уровня применения удобрений в Красноярском крае нельзя назвать устойчивым. Формирование урожая сельскохозяйственных культур идет преимущественно за счет естественных источников плодородия почвы и запасов питательных веществ, созданных предшествующей удобренностью, которая существенно снижается. Вынос макроэлементов с основной продукцией компенсировался минеральными удобрениями только на 15–23 %.

Исследование макро- и микроэлементного состава почв и растительной продукции сельскохозяйственных угодий Сибири свидетельствует о следующем. Проблема загрязнения тяжелыми металлами почв региона часто надумана и не подтверждается результатами агрохимического обследования. В реальности на большинстве сельхозугодий ее аграрных районов валовое содержание в почвах микроэлементов, включая тяжелые металлы, находится в пределах агрохимических, биогеохимических и санитарно-гигиенических норм. Установлен дефицит подвижных форм ряда микроэлементов. Большинство растительной продукции с сельхозугодий аграрных районов Сибири не загрязнено тяжелыми металлами, что предполагает отсутствие их избытка в продуктах питания. Все более актуальной проблемой становится истощение плодородия почв, уже проявляющееся в дефиците для растений кальция, магния, кобальта, молибдена, цинка, чреватое ухудшением урожайности растений и качества их продукции. Особую тревогу вызывает острый дефицит или недостаток элементов-биофилов (азота, фосфора, серы), определяющих качество получаемых продуктов питания и кормов для животных. Негативные изменения минеральной

полноценности растительной продукции и плодородия почв будут усиливаться из-за разбалансированности питания растений, а также внесения преимущественно азотных удобрений.

Заключение. Для регулирования и оптимизации сбалансированного многоэлементного питания необходимо учитывать обеспеченность пахотных почв питательными веществами, их физиологическую роль для растений и биологические особенности возделываемых культур. Дефицит трех важнейших элементов питания (азота, фосфора и серы) приводит к нарушению процесса синтеза белка. Недостаток подвижного фосфора и серы существенно снижает синтез растительных масел, следовательно, резко снижается качество получаемой продукции, что влечет за собой экологические и экономические издержки.

Исходя из агрохимической характеристики пахотных почв по результатам последних циклов обследования, альтернативы азотным, фосфорным и серосодержащим удобрениям в нашем регионе нет. Несмотря на высокую обеспеченность почв обменным калием, существует потребность в периодическом внесении калийных удобрений с учетом биологических потребностей культур, а также обогащенных микроэлементами комплексных удобрений нового поколения.

Сохранение потенциального и эффективного плодородия пахотных почв, оптимизация и регулирование многоэлементного сбалансированного питания сельскохозяйственных культур является важнейшей современной задачей. Основные пути решения этих проблем сводятся к следующим направлениям.

Наращивание темпов применения промышленных минеральных и биологических удобрений, обеспечение правильного соотношения видов и доз удобрений.

Максимальное использование биологических источников элементов минерального питания растений, применение новых видов обогащенных удобрений.

Использование резервов местных органических и минеральных удобрений, мелиорантов, компостов на основе отходов производства и природного органического сырья.

Оптимизация доли пара в структуре пашни и замена чистых паров на сидеральные, а также улучшение структуры посева сельскохозяйственных культур.

Введение новых культур, повышающих видовое разнообразие агроценозов и их экологическую устойчивость.

Освоение адаптивно-зонально-ландшафтных систем земледелия, защита почв от эрозии.

Соблюдение агротехнических требований обработки почв с учетом зональных биоклиматических условий региона.

Поддержание оптимального фитосанитарного состояния посевов за счет применения интегрированной системы защиты растений от сорняков, вредителей и болезней.

В целях обеспечения продовольственной безопасности страны должен быть осуществлен переход аграрного сектора на интенсивный путь развития, включая всестороннюю химизацию земледелия. Разумной альтернативы применению минеральных удобрений не имеется. Модель рационального и безопасного применения минеральных удобрений и других современных средств химизации позволит приостановить истощение почв и повысить продуктивность культур до уровня, при котором страна откажется от импорта продовольствия.

Список источников

1. Алхименко Е.В., Белоусова Е.Н., Вебер О.Н., и др. Пути сохранения и повышения плодородия почв Красноярского края: научно-практические рекомендации. Красноярск, 2020. 48 с.
2. Танделов Ю.П. Плодородие почв и эффективность удобрений в Средней Сибири. 2-е изд., перераб. и доп. Красноярск, 2012. 302 с.
3. Волошин Е.И. Эколого-агрохимическое состояние почв Красноярского края. Красноярск: КрасГАСУ, 2010. 128 с.
4. Танделов Ю.П. Многоэлементное питание растений как фактор повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур. Красноярск, 2018. 124 с.
5. Крупкин П.И. Способы повышения плодородия почв. Красноярск: КрасГАСУ, 2011. 212 с.
6. Гамзиков Г.П. Руководство по почвенной диагностике азотного питания полевых культур в Восточной Сибири. Красноярск: Гротеск, 2001. 224 с.
7. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: Новосиб. гос. аграр. ун-т, 2013. 786 с.
8. Гамзиков Г.П. Практические рекомендации по почвенной диагностике азотного питания полевых культур и применению азотных удобрений в сибирском земледелии. М.: Росинформагротех, 2018. 48 с.
9. Назарюк В.М. Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 257 с.
10. Чупрова В.В. Углерод и азот в агроэкосистемах Средней Сибири. Красноярск: КрасГАСУ, 1997. 166 с.
11. Власенко А.Н., Шарков И.Н., Синещев В.Е., и др. Минимизация обработки почвы и минерализация соединений азота // Почвоведение. 2001. № 9. С. 1111–1117.
12. Шарков И.Н. Минимизация обработки и ее влияние на плодородие почвы // Земледелие. 2009. № 3. С. 24–27.
13. Шарков И.Н., Колбин С.А., Прозоров А.С., и др. Влияние минимизации обработки чернозема выщелоченного на вынос яровой пшеницей почвенного азота в лесостепи Западной Сибири // Агрохимия. 2019. № 9. С. 67–73.
14. Васюков П.П., Чуварлеева Г.В., Лесовая Г.М., и др. Влияние традиционной и минимальных систем обработки почвы на изменения почвенного плодородия // Таврический вестник аграрной науки. 2016. № 3 (7) . С. 50–57.
15. Кураченко Н.Л., Колесник А.А. Содержание и пространственное распределение подвижных элементов питания агрочерноземов в зависимости от способов основной обработки почвы // Агрохимия. 2020. № 7. С. 11–16.
16. Сорокина О.А., Кайль А.В. Обеспеченность почв лесостепной зоны нитратным азотом в зависимости от некоторых факторов. В сб.: Международная научно-практическая конференция «Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития». Ч. 2. «Наука: опыт, проблемы, перспективы развития». Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2019. 482 с.

17. Кайль А.В. Влияние традиционной и минимальной систем обработки почвы на содержание в почве нитратного азота // Вестник КрасГАУ. 2019. № 2. С. 191–198.
18. Бугаева А.В. Влияние основной обработки парового предшественника на обеспеченность почв азотом и урожайность пшеницы // Вестник Омского ГАУ. 2020. № 1. С. 21–28.
19. Сорокина О.А., Бугаева А.В. Оценка обеспеченности почв лесостепной зоны нитратным азотом по почвенной диагностике // Вестник КрасГАУ. 2023. № 11. С. 155–164.
20. Маслова И.Я. Оптимизация питания яровой пшеницы серой // Земледелие. 2010. № 1. С. 16–17.
21. Аристархов А.Н. Сера в агроэкосистемах России: мониторинг содержания в почвах и эффективность ее применения // Международный сельскохозяйственный журнал. 2016. № 5. С. 39–47.
22. Лукин С.М., Жуйков Д.В. Мониторинг содержания серы в почвах, растениях и органических удобрениях // Земледелие. 2019. № 2. С. 10–12.
23. Сорокина О.А., Безруких А.М. Влияние обогащенных серой новых видов удобрений на продуктивность и качество сельскохозяйственных культур. В сб.: Международная научно-практическая конференция, посвящ. 70-летию ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ «Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития» Ч. 2. Красноярск. 2022. С. 302–306.
24. Волошин Е.И. Сера в почвах Минусинской лесостепи Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2021. № 2. С. 56–64.
25. Безруких А.М., Сорокина О.А. Влияние новых видов обогащенных удобрений на продуктивность культур и агрохимические свойства почв // АгроЭкоИнфо. 2024. № 3 (63).
26. Панасин В.И. Микроэлементы и урожай. Калининград, 2000. 276 с.

References

1. Alkhimenko EV, Belousova EN, Weber ON., et al. *Puti sohraneniya i povysheniya plodorodiya pochv Krasnoyarskogo kraja: nauchno-prakticheskie rekomendacii*. Krasnoyarsk, 2020. 48 p.
2. Tandelov YuP. *Plodorodie pochv i effektivnost' udobrenij v Srednej Sibiri*. 2nd ed. Krasnoyarsk; 2012. 302 p.
3. Voloshin EI. *Ecological and agrochemical state of soils in Krasnoyarsk Region*. Krasnoyarsk: KSAU; 2010. 128 p.
4. Tandelov YuP. *Mnogoelementnoe pitanie rastenij kak faktor povysheniya urozhajnosti i kachestva sel'skohozyajstvennyh kul'tur*. Krasnoyarsk; 2018. 124 p.
5. Krupkin PI. *Sposoby povysheniya plodorodiya pochv*. Krasnoyarsk: KSAU; 2011. 212 p.
6. Gamzikov GP. *Rukovodstvo po pochvennoj diagnostike azotnogo pitaniya polevyh kul'tur v Vostochnoj Sibiri*. Krasnoyarsk: Grotesk; 2001. 224 p.
7. Gamzikov GP. *Agrohimiya azota v agrocenozah*. Novosibirsk: Novosibirsk SAU; 2013. 786 p.
8. Gamzikov GP. *Prakticheskie rekomendacii po pochvennoj diagnostike azotnogo pitaniya polevyh kul'tur i primeneniyu azotnyh udobrenij v sibirskom zemledelii*. Moscow: Rosinformagrotekh; 2018. 48 p.
9. Nazaryuk VM. *Balans i transformaciya azota v agroekosistemah*. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN; 2002. 257 p.
10. Chuprova VV. *Uglerod i azot v agroekosistemah Srednej Sibiri*. Krasnoyarsk: KSAU; 1997. 166 p.
11. Vlasenko AN, Sharkov IN, Sineshchekov VE, et al. Minimization of soil cultivation and mineralization of nitrogen compounds. *Soil science*. 2001;9:1111-1117.
12. Sharkov IN. Minimization of cultivation and its impact on soil fertility. *Agriculture*. 2009;3:24-27.
13. Sharkov IN, Kolbin SA, Prozorov AS, et al. Effect of minimizing the cultivation of leached chernozem on the removal of soil nitrogen by spring wheat in the forest-steppe of Western Siberia. *Agrochemistry*. 2019;9:67-73.
14. Vasyukov PP, Chubarleeva GV, Lesovaya GM, et al. Effect of traditional and minimum tillage systems on changes in soil fertility. *Tavrichesky Bulletin of Agrarian Science*. 2016;3:50-57.
15. Kurachenko NL, Kolesnik AA. The content and spatial distribution of mobile nutrients in agrochernozems depending on the methods of primary tillage. *Agrochemistry*. 2020;7:11-16.
16. Sorokina OA, Kail AV. Nitrate nitrogen supply of forest-steppe zone soils depending on some factors. In: *International scientific and practical conference "Science and education: experience, problems,*

- development prospects". Part 2. "Science: experience, problems, development prospects". Krasnoyarsk, State Agrarian University. Krasnoyarsk; 2019. 482 p.
17. Kail AV. The influence of traditional and minimum tillage systems on the nitrate nitrogen content in the soil. *Bulletin of KSAU*. 2019;(2):191-198.
 18. Bugaeva AV. The influence of the main cultivation of the fallow predecessor on the supply of soils with nitrogen and wheat yield. *Bulletin of Omsk SAU*. 2020;1:21-28.
 19. Sorokina OA, Bugaeva AV. Assessment of the supply of soils of the forest-steppe zone with nitrate nitrogen by soil diagnostics. *Bulletin of KSAU*. 2023;11:155-164.
 20. Maslova IYa. Optimization of spring wheat nutrition with sulfur. *Agriculture*. 2010;1:16-17.
 21. Aristarkhov AN. Sulfur in agroecosystems of Russia: monitoring of content in soils and the effectiveness of its use. *International Agricultural Journal*. 2016;5:39-47.
 22. Lukin SM, Zhukov DV. Monitoring sulfur content in soils, plants and organic fertilizers. *Agriculture*. 2019;2:10-12.
 23. Sorokina OA, Bezrukikh AM. The influence of new types of sulfur-enriched fertilizers on the productivity and quality of agricultural crops. *Science and education: experience, problems, development prospects*. Krasnoyarsk. 2022;34:302-306.
 24. Voloshin EI. Sulfur in soils of the Minusinsk forest-steppe of Krasnoyarsk Region. *Bulletin of KSAU*. 2021;2:56-64.
 25. Bezrukikh AM, Sorokina OA. Influence of new types of enriched fertilizers on crop productivity and agrochemical properties of soils. *AgroEcoInfo*. 2024;3(63).
 26. Panasin VI. *Mikroelementy i urozhaj*. Kaliningrad; 2000. 276 p.

Статья принята к публикации 12.03.2025 / The article accepted for publication 12.03.2025.

Информация об авторах:

Ольга Анатольевна Сорокина, профессор кафедры почвоведения и агрохимии, доктор биологических наук, профессор

Information about the authors:

Olga Anatolyevna Sorokina, Professor at the Department of Soil Science and Agrochemistry, Doctor of Biological Sciences, Professor

