

МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ НЕКОТОРЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ

О.В. Серебрякова, М.Е. Бельшикина

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ «ФНАЦ ВИМ»), Москва, Россия

E-mail: oksana.sazonova.94@mail.ru

Для цитирования: Серебрякова О.В., Бельшикина М.Е. Мониторинг содержания минеральных компонентов в агроэкосистемах некоторых регионов России // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 180–189. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-180-189.

Ключевые слова: агроэкосистема, бобовое сено, злаковое сено, сено естественных угодий, минеральный состав, почва.

Реферат. Проведение мониторинга исследования минерального состава кормовых растений в зависимости от географического расположения является важной научно-практической задачей. Целью исследования стало проведение мониторингового анализа уровня биоаккумуляции некоторых минеральных элементов кормовыми растениями из почв разного географического происхождения. Исследования проводили на базе ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». Для осуществления исследования были заготовлены образцы сена из бобовых и злаковых трав, а также образцы сена естественных угодий, собранные в разных районах Центрального федерального округа, в Алтайском и Краснодарском крае. Определяли содержание следующих минеральных компонентов: меди (Cu), магния (Mg), марганца (Mn), калия (K). Заготавливали по пять проб каждого образца сена из бобовых и злаковых трав, а также сена естественных угодий. На основании полученных результатов было установлено, что уровень содержания минеральных компонентов в разных видах сена был соответствующим географическому происхождению образца. Сравнительный анализ миграции минеральных веществ – меди, калия, магния и марганца в системе «почва – растение» показал, что содержание минеральных компонентов в составе растений не имеет прямой зависимости от уровня содержания соответствующих минералов в составе почв, а степень усвояемости и накопления исследуемых минеральных веществ обусловлена основными параметрами окружающей среды и биохимическими показателями почв.

MONITORING OF THE CONTENT OF MINERAL COMPONENTS IN AGROECOSYSTEMS OF SOME REGIONS OF RUSSIA

O.V. Serebryakova, M.E. Belyshkina

Federal Scientific Agroengineering Center VIM (FGBNU «FNATS VIM»), Moscow, Russia

E-mail: oksana.sazonova.94@mail.ru

Keywords: agroecosystem, bean hay, cereal hay, hay of natural lands, mineral composition, soil.

Abstract: Monitoring the study of the mineral composition of forage plants depending on their geographic location is an important scientific and practical task. The aim of the study was to conduct a monitoring analysis of the level of bioaccumulation of some mineral elements by forage plants from soils of different geographic origin. The studies were conducted at the Federal Scientific Agroengineering Center VIM. To carry out the study, samples of hay from legumes and cereals, as well as samples of hay from natural lands, collected in different areas of the Central Federal District, in the Altai and Krasnodar Territories, were prepared. The content of the following mineral components was determined: copper (Cu), magnesium (Mg), manganese (Mn), potassium (K). Five samples of each sample of hay from legumes and cereals, as well as hay from natural lands, were prepared. Based on the results obtained, it was found that the level of mineral components in different types of hay corresponded to the geographic origin of the sample. A comparative analysis of the migration of mineral substances – copper, potassium, magnesium and manganese in the “soil-plant” system showed that the content of mineral components in plants does not directly depend on the level of the corresponding minerals in soils, and the degree of digestibility and accumulation of the studied mineral substances is determined by the main parameters of the environment and biochemical indicators of soils.

Известно, что содержание микронутриентов в составе растительного сырья имеет значительные различия, что напрямую влияет на минеральную составляющую, качество и питательность кормов для животных в целом. К основным факторам, влияющим на минеральный состав, можно отнести климатические условия, количество осадков, стадию вегетации, вид растений и многие другие [2, 6, 9].

В соответствии с мировым опытом проведения мониторинговых исследований установлено, что полноценная устойчивая продуктивность трав сеяных и естественных угодий может быть обеспечена путем регулярного комплексного учета экологических, биохимических и агрохимических факторов, которые оказывают воздействие на рост и развитие растений, а также способствуют формированию урожая и определяют его качество. Мониторинг состояния почв и растений позволяет своевременно выявить и не допустить такие проблемы, как: стойкое закисление, первичное природное или промышленное засоление, загрязнение вредными веществами, естественно-генетическое и искусственное переуплотнение, эрозия, истощение запасов минеральных соединений и органического вещества, которые доступны для растений [1, 4, 12].

При направленном мониторинге можно определить потребности агробиоценозов и растений естественных угодий в определенных питательных элементах, минеральных компонентах, воде, тепле, воздухе. Данный вид исследований позволяет создать оптимальные для растений реакции почвенной среды, учитывая существующие фитосанитарные и эколого-токсикологические условия [10, 15, 16].

В условиях современной биохимической, экологической и агрохимической наук большое внимание должно уделяться исследованиям миграции микроэлементного потока в агроэкосистемах, в цепочке «почва – растение – сельскохозяйственные продукты». Оптимизация агрохимического обслуживания на фоне современных инновационных технологий в растениеводстве, а также оптимизация процессов удобрения сельскохозяйственных растений выступают в качестве дополнительных факторов повышения урожайности и, соответственно, качества продукции [5, 11].

Однако следует отметить, что изучение региональной специфики накопления и миграции микроэлементного потока в цепи «почва – растение» способствует своевременным выявлению дефицитов по отдельным микроэлементам в

различных регионах страны. Проведение оценки обеспеченности почв микроэлементами с учетом ассортимента возделываемых сельскохозяйственных культур – не менее значимая задача. Для этого важным условием является установление оптимальных диапазонов и концентраций, которые, в свою очередь, будут определять пороговые значения, при достижении которых нехватка или излишки микроэлементного состава могут снижать степень развития растительного покрова или ухудшать качество сельскохозяйственной продукции [3, 7, 8, 14].

Целью исследования стало проведение мониторингового анализа уровня биоаккумуляции некоторых минеральных элементов кормовыми растениями из почв разного географического происхождения.

В соответствии с обозначенной целью были поставлены следующие задачи:

- 1) заготовить образцы почв, сена из сеяных бобовых и злаковых трав, а также сена естественных угодий разного географического происхождения;
- 2) осуществить исследование заготовленных проб сена на уровень содержания минеральных компонентов;
- 3) осуществить исследование заготовленных образцов почв на содержание исследуемых минеральных элементов;
- 4) провести сравнительный анализ содержания минеральных компонентов в образцах почв и растений в зависимости от географического происхождения;
- 5) провести биометрическую обработку полученных данных.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на базе ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». Заготовку образцов почв и растений (сена из сеяных бобовых и злаковых трав, а также сена естественных угодий) осуществляли на территории Рязанской, Владимирской и Самарской областей. В каждом регионе было отобрано по пять проб бобового и злакового сена, а также сена естественных угодий. Масса каждой пробы составляла 2,5–3,0 кг. Пробы почв (пахотный слой) отбирали в 5-кратной повторности. Масса одной пробы 0,5–1,0 кг.

Заготовку почв и растений (сена из сеяных бобовых и злаковых трав, а также сена естественных угодий), собранного в Алтайском крае,

осуществляли в нескольких районах: Бийском, Благовещенском и Егорьевском. В каждом районе было отобрано по пять проб бобового, злакового и сена естественных угодий. Масса каждой пробы составляла от 2,5 до 3,0 кг. Пробы почв (пахотный слой) отбирали в 5-кратной повторности. Масса одной пробы 0,5–1,0 кг.

Заготовку почв и растений (сена из сеяных бобовых и злаковых трав, а также сена естественных угодий), собранного в Краснодарском крае, осуществляли в нескольких районах: Анапском, Белореченском и в пригороде Краснодара. В каждом районе было отобрано по пять проб бобового, злакового и сена естественных угодий. Масса каждой пробы составляла до 3,0 кг. Пробы почв заготавливали в каждом районе, в 5-кратной повторности. Масса одной пробы 0,5–1,0 кг.

Перед проведением запланированного исследования заготовленные образцы были проанализированы на соответствие требованиям ГОСТ Р 55452–2013 «Сено и сенаж. Технические условия» по основным органолептическим и физико-химическим показателям качества.

Исследование заготовленных проб почв осуществляли согласно методу «Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии м-мви-80-2008».

Заготовленные образцы сена исследовали на содержание основных минеральных веществ методом атомно-абсорбционной спектроскопии согласно методу, указанному в ГОСТ 32343–2013 «Корма. Комбикорма. Определение содержания кальция, меди, железа, магния, марганца, калия, натрия и цинка методом атомно-абсорбционной спектроскопии».

Сущность используемого метода заключается в разведении проб растений в соляной кислоте с последующим озолением в муфельной печи при температурном режиме до 550 ± 15 °С. Затем удаляли присутствующие соединения кремния методом осаждения и фильтрации с последующим выполнением атомизации полученного рабочего раствора в специальном пламени ацетилен-воздух.

Подготовку проб к исследованию осуществляли согласно ГОСТ ISO 6498–2014 «Корма, комбикорма. Подготовка проб для испытаний». В связи с разнородным составом проб сена была необходима их гомогенизация. Для получения достоверных результатов пробоподготовку начинали с ее предварительного измельчения и

перемешивания. Для соблюдения необходимых мер предосторожности по решению спорных вопросов контрольную пробу грубого измельчения сохранили на длительный срок при комнатной температуре.

Пробы заготовленного сена были предварительно высушены перед грубым измельчением, затем, перед проведением непосредственного анализа, осуществляли более мелкое измельчение, достигая размеров частиц менее 0,5 см.

Было определено содержание следующих минеральных компонентов: медь (Cu), магний (Mg), марганец (Mn), калий (K). Для более наглядной формы предоставления результатов степень усвояемости минеральных компонентов определяли путем расчета коэффициента использования растениями элемента питания из запасов почвы (КИП).

$КИП = B/C \times 100 \%$, где B – количество элемента, вынесенное с урожаем на удобренной почве, мг/кг; C – содержание подвижной формы элемента питания в пахотном слое, г/кг.

Образцы сена из сеяных бобовых трав разного географического происхождения содержали от 60 до 76 % растений семейства бобовые, таких как люцерна посевная, клевер, горох посевной и др. Пробы сена из сеяных бобовых трав были скошены в фазу бутонизации и цветения.

Образцы сена из сеяных злаковых трав разного географического происхождения содержали от 65 до 70 % растений семейства злаковые, таких как: тимофеевка луговая и др. Пробы сена из сеяных злаковых трав были скошены в фазу цветения.

Образцы сена естественных угодий разного географического происхождения содержали в себе растения заливных угодий, из них семейства бобовых – от 20 до 27 %, семейства злаковых – от 29 до 33 %, сложноцветных – от 10 до 13 % и амарантовых – от 12 до 15 %, а также растения других семейств. Пробы сена естественных угодий были скошены в фазу бутонизации и цветения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При исследовании заготовленных образцов сена из сеяных бобовых, злаковых трав и сена естественных угодий было выявлено, что все образцы соответствовали требованиям стандарта ГОСТ Р 55452–2013 «Сено и сенаж. Технические условия» по основным физико-химическим и органолептическим свойствам.

Результаты исследования сена из сеяных бобовых трав разного географического происхождения

по содержанию основных минеральных элементов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Содержание минеральных элементов (Cu, K, Mg, Mn) в образцах сена из сеяных бобовых трав, собранного в ЦФО, Алтайском и Краснодарском крае, $M \pm m$
Content of mineral elements (Cu, K, Mg, Mn) in hay samples from sown legumes collected in the Central Federal District, Altai and Krasnodar Krai, $M \pm m$

Минеральный элемент	Сено из сеяных бобовых трав разного географического происхождения		
	Алтайский край	ЦФО	Краснодарский край
Cu, мг/кг	7,9 \pm 0,87	5,12 \pm 1,02	5,6 \pm 0,56
K, г/кг	19,9 \pm 1,21	14,7 \pm 0,97	10,3 \pm 0,12
Mg, г/кг	0,32 \pm 0,07	1,76 \pm 0,04	4,8 \pm 0,58
Mn, мг/кг	53,7 \pm 1,87	72,3 \pm 2,31	49,9 \pm 1,32

Результаты исследования образцов по содержанию минеральных элементов в бобовом сене, представленные в табл. 1, свидетельствуют о том, что уровень минеральных компонентов в образцах сена разного географического происхождения неодинаков. Содержание меди (Cu) в образцах сена из сеяных бобовых трав Алтайского края составило в среднем 7,9 мг/кг, что также больше, чем в среднем содержалось в сене, собранном в ЦФО, на 35,2 % (5,1 мг/кг) и на 29,1 % больше, чем содержание данного элемента в составе сена, собранного в Краснодарском крае (5,6 мг/кг).

Бобовое сено, собранное в Алтайском крае, отличалось самым высоким содержанием калия (K) – 19,9 г/кг, что превышало по данному значению образцы сена из ЦФО на 25,9 % (14,7 г/кг) и образцы сена из Краснодарского края на 48,2 % (10,3 г/кг). По содержанию компонента магния (Mg) сено из сеяных бобовых трав, собранное в Краснодарском крае, составило 4,8 г/кг и, напро-

тив, превышало образцы из Алтайского края на 93,3 % (0,32 г/кг), а также превышало образцы сена из ЦФО на 63,4 % (1,76 г/кг).

В большей степени в минеральном составе бобового сена из ЦФО содержался марганец (Mn) – 72,3 мг/кг, что превышало по значению данного показателя образцы из Алтайского края на 25,7 % (53,7 мг/кг) и образцы сена из Краснодарского края на 30,9 % (49,9 мг/кг) соответственно.

Таким образом, можно отметить, что содержание различных минеральных веществ в сене из сеяных бобовых трав разного ботанического происхождения неодинаково и зависит от места произрастания растений, входящих в составные части образцов сена.

Результаты исследования сена из сеяных злаковых трав разного географического происхождения по содержанию основных минеральных элементов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Содержание минеральных элементов (Cu, K, Mg, Mn) в образцах сена из сеяных злаковых трав, собранного в ЦФО, Алтайском и Краснодарском крае
Content of mineral elements (Cu, K, Mg, Mn) in hay samples from sown cereal grasses collected in the Central Federal District, Altai and Krasnodar Krai

Минеральный элемент	Сено из сеяных злаковых трав разного географического происхождения		
	Алтайский край	ЦФО	Краснодарский край
Cu, мг/кг	8,1 \pm 0,83	5,1 \pm 0,76	4,9 \pm 1,01
K, г/кг	16,8 \pm 1,07	14,6 \pm 1,01	11,5 \pm 1,08
Mg, г/кг	1,2 \pm 0,05	1,75 \pm 0,06	3,1 \pm 0,23
Mn, мг/кг	68,7 \pm 1,69	71,8 \pm 1,04	50,3 \pm 1,76

Результаты исследования образцов по содержанию минеральных элементов в злаковом

сене, представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что уровень минеральных компонентов в

образцах злакового сена разного географического происхождения неодинаков. Содержание меди (Cu) в образцах сена из сеяных злаковых трав Алтайского края составило в среднем 8,1 мг/кг, что также больше, чем в среднем содержалось в сене, собранном в ЦФО, на 37,3 % (5,1 мг/кг) и на 39,5 % больше, чем содержание данного элемента в составе сена, собранного в Краснодарском крае (4,9 мг/кг).

Сено из сеяных злаковых трав, собранное в Алтайском крае, отличалось самым высоким содержанием калия (K) – 16,8 г/кг, что превышало по данному значению образцы сена из ЦФО на 12,9 % (14,6 г/кг) и образцы сена из Краснодарского края на 31,6 % (11,5 г/кг). По содержанию компонента магния (Mg) злаковое сено из Краснодарского края составило 3,1 г/кг и, напротив, превышало образцы из Алтайского края на 61,3 %

(1,2 г/кг), а также превышало образцы сена из ЦФО на 43,6 % (1,8 г/кг).

В большей степени в минеральном составе злакового сена из ЦФО содержался марганец (Mn) – 71,8 мг/кг, что превышало по значению данного показателя образцы из Алтайского края на 4,4 % (68,7 мг/кг) и образцы сена из Краснодарского края на 29,9 % (50,3 мг/кг) соответственно.

Таким образом, можно отметить, что содержание различных минеральных веществ в сене из сеяных злаковых трав разного географического происхождения неодинаково и зависит от места произрастания растений, входящих в состав образцов сена.

Результаты исследования сена естественных угодий разного географического происхождения по содержанию основных минеральных элементов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Содержание минеральных элементов (Cu, K, Mg, Mn) в образцах сена естественных угодий, собранного в ЦФО, Алтайском и Краснодарском крае

Content of mineral elements (Cu, K, Mg, Mn) in hay samples from natural lands collected in the Central Federal District, Altai and Krasnodar Krai

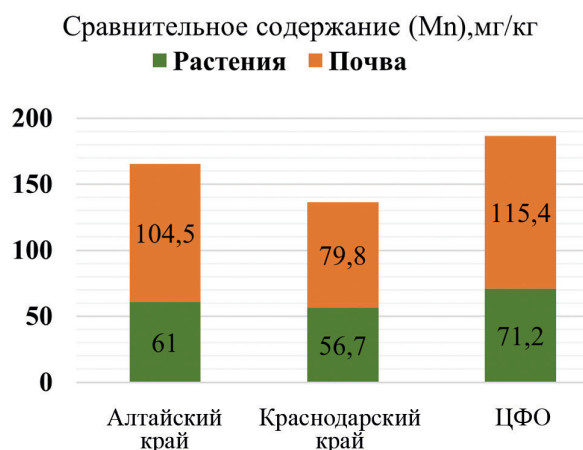
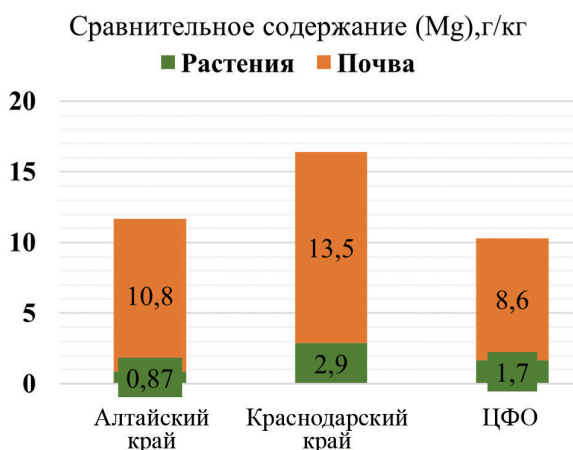
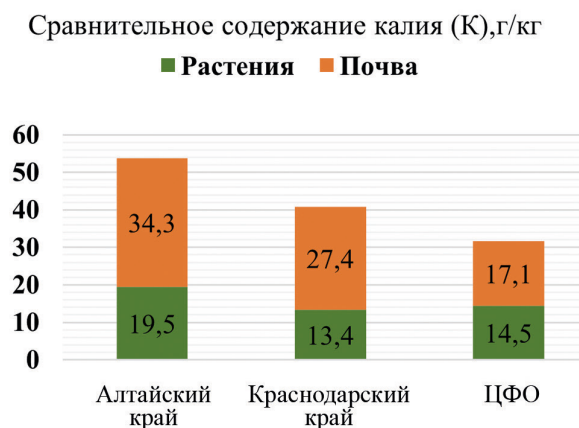
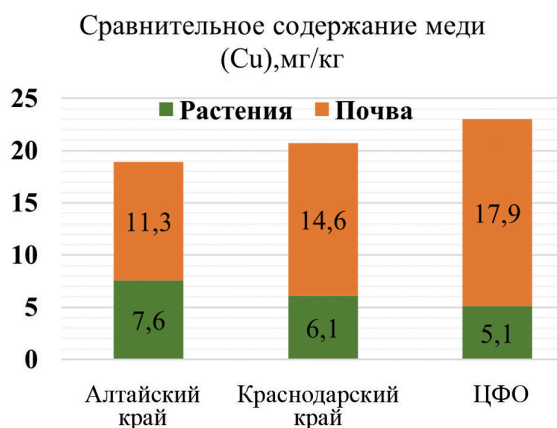
Минеральный элемент	Сено естественных угодий разного географического происхождения		
	Алтайский край	ЦФО	Краснодарский край
Cu, мг/кг	6,9±0,76	4,8±0,34	7,8±0,98
K, г/кг	21,7±1,25	14,1±1,09	18,3±1,45
Mg, г/кг	1,1±0,09	1,6±0,03	1,0±0,02
Mn, мг/кг	60,7±2,54	69,4±2,34	69,9±2,65

Результаты исследования образцов по содержанию минеральных элементов в сене естественных угодий, представленные в табл. 3, свидетельствуют, что уровень минеральных компонентов в образцах сена естественных угодий разного географического происхождения неодинаков. Содержание меди (Cu) в образцах сена естественных угодий Краснодарского края составило в среднем 7,8 мг/кг, что больше, чем в среднем содержалось в сене, собранном в ЦФО, на 37,4 % (4,9 мг/кг) и на 11,5 % больше, чем содержание данного элемента в составе сена, собранного в Алтайском крае (6,9 мг/кг).

Сено естественных угодий, собранное в Алтайском крае, отличалось самым высоким содержанием калия (K) – 21,7 г/кг, что превышало по данному значению образцы сена из ЦФО на 34,9 % (14,2 г/кг) и образцы сена из Краснодарского края на 15,7 % (18,3 г/кг). По содержанию ком-

понента магния (Mg) сено естественных угодий из ЦФО составило 1,7 г/кг и, напротив, превышало образцы из Алтайского края на 34,5 % (1,1 г/кг), а также превышало образцы сена из Краснодарского края на 40,4 % (1,0 г/кг). В большей степени в минеральном составе сена из Краснодарского края содержался марганец (Mn) – 69,9 мг/кг, что превышало по значению данного показателя образцы из Алтайского края на 11,9 % (60,7 мг/кг) и образцы сена из ЦФО на 0,72 % (69,4 мг/кг) соответственно. Таким образом можно отметить, что содержание различных минеральных веществ в сене естественных угодий разного ботанического происхождения неодинаково и зависит от места произрастания растений.

Результаты сравнительного исследования содержания минеральных компонентов в почвах и в растениях разного географического происхождения представлены на рисунке.



Сравнительное содержание минеральных компонентов (Cu, K, Mg и Mn) в образцах почв и растений некоторых регионов России

Comparative content of mineral components (Cu, K, Mg and Mn) in soil and plant samples from some regions of Russia

В ходе анализа результатов исследования сравнительной динамики среднего содержания некоторых минеральных элементов в составе образцов растений и почв исследуемых регионов было установлено, что количество элементов в почвах и растениях в соответствующих регионах не всегда закономерно. Следует отметить, что содержание меди по всем исследуемым регионам неоднородно. Несмотря на то, что наибольшее содержание меди было установлено в почвах ЦФО – $17,9 \pm 3,41$ мг/кг ($\lim f(x)$: 11,3–24,4 мг/кг), содержание данного элемента в растениях ЦФО оказалось самым низким среди других исследуемых регионов и составило $5,1 \pm 0,10$ мг/кг. Содержание меди в почвах Алтайского края было достаточно низким и составило $11,3 \pm 4,51$ мг/кг ($\lim f(x)$: 9,5–16,1 мг/кг), тогда как в составе растений образцов сена содержание данного элемента было самым высоким среди исследуемых регионов – $7,6 \pm 0,73$ мг/кг.

При проведении сравнительного исследования содержания калия в растениях и почвах

регионов было установлено, что содержание этого элемента в растениях изменяется в зависимости от уровня содержания данного элемента в исследуемых почвах. Так, наибольшее содержание калия было выявлено в почвах Алтайского края, что составило $34,3 \pm 6,71$ г/кг ($\lim f(x)$: 21,3–44,7 г/кг), что соответствует наибольшему содержанию данного элемента в составе образцов растений этого региона – $19,5 \pm 1,43$ г/кг. Также следует отметить, что наименьшее содержание калия было обнаружено в почвах ЦФО – $17,1 \pm 1,03$ г/кг ($\lim f(x)$: 15,0–21,1 г/кг), что также соответствует низкому уровню содержания калия в растениях данного региона – $14,5 \pm 2,49$ г/кг.

В процессе сравнительного исследования содержания марганца в растениях и почвах регионов было установлено, что его содержание в растениях изменяется также в зависимости от уровня содержания данного элемента в исследуемых почвах. Наибольшее содержание марганца было выявлено в почвах ЦФО и составило $115,4 \pm 21,7$ мг/кг ($\lim f(x)$: 73,4–136,9 мг/кг),

что соответствует наибольшему содержанию данного элемента в составе образцов растений этого региона – $71,2 \pm 0,9$ мг/кг. Также следует отметить, что наименьшее содержание марганца было обнаружено в почвах Краснодарского края – $79,8 \pm 2,77$ мг/кг ($\lim f(x)$: $69,1$ – $86,5$ мг/кг), что также соответствует уровню содержания марганца в растениях данного региона – $56,7 \pm 1,89$ мг/кг.

При исследовании содержания магния (Mg) в образцах растений и почв было установлено, что оно применяется в растениях также в зависимости от уровня содержания магния в исследуемых почвах. Наибольшее содержание магния было выявлено в почвах Краснодарского края. Это составило $13,5 \pm 2,97$ г/кг ($\lim f(x)$: $10,4$ – $19,6$ г/кг), что соответствует наибольшему содержанию данного элемента в составе образцов растений этого региона – $2,9 \pm 1,10$ г/кг. Также следует отметить, что наименьшее содержание магния было обнаружено в почвах ЦФО – $8,6 \pm 1,04$ г/кг ($\lim f(x)$: $7,1$ – $9,3$ г/кг), что также соответствует уровню содержания магния в растениях данного региона – $1,7 \pm 0,03$ г/кг.

Таким образом, можно предварительно заключить, что содержание минеральных элементов в составе вегетативных частей растений зависит в большей степени от минерального состава почв в различных географических расположениях. Однако степень усвояемости минеральных веществ обусловлена основными параметрами окружающей среды и биохимическими показателями почв.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основании результатов, полученных в ходе исследования, можно отметить, что уровень содержания определенного минерального элемента в почве не всегда определяет уровень его содержания в растении. Так, М.А. Сенченко и М.В. Степанова (2019) в научном исследовании, посвященном миграции тяжелых металлов, отмечают, что содержание минеральных веществ в растениях обусловлено не только уровнем содержания исследуемых веществ непосредственно в составе почв, но и количеством полученных из воздуха и растворенных минеральных веществ в осадках.

При исследовании содержания меди (Cu) в растениях и почве из разных географических зон России отмечена неравномерная закономерность содержания данного элемента в растениях в зависимости от его уровня в почве. Так, при исследовании содержания меди в образцах растений и почв было установлено, что степень усвояемости

элемента растениями из почв не имела прямой зависимости от уровня данного минерального компонента в составе почвы, однако имела определенную тенденцию относительно географического расположения. Содержание меди в почвах ЦФО составило наибольшее значение показателя, тогда как в составе растительной массы данный компонент содержался в наименьшем количестве относительно других исследуемых регионов. В почвах Алтайского края содержание меди находилось на самом низком уровне, тогда как в составе растительной массы содержание данного элемента было самым высоким. Данные результаты свидетельствуют о том, что уровень биоаккумуляции меди в большей степени зависит от внешних факторов. Согласно литературным источникам такими факторами являются: буферная среда почв, свойства гумуса, солнечная активность и антропогенные факторы [4].

При исследовании содержания калия (K) было установлено, что содержание данного минерального компонента было наибольшим в составе почв Алтайского края. Также было выявлено, что биоаккумуляция данного компонента в условиях указанной природно-климатической зоны была также высокой, что выражалось в наибольшем содержании меди в составе растений Алтайского края. Однако в условиях Краснодарского края и ЦФО такая закономерность отсутствовала (см. рисунок). Уровень усвояемости калия в большей степени, чем уровень усвояемости других минералов, зависит от степени развития корневой системы. Это особенно хорошо прослеживается в условиях Алтайского края. Корневая система растений в Алтайском крае отличалась, превалируя по массе, длине, количеству боковых корней и по насыщенности почв корнями. Также снижение уровня усвояемости данного минерала растениями имеет зависимость от эрозии почв, особенно хорошо это наблюдается в условиях ЦФО [8].

Важным элементом для мониторинговых исследований является магний (Mg). Следует отметить, что активность миграции Mg из почвы в растительную массу имеет ярко выраженную тенденцию в условиях теплого климата. Это прослеживается на примере образцов, собранных в Краснодарском крае [1].

Наиболее структурная тенденция биоаккумуляции проявилась при исследовании Mn (см. рисунок). На основании полученных результатов по содержанию указанного минерального компонента в составе почв и растений выявлена связь, которая выражена в зависимости уровня значения

показателя содержания Mn в составе растений от уровня его содержания в составе почв разного географического расположения. Данные результаты объясняются условиями биодоступности марганца на черноземных и суглинистых почвах ЦФО, а также уровнем их кислотности [15].

Как видно, в проведенном мониторинговом исследовании хорошо прослеживается связь содержания отдельных минеральных компонентов с погодно-климатическими, а также почвообразующими факторами исследуемой агроэкосистемы. Так, Н.З. Мирмовсумова (2022) отмечает, что на усвояемость веществ растениями оказывает влияние большое количество факторов. Совершенно справедливо сказать, что такое понятие, как географическое происхождение включает в себя комплекс факторов, влияющих на степень усвояемости минеральных веществ растениями. К таким факторам можно отнести параметры окружающей среды (температура, влажность атмосферы и влажность почвы, степень освещенности участка, кислотно-щелочная реакция грунта, механический и химический состав).

Многие исследователи отмечают, что низкие температуры способствуют замедлению всасывания некоторых минеральных веществ и тормозят поглощение основных элементов питания корневой системой растений. Таким образом, при проведении мониторинга минерального состава растений в зависимости от их географического происхождения, необходимо соблюдать регулярность исследований с целью пополнения базы данных и выявления основных региональных закономерностей миграции минеральных компонентов в исследуемых агроэкосистемах.

ВЫВОДЫ

1. При исследовании содержания меди (Cu) было установлено, что уровень содержания его в составе всех исследуемых образцов варьировал в зависимости от географического происхождения. Наибольшее содержание данного минерального элемента было обнаружено в образцах сена Алтайского края. В процессе исследования содержания калия (K) было выявлено, что уровень содержания его в составе всех исследуемых образцов

варьировал в зависимости от географического происхождения. Наибольшее содержание данного минерального элемента снова было обнаружено в образцах сена Алтайского края. При исследовании содержания магния (Mg) было определено, что уровень содержания его в составе всех исследуемых образцов также варьировал в зависимости от географического происхождения. Наибольшее содержание данного минерального элемента было обнаружено в образцах сена Краснодарского края. В результате исследования содержания марганца (Mn) было установлено, что уровень содержания его в составе всех исследуемых образцов, как и в случае с другими минеральными элементами, варьировал в зависимости от географического происхождения. Наибольшее содержание данного минерального элемента было обнаружено в образцах сена, собранных в Центральном федеральном округе.

2. На основании полученных результатов было установлено, что степень усвояемости минеральных элементов, выраженная в коэффициенте использования растениями элемента питания из запасов почвы (КИП), в Алтайском крае составила: медь (Cu) – 67,4 %; калий (K) – 56,9 %; магний (Mg) – 8,1 %; марганец (Mn) – 58,4 %. Степень усвояемости исследуемых компонентов в системе «почва – растение» Краснодарского края составила: медь (Cu) – 41,8 %; калий (K) – 48,1 %; магний (Mg) – 21,5 %; марганец (Mn) – 71,1 %. КИП в агроэкосистеме ЦФО составила: медь (Cu) – 28,5 %; калий (K) – 84,8 %; магний (Mg) – 19,8 %; марганец (Mn) – 61,7 %.

3. Сравнительный анализ миграции минеральных веществ – меди, калия, магния и марганца в системе «почва – растение» показал, что содержание минеральных компонентов в составе растений не имеет прямой зависимости от уровня содержания соответствующих минералов в составе почв. Уровень содержания их зависит в большей степени от погодно-климатических и почвообразующих факторов местности, а степень усвояемости и накопления исследуемых минеральных веществ обусловлена основными параметрами окружающей среды и биохимическими показателями почв.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аканова Н.И., Козлова А.В., Мухина М.Т. Роль магния в системе питания растений // Агрохимический вестник. – 2021. – № 6. – С. 66–71.
2. Гасанова В.Ю. Содержание микроэлементов в кормах и крови животных // Студенты – науке и практике АПК: мат-лы 104-й Междунар. науч.-практ. конф. студентов и магистрантов. – Витебск, 2019. – С. 39–44.

3. Дьяченко О.В. Влияние минеральных удобрений на биохимический состав сена многолетних люцерно-мятликовых травосмесей на дерново-подзолистой почве Нечерноземной зоны Центрального региона РФ // Теория и практика современной аграрной науки. – 2021. – № 2. – С. 82–84.
4. Жуйков Д.В. Мониторинг содержания микроэлементов (Mn, Zn, Co) в агроценозах юго-западной части Центрально-Черноземного района России // Земледелие. – 2020. – № 5. – С. 9–13.
5. Иванищев В.В. Биоаккумуляция, гомеостаз и токсичность меди в растениях // Известия ТулГУ. Естественные науки. – 2020. – № 1. – С. 33–40.
6. Кирсанов В.В., Цой Ю.А. Тенденции развития биотехнических систем в животноводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14, № 3. – С. 27–32. – DOI: 10.22314/2073-7599-202014-3-27-32.
7. Лазарева М.В., Шкиль Н.А., Мезенцева С.В. Обоснование фармакологической коррекции минерального состава рационов для животных // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 3. – С. 110–115.
8. Мацнев И.Н., Анисимова Т.Г. Влияние микроэлементов на продуктивность сельскохозяйственных культур // Наука и Образование. – 2021. – № 2, Т. 4. – С. 76–78.
9. Прокошев В.В. Место и значение калия в агроэкосистеме // Российский химический журнал. – 2005. – Т. XLIX, № 3. – С. 35–41.
10. Сысо А.И., Сиромля Т.И. Химические элементы и их соединения в почвах и растениях нативных и антропогенных экосистем Сибири // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах. – 2018. – № 4. – С. 137–150.
11. Токарь В.В. Заболевания овец при недостаточности некоторых микроэлементов в корме // Актуальные вопросы развития аграрного сектора экономики байкальского региона. – 2021. – № 2. – С. 298–301.
12. Трубников Ю.Н., Бопп В.Л. Влияние минеральных удобрений и гербицидов на семенную продуктивность многолетних трав в Приенисейской Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 1. – С. 83–90. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-83-90.
13. Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Аюпов М.Р. Применение комбинированного облучения в светокультуре // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14, № 2. – С. 46–52. – DOI: 10.22314/20737599-2020-14-2-46-52.
14. Фоменко П.А., Богатырева Е.В., Гусаров И.В. Химический состав кормов, заготовленных в Вологодской области // Стратегия и тактика реализации социально-экономических реформ: региональный аспект: мат-лы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Вологда, 12–14 декабря 2018 г.). – Вологда, 2022. – С. 474–477.
15. Manganese in Plants: From Acquisition to Subcellular Allocation / S. Alejandro, S. Höller, B. Meier, E. Peiter // Front. Plant Sci. – 2020. – Vol. 3. – P. 11:300. – DOI: 10.3389/fpls.2020.00300.
16. Al-Sagheer A.A. Paulownia leaves as a new feed resource: Chemical composition and effects on growth, carcasses, digestibility, blood biochemistry, and intestinal bacterial populations of growing rabbits // Animals. – 2019. – Vol. 9, № 3. – P. 95.
17. Ghorbani Y. Repurposing legacy metallurgical data Part I: A move toward dry laboratories and data bank // Minerals Engineering. – 2020. – Vol. 159. – P. 106646.
18. Ghorbani Y. Repurposing legacy metallurgical data part II: Case studies of plant performance optimisation and process simulation // Minerals Engineering. – 2021. – Vol. 160. – P. 106667.
19. Ikoyi A.Y., Younge B.A. Influence of forage particle size and residual moisture on near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) calibration accuracy for macro-mineral determination // Animal Feed Science and Technology. – 2020. – Vol. 270. – P. 114674.
20. Janyszek-Soltysiak M. Mineral contents in Aboveground Biomass of Sedges (Carex L., Cyperaceae) // Energies. – 2021. – Vol. 14, № 23. – P. 8007.
21. Reiné R., Ascaso J., Barrantes O. Nutritional quality of plant species in Pyrenean hay meadows of high diversity // Agronomy. – 2020. – Vol. 10, № 6. – P. 883.
22. Singh K.K. Effect of feeding micro-nutrient fertilized oat hay based diets on nutrient utilization and mineral balance in growing lambs // Range Management and Agroforestry. – 2020. – Vol. 41, № 1. – P. 141–146.
23. ГОСТ ISO 6498–2014. Корма, комбикорма. Подготовка проб для испытаний. – М.: Стандартинформ, 2023. – 46 с.
24. М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии м-мви-80-2008. – СПб., 2008. – 27 с.

REFERENCES

1. Akanova N.I., Kozlova A.V., Mukhina M.T., *Agrokhimicheskiy vestnik*, 2021, No. 6, pp. 66–71. (In Russ.)

2. Gasanova V.Yu., *Studenty – nauke i praktike APK* (The content of trace elements in animal feed and blood), Materials of the 104-th International Scientific and practical Conference of students and undergraduates, Vitebsk, 2019, pp. 39–44. (In Russ.)
3. D'yachenko O.V., *Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki*, 2021, No. 2, pp. 82–84. (In Russ.)
4. Zhuykov D.V., *Zemledelie*, 2020, No. 5, pp. 9–13. (In Russ.)
5. Ivanitsev V.V., *Izvestiya TulGU. Estestvennye nauki*, 2020, No. 1, pp. 33–40. (In Russ.)
6. Kirsanov V.V., Tsoy Yu.A., *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*, 2020, T. 14, No. 3, pp. 27–32, DOI: 10.22314/2073-7599-202014-3-27-32. (In Russ.)
7. Lazareva M.V., Shkil' N.A., Mezentsseva S.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2020, No. 3, pp. 110–115. (In Russ.)
8. Matsnev I.N., Anisimova T.G., *Nauka i Obrazovanie*, 2021, No. 2, T. 4, pp. 76–78. (In Russ.)
9. Prokoshev V.V., *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*, 2005, T XLIX, No. 3, pp. 35–41. (In Russ.)
10. Syso A.I., Siromlya T.I., *Biogeokhimiya khimicheskikh elementov i soedineniy v prirodnikh sredakh*, 2018, No. 4, pp. 137–150. (In Russ.)
11. Tokar' V.V., *Aktual'nye voprosy razvitiya agrarnogo sektora ekonomiki baykal'skogo regiona*, 2021, No. 2, pp. 298–301. (In Russ.)
12. Trubnikov Yu.N., Bopp V.L., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2023, No. 1, pp. 83–90, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-83-90. (In Russ.)
13. Rakut'ko S.A., Rakut'ko E.N., Ayupov M.R., *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*, 2020, T 14, No. 2, pp. 46–52, DOI: 10.22314/20737599-2020-14-2-46-52. (In Russ.)
14. Fomenko P.A., Bogatyreva E.V., Gusarov I.V., *Strategiya i taktika realizatsii sotsial'no-ekonomicheskikh reform* (Strategy and tactics of the implementation of socio-economic reforms: a regional aspect), Proceedings of the VIII International Scientific and Practical conference Vologda, 2022, pp. 474–477. (In Russ.)
15. Alejandro S., Höller S., Meier B., Peiter E., Manganese in Plants: From Acquisition to Subcellular Allocation, *Front. Plant Sci.*, 2020, Vol. 3, pp. 11:300, DOI: 10.3389/fpls.2020.00300.
16. Al-Sagheer A.A., Paulownia leaves as a new feed resource: Chemical composition and effects on growth, carcasses, digestibility, blood biochemistry, and intestinal bacterial populations of growing rabbits, *Animals*, 2019, Vol. 9, No. 3, pp. 95.
17. Ghorbani Y., Repurposing legacy metallurgical data Part I: A move toward dry laboratories and data bank, *Minerals Engineering*, 2020, Vol. 159, pp. 106646.
18. Ghorbani Y., Repurposing legacy metallurgical data part II: Case studies of plant performance optimisation and process simulation, *Minerals Engineering*, 2021, Vol. 160, pp. 106667.
19. Ikoyi A.Y., Younge B.A., Influence of forage particle size and residual moisture on near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) calibration accuracy for macro-mineral determination, *Animal Feed Science and Technology*, 2020, Vol. 270, pp. 114674.
20. Janyszek-Softysiak M., Mineral contents in Aboveground Biomass of Sedges (*Carex L.*, Cyperaceae), *Energies*, 2021, Vol. 14, No. 23, pp. 8007.
21. Reiné R., Ascaso J., Barrantes O., Nutritional quality of plant species in Pyrenean hay meadows of high diversity, *Agronomy*, 2020, Vol. 10, No. 6, pp. 883.
22. Singh K.K., Effect of feeding micro-nutrient fertilized oat hay based diets on nutrient utilization and mineral balance in growing lambs, *Range Management and Agroforestry*, 2020, Vol. 41, No. 1, pp. 141–146.
23. *GOST ISO 6498–2014*, Korma kombikorma. Podgotovka prob dlya ispytaniy (Compound feed. Preparation of samples for testing), Moscow: Standartinform, 2023, 46 p. (In Russ.)
24. *M-MVI-80-2008*, Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli elementov v probakh pochv, gruntov i donnykh otlozheniyakh metodami atomno-emissionnoy i atomno-absorbtsionnoy spektrometrii m-mvi-80-2008 (Methodology for measuring the mass fraction of elements in soil samples, soils and bottom sediments using atomic emission and atomicabsorption spectrometry m-mvi-80-2008), Sankt- Petersburg, 2008, 27 p. (In Russ.)

Информация об авторах:

О.В. Серебрякова, старший научный сотрудник

М.Е. Бельшкينا, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

Contribution of the authors:

O.V. Serebryakova, senior researcher

M.E. Belyshkina, doctor of agricultural sciences, Chief Researcher

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.