

УДК 633.312:631.83:631.85:631.438.2

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

**ПРОДУКЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И БИОХИМИЧЕСКИЙ СТАТУС ЛЮЦЕРНЫ ЖЁЛТОЙ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ**

Харкевич Людмила Петровна  
д. с.-х. н., ведущий научный сотрудник  
РИНЦ SPIN-код: 4087-5381

Ситнов Дмитрий Михайлович  
ведущий научный сотрудник  
РИНЦ SPIN-код: 5451-2161  
nsos.lab.korma@yandex.ru

Адамко Василий Николаевич  
канд. с.-х. н., директор  
РИНЦ SPIN-код: 8346-4845  
Новозыбковская СХОС – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», Россия, 243020, Брянская область, Новозыбковский район, п. Опытная станция

Ситнов Олег Дмитриевич  
аспирант  
РИНЦ SPIN-код: 8963-0379

Белоус Николай Максимович  
д. с.-х. н., профессор  
РИНЦ SPIN-код: 9181-1526  
belous\_nm@mail.ru

Чесалин Сергей Фёдорович  
д. с.-х. н., доцент  
РИНЦ SPIN-код: 1925-9800  
Брянский ГАУ, Россия, 243365, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская 2а

В условиях полевого стационарного опыта проведена комплексная оценка отзывчивости люцерны жёлтой на дифференцированные режимы фосфорно-калийного питания. Анализ многолетних данных выявил определяющее влияние минерального фактора на формирование продукционного потенциала агрофитоценоза. На неудобренном фоне средний выход фитомассы за вегетационный период составил 15,7 т/га (первый укос) и 12,2 т/га (второй укос). Агрохимический приём обеспечил существенную прибавку продуктивности. Максимальная эффективность достигнута при применении Р<sub>60</sub>К<sub>180</sub>, где установлена урожайность, достоверно превышающая значения контрольного варианта. Установлена зависимость между количеством удобрений и аккумуляцией нутриентов: выход кормовых единиц, сырого протеина и обменной энергии. Отмечена синхронная динамика изменения биохимического со-

UDC 633.312:631.83:631.85:631.438.2

4.1.3. Agrochemistry, agrosoil science, plant protection and quarantine (agricultural sciences)

**PRODUCTION POTENTIAL AND BIOCHEMICAL STATUS OF YELLOW ALFALFA UNDER CONDITIONS OF DIFFERENT LEVELS OF MINERAL NUTRITION**

Kharkevich Lyudmila Petrovna  
Dr.Sci.Agr., leading researcher  
RSCI SPIN-code: 4087-5381

Sitnov Dmitry Mikhailovich  
leading researcher  
RSCI SPIN-code: 5451-2161  
nsos.lab.korma@yandex.ru

Adamko Vasily Nikolaevich,  
Cand.Agr.Sci., Director  
RSCI SPIN-code: 9347-5038  
Novozybkov AES – branch of FSC «All-Russia Williams Fodder Research Institute», Russia, 243020, Bryansk region, Novozybkovsky district, Experimental station

Sitnov Oleg Dmitrievich  
graduate student  
RSCI SPIN-code: 8963-0379

Belous Nikolay Maksimovich  
Dr.Sci.Agr., professor  
RSCI SPIN-code: 9181-1526  
belous\_nm@mail.ru

Chesalin Sergey Fedorovich  
Dr.Sci.Agr., assistant professor  
RSCI SPIN-code: 1925-9800  
Bryansk SAU, Russia, 243365, Bryansk region, Vygonichsky district, selo Kokino, ul. Sovetskaya 2a

A comprehensive assessment of the response of yellow alfalfa to differentiated phosphorus-potassium nutrition regimes was carried out under field experiment conditions. Analysis of long-term data revealed the determining influence of the mineral factor on the formation of the production potential of the agrophytocoenosis. On the unfertilized background, the average phytomass yield per growing cycle was 15,7 t/ha (first cut) and 12,2 t/ha (second cut). Agrochemical reclamation provided a significant transformation of productivity. Maximum efficiency was achieved with the application of the Р<sub>60</sub>К<sub>180</sub> composition, where yield indicators reliably exceeded control values. A direct correlation was established between the amount of fertilizers and the accumulation of nutrients: the output of feed units, crude protein, and metabolizable energy demonstrated progressive growth. A synchronous dynamics of changes in the biochemical composition of

ства растительного материала – концентрация протеина, структурных полисахаридов и безазотистых экстрактивных компонентов достигала оптимума при максимальном исследуемом уровне минерального питания. Радиологический мониторинг выявил превышение регламентированных показателей удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в фитомассе контрольных вариантов. Исследуемые дозы удобрения проявили себя как биохимический барьер, ограничивающий транслокацию радионуклидов по почвенно-трофической цепи. Фитомасса второго укоса характеризовалась меньшими значениями по сравнению с первым

Ключевые слова: ЛЮЦЕРНА, ЗЕЛЁНАЯ МАССА, УРОЖАЙНОСТЬ, СЫРОЙ ПРОТЕИН, ПЕРЕВАРИМЫЙ ПРОТЕИН, КОРМОВЫЕ ЕДИНИЦЫ, ОБМЕННАЯ ЭНЕРГИЯ,  $^{137}\text{CS}$

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-213-037>

plant material was noted – the concentration of the protein fraction, structural polysaccharides, and nitrogen-free extractive components reached an optimum at the maximum studied level of mineral nutrition. Radiological screening revealed exceeding the regulated levels of specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in the phytomass of the control variants. The tested fertilizer system exhibited properties of a biochemical barrier, limiting the translocation of radionuclides along the soil-trophic chain. Contamination of the vegetative mass of the second cut was characterized by lower values compared to the first

Keywords: ALFALFA, GREEN MASS, YIELD, CRUDE PROTEIN, DIGESTIBLE PROTEIN, FEED UNITS, METABOLIZABLE ENERGY,  $^{137}\text{CS}$

**Введение.** Формирование ресурсной базы высокобелковых кормов напрямую связано с развитием полевого кормопроизводства. В качестве основного сырья для создания сбалансированных рационов выступают многолетние травы, где особая роль отводится представителям семейства бобовых. Стратегия увеличения посевных площадей под эти культуры доказала свою эффективность в преодолении дефицита кормов.

Среди перспективных кормовых растений люцерна посевная (*Medicago sativa L.*) выделяется устойчивыми позициями в агрокомплексе [1]. Ее ценность определяется не только значительной биологической урожайностью, но и рекордным накоплением протеина в вегетативной массе. Ключевым достоинством является превосходство над большинством возделываемых растений по концентрации аминокислот.

Высокая экологическая пластичность позволяет люцерне успешно акклиматизироваться в различных почвенно-климатических зонах, что стимулирует увеличение её сельскохозяйственного ареала возделывания. Востребованность культуры объясняется комплексом хозяйствственно-полезных свойств, включая способность к многолетнему произрастанию на одном участке (более пяти лет) при сохранении объемов воспроизводства

биомассы. Мировое распространение культуры превышает 35 млн га, тогда как в России её возделывают на площади 2,3-2,5 млн га [2, 3, 4].

Существенным агроэкологическим преимуществом признана способность культуры обогащать почву азотом через симбиотическую фиксацию. Данный процесс приводит к качественному улучшению агрофизических и биохимических параметров почвы, что особенно важно для мало-продуктивных дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава [5].

В условиях радиоактивного загрязнения территории, приоритетной задачей становится организация производства продукции кормопроизводства, гарантирующего соответствие продукции допустимым уровням содержание техногенных загрязнителей. Мониторинговые исследования подтверждают сохранение повышенного фона радионуклидного загрязнения почвенного покрова относительно доаварийных показателей. Следствием является систематическая регистрация превышений нормативов по  $^{137}\text{Cs}$  в растительной продукции кормового назначения. Таким образом, радиологический контроль кормов служит важным барьером для предотвращения транслокации радионуклидов по трофическим цепям и снижения уровня внутреннего облучения населения [6].

**Цель исследования** – определить роль фосфорно-калийного удобрения при возделывании люцерны жёлтой в условиях радиоактивно загрязнённых дерново-подзолистых песчаных почв.

**Материалы и методы исследований.** Экспериментальные исследования выполнены на территории Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции. Почвенный покров опытного поля представлен песчаной дерново-подзолистой почвой. Агрохимический анализ пахотного горизонта определил следующие параметры: гумус – 1,8-2,1%, величина кислотности солевой вытяжки – 5,5-5,8 ед., обеспеченность подвижным фосфором

– 180-220 мг/кг почвы, обеспеченность подвижным калием – 80-100 мг/кг.

Уровень плотности радиоактивного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  – 243–324 кБк/м<sup>2</sup>.

В качестве объекта изучения использовали люцерну желтую (сорт Павловская 7). Программа эксперимента включала три варианта: 1 – Контроль (без удобрений); 2 –  $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ ; 3 –  $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ . Делянки имели общую площадь 30 м<sup>2</sup> с учетной частью 20 м<sup>2</sup>. Схема опыта предполагала систематическое расположение делянок в трехкратной повторности. Учет урожая люцерны проводился поделяночно в фазу бутонизации.

Методологической основой работы служили нормативные документы по организации длительных полевых опытов и определению радионуклидов в компонентах агроэкосистем. Полевые и лабораторные исследования выполняли в соответствии с регламентированными методами [7, 8]. Количественный анализ  $^{137}\text{Cs}$  в образцах растительного материала осуществляли на спектрометрическом комплексе УСК «Гамма плюс» с применением программного обеспечения «Прогресс–2000».

В годы проведения исследований метеорологические условия различались по количеству осадков и температурным показателям.

**Результаты и обсуждения.** Установлено значимое влияние погодных факторов на продуктивность люцерны, что подтверждается колебаниями выхода зеленой массы по годам исследований (табл. 1). Минимальные показатели урожайности зафиксированы в 2022 году, а максимальные – в 2024 году.

Анализ продуктивности люцерны в первом укосе на протяжении четырёхлетнего цикла исследований выявил минимальные показатели выхода зелёной массы на контрольном варианте без применения удобрений. В первом укосе данный показатель составил 15,7 т/га, во втором – 12,2 т/га. Внесение фосфорно-калийных туков оказало статистически значимое стимулирующее воздействие на ростовые процессы и формирование урожая.

Таблица 1 – Урожайность зелёной массы люцерны желтой, т/га

| Вариант                          | 2021 г. | 2022 г. | 2023 г. | 2024 г. | Среднее | Прибавка |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| <b><i>1 укос</i></b>             |         |         |         |         |         |          |
| Контроль                         | 16,2    | 14,9    | 15,6    | 16,2    | 15,7    | –        |
| P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> | 18,3    | 17,0    | 18,6    | 19,3    | 18,3    | 2,6      |
| P <sub>60</sub> K <sub>180</sub> | 21,0    | 19,5    | 21,7    | 22,6    | 21,2    | 5,5      |
| <i>HCP<sub>05</sub></i>          |         |         |         |         |         | 0,8      |
| <b><i>2 укос</i></b>             |         |         |         |         |         |          |
| Контроль                         | 12,9    | 11,9    | 12,5    | 11,4    | 12,2    | –        |
| P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> | 14,8    | 13,8    | 15,0    | 13,7    | 14,3    | 2,1      |
| P <sub>60</sub> K <sub>180</sub> | 17,2    | 16,0    | 17,8    | 16,3    | 16,8    | 4,6      |
| <i>HCP<sub>05</sub></i>          |         |         |         |         |         | 0,5      |

При использовании дозы P<sub>60</sub>K<sub>120</sub> продуктивность культуры в первом укосе достигла 18,3 т/га, а во втором – 14,3 т/га. Доведение дополнительного минерального питания до уровня P<sub>60</sub>K<sub>180</sub> обусловило дальнейший прирост биомассы: в первом укосе урожайность возросла на 5,5 т/га относительно контроля, достигнув 21,2 т/га, во втором укосе прибавка составила 4,6 т/га (16,8 т/га). По сравнению с вариантом P<sub>60</sub>K<sub>120</sub> преимущество более высокой дозы удобрений выражалось в дополнительном увеличении урожайности на 2,9 т/га и 2,5 т/га для первого и второго укосов соответственно.

Расчёт средних значений за четырёхлетний период продемонстрировал, что максимальное накопление сухого вещества (7,6 т/га) зафиксировано в варианте с внесением P<sub>60</sub>K<sub>180</sub> (табл. 2). Также установлена чёткая корреляция между уровнем минерального питания и выходом питательных веществ с единицы площади. Повышение доз удобрений увеличивало сбор сырого протеина, кормовых единиц и объём обменной энергии, при этом

пиковые значения перечисленных показателей зарегистрированы при применении дозировки  $P_{60}K_{180}$ .

Таблица 2 – Продуктивность зеленой массы люцерны жёлтой (среднее за период 2021-2024 годов)

| Вариант         | Сухое вещество, т/га | Сырой протеин, т/га | Кормовые единицы, тыс. | Обменная энергия, ГДж/га |
|-----------------|----------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|
| Контроль        | 5,6                  | 0,74                | 3,14                   | 46,8                     |
| $P_{60}K_{120}$ | 6,5                  | 1,07                | 3,65                   | 54,6                     |
| $P_{60}K_{180}$ | 7,6                  | 1,16                | 4,12                   | 62,6                     |

Интенсивность минерального питания оказывала детерминирующее влияние на биохимический состав вегетативной массы люцерны (табл. 3). Установлена прямая зависимость между уровнем применения композиций удобрений и аккумуляцией сырого протеина в растительных тканях. Наименьшая концентрация протеинов (15,24%) регистрировалась в контроле без удобрений, тогда как максимальное значение (16,63%) достигнуто при использовании дозы  $P_{60}K_{180}$ . Схожая динамика отмечалась для показателей содержания структурных углеводов и безазотистых экстрактивных веществ.

Таблица 3 – Качественные показатели зеленой массы люцерны желтой (среднее за период 2021-2024 годов)

| Вариант         | Сырой протеин, % | Сырой жир, % | Сырая клетчатка, % | БЭВ, % | Содержание ПП в 1 к. ед., г |
|-----------------|------------------|--------------|--------------------|--------|-----------------------------|
| Контроль        | 15,24            | 1,60         | 31,54              | 35,76  | 192,7                       |
| $P_{60}K_{120}$ | 16,41            | 1,50         | 31,70              | 35,94  | 205,5                       |
| $P_{60}K_{180}$ | 16,63            | 1,41         | 32,31              | 36,53  | 207,8                       |

Количество переваримой фракции протеина достигало максимума в варианте с внесением удобрений в количестве  $P_{60}K_{180}$ .

В рамках обеспечения радиационной безопасности кормовой продукции проводился мониторинг соответствия нормативным требованиям, регламентированным ТР ТС 015/2011 и ВП 13.5.13/06-01. Установлена определяющая роль калийных удобрений в ограничении содержания радионуклидов в получаемой растительной продукции.

Лабораторный анализ выявил превышение гигиенического норматива (400 Бк/кг) по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  в образцах фитомассы первого укоса с контрольных делянок (табл. 4). Применение калия в дозе 120 кг/га способствовало снижению радиологической контаминации, а увеличение дозировки до 180 кг/га усиливало данный эффект. В зависимости от уровня калийного питания удельная активность радионуклида в растительном материале снижалась в 1,3-1,8 раза.

Таблица 4 – Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зеленой массе (сухое вещество) люцерны жёлтой (среднее за период 2021-2024 годов), Бк/кг

| Вариант         | 1-й укос          |           |     | 2-й укос          |           |     |
|-----------------|-------------------|-----------|-----|-------------------|-----------|-----|
|                 | $^{137}\text{Cs}$ | ± к контр | Ксн | $^{137}\text{Cs}$ | ± к контр | Ксн |
| Контроль        | 462               | –         | –   | 418               | –         | –   |
| $P_{60}K_{120}$ | 362               | 100       | 1,3 | 316               | 102       | 1,3 |
| $P_{60}K_{180}$ | 255               | 107       | 1,8 | 238               | 180       | 1,8 |
| $HCP_{05}$      | –                 | 45        | –   | –                 | 38        | –   |

Радиологическое загрязнение сена второго укоса характеризовалось меньшими значениями удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  по сравнению с первым укосом. На неудобренном фоне сохранялось превышение регламентируемых показателей. Наблюдалась обратно пропорциональная зависимость между дозой внесенного калия и содержанием  $^{137}\text{Cs}$ , подтверждающая способность калийных удобрений снижать количество радиоактивных изотопов в системе почва-растение.

**Заключение.** Применение фосфорно-калийных удобрений в дозе Р<sub>60</sub>К<sub>180</sub> обеспечило наибольшее значения продуктивности люцерны жёлтой, составившие 21,2 т/га в первом укосе и 16,8 т/га во втором. Анализ полученных данных выявил прямую корреляцию между уровнем минерального питания и ключевыми параметрами корма, причем оптимизация минерального питания достигнута при максимальной исследуемой дозировке.

Радиологический мониторинг показал превышение допустимых нормативов по удельной активности <sup>137</sup>Cs в контрольных вариантах независимо от срока укоса. Использование фосфорно-калийных композиций способствовало снижению аккумуляции радионуклида до регламентированных значений.

### Литература

1. Косолапова, В. Г. Питательная ценность люцерны различных сортов в процессе роста и развития / В. Г. Косолапова, С. А. Муссие // Кормопроизводство. – 2020. – № 10. – С. 17-24.
2. Rovkina, K. I. Water-Soluble Polysaccharides of Alfalfa (*Medicago sativa* (Fabaceae) of flora of Krasnoyarsk Krai / K. I. Rovkina, S. V. Krivoshchekov, A. V. Guryev, M. S. Yusubov, M. V. Belousov // Russian Journal of Dioorganic Chemistry. – 2018. – No. 44(7). – P. 854-859.
3. Абдушаева, Я. М. Создание агрофитоценозов люцерны в Условиях Новгородской области / Я. М. Абдушаева, Н. Б. Дегунова, С. В. Кун // Фундаментальные исследования. – 2006. – №5. – С. 21-23.
4. Radovich, J. Alfalfa – most important perennial forage legume in animal husbandry / J. Radovich, D. Sokolovich, J. Markovich // Biotechnology in animal Husbandry. – 2009. – № 25 – P. 465-475.
5. Догузова, Н. Н. Семенная продуктивность различных сортов люцерны для предгорной зоны Северного Кавказа / Н. Н. Догузова // Аграрная наука. – 2020. – № 10. – С. 64-67.
6. Романович, И. К. Результаты современных радиационно-гигиенических обследований приграничных с республикой Беларусь населенных пунктов Брянской области Российской Федерации. Часть 3: Содержание радионуклидов в сельскохозяйственных пищевых продуктах / И. К. Романович, А. Б. Базюкин, А. А. Братилова, Г. Я. Брук, Е. А. Дроздова, Т. В. Жеско, М. В. Кадука, О. С. Кравцова // Радиационная гигиена. – 2024. – Т.17(2). – С. 7-17.
7. Методические указания по определению естественных радионуклидов в почвах и растениях. – М.: ЦИНАО. – 1985. –22 с.
8. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Ч. 1. М.: ВИУА, 1975. 167 с.; Ч.2. М.: ВИУА, 1983. 171 с. Ч.3. М.: ВИУА, 1985. 131 с.

**References**

1. Kosolapova, V. G. Pitatel'naja cennost' ljcerny razlichnyh sortov v processe rosta i razvitiya / V. G. Kosolapova, S. A. Mussie // Kormoproizvodstvo. – 2020. – № 10. – S. 17-24.
2. Rovkina, K. I. Water-Soluble Polysaccharides of Alfalfa (*Medicago sativa* (Fabaceae) of flora of Krasnoyarsk Krai / K. I. Rovkina, S. V. Krivoshchekov, A. V. Guryev, M. S. Yusubov, M. V. Belousov // Russian Journal of Dioorganic Chemistry. – 2018. – No. 44(7). – P. 854-859.
3. Abdushaeva, Ja. M. Sozdanie agrofitocenozov ljcerny v Uslovijah Novgorodskoj oblasti / Ja. M. Abdushaeva, N. B. Degunova, S. V. Kun // Fundamental'nye issledovaniya. – 2006. – №5. – S. 21-23.
4. Radovich, J. Alfalfa – most important perennial forage legume in animal husbandry / J. Radovich, D. Sokolovich, J. Markovich // Biotechnology in animal Husbandry. – 2009. – № 25 – P. 465-475.
5. Doguzova, N. N. Semennaja produktivnost' razlichnyh sortov ljcerny dlja predgornoj zony Severnogo Kavkaza / N. N. Doguzova // Agrarnaja nauka. – 2020. – № 10. – S. 64-67.
6. Romanovich, I. K. Rezul'taty sovremennoj radiacionno-gigienicheskikh obsledovanij prigranichnyh s respublikoj Belarus' naseleñnyh punktov Brjanskoy oblasti Rossijskoj Federacii. Chast' 3: Soderzhanie radionuklidov v sel'skohozjajstvennyh pishhevyh produktah / I. K. Romanovich, A. B. Bazjukin, A. A. Bratilova, G. Ja. Bruk, E. A. Drozdova, T. V. Zhesko, M. V. Kaduka, O. S. Kravcova // Radiacionnaja gigiena. – 2024. – T.17(2). – S. 7-17.
7. Metodicheskie ukazanija po opredeleniju estestvennyh radionuklidov v pochvah i rastenijah. – M.: CINAO. – 1985. –22 s.
8. Metodicheskie ukazanija po provedeniju issledovanij v dlitel'nyh optyatah s udobrenijami. Ch. 1. M.: VIUA, 1975. 167 s.; Ch.2. M.: VIUA, 1983. 171 s. Ch.3. M.: VIUA, 1985. 131 s.