

Научная статья

Original article

УДК 619:616.449+ 631.582.(571.56)

DOI 10.55186/25876740\_2022\_6\_6\_32

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР В  
АДАПТИВНОМ СЕВООБОРОТЕ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ**  
ENERGY EFFICIENCY OF FODDER CROPS IN ADAPTIVE CROP ROTATION IN  
THE CONDITIONS OF CRYOLITHOZONE



**Максимова Харитина Ивановна**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории кормопроизводства и ягодных культур ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова, (677010, Россия, Республика Саха (Якутия) г. Якутск, Бестужева-Марлинского 23/1), 8(924)8659262, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1640-5531>, [tinamaksimova56@mail.ru](mailto:tinamaksimova56@mail.ru)

**Maksimova Kharitina Ivanovna**, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Feed Production at Ministry of Education of Russia, Yakut Scientific Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronov (677010, Russia, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Bestuzheva-Marlinskovo, Str. 23/1). ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1640-5531>, [tinamaksimova56@mail.ru](mailto:tinamaksimova56@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассматриваются результаты изучения продуктивности кормовых культур в почвенно-климатических условиях Центральной Якутии, энергетическая оценка и эффективность кормовых культур в севообороте.

Исследования проводились в 2019–2022 гг. на участке «Мойдоох» ООО «Экоферма Туймаада» Кангаласского улуса, на мерзлотных лугово-черноземных солонцеватых почвах. Агрохимические показатели почвы следующие: реакция среды щелочная pH солевая - 7,33-7,52; содержание гумуса в пахотном горизонте 2,93 – 2,91%, содержание подвижных форм азота  $N_{\text{нитр.}}$  - 0,13 – 0,16 мг/100 г; подвижных форм фосфора  $P_2O_5$  – 18,23 – 18,53 мг/100 г; калия  $K_2O$  – 27,85 – 28,03 мг/100г. Схема пятипольного кормового севооборота: Овес (на зеленую массу) - озимая рожь; озимая рожь (зеленый конвейер, сенаж) - овес (на силос, зеленый конвейер); викоовсяная смесь (на силос и сенаж); подсолнечник сорт Кулундинец (на силос); люцерна + пырейник сибирский (выводное поле). Изучались сорта кормовых культур местной селекции и адаптированная высокоурожайная, теплолюбивая культура подсолнечник. Варианты минеральных удобрений: 1 .Контроль; 2 (NPK)<sub>60</sub> кг/га; 3. Расчетная доза - (NPK)<sub>160</sub> кг/га д.в. Наблюдения и учеты, математическая обработка экспериментального материала проводились по методике ВНИИ кормов и методике полевого опыта, работа выполнялась с использованием анализатора ИК Spectra Star 2200 на базе ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН<sup>1</sup>. В кормовом севообороте по изучению агроэкологических и ресурсосберегающих способов повышения продуктивности кормовых культур и плодородия мерзлотных почв, установлено: Введение в звенья севооборота сортов местной селекции, адаптированных, районированных кормовых культур, а также внесение рекомендованной дозы минерального удобрения (NPK)<sub>60</sub> д.в/га и расчетной дозы на планируемый урожай в дозе (NPK)<sub>160</sub> д.в./га обеспечивают с 1 га севооборотной площади в среднем за ротацию 12,7 – 17,0 т зеленой массы; В адаптивном севообороте с элементами АЛСЗ в условиях криолитозоны кормовые культуры в среднем по севообороту обеспечивают энергетический коэффициент 1,25 – 3,05, что показывает эффективность схемы кормового севооборота в условиях криолитозоны.

**Abstract.** The article deals with the results of studying the productivity of fodder crops crops in soil and climatic conditions of Central Yakutia, energy assessment and efficiency of fodder crops in crop rotation. The studies were conducted in 2019-2022 at the Moidookh site of LLC "Ecofarm Tuymaada" of kangalassky ulus, on permafrost meadow-chernozem

saline soils. Agrochemical indicators of the soil are as follows: alkaline pH salt reaction - 7.33-7.52; humus content in the arable horizon is 2.93 - 2.91%, the content of mobile forms of nitrogen N<sub>nitr.</sub>- 0,13 - 0,16 mg/100 g; mobile forms of phosphorus P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 18.23 - 18.53 mg / 100 g; potassium K<sub>2</sub>O - 27.85 - 28.03 mg / 100g. Scheme of five-field fodder crop rotation: Oats (for green weight) - winter rye; winter rye (green conveyor, haylage) - oats (for silage, green conveyor); vico-oat mixture (for silage and haylage); sunflower variety Kulundinets (for silage); alfalfa + Siberian wheatgrass (excretory field). Varieties of fodder crops of local selection and adapted high-yielding, heat-loving sunflower culture were studied. Variants of mineral fertilizers: 1.Control; 2 (NRK)60 kg/ha; 3. Estimated dose - (NRK)160 kg/ha; Observations and accounting, mathematical processing of experimental material were carried out according to the method of VNII feed and the method of field experience, the work was carried out using the Spectra Star 2200 IR analyzer on the basis of the Central Research Center OF YSC SB RAS<sup>1</sup>. In the fodder crop rotation for the study of agro-ecological and resource-saving methods to increase the productivity of fodder crops and the fertility of permafrost soils, it is established: The introduction of local selection varieties, adapted, zoned fodder crops into the crop rotation links, as well as the introduction of the recommended dose of mineral fertilizer (NPK)60 d.v/ ha and the estimated dose for the planned crop at a dose of (NPK)160 d.i./ha provide from 1 hectare of crop rotation area on average per rotation of 12.7 - 17.0 tons of green Mass; In an adaptive crop rotation with ALSZ elements under the conditions of the cryolithozone, fodder crops on average for crop rotation provide an energy coefficient of 1.25 - 3.05, which shows the effectiveness of the fodder crop rotation scheme under cryolithozone conditions.

**Ключевые слова:** севооборот, кормовая культура, урожай, продуктивность, зеленая масса, переваримый протеин, мерзлотные почвы, криолитозона, агроэнергетика, энергетический коэффициент, энергоемкость.

**Key words:** crop rotation, fodder crop, harvest, productivity, green mass, digestible protein, permafrost soils, cryolithosone, agroenergy, energy coefficient, energy intensity.

*Благодарности:* работа выполнена с использованием оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН и по Гранту №13. ЦКП. 21.0016

Acknowledgements: the work was carried out using the equipment of the CPC FRC JNC SB RAS and according to Grant No. 13. CCP. 21.0016

**Введение.** Сельское хозяйство Республики Саха (Якутия) имеет животноводческое направление. Повышение эффективности и успешное развитие животноводства зависит от комплексного решения взаимосвязанных факторов. В условиях криолитозоны, где больше половины года крупный рогатый скот содержится в стойловом условии, обеспечение кормом животных является важнейшей задачей. В этих условиях развитие животноводства невозможно без стабильной кормовой базы. Производство силоса и сенажа – это всегда было одним из основных задач полевого кормопроизводства [1].

При возделывании кормовых культур одним из главных вопросов является чередование культур, т.е. научно-обоснованные севообороты, которые являясь связующим звеном растениеводства и животноводства, определяются как составной частью системы земледелия.

В настоящее время объемистые корма в виде силоса, сенажа и зеленого корма приобретают все большее значение в кормлении высокопродуктивных лактирующих коров и откормочного скота. Повышение их качества, прежде всего по энергетической и биологической активности веществ – неперенное условие разработки новых и совершенствования существующих технологий производства сочных кормов. В условиях дефицита сочных кормов, наиболее важное значение имеет включение в ассортимент кормовых культур высокоурожайных и высокобелковых видов сельскохозяйственных растений на силос и зеленый корм.

В условиях криолитозоны при разработке и внедрении ресурсосберегающих агротехнологических приемов необходимо учитывать определенные почвенно-климатические особенности. Большой интерес в этом отношении заслуживает обилие солнечной радиации. Общая сумма активных температур выше  $10^0$  в земледельческих районах Центральной Якутии равняется 1400 – 1600 $^0$ C [2], что достаточно для выращивания таких кормовых культур, как рапс, овес, озимая рожь, подсолнечник и др.

В кормовых севооборотах выращивают культуры, необходимые для составления полноценных рационов, а также обеспечивающие максимальный сбор питательных веществ с гектара. Определяющее значение при этом имеют такие признаки качества кормов как поедаемость, концентрация энергии и содержание питательных веществ.

**Цель исследования** – определение продуктивности кормовых культур и энергетической эффективности кормового севооборота в условиях северного земледелия.

**Методика исследований.** Исследования проводились в 2019–2022 гг. на участка «Мойдоох» ООО «Экоферма Туймаада» Хангаласского улуса Республики Саха (Якутия).

Объектом исследования является адаптивный кормовой севооборот.

Схема кормового севооборота составлена по принципу повышения продуктивности кормовых культур с 1 га севооборотной площади с сохранением и восполнением плодородия мерзлотных почв агроэкологическими способами. Так, в звеньях севооборота включены местные, районированные и адаптированные в климатических условиях Центральной Якутии сорта кормовых культур, бобовых и многолетних трав. Дозы минерального удобрения подобраны по рекомендованной и расчетной норме для мерзлотных почв.

Схема пятипольного кормового севооборота:

Овес (на зеленую массу), озимая рожь - озимая рожь (зеленый конвейер, сенаж), овес (на силос, зеленый конвейер) - викоовсяная смесь (на силос и сенаж) - подсолнечник сорт Кулундинец (на силос) - люцерна + пырейник сибирский (выводное поле).

В звеньях севооборота включены сорта местной селекции кормовых культур - овес сорт «Виленский», вика посевная яровая сорт «Ленская 15», люцерна желтая сорт «Якутская», пырейник сибирский сорт «Амгинский», озимая рожь – сорт местной селекции «Чолбон», и апробированная в условиях Центральной Якутии кормовая культура – подсолнечник сорт «Кулундинец».

Варианты минеральных удобрений: 1. Контроль; 2 (NPK)<sub>60</sub> кг/га д.в.; 3. Расчетная доза - (NPK)<sub>160</sub> кг/га д. в.

Повторность 3-х кратная. Площадь делянки по вариантам удобрений – 21 кв. м., площадь поля – 70 кв.м. Полив при продуктивной влаги ниже НВ 60% проведен во второй декаде июня с нормой 250 м<sup>3</sup>.

Наблюдения, питательная ценность уборка и учет проведены по методике ВНИИ кормов [3], расчет доз удобрений на планируемый урожай проведен по формуле Каюмова [4]. Расчеты энергозатрат проведены на основе технологической карты с учетом затрат энергии в условиях производства.

При сравнительной оценке внесения различных удобрений в севообороте, валовая энергия, обменная энергия и энергетический коэффициент определялись для каждого звена севооборота.

При проведении исследований и агротехнике возделывания кормовых культур использовались методические пособия по ведению сельского хозяйства в РС (Я) [5], методики полевого опыта [6, 7], биоэнергетической агроэнергетической оценки кормовых культур [8, 9].

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена с помощью прикладных программ Snedecor [10].

Биохимические исследования проводились в лаборатории биохимии и массовых анализов с использованием спектрального анализатора NIR SCANNER mo LCE 4250. Работа выполнялась с использованием оборудования - Анализатор ИК Spectra Star 2200 на базе ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В 2022 г. урожайность кормовых культур составила от 3,7 т/га до 33,6 т/га по звеньям севооборота. Максимальную урожайность обеспечивает, высокоурожайная культура (адаптивная) подсолнечник 30,7 -33,6 т/га. Во втором поле за два укоса зеленой массы суммарная урожайность озимой ржи и овса 2 срока составляет 15,9- 19,5т/га. Овес 1 срока в условиях жаркого лета обеспечил 3,7 - 5,2 т/га зеленой массы. Викоовсяная смесь обеспечила 12,6 -19,6 т/га зеленой массы, урожайность зеленой массы на выводном поле (люцерна + пырейник сибирский) составила 13,2-17,7 т/га. В целом по севообороту урожайность адаптивных кормовых культур составила 14,3 – 19,1 т/га.

Наиболее высокий эффект прибавок урожайности за ротацию обеспечивают викоовсяная смесь и подсолнечник (5,6 и 6,9 т/га соответственно) на варианте минерального удобрения в дозе (NPK)<sub>160</sub>. Прибавка урожая от внесения (NPK)<sub>60</sub> составляет 0,6 – 4,3 т/га зеленой массы. В среднем за ротацию на 1 га севооборотной площади минеральное удобрение в дозе (NPK)<sub>60</sub> обеспечивает прибавку зеленой массы 2,7 т/га, и (NPK)<sub>160</sub> - 4,3 т/га (табл.1).

В севообороте за ротацию наиболее высокую продуктивность обеспечили второе (озимая рожь, овес второго срока), третье (викоовсяная смесь) и четвертое поле (подсолнечник) севооборота в варианте минерального удобрения (NPK)<sub>160</sub>. Выход сухой массы составил во втором поле 4,5 т/га, в третьем- 4,4 и в четвертом – 5,3 т/га. Обменная энергия соответственно составила – 44,9; 39,9 и 47,4 ГДж/га соответственно. Высокий сбор переваримого протеина (6,5 -7,1 т/га) обеспечивает

Таблица 1. Урожайность кормовых культур в севообороте за ротацию

Table 1. Yield of fodder crops in crop rotation per rotation

| Культура                      | Вариант<br>удобрений | Урожайность зеленой массы, т/га |      |      |      |            | Приб<br>ав-<br>ка |
|-------------------------------|----------------------|---------------------------------|------|------|------|------------|-------------------|
|                               |                      | 2019                            | 2020 | 2021 | 2022 | Сред<br>н. |                   |
| Овес 1 срока, озимая<br>рожь  | Контроль             | 3,5                             | 3,9  | 5,5  | 3,7  | 4,2        | -                 |
|                               | (NPK) <sub>60</sub>  | 5,2                             | 4,3  | 6,9  | 4,7  | 5,2        | 1,0               |
|                               | (NPK) <sub>160</sub> | 5,9                             | 4,5  | 8,1  | 5,2  | 5,9        | 1,7               |
| Озимая рожь                   | Контроль             | 9,3                             | 3,1  | 2,9  | 6,2  | 5,4        | -                 |
|                               | (NPK) <sub>60</sub>  | 10,4                            | 3,4  | 3,3  | 7,0  | 6,0        | 0,6               |
|                               | (NPK) <sub>160</sub> | 11,1                            | 3,7  | 3,8  | 7,4  | 6,5        | 1,1               |
| Овес 2 срока                  | Контроль             | 15,3                            | 4,0  | 3,6  | 9,7  | 8,2        | -                 |
|                               | (NPK) <sub>60</sub>  | 16,1                            | 4,9  | 4,7  | 10,5 | 9,1        | 0,9               |
|                               | (NPK) <sub>160</sub> | 18,7                            | 5,4  | 5,2  | 12,1 | 10,4       | 2,2               |
| Викоовсяная смесь             | Контроль             | 12,9                            | 12,3 | 3,2  | 12,6 | 10,3       | -                 |
|                               | (NPK) <sub>60</sub>  | 14,3                            | 17,3 | 3,6  | 15,8 | 12,8       | 2,5               |
|                               | (NPK) <sub>160</sub> | 17,2                            | 22,0 | 4,7  | 19,6 | 15,9       | 5,6               |
| Подсолнечник                  | Контроль             | 27,7                            | 24,3 | 13,7 | 30,7 | 24,1       | -                 |
|                               | (NPK) <sub>60</sub>  | 33,3                            | 28,3 | 20,1 | 30,9 | 28,2       | 4,1               |
|                               | (NPK) <sub>160</sub> | 34,2                            | 33,0 | 26,0 | 33,6 | 31,2       | 6,9               |
| Люцерна+пырейник<br>сибирский | Контроль             | 9,6                             | 16,7 | 5,8  | 13,2 | 11,3       | -                 |
|                               | (NPK) <sub>60</sub>  | 16,4                            | 19,7 | 8,3  | 18,1 | 15,6       | 4,3               |
|                               | (NPK) <sub>160</sub> | 13,0                            | 22,3 | 8,2  | 17,7 | 15,3       | 4,0               |
| По севообороту                | Контроль             | 15,6                            | 12,9 | 6,9  | 14,3 | 12,7       | -                 |
|                               | (NPK) <sub>60</sub>  | 19,1                            | 15,6 | 8,4  | 17,4 | 15,4       | 2,7               |

|                   |                      |      |      |      |      |      |     |
|-------------------|----------------------|------|------|------|------|------|-----|
|                   | (NPK) <sub>160</sub> | 20,0 | 18,2 | 10,2 | 19,1 | 17,0 | 4,3 |
| НСР <sub>05</sub> |                      | 2,90 | 2,55 | 0,86 | 3,78 |      |     |

5 поле – люцерна+пырейник на вариантах минеральных удобрений (NPK)<sub>60</sub>; (NPK)<sub>160</sub> и подсолнечник (5,0 и 5,9 т/га) при внесении минерального удобрения (NPK)<sub>60</sub> и (NPK)<sub>160</sub> соответственно.

В условиях рыночной экономики единственный путь развития сельскохозяйственного производства - переход к ресурсосберегающим технологиям. Энергосберегающая технология в сельском хозяйстве основывается на расчетах энергетических показателей и энергетического баланса. Энергетический анализ позволяет установить степень ресурсоемкости технологических процессов в производстве растениеводческой продукции. Эффективность потребления энергетических ресурсов в процессе производства характеризуется коэффициентом энергетической эффективности.

На контрольном варианте наиболее высокий энергетический коэффициент в севообороте обеспечивают озимая рожь, овес 2 срока посева (второе поле) – 3,60; подсолнечник – 2,94 и люцерна, пырейник изменчивый – 3,05. Коэффициент эффективности производства кормов составляет на первом поле 0,60; во втором поле при суммарном урожае озимой ржи и овса летнего срока посева – 1,76 и адаптивная культура подсолнечник при высоком урожае зеленой массы обеспечивает коэффициент эффективности производства 1,45. Производство кормов на третьем и выводном поле севооборота ( викоовсяная смесь и люцерна+пырейник) также эффективны – 1,03 и 1,05.

Энергоемкость 1 т продукции высокая (4,05 ГДж/га) на первом поле, где агротехнологические мероприятия энергоемкие (весенняя и летняя обработка почвы, посев яровой и озимой культуры, уборка овса), при этом выход продукции составляет в среднем за ротацию 4,2-5,9 т/га. На этом поле энергоемкость 1 ц переваримого протеина высокая и составляет 28,33 ГДж, что объясняется высоким содержанием сырого протеина в химическом составе овса в условиях высокой ФАР и интенсивного сияния (продолжительность дня 16-20 часов) солнца континентального климата севера.

Наибольшее приращение валовой энергии на 1 га составляет во втором и четвертом полях – 51,9 и 49,2 ГДж/га соответственно. На первом поле этого варианта отмечается наименьшее приращение валовой энергии на 1 га и составляет 4,3 ГДж/га (табл. 2).

На варианте рекомендованной дозы удобрения  $NPK_{60}$  наиболее высокий энергетический коэффициент наблюдается в выводном поле (люцерна+пырейник) и составляет 2,67. В остальных полях севооборота энергетические коэффициенты также достаточно высокие от 2,13 до 2,55. В первом поле этот показатель составляет 1,32. Показатели энергоемкости 1 т продукции наиболее высокие в первом и во втором поле севооборота – 3,85 и 4,15 ГДж/га, где агротехнологические мероприятия проводятся 2 раза за вегетационный период.

На четвертом (подсолнечник) и пятом (люцерна+пырейник) полях энергоемкость 1 т продукции наименьшая по севообороту 1,34 и 1,95 ГДж/га соответственно. Приращение валовой энергии на 1 га составляет в выводном поле

**Таблица 2. Биоэнергетическая оценка эффективности возделывания кормовых культур в севообороте, вариант – контроль**

**Table 2. Bioenergetic assessment of the efficiency of cultivation of fodder crops in crop rotation, option - control**

| Агроэнергетические показатели               |                          | Поля севооборота                       |                                        |                                  |                              |                              |
|---------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                                             |                          | Овес 1<br>срока,<br>озима<br>я<br>рожь | Озима<br>я<br>рожь,<br>овес 2<br>срока | Вико<br>овся<br>ная<br>смес<br>ь | По<br>дсо<br>лне<br>чни<br>к | Люце<br>рна+п<br>ырейн<br>ик |
| Затраты совокупной энергии, на 1 га, ГДж/га |                          | 17,0                                   | 20,0                                   | 25,0                             | 25,3                         | 19,4                         |
| Выход с 1 га                                | сухого вещества, ц/га    | 11,9                                   | 40,3                                   | 29,3                             | 41,2                         | 31,6                         |
|                                             | урожая, т/га             | 4,2                                    | 13,6                                   | 10,3                             | 24,1                         | 11,3                         |
|                                             | переваримого протеина, ц | 0,6                                    | 4,5                                    | 1,6                              | 3,4                          | 4,5                          |

|                                               |                           |       |      |       |      |      |
|-----------------------------------------------|---------------------------|-------|------|-------|------|------|
|                                               | валовой энергии, ГДж/га   | 21,3  | 71,9 | 52,7  | 74,5 | 59,1 |
|                                               | обменной энергии, ГДж/га  | 10,3  | 35,2 | 25,8  | 36,7 | 29,1 |
| Энергоемкость 1 ц, ГДж                        | сухого вещества, 1 ц/га   | 1,43  | 1,01 | 0,85  | 0,61 | 0,61 |
|                                               | на 1 т продукции, ГДж/га  | 4,05  | 3,07 | 2,43  | 1,05 | 1,72 |
|                                               | переваримого протеина 1 ц | 28,33 | 9,45 | 15,63 | 7,44 | 4,31 |
| Энергетический коэффициент                    |                           | 1,25  | 3,60 | 2,11  | 2,94 | 3,05 |
| Коэффициент эффективности производства кормов |                           | 0,60  | 1,76 | 1,03  | 1,45 | 1,05 |
| Приращение валовой энергии на 1 га, ГДж/га    |                           | 4,3   | 51,9 | 27,7  | 49,2 | 39,7 |

50,7 ГДж/га и от 34,4 до 49,4 ГДж/га во втором, третьем и четвертом полях, в первом поле приращение валовой энергии составил 6,5 ГДж/га. Коэффициент эффективности производства кормов в этом варианте минерального удобрения составляет в первом поле 0,65, на остальных звеньев севооборота отмечается от 1,05 до 1,33 (табл.3).

**Таблица 3. Биоэнергетическая оценка эффективности возделывания кормовых культур в севообороте, вариант - NPK<sub>60</sub>**

**Table 3. Bioenergetic assessment of the efficiency of fodder crop cultivation in crop rotation, option - NPK<sub>60</sub>**

| Агроэнергетические показатели | Поля севооборота                 |                                       |                                  |                          |                                      |
|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
|                               | Овес 1<br>срок<br>а, оз.<br>рожь | Оз.<br>рожь<br>,<br>овес<br>2<br>срок | Вико<br>овся<br>ная<br>смес<br>ь | Под<br>сол<br>неч<br>ник | Лю<br>цер<br>на+<br>пыр<br>ейн<br>ик |

|                                               |                           |       |       |       |      |      |
|-----------------------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|------|------|
|                                               |                           |       | а     |       |      |      |
| Затраты совокупной энергии, на 1 га, ГДж/га   |                           | 20,0  | 30,0  | 30,4  | 37,8 | 30,4 |
| Выход с 1 га                                  | сухого вещества, ц/га     | 14,7  | 44,7  | 36,2  | 48,2 | 43,6 |
|                                               | урожая, т/га              | 5,2   | 15,1  | 12,8  | 28,2 | 15,6 |
|                                               | переваримого протеина, ц  | 0,9   | 5,8   | 2,1   | 5,0  | 6,5  |
|                                               | валовой энергии, ГДж/га   | 26,5  | 76,7  | 64,8  | 87,2 | 81,1 |
|                                               | обменной энергии, ГДж/га  | 13,1  | 39,3  | 31,9  | 43,4 | 40,5 |
| Энергоемкость 1 ц, ГДж                        | сухого вещества, 1 ц/га   | 1,36  | 1,37  | 0,84  | 0,78 | 0,70 |
|                                               | на 1 т продукции, ГДж/га  | 3,85  | 4,15  | 2,38  | 1,34 | 1,95 |
|                                               | переваримого протеина 1 ц | 22,22 | 11,19 | 14,48 | 7,56 | 4,68 |
| Энергетический коэффициент                    |                           | 1,32  | 2,55  | 2,13  | 2,31 | 2,67 |
| Коэффициент эффективности производства кормов |                           | 0,65  | 1,31  | 1,05  | 1,15 | 1,33 |
| Приращение валовой энергии на 1 га, ГДж/га    |                           | 6,5   | 46,7  | 34,4  | 49,4 | 50,7 |

Расчетная доза удобрений (NPK)<sub>160</sub> на данную мерзлотную почву повышает урожайность зеленой массы кормовых культур, при этом в виду высоких расходов на минеральные удобрения, коэффициент эффективности производства кормов звеньях севооборота составляют от 0,62 до 0,99, кроме двухукосного второго поля (озимая рожь, овес 2 срока), где коэффициент эффективности производства составляет 1,24. Энергетический коэффициент по всем кормовым культурам отмечается от 1,26 до 2,55. Наибольший энергетический коэффициент во втором (озимая рожь, овес 2 срока посева) и третьем поле ( викоовсяная смесь) севооборота – 2,55 и 2,01 соответственно. Энергоемкость 1 т продукции на этом варианте составляет по культурам от 1,56 до 4,50 ГДж/га (табл. 4).

Таблица 4. **Биоэнергетическая оценка эффективности возделывания кормовых культур в севообороте, вариант – (NPK)<sub>160</sub>**

Table 4. **Bioenergetic assessment of the efficiency of fodder crop cultivation in crop rotation, option – (NPK)<sub>160</sub>**

| Агроэнергетические показатели                 |                           | Поля севооборота       |                           |                        |              |                    |
|-----------------------------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|--------------|--------------------|
|                                               |                           | Овес 1 ср, озимая рожь | Озимая рожь, овес 2 срока | Виктория овсяная смесь | Подсолнечник | Люцерна + пырейник |
| Затраты совокупной энергии, на 1 га, ГДж/га   |                           | 24,0                   | 36,0                      | 40,5                   | 48,8         | 42,5               |
| Выход с 1 га                                  | сухого вещества, ц/га     | 16,7                   | 44,9                      | 44,9                   | 53,3         | 42,8               |
|                                               | урожая, т/га              | 5,9                    | 26,3                      | 15,9                   | 31,2         | 15,3               |
|                                               | переваримого протеина, ц  | 1,2                    | 7,3                       | 3,6                    | 5,9          | 7,1                |
|                                               | валовой энергии, ГДж/га   | 30,2                   | 92,3                      | 81,3                   | 96,5         | 80,5               |
|                                               | обменной энергии, ГДж/га  | 14,9                   | 44,9                      | 39,9                   | 47,4         | 40,2               |
| Энергоемкость 1 ц, ГДж                        | сухого вещества, 1 ц/га   | 1,44                   | 1,49                      | 0,90                   | 0,92         | 0,99               |
|                                               | на 1 т продукции, ГДж/га  | 4,07                   | 4,50                      | 2,55                   | 1,56         | 2,78               |
|                                               | переваримого протеина 1 ц | 20,0                   | 10,43                     | 11,25                  | 8,27         | 5,99               |
| Энергетический коэффициент                    |                           | 1,26                   | 2,55                      | 2,01                   | 1,98         | 1,89               |
| Коэффициент эффективности производства кормов |                           | 0,62                   | 1,24                      | 0,99                   | 0,97         | 0,95               |
| Приращение валовой энергии на 1 га, ГДж/га    |                           | 6,2                    | 56,3                      | 40,8                   | 47,7         | 38,0               |

В целом по вариантам минерального удобрения во всех звеньях севооборота энергетический коэффициент возделывания адаптивных кормовых

культур положительный, т.е. от 1,26 до 2,67 что подтверждает правильный выбор адаптивных культур в условиях агроландшафта и положительное влияние минеральных удобрений в севообороте. В варианте расчетной дозы удобрений (NPK)<sub>160</sub> коэффициент эффективности производства кормов в звеньях севооборота отмечается от 0,62 до 0,99, кроме второго поля (озимая рожь, овес 2 срока), что обусловлено большими затратами на удобрение, коэффициент эффективности производства второго поля (1,24) обусловлен высоким суммарным урожаем в 2 укоса.

### **Заключение**

В кормовом севообороте по изучению агроэкологических и ресурсосберегающих способов повышения продуктивности кормовых культур и плодородия мерзлотных почв, установлено:

- Введение в звенья севооборота сортов местной селекции адаптированных, районированных кормовых культур, а также внесение рекомендованной дозы минерального удобрения (NPK)<sub>60</sub> д.в./га и расчетной дозы на планируемый урожай в дозе (NPK)<sub>160</sub> д.в./га обеспечивают с 1 га севооборотной площади в среднем за ротацию 12,7 – 17,0 т зеленой массы.

- В звеньях адаптивного кормового севооборота с элементами АЛСЗ на мерзлотной почве энергетический коэффициент составляет от 1,25 до 3,05, что показывает эффективность схемы кормового севооборота в условиях криолитозоны.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания № FWRS-2021-0006 по теме «Разработать научные основы систем земледелия и агротехнологий на базе создания и сохранения генофонда, селекции гибридов и сортов нового поколения сельскохозяйственных культур, их защиты от вредных организмов, сохранения и воспроизводства почвенного плодородия в условиях изменяющего климата Крайнего Севера». Работа выполнена с использованием оборудования на базе ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН.*

### Литература

1. Попов Н.Т., Максимова Х.И. Кормовые севообороты в условиях Центральной Якутии / Н.Т. Попов, Х.И. Максимова; Рос. акад. с.-х.наук, Гос. науч. учр. Якут. науч.-иссл. инс-т сел.хоз-ва.-Якутск,2009.-172 с.
2. Шашко Д.И. Климатические условия земледелия Центральной Якутии.- М.: Изд-во АН СССР, 1964.- 264 с.
3. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами./Россельхозакадемия. – М., 1997. – 154 с.
4. Каюмов М. К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур.- М.: Агропромиздат, 1989.-320 с.
5. Система ведения сельского хозяйства в республике Саха (Якутия) на период 2021-2025 годы. Методическое пособие/Министерство сельского хозяйства Республики Саха (Якутия). ФГБУН ФИЦ Якут. науч. центр Сиб. отд. Российской Академии наук. Якут. науч.-исслед. ин-т сель. хоз-ва им. М.Г. Сафронова. – Белгород: Изд-во Сангалова К.Ю., 2021. 592 с.
6. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта/ Б.А. Доспехов, 5 зд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
7. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами/Россельхозакадемия – М., 1997. 154 с.
8. Методическое пособие по агроэнергетической и экономической оценке технологий и систем кормопроизводства/. – М., 1995. 173 с.
9. Методические рекомендации по биоэнергетической оценке севооборотов и технологий выращивания кормовых культур. – М.; 1989. С. 23
10. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. – Новосибирск, 2004. – 162 с.

### References

1. N.T. Popov, KH.I. Maksimova. [*Kormovye sevooboroty v usloviyakh Tsentral'noi Yakutii*]. Ros. akad., s.- kh.nauk, Gos. nauch., uchr., Yakut. nauch.-issl. ins-t sel.khoz-va. Yakutsk, 2009, 172 p.

2. D.I. Shashko [*Klimaticheskie usloviya zemledeliya Tsentral'noi Yakutii*], M.: Izd-vo AN SSSR, 1964, 264 p.
3. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevykh opytov s kormovymi kul'turami, Rossel'khozakademiya. M., 1997, 154 p.
4. M. K. Kayumov [*Programmirovaniye urozhaev sel'skokhozyaistvennykh kul'tur*]. M. Agropromizdat, 1989, 320 p.
5. Sistema vedeniya sel'skogo khozyaistva v respublike Sakha (Yakutiya) na period 2021-2025 gody. Metodicheskoe posobie, Ministerstvo sel'skogo khozyaistva Respubliki Sakha (Yakutiya), FGBUN FITS Yakut. nauch. tsentr Sib. otd. Rossiiskoi Akademii nauk, Yakut. nauch.-issled. in-t sel'. khoz-va im. M.G. Safronova. Belgorod, Izd-vo Sangalova K.YU., 2021, 592 p.
6. B.A. Dospekhov, Metodika polevogo opyta, 5 zd., pererab. i dop. M. Agropromizdat, 1985, 351 p.
7. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevykh opytov s kormovymi kul'turami, Rossel'khozakademiya. M., 1997, 154 p.
8. Metodicheskoe posobie po agroehnergeticheskoi i ehkonomicheskoi otsenke tekhnologii i sistem kormoproizvodstva. M., 1995, 173 p.
9. Metodicheskie rekomendatsii po bioehnergeticheskoi otsenke sevooborotov i tekhnologii vyrashchivaniya kormovykh kul'tur. M., 1989, P. 23
10. O.D. Sorokin [*Prikladnaya statistika na komp'yutere*]. Novosibirsk, 2004, 162 p.

© Максимова Х.И., 2022. *International agricultural journal*, 2022, № 6, 1158-1172.

**Для цитирования:** Максимова Х.И. Энергетическая эффективность кормовых культур в адаптивном севообороте в условиях криолитозоны// *International agricultural journal*. 2022. № 6, 1158-1172.