

ИВАН ВАЛЕРЬЕВИЧ ЕВСТРАТОВ

аспирант кафедры зоотехнии, рыбоводства, агрономии и землеустройства Института биологии, экологии и агротехнологий, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
ivevstratov@yandex.ru

ЛЮБОВЬ ПАВЛОВНА ЕВСТРАТОВА

доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры зоотехнии, рыбоводства, агрономии и землеустройства Института биологии, экологии и агротехнологий, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
levstratova@yandex.ru

ЕЛЕНА ВАЛЕНТИНОВНА НИКОЛАЕВА

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры зоотехнии, рыбоводства, агрономии и землеустройства Института биологии, экологии и агротехнологий, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
ln21@mail.ru

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ КАРЕЛЬСКОГО СОРТА-ПОПУЛЯЦИИ *PHLEUM PRATENSE* L. ОЛОНЕЦКАЯ МЕСТНАЯ

Представлены результаты индивидуального отбора 1006 растений *P. pratense* из одновидового травостоя карельского сорта Олонецкая местная по показателям числа листьев, длины стебля и соцветия. Полученное половое потомство (1720 шт.) изучали по форме, облиственности растения, ширине листовой пластинки, длине, числу стеблей, фитомассе, длине султана. С привлечением факторного анализа оценена структура взаимосвязей между вышеуказанными переменными. Установлено однонаправленное изменение показателей урожая зеленой массы по годам, числа стеблей на одно растение, облиственности, а также образование более узких листьев у растений с раскидистой формой. Применение сочетания кластерного и пошагового дискриминантного анализов выявило наличие шести групп полового потомства, среди которых вторая группа, отличающаяся максимальными показателями длины стебля, урожая зеленой массы по годам и числа стеблей на одно растение, с прямостоячей формой растения и повышенными значениями облиственности, длины султана, перспективна для последующего отбора более продуктивных форм. Выделенное половое потомство (20,4 %) представляет интерес для дальнейшей оценки на семенную продуктивность.

Ключевые слова: тимофеевка луговая, индивидуальный отбор, морфотипы, половое потомство, морфометрические показатели, факторный, кластерный и пошаговый дискриминантный анализы

ВВЕДЕНИЕ

В интенсификации кормопроизводства Карелии приоритетную роль отводят выращиванию многолетних трав, сочетающих урожайность, экологическую устойчивость, скороспелость, продуктивное долголетие, высокую питательную ценность и др. Одним из компонентов поливидовых многолетних кормовых травосмесей является тимофеевка луговая. По мнению авторов [9], этот верховой рыхлокустовой злак, обладающий комплексом хозяйственно ценных показателей, пригоден для сенокосного и пастбищного использования. При выращивании в составе многолетних злаково-бобовых травосмесей в условиях Карелии формирование повышенного урожая зеленой массы *P. pratense* обеспечивается за счет высокой облиственности [14] и особенностей архитектоники растений [12], [13]. Аборигенный вид широко распространен на суходольных

лугах республики [10], особенно в составе многолетних травосмесей на сеяных лугах Олонецкого административного района [7]. В локальных агроэкологических условиях этого района сформировался карельский сорт Олонецкая местная, отличающийся высокой приспособленностью к местным природным факторам и антропогенным нагрузкам [3].

Олонецкий район расположен в южной части Карелии и отличается равнинным рельефом. Почвы глинистые и суглинистые, относительно плодородные, сформированы на осадочных породах. Осенний период часто неустойчивый, с периодическим выпадением и таянием снега, промерзанием и оттаиванием поверхности почвы. Холодный период с температурой воздуха ниже 0 °C составляет в среднем 150 дней. В некоторые годы температура зимних месяцев варьирует от 1...2 до -27...-32 °C. Резкое колебание темпера-

турного режима в течение суток способствует образованию притертой ледяной корки, которая отрицательно сказывается на перезимовке многолетних трав. Весна, как правило, затяжная и холодная, с частыми заморозками в мае и начале июня. Безморозный период продолжается 120...130 дней. На протяжении июня – августа воздух в дневные часы прогревается до 16...21 °C, достигая в отдельные годы 30...35 °C. Основное количество осадков (в среднем 619 мм) приходится на период вегетации растений¹ [1], [11].

Местные кормовые злаки, сформировавшиеся в крайне неоднородных природно-климатических условиях и погодных флуктуациях вегетационного периода растений, отличаются большой пластичностью и приспособляемостью к новым условиям. Они имеют большую экологическую валентность [1]. Генетическую природу адаптивных реакций природных популяций и местных сортов наряду с отдельными генами или их небольшой группой [4] связывают с действием коадаптированных блоков генов, которые контролируют развитие сложных количественных, адаптивных признаков растений (скороспелость, морозостойкость и др.). Тип и величина фенотипического выражения этих генов значительно варьирует в зависимости от условий внешней среды [5: 147].

Создание высокопродуктивных и приспособленных к местным природным факторам сортопопуляций *P. pratense* основывается на проведении искусственного отбора. В качестве критерия для выделения перспективных форм рекомендуют использовать ассоциированные с продуктивностью некоторые морфологические признаки растений: длина, ширина, угол наклона, жесткость листовых пластинок, кустистость и облиственность растения [8].

Вышеизложенное определило актуальность настоящих исследований по улучшению карельского сорта тимофеевки луговой Олонецкая местная путем проведения индивидуального отбора из исходной популяции, оценки полового потомства выделенных по фенотипу растений и получения наиболее продуктивных форм для последующего их размножения и использования в ресурсосберегающих технологиях кормопроизводства республики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в течение 2010–2016 годов на коллекционном участке кафедры агрономии, землеустройства и кадастров Петрозаводского государственного университета, расположенным в южной агроклиматической зоне Карелии. Почва участка дерново-подзолистая, легко суглинистая, глубина пахотного горизонта 26...34 см, реакция почвенного раствора близка к нейтральной (рН 6,0), высокое содержание гумуса (5,3 %), очень высокое – подвижных форм фосфора (25...27 мг/100 г), обменного калия (24...38 мг/

100 г). В целом почвенные характеристики благоприятны для выращивания тимофеевки луговой.

Показатели линейного роста и продуктивности многолетних злаковых трав зависят от вариабельности погодных условий. В полевом опыте относительно благоприятным для роста растений и формирования кормовой массы явился 2012 год: среднемесечные температуры воздуха на уровне среднемноголетних данных сочетались с избыточным количеством осадков. В течение полевых сезонов 2010, 2011, 2013 и 2015 годов неравномерное увлажнение на фоне повышенной теплообеспеченности вызвало снижение темпов линейного роста злаковых трав и продуктивности фитомассы. Комплекс неблагоприятных условий на протяжении периода вегетации 2014 года (дефицит влаги и тепла) обусловил ингибицию ростовых процессов и, как результат, уменьшение урожая зеленой массы трав.

Высокий уровень внутрипопуляционного полиморфизма *P. pratense* определил целесообразность проведения искусственного отбора лучших по фенотипу растений. Перспективные формы (1006 шт.) выделяли среди сеяного травостоя карельского сорта Олонецкая местная на Крестовом поле Карельской государственной сельскохозяйственной опытной станции. Критерием для индивидуального отбора явились повышенные показатели длины стебля, числа листьев и размера султана. Лучшие отобранные соцветия помещали в отдельный пакет, обмолачивали в лабораторных условиях и на следующий год в конце мая семена с каждого султана высевали на делянке размером 0,3 × 1,0 м. Через два месяца более развитые растения (21...33 шт. в зависимости от наличия семян) отдельного образца высаживали в питомнике отбора с одиночным размещением растений по схеме 0,45 × 0,45 м согласно методике².

Начиная со второго года жизни *P. pratense* учеты и измерения проводили 01.07...15.07 в межфазный период колошение...цветение растений. Полученное половое потомство (1720 шт.) после браковки изучали в соответствии с методическими указаниями по семи показателям: форма, облиственность растения, ширина листовой пластинки, длина, число стеблей, фитомасса, длина султана³. Линейные параметры соцветия определяли как среднее значение из данных измерений пяти султанов. Ниже приведены разработанные нами шкалы учета по трем первым показателям.

Шкала оценки формы растения:

- 1 балл – прямостоячая;
- 2 балла – полураскидистая;
- 3 балла – раскидистая.

Шкала оценки облиственности растения:

- 1 балл – плохая (менее 34 %);
- 2 балла – удовлетворительная (34...39 %);
- 3 балла – хорошая (40...45 %);
- 4 балла – отличная (более 45 %).

Шкала оценки ширины листовой пластинки:
 1 балл – очень узкая (3...4 мм);
 2 балла – узкая (5...7 мм);
 3 балла – широкая (8...10 мм);
 4 балла – очень широкая (более 10 мм).

Выделение лучших морфотипов проводили по результатам классификации многочисленных образцов по комплексу показателей с привлечением факторного (метод главных компонент), кластерного (метод Варде, Евклидово расстояние) и пошагового дискриминантного (метод включения) анализов [2], [6]. При этом объекты группировки – половое потомство (1720 шт.) отобранных образцов, многомерные переменные – показатели урожая зеленой массы растения за два года исследований, форма, облиственность растения, ширина листовой пластинки, длина, число стеблей, длина султана. Статистическую обработку экспериментальных данных, построение таблиц и графиков проводили на персональном компьютере с использованием программного пакета Excel и компьютерной программы StatGraphics Centurion XV.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С использованием факторного анализа выделены два фактора, характеризующие особенности структуры взаимосвязей между изученными переменными (табл. 1). По фактору F_1 положительные повышенные факторные нагрузки по основным показателям продуктивности растений свидетельствуют об одностороннем изменении переменных – урожая зеленой массы по годам, числа стеблей на одно растение и облиственности. По фактору F_2 установлена следующая

$$\begin{aligned}
 G_1 &= 6,56 \cdot f_r + 0,94 \cdot l_{st} + 0,25 \cdot n_{st} + 32,28 \cdot o + 25,96 \cdot w - 0,05 \cdot Y_{2011} - 0,02 \cdot Y_{2012} + 0,89 \cdot l_s - 166,22 \\
 G_2 &= 8,57 \cdot f_r + 0,97 \cdot l_{st} + 0,35 \cdot n_{st} + 37,09 \cdot o + 22,38 \cdot w - 0,03 \cdot Y_{2011} - 0,01 \cdot Y_{2012} + 0,64 \cdot l_s - 191,89 \\
 G_3 &= 8,12 \cdot f_r + 0,96 \cdot l_{st} + 0,29 \cdot n_{st} + 41,62 \cdot o + 26,59 \cdot w - 0,05 \cdot Y_{2011} - 0,01 \cdot Y_{2012} + 0,92 \cdot l_s - 210,34 \\
 G_4 &= 9,11 \cdot f_r + 0,98 \cdot l_{st} + 0,25 \cdot n_{st} + 28,69 \cdot o + 14,86 \cdot w - 0,04 \cdot Y_{2011} - 0,01 \cdot Y_{2012} + 0,93 \cdot l_s - 141,46 \\
 G_5 &= 8,96 \cdot f_r + 0,91 \cdot l_{st} + 0,21 \cdot n_{st} + 19,86 \cdot o + 24,14 \cdot w - 0,05 \cdot Y_{2011} - 0,02 \cdot Y_{2012} + 0,82 \cdot l_s - 128,22 \\
 G_6 &= 11,27 \cdot f_r + 0,93 \cdot l_{st} + 0,24 \cdot n_{st} + 32,20 \cdot o + 26,29 \cdot w - 0,05 \cdot Y_{2011} - 0,02 \cdot Y_{2012} + 1,01 \cdot l_s - 175,02
 \end{aligned}$$

Таблица 1
Результаты факторного анализа по отдельным морфометрическим показателям и урожаю зеленой массы полового потомства тимофеевки луговой

Переменные	Факторные нагрузки	
	F_1	F_2
Форма растения	-0,20	-0,56
Длина стебля	0,60	0,12
Число стеблей на одно растение	0,75	-0,01
Облиственность	0,74	0,26
Ширина листовой пластинки	-0,09	0,86
Урожай зеленой массы одного растения		
2011 год	0,85	0,04
2012 год	0,77	0,09
Длина султана	0,52	0,01

закономерность – у растений с раскидистой формой формируются более узкие листья.

При группировке 1720 отобранных растений с привлечением кластерного анализа получено шесть групп объектов, корректность (91,3 %) выделения которых подтверждена пошаговым дискриминантным анализом. Все изученные переменные явились дискриминаторами, наиболее существенно разделяющими сформированные группы и вносящими свой вклад в дискриминацию между совокупностями (табл. 2).

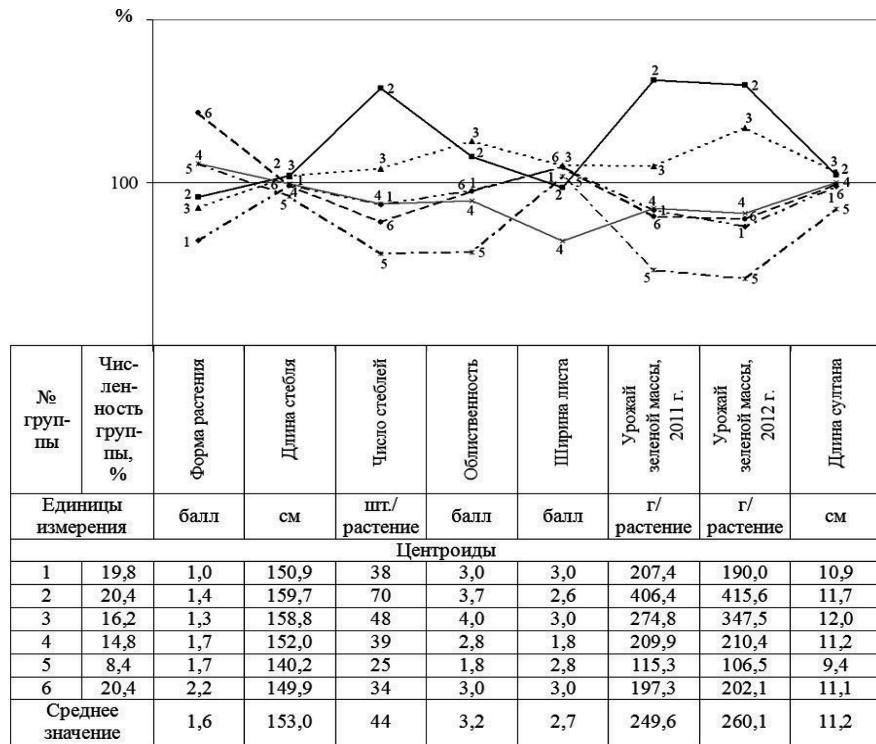
Наибольшее число растений (по 351 шт., или 20,4 %) приходилось на вторую и шестую группы. На рисунке представлено распределение средних значений переменных (выраженных в %) по каждой группе объектов относительно средних величин (принятых за 100 %) по всей выборке.

Для последующего отбора более продуктивных форм перспективно половое потомство из второй группы с максимальными показателями длины стебля, урожая зеленой массы по годам и числа стеблей на одно растение. Кроме того, для него характерны преимущественно прямостоячая форма растения, а также повышенные значения облиственности и длины султана.

С привлечением дискриминантного анализа получены классификационные функции (G_n , где n – номер группы) для каждой из выделенных групп полового потомства. Эти функции используются для определения принадлежности нового растения к той или иной группе при условии регистрации вышеуказанных переменных (табл. 3). Растение относят к той группе, для которой вычисленное значение функции наибольшее.

Таблица 2
Результаты пошаговой процедуры отбора переменных-дискриминаторов

Переменные	F-включения
Форма растения	203,7
Длина стебля	6,2
Число стеблей на одно растение	46,5
Облиственность	1200,6
Ширина листовой пластинки	538,7
Урожай зеленой массы одного растения	
2011 год	165,2
2012 год	38,6
Длина султана	6,2
	$F_{\text{крит.}} = 1,94$



Характеристика выделенных групп отобранного полового потомства тимофеевки луговой по морфометрическим показателям и урожаю зеленой массы:

—♦— 1-я группа;
—■— 2-я группа;
—▲— 3-я группа;
—×— 4-я группа;
—*— 5-я группа;
—■— 6-я группа

Таблица 3
Коэффициенты функций классификации для установленных групп полового потомства *P. pratense*

Переменные	Обозначение	Группы					
		1	2	3	4	5	6
Форма растения	f_r	6,56	8,57	8,12	9,11	8,96	11,27
Длина стебля	l_{st}	0,94	0,97	0,96	0,98	0,91	0,93
Число стеблей на одно растение	n_{st}	0,25	0,35	0,29	0,25	0,21	0,24
Облиственность	o	32,28	37,09	41,62	28,69	19,86	32,20
Ширина листовой пластинки	w	25,96	22,38	26,59	14,86	24,14	26,29
Урожай зеленой массы одного растения							
2011 год	Y_{2011}	-0,05	-0,03	-0,05	-0,04	-0,05	-0,05
2012 год	Y_{2012}	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02
Длина сultана	l_s	0,89	0,64	0,92	0,93	0,82	1,01
Constant		-166,22	-191,89	-210,34	-141,46	-128,22	-175,02

Таким образом, с использованием индивидуального отбора из одновидового посева *P. pratense* карельского сорта Олонецкая местная выделены морфотипы с положительными модификациями продуктивных признаков растений. По результатам группировки полового потомства с применением отдельных методов многомерного статистического анализа выделено 20,4 %

растений, отличающихся прямостоячей формой растения и наибольшими значениями длины стебля, урожая зеленой массы, числа стеблей на одно растение, а также повышенными значениями облиственности и длины сultана. Выделенное половое потомство представляет интерес для дальнейшей оценки на семенную продуктивность.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Агроклиматический справочник по Карельской АССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1959. 184 с.

² Методические указания по селекции и первичному семеноводству многолетних трав. М.: Россельхозакадемия, 1993. 112 с.

³ Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса; Подгот. Ю. К. Новоселов и др. М.: ВИК, 1983. 197 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Винничеко Е. Ф. Биологические особенности кормовых дикорастущих трав в условиях культуры в Карелии // Вопросы луговодства и растениеводства в Карелии: Труды Карельского филиала АН СССР. 1956. Вып. VI. С. 48–108.
- Дюк В. Обработка данных на ПК в примерах. СПб.: Питер, 1997. 240 с.
- Евстратов И. В., Евстратова Л. П. Отбор перспективных морфотипов в карельской популяции *Phleum pratense* L. сорта Олонецкая местная // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2016. № 8 (161). С. 36–39.
- Жученко А. А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы). Кишинев: Штиинца, 1988. 767 с.
- Жученко А. А. Экологическая генетика культурных растений. Кишинев: Штиинца, 1980. 588 с.
- Ким Дж.-О., Мьюллэр Ч. У., Клекка У. Р., Оледендерфер М. С., Блэшфилд Р. К. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.
- Морозова К. В. Злаки Карелии. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2013. 247 с.
- Олимпиенко Г. С., Титов А. Ф., Николаевская Т. С. Генетические эффекты отбора у многолетних трав. Л.: Наука, 1982. 112 с.
- Осипов А. И., Глазько Л. А., Поздняков В. А., Полякова Л. Я. Селекция и семеноводство многолетних трав на Северо-Западе России // Кормопроизводство в условиях Севера: проблемы и пути их решения. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. С. 144–151.
- Раменская М. Л. Луговая растительность Карелии. Петрозаводск, 1958. 400 с.
- Романов А. А. О климате Карелии. Петрозаводск, 1961. 139 с.
- Юркевич М. Г. Вертикальная структура агроценозов Карелии // Кормопроизводство. 2003. № 5. С. 8–10.
- Юркевич М. Г. Вертикальная структура поликомпонентных травостояев // Ресурсный потенциал растениеводства – основа обеспечения продовольственной безопасности. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2012. С. 109–110.
- Юркевич М. Г., Ларионова Н. П. Тимофеевка луговая: продуктивность на различном фоне минеральных удобрений // Кормопроизводство. 2011. № 3. С. 21–23.

Evstratov I. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Evstratova L. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Nicolaeva E. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

WAYS TO IMPROVE KARELIAN SORT-POPULATION *PHLEUM PRATENSE* L.
OLONETSKAYA LOCAL

The article presents the results of the individual selection of 1006 *P. pratense* plants from the homotypical plant stand of Olonetskaya local, Karelian sort according to the number of leaves, the length of the stem and inflorescence. The received reproductive samples (1720 items) were studied with consideration of the form, leafage, width of lamina, length, number of stems, phytomass, and anthurus length. The structure of interrelation among the above-mentioned variables was evaluated with the help of the factor analysis. The unidirectional change of the herbage crop factors (taken by the years), the number of stems per one plant, foliage and formation of more narrow blades for the plants with sprawling forms were established. The use of the combination of the cluster and recursive discriminatory analysis revealed the presence of 6 groups of reproductive samples, including the second group with maximum factors for the stem length, taken by the years herbage crop, and the number of stems per one plant with the upright form of the plant and increased foliage values for the anthurus length. One can make a conclusion that this method is promising for the subsequent selection of more productive forms. The selected reproductive samples (20,4 %) are of interest for further evaluation of seminal productivity.

Key words: common timothy (*Phleum pratense*), individual selection, morphotype, reproductive samples, morphometric factors, factor, cluster and recursive discriminatory analyses

REFERENCES

- Винничеко Е. Ф. Биологические особенности кормовых дикорастущих трав в условиях культуры в Карелии [Биологические особенности кормовых дикорастущих трав в условиях культуры в Карелии]. Вопросы луговодства и растениеводства в Карелии. Петрозаводск, 1956. Вып. VI. С. 48–108.
- Дюк В. Обработка данных на ПК в примерах [Data processing on PC in examples]. Ст. Petersburg, Питер Публ., 1997. 240 p.
- Евстратов И. В., Евстратова Л. П. Выбор перспективных морфотипов из карельской популяции *Phleum pratense* L. сорта Олонецкая местная. Ученые записки Петрозаводского государственного университета [Proceedings of Petrozavodsk State University]. 2016. № 8 (161). С. 36–39.
- Жученко А. А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы) [Adaptive potential of cultivated plants (ecological and genetic basis)]. Кишинев: Штиинца Публ., 1988. 767 p.
- Жученко А. А. Экологическая генетика культурных растений [Ecological genetics of cultivated plants]. Кишинев: Штиинца Публ., 1980. 588 p.
- Ким Дж.-О., Мьюллэр Ч. У., Клекка У. Р., Оледендерфер М. С., Блэшфилд Р. К. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ [Factor, Discriminant, and Cluster Analysis]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1989. 215 p.
- Морозова К. В. Злаки Карелии [Cereals of Karelia]. Петрозаводск, ПетрГУ Публ., 2013. 247 p.
- Олимпиенко Г. С., Титов А. Ф., Николаевская Т. С. Генетические эффекты отбора у многолетних трав [Genetic effects of selection in perennial grasses]. Ленинград, Наука Публ., 1982. 112 p.
- Осипов А. И., Глазько Л. А., Поздняков В. А., Полякова Л. Я. Выбор и семеноводство многолетних трав на Северо-Западе России [Селекция и семеноводство многолетних трав на Северо-Западе России]. Кормопроизводство в условиях Севера: проблемы и пути их решения. Петрозаводск, ПетрГУ Публ., 2007. С. 144–151.
- Раменская М. Л. Луговая растительность Карелии [Meadow vegetation of Karelia]. Петрозаводск, 1958. 400 p.
- Романов А. А. О климате Карелии [About the climate of Karelia]. Петрозаводск, 1961. 139 p.
- Юркевич М. Г. Вертикальная структура агроценозов Карелии [Vertikal'naya struktura agrotsenozov Karelii]. Кормопроизводство. 2003. № 5. С. 8–10.
- Юркевич М. Г. Вертикальная структура поликомпонентных травостояев [Vertikal'naya struktura polikomponentnykh travostoev]. Ресурсный потенциал растениеводства – основа обеспечения продовольственной безопасности. Петрозаводск, ПетрГУ Публ., 2012. С. 109–110.
- Юркевич М. Г., Ларионова Н. П. Тимофеевка луговая: продуктивность на различном фоне минеральных удобрений [Timofeevka lugovaya: produktivnost' na razlichnom fone mineral'nykh udobreniy]. Кормопроизводство. 2011. № 3. С. 21–23.

Поступила в редакцию 02.06.2017