

УДК 633.321:631.527

АДАПТИВНАЯ СПОСОБНОСТЬ И СТАБИЛЬНОСТЬ СЕЛЕКЦИОННЫХ ПОПУЛЯЦИЙ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО В УСЛОВИЯХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

О.Л. Онучина, кандидат сельскохозяйственных наук
И.А. Корнева, младший научный сотрудник

*ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н.В. Рудницкого
610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166 А
fss.nauka@mail.ru*

ADAPTIVE CAPACITY AND STABILITY OF BREEDING POPULATIONS OF RED CLOVER UNDER CONDITIONS OF THE KIROV REGION

O.L. Onuchina, Candidate of Agricultural Sciences
I.A. Korneva, Associate Researcher

*Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky
610007, Russia, Kirov, Lenin str., 166 A
fss.nauka@mail.ru*

DOI: <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2020-4-30-38>

Представлены результаты оценки селекционных популяций клевера лугового по параметрам адаптивной способности и стабильности признака «урожайность сухой массы». Опыты закладывали на двух почвенных фонах, контрастных по содержанию ионов H^+ и Al^{3+} . Метеорологические условия также значительно различались (засуха в 2016 г. и избыточное увлажнение в 2017 г.). Параметры адаптивной способности и стабильности популяций, параметры среды как фона для отбора рассчитывали по методике А.В. Кильчевского и Л.В. Хотылевой, коэффициент регрессии генотипа на среду b_i - по S.A. Eberhart и W.A. Russell. Достоверно высокая общая адаптивная способность ($OAC_i = 3,10$ т/га), стабильность ($\sigma^2_{CAC_i} = 0,64$; $S_{gi} = 6,68\%$) и наибольшая селекционная ценность ($СЦГ_i = 8,63$) выявлены у тетраплоидного стандарта Кудесник. Выделены перспективные для адаптивной селекции диплоидные популяции СГПА-53 и П-4/03, показавшие при средней OAC_i (соответственно 0,26 и -0,07 т/га) высокую стабильность ($\sigma^2_{CAC_i} = 0,32-0,66$; $S_{gi} = 6,48-8,87\%$) и селекционную ценность ($СЦГ_i = 5,74-6,42$). Представляет интерес для привлечения в гибридизацию низкопродуктивная ($OAC_i = -1,14$ т/га), но наиболее стабильная ($\sigma^2_{CAC_i} = 0,08$; $S_{gi} = 3,62\%$, $K_{gi} = 0,14$) популяция П-15к. По данным корреляционного анализа не выявлено существенной зависимости между OAC_i и параметрами стабильности, что не исключает возможность сочетания в одном сорте высокой продуктивности и экологической устойчивости. Установлена достоверно высокая связь между параметрами S_{gi} и $\sigma^2_{CAC_i}$, S_{gi} и K_{gi} , ($r = 0,86$), b_i и $\sigma^2_{CAC_i}$, b_i и K_{gi} ($r = 0,79$), указывающая на то, что данные показатели дают сравнительно близкую информацию о стабильности популяций. По дифференцирующей способности и предсказуемости выделены следующие среды:

стрессовый алюмоокислый фон в 2017 г. и среднекислый фон ($S_{ek} - 40,88$ и $35,33\%$; $P_k - 0,37$ и $0,32$ соответственно).

Ключевые слова: клевер луговой, селекционная популяция, кислые почвы, урожайность сухой массы, адаптивная способность, стабильность, селекционная ценность, параметры среды.

The results of the assessment of breeding populations of red clover according to the parameters of adaptive capacity and stability of the characteristic "yield of the dry mass" are presented. The experiments were laid on two types of soils, contrasting in the content of H^+ ions и Al^{3+} ions. The meteorological conditions also significantly varied (drought in 2016 and over wetting in 2017). Parameters of adaptive capacity and stability of populations, environmental parameters as the base for the selection were counted according to A.V. Kilchevsky and L.V. Khotyleva method, regression coefficient of the genotype on the b_1 environment was counted according to S.A. Eberhart and W.A. Russell method. Statistically high general adaptive capacity ($GAA_i = 3.10$ t/ha), stability ($\sigma^2_{CACi} = 0.64$; $S_{gi} = 6.68\%$) and the greatest breeding value ($BVG_i = 8.63$) were identified in the tetraploid standard Kudesnik. Picked out, promising for adaptive breeding, diploid populations SGPA-53 and P-4/03, showing at an average GAA_i (0.26 and -0.07 t/ha, respectively) the high stability ($\sigma^2_{CACi} = 0.32-0.66$; $S_{gi} = 6.48-8.87\%$) and the breeding value ($BVG_i = 5.74-6.42$). It is of interest to hybridize a low-productive ($GAA_i = -1.14$ t/ha), but the most stable ($\sigma^2_{CACi} = 0.08$; $S_{gi} = 3.62\%$, $K_{gi} = 0.14$) population P-15k. Correlation analysis revealed no significant relation between GAA_i and stability parameters, which does not exclude the possibility of combining high productivity and environmental sustainability in one variety. A statistically high relation between the parameters S_{gi} and σ^2_{CACi} , S_{gi} and K_{gi} , ($r = 0.86$), b_i and σ^2_{CACi} , b_i and K_{gi} ($r = 0.79$) was established, indicating that these characteristics provide relatively close information on the population stability. The stress alumina background in 2017 and the medium acid ground ($S_{ek} - 40.88$ and 35.33% ; $P_k - 0.37$ and 0.32 , respectively) were characterized by the highest differentiating ability and predictability.

Keywords: red clover, breeding population, acidic soils, yield of the dry mass, adaptive capacity, stability, breeding value, environmental parameter.

Введение. Одна из важнейших задач селекции — сочетание в одном генотипе высокой продуктивности и экологической стабильности при действии неблагоприятных факторов среды. Как показывают исследования, продуктивность и стабильность относительно независимы. Высокопродуктивными могут быть как стабильные, так и нестабильные сорта, что указывает на необходимость контроля стабильности на разных этапах селекции [1].

Для анализа взаимодействия генотипа и среды существуют различные статистические методы [2], в т. ч. разработанный А.В. Кильчевским и Л.В. Хотылевой [1; 3; 4], который позволяет выявить общую и специфическую адаптивную способность генотипов, их стабиль-

ность, селекционную ценность, а также дать оценку среды как фона для отбора.

Для оценки экологической стабильности в ранних поколениях авторы рекомендуют использовать несколько «сред», которые должны моделировать разнообразие предсказуемых и непредсказуемых условий производства в том регионе, для которого ведется отбор. Следуя данному принципу и учитывая широкое распространение в Кировской области и других регионах НЗ России низкоплодородных кислых почв, часто содержащих высокие концентрации ионов H^+ и Al^{3+} [5; 6; 7], снижающих урожайность клевера лугового и других сельскохозяйственных культур [6; 7; 8; 9; 10; 11], оценку стабильности нового селекционного материала в процессе

создания адаптивных сортов необходимо проводить на соответствующих почвенных фонах.

Цель исследований — оценка селекционных популяций клевера лугового по урожайности сухой массы и параметрам адаптивности и стабильности в условиях Кировской области.

Материал и методы. Исследования проведены на опытном поле Фалёнской селекционной станции — филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого».

Материалом исследования послужили 10 селекционных популяций клевера лугового (в т. ч. одна тетраплоидная), стандарты — диплоидный сорт Дымковский и тетраплоидный Кудесник.

Почва опытных участков дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая. Для оценки экологической стабильности популяций использовали два полевых фона, различающихся по кислотности и содержанию обменного алюминия: 1 — среднекислый ($\text{pH}_{\text{сол.}} 4,64$, Al^{3+} 1,42 мг/100 г почвы); 2 — стрессовый алюмокислый фон ($\text{pH}_{\text{сол.}} 3,80$, Al^{3+} 28,48 мг/100 г почвы). Опыты заложены в 2015 г. в четырехкратной повторности, площадь делянки — 2 м². Учет урожайности кормовой массы проводили на первом фоне в первый год пользования (2016 г.), на втором — в первый и второй годы пользования (2016–2017 гг.).

Условия осенне-зимних периодов в годы проведения исследований складывались удовлетворительно для перезимовки клевера. Вегетационные периоды отличались контрастными условиями по тепло- и влагообеспеченности: 2016 г. —

засушливый (ГТК = 0,65), 2017 г. — избыточно влажный (ГТК = 1,77) и холодный (среднесуточная температура воздуха была ниже нормы в мае, июне и июле соответственно на 2,8, 2,0 и 0,5 °С).

Закладка опытов, учеты и оценки выполнены в соответствии с методическими указаниями [12]. Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли по Б.А. Доспехову методами дисперсионного и корреляционного анализа [13]. Оценку экологической реакции популяций на изменение условий среды проводили по методикам А.В. Кильчевского и Л.В. Хотылевой [1], S.A. Eberhart и W.A. Russell в изложении В.З. Пакудина и Л.М. Лопатиной [14].

Результаты исследований. В годы проведения исследований средняя урожайность сухой массы варьировала от 5,67 до 11,43 т/га при урожайности стандартов Дымковский — 8,87 т/га и Кудесник — 11,97 т/га. Достоверно превысили среднепопуляционный показатель (8,87 т/га) тетраплоидные формы: стандарт Кудесник и номер СГПФ-170-2 соответственно на 3,10 и 2,56 т/га (табл. 1).

По данным дисперсионного анализа выявлено достоверное (на 5%-ном уровне) влияние на урожайность сухой массы условий среды, генотипа и их взаимодействия. Доля влияния фактора «генотип» составила 48,8%, фактора «среда» — 11,0%, их взаимодействия — 9,7%.

Наиболее высокая урожайность получена в 2016 г. на среднекислом фоне — 9,75 т/га сухого вещества, несмотря на засушливые условия вегетационного периода. На алюмокислом фоне в 2016 г. сочетание двух стрессовых факторов (высокая концентрация Al^{3+} + засуха) привело к достоверному снижению уро-

жайности на 1,84 т/га, или 18,9% по сравнению с первым фоном. Высокая влагообеспеченность во второй год пользования (2017 г.) способствовала

существенному повышению урожайности клевера на жестком алюмоокислом фоне (на 1,03 т/га, или 13,0% к первому году пользования).

1. Урожайность сухой массы селекционных популяций клевера лугового (т/га), 2016–2017 гг.

Селекционная популяция	Среднекислый фон	Стрессовый алюмоокислый фон		Среднее, т/га
	2016 г.	2016 г.	2017 г.	
СГПФ-170-2 (4n)	12,2	9,3	12,8	11,43
Кудесник (4n), стандарт	11,8	11,1	13,0	11,97
СГП-188	11,0	8,4	8,8	9,40
СГПА-53	10,2	8,9	8,3	9,13
СГПА-51	11,3	7,7	7,7	8,90
П-4/03	9,2	7,9	9,3	8,80
Д-1/14	9,8	7,6	9,0	8,80
П-1/09к	9,7	6,9	8,9	8,50
П-15к	8,3	7,1	7,8	7,73
ВК-3	8,4	6,4	6,8	7,20
ВК-1	4,9	5,3	6,8	5,67
Дымковский, стандарт	10,2	8,3	8,1	8,87
Среднее по годам	9,75	7,91	8,94	8,87
НСР _А (год, фон)				0,53
НСР _В (генотип)				1,55
НСР _{АВ}				1,85

Характеристика селекционных популяций и стандартов по параметрам адаптивной способности и стабильности представлена в таблице 2.

Согласно методике [1] под адаптивной способностью понимается способность генотипа поддерживать свойственное ему фенотипическое значение признака в определенных условиях среды. Общая адаптивная способность (ОАС_г) характеризует среднее значение признака в различных условиях среды,

специфическая адаптивная способность (САС_г) — отклонение от ОАС_г в определенной среде.

Общая адаптивная способность изученных популяций изменялась от +3,10 до -3,20 т/га. Положительные значения отмечены у пяти популяций. Достоверность различий по данному показателю определяли по критерию НСР_{ОАС05} [15], который позволяет оценить ОАС_г не только селекционных номеров, но и стандартов.

2. Параметры адаптивной способности и стабильности селекционных популяций клевера лугового по признаку «урожайность сухой массы»

Сорт	OAC_i	σ^2_{CACi}	S_{gi} , %	$СЦГ_i$	K_{gi}	b_i	S_i^2
Кудесник (4n), ст.	3,10	0,64	6,68	8,63	1,14	0,375	1,510
СГПФ-170-2 (4n)	2,56	3,22	15,66	3,95	5,75	1,590	2,346
СГП-188	0,53	1,67	13,72	4,01	2,98	1,312	0,737
СГПА-53	0,26	0,66	8,87	5,74	1,18	0,596	1,175
СГПА-51	0,03	4,03	22,58	0,50	7,20	1,817	2,701
Дымковский, ст.	0,00	1,06	11,61	4,56	1,89	0,926	1,068
П-4/03	-0,07	0,32	6,48	6,42	0,57	0,684	0,300
Д-1/14	-0,07	0,95	11,02	4,75	1,70	1,151	0,025
П-1/09к	-0,37	1,79	15,76	2,9	3,20	1,490	0,131
П-15к	-1,14	0,08	3,62	6,56	0,14	0,608	0,004
ВК-3	-1,67	0,83	12,64	3,40	1,48	1,014	0,346
ВК-1	-3,20	0,72	14,99	2,12	1,29	-0,176	1,976
HCP_{OAC05}	0,79						

Статистически существенно высокая OAC_i (3,10 и 2,56 т/га при $HCP_{OAC05} = 0,79$) выявлена у тетраплоидных форм — стандарта Кудесник и популяции СГПФ-170-2. Шесть диплоидных номеров (СГП-188, СГПА-53, СГПА-51, П-4/03, Д-1/14, П-1/09к) и стандарт Дымковский характеризовались средним значением общей адаптивной способности ($OAC_i = -0,37...0,53$), т. е. урожайность данных генотипов отличалась несущественно от средней популяционной на 5%-ном уровне значимости. Достоверно низкую OAC_i (-1,14...-3,20) показали ВК-1, ВК-3 и П-15к.

В качестве показателей экологической стабильности А.В. Кильчевский и Л.В. Хотылева предлагают использовать дисперсию специфической адаптивной способности σ^2_{CACi} , относительную стабильность генотипа S_{gi} и коэффициент компенсации K_{gi} . Дополнительной информацией для выявления реакции генотипа на улучшение условий среды, по их мнению, может служить коэффициент

регрессии на среду b_i . Предпочтение авторы отдают показателю S_{gi} , поскольку он не связан с OAC_i и носит относительный характер, а также наследуется и может быть использован в селекции для отбора стабильных форм.

Из всех изученных популяций максимальная стабильность по признаку «урожайность сухой массы» выявлена у П-15к ($\sigma^2_{CACi} = 0,08$; $S_{gi} = 3,62\%$, $b_i = 0,608$). Высокой стабильностью отличались П-4/03, СГПА-53 и сорт Кудесник ($\sigma^2_{CACi} = 0,32-0,66$; $S_{gi} = 6,48-8,87\%$, $b_i = 0,375-0,684$). Преобладание компенсирующего эффекта взаимодействия «генотип × среда» ($K_{gi} < 1$) у популяций П-15к и П-4/03 также свидетельствует о высокой стабильности.

Для одновременного отбора по продуктивности и стабильности авторами предложен интегральный показатель - селекционная ценность генотипа ($СЦГ_i$). По данному параметру выделены тетраплоидный сорт Кудесник ($СЦГ_i = 8,63$), а также популяции П-15к, П-4/03, СГПА-

53 и Д-1/14 с селекционной ценностью выше диплоидного стандарта Дымковский (СЦГ_i = соответственно 6,56, 6,42, 5,74, 4,75; ст. – 4,56).

По данным регрессионного анализа выделены три селекционных номера (СГП-188, СГПФ-170-2 и СГПА-51) с высокой отзывчивостью на улучшение условий среды ($b_i = 1,312-1,812$), которые могут быть использованы при соз-

дании сортов интенсивного типа, особенно тетраплоидный номер СГПФ-170-2 с достоверно высокой урожайностью (11,43 т/га).

Степень связи между параметрами адаптивной способности и стабильности популяций клевера лугового по признаку «урожайность сухой массы» определяли методом корреляционного анализа (табл. 3).

3. Коэффициенты корреляции между параметрами адаптивной способности и стабильности (2016–2017 гг.)

Параметры	ОАС _i	σ^2_{CACi}	S _{gi} , %	СЦГ _i	K _{gi}	b _i	S _i ²
ОАС _i	1,00						
σ^2_{CACi}	0,32	1,00					
S _{gi} , %	-0,09	0,86**	1,00				
СЦГ _i	0,47	-0,67*	-0,91**	1,00			
K _{gi}	0,32	1,00**	0,86**	-0,67*	1,00		
b _i	0,35	0,79**	0,60*	-0,46	0,79**	1,00	
S _i ²	0,26	0,67*	0,60*	-0,40	0,67*	0,10	1,00

*Значимо на уровне P = 0,05, **значимо на уровне P = 0,01.

Не выявлено существенной зависимости между общей адаптивной способностью и параметрами стабильности, особенно S_{gi} (r = -0,09), что не исключает возможность сочетания в одном сорте клевера лугового высокой продуктивности и экологической устойчивости.

Достоверно высокая (на 1%-ном уровне значимости) взаимосвязь между S_{gi} и σ^2_{CACi} , S_{gi} и K_{gi}, (r = 0,86), b_i и σ^2_{CACi} , b_i и K_{gi} (r = 0,79) указывает на то, что данные показатели дают сравнительно близкую информацию о стабильности популяций, тогда как между параметрами σ^2_{CACi} , S_{gi}, K_{gi} и средним квадратом отклонений от линии регрессии S_i², часто используемыми в качестве показателя стабильности при оценке сортов методом S.A. Eberhart и W.A. Russell, уста-

новлена более слабая зависимость (r = 0,60–0,67).

Согласно методике [1] проведена оценка среды как фона для отбора по следующим параметрам: продуктивность d_k, типичность t_k, дифференцирующая способность S_{ek} и предсказуемость P_k (табл. 4).

Наиболее высокой продуктивностью отличался среднекислый фон (d_k = 0,88). Все среды отличались типичностью (t_k = 0,91–0,95), т. е. способны сохранять ранги генотипов, полученные при усредненной оценке во всей совокупности сред. По дифференцирующей способности и предсказуемости выделены алюмокислый фон в 2017 г., т. е. при высокой влагообеспеченности вегетационного периода (S_{ek} = 40,88%, P_k = 0,37), и

среднекислый фон ($S_{ek} = 35,33\%$, $P_k = 0,33$). Слабее дифференцировал генотипы по урожайности сухой массы алюмокислый фон в засушливом году.

4. Параметры среды как фона для отбора селекционных популяций клевера лугового по урожайности сухой массы

Фон	Год	d_k	S_{ek}	t_k	P_k
1	2016	0,88	35,33	0,91	0,32
2	2016	-0,96	22,93	0,95	0,22
	2017	0,07	40,88	0,91	0,37

Исследования в данном направлении следует продолжить на полевом фоне с более высоким плодородием.

Заключение. Таким образом, проведенный анализ взаимодействия «генотип × среда» по признаку «урожайность сухой массы» показал разную реакцию на условия «среды» (кислотность почвы и погодные условия) новых популяций и стандартов клевера лугового.

Тетраплоидный сорт Кудесник сочетает высокую урожайность с экологической стабильностью и обладает наиболее высокой селекционной ценностью. Представляет интерес для привлечения в гибридизацию низкопродуктивная, но наиболее стабильная, с высокой селекционной ценностью популяция П-15к. Выделены перспективные для адаптивной селекции диплоидные селекционные номера СГПА-53 и П-4/03, показавшие при средней OAC_i высокую стабильность и селекционную ценность.

Выявлена высокая отзывчивость на улучшение условий среды популяций СГП-188, СГПФ-170-2, СГПА-51, которые можно использовать в качестве исходного материала при создании сортов интенсивного типа, особенно тетраплоидный высокоурожайный номер СГПФ-170-2.

Отсутствие достоверной зависимости между общей адаптивной способностью и параметрами стабильности не исключает возможность сочетания в одном сорте клевера лугового высокой продуктивности и экологической устойчивости. Сравнительно близкую информацию об экологической стабильности селекционных номеров и сортов дают следующие показатели: S_{gi} , σ^2_{CACi} , K_{gi} , b_i .

Из трех изученных «сред» лучшей дифференцирующей способностью обладали алюмокислый фон при благоприятных погодных условиях и среднекислый фон.

Литература

1. Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Экологическая селекция растений. – Минск : Тэхналогія, 1997. – 372 с.
2. Рыбась И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51. – № 5. – С. 617–626.
3. Кильчевский А.В. Генетико-экологические основы селекции растений // Вестник ВОГиС. – 2005. – Т. 9. – № 4. – С. 518–526.

4. Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Эколого-генетические аспекты селекции растений // Молекулярная и прикладная генетика. – 2009. – Т. 9. – С. 14–18.
5. Молодкин В.М., Бусыгин А.С. Плодородие пахотных почв Кировской области // Земледелие. – 2016. – № 8. – С. 16–18.
6. Митрофанова Е.М. Продуктивность кислотоустойчивых сортов полевых культур на кислой дерново-слабоподзолистой почве Предуралья // Агрохимия. – 2010. – №2. – С. 52–58.
7. Яковлева О.В. Фитотоксичность ионов алюминия // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2018. – Т. 179. – Вып. 3. – С. 315–331.
8. Онучина О.Л., Корнева И.А. Изучение адаптивного потенциала раннеспелых сортов клевера лугового в северо-восточном регионе европейской части России // Международный научный сельскохозяйственный журнал. – 2018. – № 1–4. – С. 33–38.
9. Новоселов М.Ю. Селекция клевера лугового (*Trifolium pratense* L.). – Иваново : Типография ГУ КПК, 1999. – 184 с.
10. Кедрова Л.И., Уткина Е.И. Влияние почвенной кислотности на урожайность озимой ржи и возможности эдафической селекции // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – № 6 (67). – С. 17–25.
11. Косарева И.А. Изучение коллекций сельскохозяйственных культур и диких родичей по признакам устойчивости к токсическим элементам кислых почв // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – СПб. : ВИР, 2012. – Т. 170. – С. 34–44.
12. Методические указания по селекции и первичному семеноводству клевера. – М. : ВНИИ кормов, 2002. – 72 с.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
14. Пакудин В.З., Лопатина Л.М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственная биология. – 1984. – № 4. – С. 109–113.
15. Рекашус Э.С. Критерий существенности общей адаптивной способности: обоснование метода // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – № 5 (66). – С. 30–33.

References

1. Kilchevskiy A.V., Khotyleva L.V. Ekologicheskaya selektsiya rasteniy [Ecological plant breeding]. Minsk, Tekhnologiya Publ., 1997, 372 p.
2. Rybas I.A. Povysheniye adaptivnosti v selektsii zernovykh kultur [Increasing adaptability in the breeding of grain crops]. *Selskokhozyaystvennaya biologiya* [Agricultural biology], 2016, vol. 51, no. 5, pp. 617–626.
3. Kilchevskiy A.V. Genetiko-ekologicheskiye osnovy selektsii rasteniy [Genetic and ecological foundations of plant breeding]. *Vestnik VOGiS* [Bulletin of VSGB], 2005, vol. 9, no. 4, pp. 518–526.
4. Kilchevskiy A.V., Khotyleva L.V. Ekologo-geneticheskiye aspekty selektsii rasteniy [Ecological and genetic aspects of plant breeding]. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika* [Molecular and applied Genetics], 2009, vol. 9, pp. 14–18.
5. Molodkin V.M., Busygin A.S. Plodorodiye pakhotnykh pochv Kirovskoy oblasti [Fertility of arable soils of the Kirov region]. *Zemledeliye* [Agriculture], 2016, no. 8, pp. 16–18.
6. Mitrofanova E.M. Produktivnost kislotoustoychivykh sortov polevykh kultur na kisloy dernovo-slabopodzolistoy pochve Preduralya [Productivity of acid-resistant varieties of arable crops on acidic soddy-slightly-podzolic soil of the Cis-Ural region]. *Agrokimiya* [Agrochemistry], 2010, no. 2, pp. 52–58.
7. Yakovleva O.V. Fitotoksichnost ionov alyuminiya [Phytotoxicity of aluminum ions]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* [Proceedings on applied botany, genetics and selection], 2018, vol. 179, issue 3, pp. 315–331.
8. Onuchina O.L., Korneva I.A. Izucheniye adaptivnogo potentsiala rannespelykh sortov klevera lugovogo v severo-vostochnom regione yevropeyskoy chasti Rossii [Study of the adaptive potential

- of early ripe varieties of red clover in the northeastern region of the European part of Russia]. *Mezhdunarodnyy nauchnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal [International scientific agricultural journal]*, 2018, no. 1–4, pp. 33–38.
9. Novoselov M.Yu. Seleksiya klevera lugovogo (*Trifolium pratense* L.). [Breeding red clover (*Trifolium pratense* L.)]. Ivanovo, 1999, 184 p.
 10. Kedrova L.I., Utkina E.I. Vliyaniye pochvennoy kislotnosti na urozhaynost ozimoy rzhi i vozmozhnosti edaficheskoy seleksii [Influence of soil acidity on the yield of winter rye and the possibilities of edaphic selection]. *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka [Agrarian science of the Euro-North-East]*, 2018, no. 6 (67), pp. 17–25.
 11. Kosareva I.A. Izucheniye kollektsey selskokhozyaystvennykh kultur i dikikh rodichey po priznakam ustoychivosti k toksicheskim elementam kislykh pochv [Study of collections of agricultural crops and wild relatives on the basis of resistance to toxic elements of acidic soils]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii [Proceedings on applied botany, genetics and breeding]*. Saint Petersburg, 2012, vol. 170, pp. 34–44.
 12. Metodicheskiye ukazaniya po seleksii i pervichnomu semenovodstvu klevera [Guidelines for selection and primary seed production of clover]. Moscow, 2002, 72 p.
 13. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Field experiment technique]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 351 p.
 14. Pakudin V.Z., Lopatina L.M. Otsenka ekologicheskoy plastichnosti i stabilnosti sortov selskokhozyaystvennykh kultur [Assessment of ecological plasticity and stability of agricultural crop varieties]. *Selskokhozyaystvennaya biologiya [Agricultural biology]*, 1984, no. 4, pp. 109–113.
 15. Rekashus E.S. Kriteriy sushchestvennosti obshchey adaptivnoy sposobnosti: obosnovaniye metoda [The criterion of the importance of the general adaptive ability: substantiation of the method]. *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka [Agrarian science of the Euro-North-East]*, 2018, no. 5 (66), pp. 30–33.