

Комплексная оценка урожайности и экологической адаптивности селекционного материала картофеля для использования в региональной технологии возделывания культуры*

Л.П. Евстратова, д-р с.-х. наук, профессор; Л.А. Кузнецова, канд. с.-х. наук;
Е.В. Николаева, канд. с.-х. наук
ФИЦ КарНЦ РАН

В статье представлены результаты четырёхлетнего исследования урожайности и экологической адаптивности 15 образцов картофеля в условиях Республики Карелии. Целью работы явилось выделение наиболее приспособленных к местным почвенно-климатическим условиям новых селекционных образцов культуры, обеспечивающих стабильное получение высоких урожаев. Метеорологические условия в годы исследования оказали существенное влияние на рост и развитие растений: сила влияния фактора «год» составила 77,33 %. По результатам динамического испытания образцы 3602/28, 1604/16, 304/25, 5403/2 максимальную среднюю урожайность (до 15,0, 20,7 и 24,6 т/га на 70-, 80- и 90-й дни уборки соответственно) сочетали с высокой экологической адаптивностью (коэффициент адаптивности – K_a составил 1,1–1,2). Доказано, что вышеуказанные образцы перспективны для последующего использования в региональной технологии возделывания картофеля. С учётом стабильности формирования урожая по годам три первых образца можно рекомендовать для уборки клубней с 70-го дня, а последний – с 90-го дня после посадки.

Ключевые слова: картофель, селекционный материал, экологическая адаптивность.

Доля России в мировом масштабе производства картофеля по посевным площадям и валовому сбору продукции составляет около 10 %. Вместе с тем урожайность культуры (14 т/га) значительно отстаёт от среднемирового уровня (17 т/га) [1, 2]. Один из путей решения этой проблемы – использование адаптированных к местным условиям сортов, способных реализовать потенциальный уровень урожайности с высоким качеством клубней. В каждом регионе отбор такого ассортимента и последующее его районирование осуществляют на основе предварительного экологического сортоиспытания нового селекционного материала по комплексу хозяйственно-ценных признаков и свойств. Реакцию сортов на биотические и абиотические условия среды целесообразно дополнять оценкой по показателям пластичности, адаптивной способности и экологической стабильности [3], которые характеризуют соответствие набора генотипов взаимодействующим элементам окружающей среды с учётом продолжительности периода вегетации, необходимого для формирования урожая. Чем более неблагоприятные и переменчивые условия для возделывания картофеля, что характерно, например, для северных регионов страны, тем более широким диапазоном адаптивности должны обладать сорта. Так, на территории Мурманской [4] и Архангельской [5] областей высокий уровень адаптации к местным условиям растений раннеспелой и среднеранней групп спелости обеспечил в основном наибольшие и стабильные урожаи картофеля. Напротив, сорта

среднеспелой группы вследствие недостаточности здесь термических ресурсов не смогли полностью раскрыть свой генетический потенциал [6]. Кроме того, в различающихся агроэкологических условиях формируется специфический характер связи «среда – генотип», поэтому адаптивность сорта может меняться [7]. Например, сорт Невский проявил высокую адаптивность (K_a – 1,22) на юго-западе Нечернозёмной зоны [8], а в её центральной части [3] и Челябинской области [9] он показал наименьшую адаптивность (K_a – 0,75 и 0,74–0,90 соответственно). Этот сорт в степной зоне Южного Урала характеризовался пластичностью и высокой стабильностью урожая [10], в Тюменской области – отзывчивостью урожая на улучшение условий среды и проявлением буферности генотипа в неблагоприятных условиях [11]. Таким образом, использование высокопродуктивных и экологически адаптивных сортов будет способствовать более рациональному использованию компонентов природной среды и повышению эффективности возделывания картофеля.

Цель исследования – оценить особенности формирования урожая и экологической адаптивности селекционных сортов и образцов картофеля для использования в ресурсосберегающей технологии возделывания культуры в условиях Карелии.

Материал и методы исследования. Объекты исследования – сорта Невский, Пушкинец, Петербургский и 12 образцов картофеля селекции Ленинградского НИИСХ «Белогорка». Картофель

* Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России № 075-01266-20-01 по теме № АААА-А19-119082690051-2.

высаживали по схеме 70×35 см, при этом площадь делянки составляла $14,7 \text{ м}^2$. Опыт заложен в четырёхкратной повторности. Применяемая в опыте агротехника – общепринятая для Северо-Западного региона РФ.

Экспериментальная работа выполнена по общеустановленной методике полевого опыта [12] в южной части Карелии. Оценку урожайности и адаптивности селекционного материала проводили в динамике на 70-, 80- и 90-й дни после посадки клубней согласно методическим указаниям ВНИИКХ [13–15]. За десять дней до основной уборки урожая надземную вегетативную массу удаляли механическим способом.

Метеорологические условия периодов вегетации растений на протяжении четырёх лет исследования характеризовались неоднородностью показателей. На фоне преобладающего превышения (на $0,3\text{--}2,3 \text{ }^\circ\text{C}$) среднемесячной температуры воздуха относительно среднесезонных значений ($8,7\text{--}17 \text{ }^\circ\text{C}$) лишь четвёртый полевой сезон отличался недостаточным количеством тепла (отклонения составили $1,5\text{--}3,7 \text{ }^\circ\text{C}$). По влагообеспеченности территории в первые два года наблюдали дефицит осадков на $2\text{--}27$ мм по сравнению с нормой $48\text{--}83$ мм (индекс условий среды I_j [16] достигал $10,21$), в последующем, наоборот, отмечали их избыток на $1\text{--}120$ мм (нижний уровень I_j составил $-8,77$). Переувлажнение воздуха и почвы вызвало эпифитотийное развитие *Phytophthora infestans* Mont. de Vary и, как результат, снижение продуктивности картофеля.

Полученные данные по урожайности обрабатывали с помощью двухфакторного дисперсионного анализа [12], первый фактор – «год», второй – «генотип». Для группировки селекционного материала по однородности показателей (переменных) – количество клубней на одно растение, масса клубня, товарность, урожайность и содержание крахмала (на каждую дату уборки урожая) – использовали факторный, кластерный и пошаговый дискриминантный анализы [17, 18].

Пластичность генотипов оценивали согласно известной модели в модификации В.З. Пакудина, Л.М. Лопатиной [19]. Рассчитывали коэффициенты линейной регрессии (b_i), характеризующие отзывчивость селекционного материала на изменения условий выращивания: сильно отзывчивые ($b_i > 1$), пластичные ($b_i \sim 1$, или $b_i = 1$) и слабо отзывчивые ($b_i < 1$). Величина стабильности урожая (S_i^2) образца, показывающая степень изменчивости количественного признака, определена на основе средней урожайности и индекса среды. Чем меньше показатель S_i^2 , тем стабильнее урожай (дисперсия S_i^2 стремится к нулю). Коэффициент адаптивности (K_a) рассчитывали по методике, представленной А.А. Молякко с соавт. [20].

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью программного пакета Excel и компьютерной программы StatGraphics Centurion XV.

Результаты исследования. Урожайность селекционного материала картофеля в значительной степени ($F_\phi - 68,9$; $F_T - 2,83$) зависела от флуктуаций условий среды в течение сезона, подтверждением чего явилась сила влияния фактора «год», которая составила $77,33 \%$ общей дисперсии. В благоприятных условиях вегетации растений среднее значение урожайности картофеля варьировало от $24,6$ до $31,7$, а неблагоприятных – от $12,7$ до $16,8$ т/га. Максимальной изменчивостью урожая по датам уборки и годам выделился образец 5403/2, у которого верхний предел урожайности достигал $43,2$, а нижний – лишь $9,3$ т/га.

Оценка экологической пластичности картофеля по средней урожайности клубней показала, что на 70-й день после посадки наиболее чувствительными на вариабельность условий среды ($b_i > 1$) оказались сорт Петербургский и образцы 3602/28, 1101/10 и 1604/16 (табл. 1). Некоторые представители – Пушкинец, 3402/2, 9928/15, 2054/3 и 404/5 были отнесены к группе пластичных ($b_i \sim 1$, или $b_i = 1$). Изменение урожайности у них происходило в соответствии с колебаниями метеорологических условий. Слабой отзывчивостью ($b_i < 1$) характеризовались сорт Невский и образцы 2048/3, 5303/4, 1101/21, 5403/2, 304/25 с незначительными отклонениями значений урожайности. Несмотря на низкий урожай, они оказались лучше адаптированы к условиям среды. По минимальной величине и стабильности урожая выделен образец 5303/4.

На 80-й день уборки в группу наиболее реагирующих на условия среды были включены образцы Невский, Петербургский и 1101/21, 5403/2, 304/25, а наименее – Пушкинец и 1101/10, 9928/15, 2054/3. Пластичность проявили образцы 3602/28, 3402/2, 2048/3, 404/5, 1604/16, 5303/4. Одновременно с этим последний образец оказался наиболее стабильным по урожайности (см. табл. 1).

К основной уборке (90-й день) образцы 3602/28, 1101/10, 1101/21, 5403/2, 304/25 отличались высокой отзывчивостью урожая, Невский и 3402/2, 2054/3 – пластичностью, а Пушкинец, Петербургский, 2048/3, 9928/15, 5303/4, 404/5, 1604/16 в меньшей степени реагировали на колебания условий среды. Относительной стабильностью урожая выделились Пушкинец и 5403/2 (табл. 1).

В целом по результатам динамического испытания селекционного материала на каждую дату уборки урожая установлена наибольшая экологическая адаптивность ($K_a > 1$) у 3602/28, 5403/2, 1604/16, 304/25.

1. Параметры пластичности, стабильности и адаптивной способности селекционного материала картофеля в зависимости от сроков уборки урожая (в среднем за четыре года)

Сорт, образец	70-й день уборки				80-й день уборки				90-й день уборки			
	урожай- ность, т/га	b_i	S_i^2	K_a	урожай- ность, т/га	b_i	S_i^2	K_a	урожай- ность, т/га	b_i	S_i^2	K_a
Невский	12,0	0,8	3,1	0,9	20,1	1,2	13,9	1,2	23,0	1,1	28,9	1,1
Пушкинец	13,8	0,9	6,8	1,1	16,2	0,8	3,5	0,9	18,5	0,8	0,2	0,9
Петербургский	12,7	1,2	5,7	1,0	15,3	1,2	3,1	0,9	16,8	0,7	6,6	0,8
3602/28	14,8	1,4	1,2	1,1	18,7	1,1	14,4	1,1	22,8	1,3	17,1	1,1
3402/2	11,7	1,0	17,3	0,9	15,4	1,0	32,1	0,9	19,7	0,9	19,5	0,9
2048/3	10,1	0,8	2,2	0,8	14,3	1,0	2,6	0,8	21,3	0,8	18,6	1,0
1101/10	16,3	1,7	3,6	1,3	16,2	0,8	15,3	0,9	22,5	1,5	43,0	1,0
9928/15	12,1	1,0	1,1	0,9	16,7	0,5	12,8	1,0	21,6	0,6	6,2	1,0
2054/3	10,7	0,9	1,9	0,8	15,6	0,7	20,3	0,9	19,3	0,9	31,0	0,9
5303/4	10,7	0,7	0,7	0,8	16,1	0,9	1,1	0,9	22,0	0,6	42,6	1,0
1101/21	11,0	0,5	2,4	0,8	16,5	1,2	7,6	1,0	20,9	1,3	8,7	1,0
404/5	14,9	1,1	4,4	1,1	17,8	0,9	15,5	1,0	20,2	0,7	18,5	0,9
5403/2	13,9	0,6	24,5	1,1	20,1	1,2	40,8	1,2	24,6	1,7	3,8	1,1
1604/16	15,0	1,5	2,5	1,2	20,7	1,1	3,3	1,2	23,9	0,8	21,3	1,1
304/25	15,0	0,8	7,6	1,2	19,8	1,4	4,9	1,1	24,6	1,4	19,6	1,1

Примечание: b_i – коэффициент линейной регрессии (пластичность); S_i^2 – среднее квадратичное отклонение от линии регрессии (стабильность); K_a – коэффициент адаптивности.

По результатам факторного анализа получены факторные нагрузки на выделенные переменные (табл. 2), свидетельствующие об особенностях динамики формирования количественных и качественных показателей урожая картофеля. Так, на 70-й день уборки выделены два фактора – F_1 и F_2 . Высокие и положительные факторные нагрузки F_1 указывали на однонаправленное изменение массы клубня и товарности картофеля, а F_2 – урожайности и содержания крахмала. С привлечением факторного и кластерного анализов сорта и образцы разделены на четыре группы (рис. 1, 2). Данная классификация была на 100 % подтверждена пошаговым дискриминантным анализом. Наибольший вклад в дискриминацию исследуемых совокупностей внесли показатели количество клубней на растении и товарности картофеля.

Сорта и образцы первой группы отличались минимальным количеством клубней на растении, а также наивысшими показателями средней массы клубня и товарности. Для селекционного материала второй группы, представляющего особый интерес, были характерны повышенные

значения урожайности, товарности и содержания крахмала. Образцы третьей группы формировали наибольшую урожайность за счёт многочисленности клубней на растении, однако средняя величина их массы и товарность были низкими. У представителей этой группы определено повышенное содержание крахмала в клубнях. Образцы четвертой группы на раннюю дату уборки не успели ещё накопить достаточный урожай картофеля: значения количества, массы клубней, товарности и содержания крахмала были невелики.

По данным уборки, на 80-й день были выявлены три фактора (табл. 2). Высокие и положительные факторные нагрузки F_1 свидетельствовали об однонаправленном изменении массы клубня и товарности картофеля, а F_2 – урожайности и количества клубней на растении. По высокой нагрузке F_3 , полученной только по показателю содержания крахмала, предположили более или менее независимое проявление этого свойства.

С использованием вышеуказанных методов многомерного статистического анализа экспериментальный материал достоверно разделили на

2. Результаты факторного анализа урожая картофеля в динамике

Переменная	Факторные нагрузки (% от общей дисперсии)					
	70-й день		80-й день			90-й день
	F_1 (60,1)	F_2 (33,6)	F_1 (41,8)	F_2 (33,1)	F_3 (20,8)	F_1 (69,6)
Количество клубней (n_{kl}), шт/раст	-0,69	0,69	-0,51	0,84	0,06	0,97
Масса клубня (m_{kl}), г	0,97	-0,08	0,95	-0,12	-0,21	-0,86
Товарность (T), %	0,98	-0,02	0,87	0,12	0,39	-0,88
Урожайность (Y), т/га	-0,05	0,97	0,22	0,96	0,05	0,57
Содержание крахмала (S_{kr}), %	-0,04	0,93	0,02	0,04	0,99	0,82

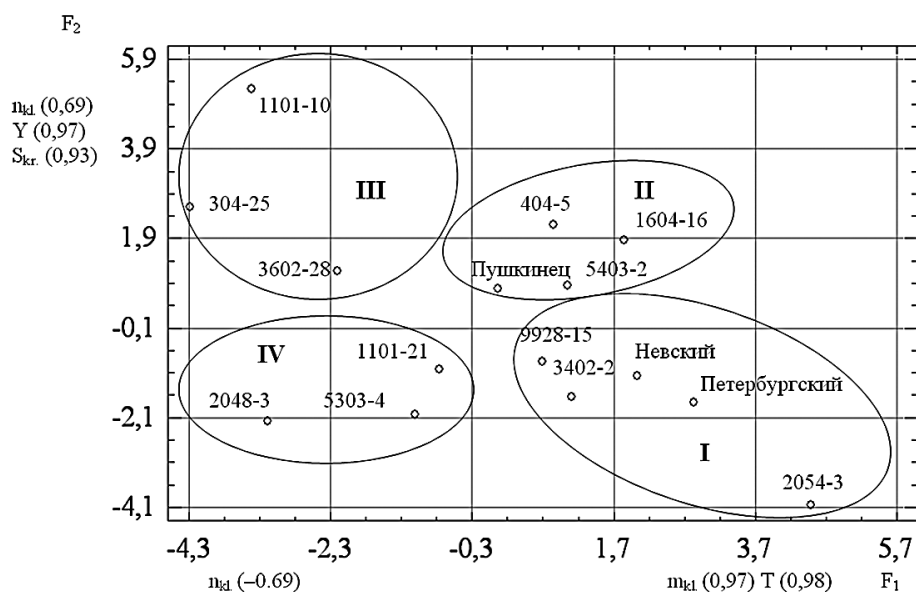


Рис. 1 – Распределение селекционного материала в факторном пространстве по результатам уборки на 70-й день после посадки

три группы. Основные дискриминаторы – урожайность и количество клубней на растении. Среди установленных групп заслуживает внимания первая группа (Невский, 404-5, 5403-2, 1604-16), составляющие которой отличались наибольшими показателями урожайности (19,7 т/га), средней массы клубня (43,7 г), товарности (76,8 %) и

содержания крахмала (10,3 %). Сорта и образцы второй группы (Пушкинец, Петербургский, 5303-4, 3402-2, 2048-3, 1101-10, 9928-15, 2054-3) выделялись минимальными значениями количества клубней на растении (9 шт/раст) и урожайности (15,8 т/га). Образцы третьей группы (3602-28, 304-25, 1101-21) имели большое количество клубней

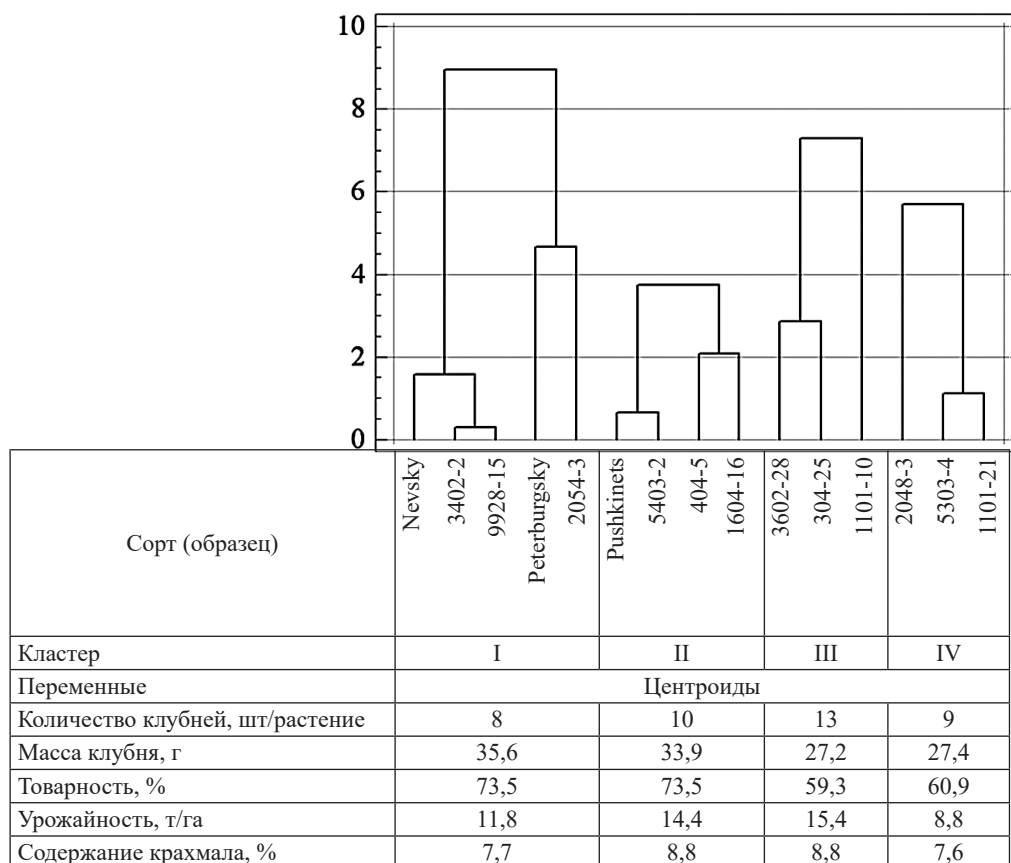


Рис. 2 – Кластеризация сортов и образцов картофеля по результатам уборки на 70-й день после посадки

(14 шт/раст), но из-за малой их массы (34,9 г) урожайность (18,6 т/га) несколько снизилась по сравнению с первой группой. Для сортов и образцов третьей группы было характерно невысокое содержание крахмала в клубнях (9,9 %).

По данным уборки, на 90-й день выявили один фактор, факторные нагрузки которого указывали об однонаправленном увеличении значений между парами переменных: количество клубней – урожайность или содержание крахмала; урожайность – содержание крахмала, масса клубня – товарность. Обратную связь установили между переменными: масса клубня или товарность с количеством клубней, урожайностью, содержанием крахмала (табл. 2). По результатам группировки селекционного материала выделили две группы, достоверно различающиеся между собой. Основной разделитель – количество клубней на растении. Ко времени основной уборки различия между образцами более сглажены. Первая группа, включающая сорта и образцы Невский, Пушкинец, Петербургский, 9928-15, 3402-2, 404-5, 2054-3, отличалась повышенными показателями средней массы клубня (49,3 г) и товарности (82,8 %). Для второй группы (3602-28, 2048-3, 1101-10, 304-25, 1101-21, 5303-4, 5403-2, 1604-16) были свойственны наибольшие значения урожайности (22,8 т/га) за счёт количества клубней на растении (13 шт/раст) и содержания крахмала (11,7 %) в картофеле.

Выводы. По результатам экологического испытания селекционного материала картофеля в условиях Карелии из числа изученных высокоадаптивные образцы 3602/28, 1604/16, 304/25, 5403/2 формируют максимальную среднюю урожайность 13,9–24,6 т/га на 70-, 80- и 90-й дни уборки урожая. С целью эффективного использования природных ресурсов вышеуказанные образцы перспективны для последующего их включения в региональную технологию возделывания картофеля. При планировании бесперебойного поступления местной продукции на продовольственный рынок республики три первых образца с учётом стабильности урожая по годам можно рекомендовать для реализации клубней с 70-, а последний – с 90-го дня после посадки.

Литература

1. Молявко А.А. Инновационная технология производства картофеля // Вестник БГУ. 2014. № 4. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnaya-tehnologiya-proizvodstva-kartofelya> (дата обращения: 09.02.2020).

2. Адаптация инновационных приёмов в технологии возделывания картофеля / А.А. Молявко, А.В. Марухленко, Л.А. Еренкова [и др.] // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. №1 (71). С. 12–16.
3. Амелюшкина Т.А. Адаптивность сортов картофеля в условиях серых лесных среднесуглинистых почв Калужской области // Аграрная наука. 2019. № 3. С. 72–74.
4. Травина С.Н., Бабкова А.С., Жигадло Т.Э. Оценка адаптивности сортов картофеля из коллекции ВИР в условиях Мурманской области // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. Киров: Зон. науч.-исслед. Ин-т сел. хоз-ва Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого, 2016. С. 151–155.
5. Оценка продуктивности и адаптивности сортов картофеля различных групп спелости в условиях Архангельской области / Л.А. Попова, Л.Н. Головина, А.А. Шаманин [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 3 (58). [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-produktivnosti-i-adaptivnosti-sortov-kartofelya-razlichnyh-grupp-spelosti-v-usloviyah-arhangel'skoy-oblasti> (дата обращения: 2.07.2020).
6. Жевора С. В. Экологическая адаптивность перспективных сортов картофеля отечественной селекции и экономической оценка их возделывания // Земледелие. 2019. № 5. С. 30–35.
7. Евстратова Л.П. К оценке экологической адаптивности нового селекционного материала *Solanum tuberosum* L. в условиях Европейского Севера России / Л.П. Евстратова, Л.А. Кузнецова, Е.В. Николаева [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 77. С. 100–105.
8. Адаптивность сортов картофеля на юго-западе Нечернозёмной зоны / А.В. Марухленко, Н.П. Борисова, А.А. Молявко [и др.] // Картофельводство. Современное состояние и перспективы развития селекции и семеноводства картофеля: матер. науч.-практич. конф. / под ред. С.В. Жеворы. М., 2018. С. 100–105.
9. Экологическая пластичность и стабильность сортов картофеля селекции Костанайского НИИСХ / Н.В. Глаз, А.А. Васильев, Т.Т. Дергилова [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 2 (50). С. 13–22.
10. Оценка пластичности среднеранних и среднеспелых сортов картофеля в степной зоне Южного Урала / А.А. Мушинский, Е.В. Аминова, Е.В. Герасимова [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 6 (62). С. 215–217.
11. Логинов Ю.П., Казак А.А.; Якубышина Л.И. Экологическая пластичность и адаптивность сортов картофеля к условиям Тюменской области // Агропродовольственная политика России. 2015. №8. С. 63–67.
12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979.
13. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 4. М.: Колос, 1975.
14. Опытное дело в полеводстве / под общ. ред. Г.Ф. Никитенко. М.: Россельхозиздат, 1982. 190 с.
15. Методика исследований по культуре картофеля. М.: Колос, 1967. 263 с.
16. Методика расчёта и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений / В.А. Зыкин, И.А. Белан, В.С. Юсов [и др.]. Уфа, 2005. 100 с.
17. Дюк В. Обработка данных на ПК в примерах. СПб.: Питер, 1997. 240 с.
18. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка [и др.]. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.
19. Пакудин В.З., Лопатина Л.М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственная биология. 1984. № 4. С. 109–113.
20. Молявко А.А., Марухленко А.В., Борисова Н.П. Коэффициент адаптивности сорта картофеля определяет его продуктивность // Картофель и овощи. 2012. № 3. С. 10–11.

Евстратова Любовь Павловна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Кузнецова Лариса Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук

Николаева Елена Валентиновна, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральный научный центр «Карельский научный центр Российской академии наук», лаборатория агротехнологий «Вилга» отдела комплексных научных исследований

Россия, 185506, Республика Карелия, Прионежский р-н, п. Новая Вилга, ул. Центральная, 12

E-mail: kgshos@mail.ru

Comprehensive assessment of productivity and ecological adaptability of potato breeding material for use in regional technology cultivation

Evstratova Lyubov Pavlovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Kuznetsova Larisa Anatolyevna, Candidate of Agricultural Sciences

Nikolaeva Elena Valentinovna, Candidate of Agricultural Sciences

Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences. Laboratory for Agrotechnology «Vilga» of the Department of complex scientific research

12, Tsentralnaya St., Novaya Vilga, Prionezhsky region, Republic of Karelia, 185506, Russia

E-mail: kgshos@mail.ru

The article presents the results of four-year studies of the yield and ecological adaptability of 15 potato samples in the conditions of the Republic of Karelia. The purpose of the work was to identify new breeding samples of the crop most adapted to local soil and climatic conditions, ensuring stable production of high yields. Meteorological conditions during the years of research had a significant impact on the growth and development of plants: the strength of the influence of the «year» factor was 77.33 %. According to the results of the dynamic test, samples 3602/28. 1604/16.304/25. 5403/2 maximum average yield (up to 15.0. 20.7 and 24.6 t/ha on the 70-, 80- and 90th days of harvesting, respectively) were combined with high ecological adaptability (adaptive coefficient – K_a was 1.1–1.2). The above samples are promising for subsequent use in regional potato cultivation technology. Given the stability of crop formation by year, the first three samples can be recommended for harvesting tubers from the 70th day, and the last – from the 90th day after planting.

Key words: *potato, breeding material, ecological adaptability.*
