



Научная статья  
УДК 635.21.571  
doi: 10.55186/25876740\_2023\_66\_6\_633

## ИЗУЧЕНИЕ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ И ВЫДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТАБОЛОМНОГО АНАЛИЗА

Н.С. Яковлева<sup>1</sup>, И.В. Слепцов<sup>1,2</sup>, Ю.Г. Амбросова<sup>1,3</sup>, П.П. Охлопкова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Якутск, Россия

<sup>2</sup>Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

<sup>3</sup>Арктический государственный агротехнологический университет, Октэмский филиал, Якутск, Россия

**Аннотация.** В данной работе представлены результаты изучения 9 сортов картофеля в условиях Центральной Якутии. Природно-климатические условия земледельческих районов Якутии являются экстремальными и отличаются следующими особенностями: невысокое плодородие мерзлотных почв, имеющих обычно щелочную реакцию (рН — 7,8), короткий вегетационный период (65-70 дней), небольшое количество осадков за летний период (106-120 мм), летом резкие перепады температур от дня к ночи, поздние весенние (июнь) и ранние осенние (август) заморозки, суховеи в июне-июле, длительный период (8-9 месяцев) хранения сельскохозяйственной продукции. В результате комплексной оценки в вегетационный период 2022 года выявлены перспективные сорта, сочетающие высокую урожайность, устойчивые к неблагоприятным факторам внешней среды и вредным организмам зоны. Наиболее урожайными были сорта Тулунский ранний, Вармас (12,3 т/га), Терра (12,5 т/га), Якутянка (13,0 т/га). По результатам метаболомного анализа клубней картофеля с использованием метода главных компонентов, установлено, что сорта Розара, Эликс ред и Тулеевский с низкой урожайностью выделяются среди других сортов. Показано, что в клубнях картофеля с низкой урожайностью повышается содержание аминокислот, таких как 5-оксипролина, глутамина, аланина, аспарагина, орнитина, пролина, лейцина, серина, ГАМК, валина и тирозина. Результаты исследований могут быть применены в производстве картофеля для увеличения сортимента, возделываемого в условиях Центральной Якутии картофеля и более широкого внедрения столовых сортов, что позволит полнее удовлетворять потребность населения в качественном картофеле.

**Ключевые слова:** картофель, урожайность, селекция, сорт, агротехника, метаболомный анализ, вегетационный период

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания ЯНИИСХ ЯНЦ СО РАН «Комплексные междисциплинарные исследования по сохранению и пополнению коллекции генетических ресурсов растений в криолитозоне» (FWRS-2021-0048).

Original article

## STUDYING POTATO VARIETIES AND IDENTIFYING PROMISING FOR GROWING IN THE CONDITIONS OF CENTRAL YAKUTIA USING METABOLOMAL ANALYSIS

N.S. Yakovleva<sup>1</sup>, I.V. Sleptsov<sup>1,2</sup>, Yu.G. Ambrosova<sup>1,3</sup>, P.P. Okhlopko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>M.G. Safronov Yakut scientific research institute of agriculture — Division of Federal Research Centre «The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», Yakutsk, Russia

<sup>2</sup>Institute for Biological Problems of Permafrost SB RAS, Yakutsk, Russia

<sup>3</sup>Arctic State Agrotechnological University, Oktem Branch, Yakutsk, Russia

**Abstract.** The results of evaluation of potato 9 varieties in the conditions of Central Yakutia are presented. The natural and climatic conditions of the agricultural regions of Yakutia are extreme and are distinguished by the following features: low fertility of permafrost soils, which usually have an alkaline reaction (pH — 7.8), a short growing season (65-70 days), a small amount of precipitation during the summer period (106-120 mm), in summer sharp temperature changes from day to night, late spring (June) and early autumn (August) frosts, dry winds in June-July, a long period (8-9 months) of storage of agricultural products. As a result of a comprehensive assessment in the growing season of 2022, promising varieties were identified that combine high productivity, resistance to adverse environmental factors and pests of the zone. The most productive varieties were Tulunsky early, Varmas (12.3 t/ha), Terra (12.5 t/ha), Yakutyanka (13.0 t/ha). According to the results of the metabolomic analysis of potato tubers, it was found that the varieties Rozara, Elix red and Tuleevsky with low yields are clearly separated by the method of principal components from other varieties. It has been shown that the content of amino acids, such as 5-oxoproline, glutamine, alanine, asparagine, ornithine, proline, leucine, serine, GABA, valine and tyrosine, increases in potato tubers with low yields. The results of the research can be applied in the production of potatoes to increase the assortment of potatoes cultivated in the conditions of Central Yakutia and the wider introduction of table varieties, which will better satisfy the population's need for high-quality potatoes.

**Keywords:** potato, productivity, selection, variety, agricultural technology, metabolomic analysis, growing season

**Acknowledgments:** the work was carried out within the framework of the state task of the YANIISH YSC SB RAS «Comprehensive interdisciplinary research on the conservation and replenishment of the collection of plant genetic resources in the permafrost zone» (FWRS-2021-0048).

**Введение.** Картофель занимает одно из лидирующих мест среди продукции растениеводства Якутии, используемой для питания населения. Около 8–9 тыс. Га пахотных земель региона используется для выращивания картофеля. Урожайность картофеля в Центральной Якутии достигает 80–100 ц/га. Для полного обеспечения населения республики картофелем местного

производства необходимо не менее 150 тыс. т клубней ежегодно.

Природно-климатические условия земледельческих районов Якутии являются экстремальными и отличаются следующими особенностями: невысокое плодородие мерзлотных почв, имеющих обычно щелочную реакцию, короткий вегетационный период (65-70 дней), неболь-

шое количество осадков за летний период (106-120 мм), летом резкие перепады температур от дня к ночи, поздние весенние (июнь) и ранние осенние (август) заморозки, суховеи в июне-июле, длительный период (8-9 месяцев) хранения сельскохозяйственной продукции [11]. В производстве картофеля, особенно в зоне неустойчивого земледелия, необходимы сорта

адаптивного типа, устойчивые к экстремальным условиям среды и имеющие стабильную урожайность [3]. Большая часть сортов картофеля инорайонной селекции недостаточно адаптирована к условиям региона, что приводит к потерям урожайности и ее широкой вариабельности по годам. Внедрение новых сортов, способных противостоять воздействию неблагоприятных абиотических и биотических факторов среды, позволит полнее удовлетворять потребность населения в качественном картофеле [7, 17].

Сорта картофеля нового поколения должны обладать широкой нормой реакции на меняющиеся условия среды, высокой пластичностью и стабильностью количественных и качественных признаков, стрессоустойчивостью. Возделывание таких сортов может обеспечить реальную экономию ограниченных ресурсов и элементов питания в различных природно-климатических условиях. Интенсификация картофелеводства неразрывна с созданием и широким использованием в производстве высокопродуктивных сортов, с хорошими качественными показателями, способных более эффективно отзываться на агромероприятия [13]. Благодаря новым сортам обеспечивается постоянный прогресс растениеводства по таким важнейшим параметрам как уровень, стабильность и качество урожая, устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды и вредным организмам (вредители, болезни и сорняки), потребительские свойства продукции, технологичность и снижение затрат при возделывании [1].

Целью данного исследования является оценка коллекции сортов картофеля по хозяйственно-ценным признакам и метаболомному профилированию в условиях Центральной Якутии для выявления из них наиболее перспективных.

**Место проведения работ.** Исследования проводили в 2023 г. в учебном хозяйстве ФГБОУ ВО Арктический ГАТУ «Карпатское», которое расположено на левом берегу реки Лена, с густотой речной сети 0,3-0,5 км. В данном районе в основном преобладают мерзлотно-пойменные, нейтральные и карбонатные (пойменные дерновые включая дерново-глеевые) в комплексе с пойменными засоленными почвами. Почва участка мерзлотная пойменная дерновая. Глубина пахотного слоя 22-24 см. По механическому составу среднесуглинистая, старопашотная, относится к категории хорошо окультуренных. Реакция почвенной среды щелочная (рН — 7,8), содержание гумуса в пахотном слое 2,4-3,0%.

В почве обнаружены аммиачный азот (следы) и нитратный — в пределах 1,0-4,0 мг/100 г почвы, содержание валового фосфора составляет 0,12-0,16%, обеспеченность калием (валового — 1,8-2,1%, обменного — 26,2-33,2 мг/100 г почвы) достаточно высока.

**Метеорологические условия.** В целом зима 2021/2022 г. была малоснежной. В первой декаде октября после обильных осадков установился снежный покров высотой 2,6 см, но в связи с затяжной осенью с положительными максимальными температурами до +4,1...+7,6 °С и малым количеством осадков в третьей декаде месяца, снежный покров зафиксирован лишь на высоте 0,5 см. В декабре-январе высота снежного покрова составила лишь 10,4...17,3 см при абсолютной минимальной температуре воздуха -52,3...-50,6 °С. Максимальная высота зафиксирована в первой декаде марта 24,6 см. Средняя температура воздуха в мае составила +6,4 °С, выше, чем среднегодовой — 5,7 °С. Сумма осадков составила 18,8 мм, на уровне нормы — 19,0 мм.

Таблица 1. Метеорологические данные за вегетационный период 2022 года (по данным Покровской МС)  
Table 1. Meteorological data for the growing season 2022 (according to Pokrovskaya MS)

Месяц	Декада	Температура воздуха, °С				Осадки, мм	
		Средне-многол.	среднее	мах	мин	Средне-многол.	мм
Май	1 дек	2,3	3,3	15,1	-8,7	4	2,4
	2 дек	6,1	5,5	17,1	-6,7	6	3,3
	3 дек	9,4	10,5	20,2	-2,1	9	18,8
	За месяц	5,7	6,4	20,2	-8,7	19	18,8
Июнь	1 дек	12,8	18,4	29,6	6,9	10	15
	2 дек	14,8	16,3	31,6	3,5	11	7,9
	3 дек	16,3	21,3	34	7	16	10,7
	За месяц	14,6	18,6	31,6	3,5	37	33,6
Июль	1 дек	18	22	34,2	6,5	18	15,7
	2 дек	18,2	22,1	34,6	14	15	51,3
	3 дек	17,9	22	34	9,6	13	21,4
	За месяц	18	22	34,6	6,5	46	88,4
Август	1. дек	17,1	19,0	27,3	4,5	17	8,5
	2 дек	14,4	15,3	24,7	4,8	14	21,3
	3 дек	13	10,7	23,3	-1,6	13	9,5
	За месяц	15,3	15,0	27,3	-1,6	44	39,3

Установленная теплая погода с осадками в конце мая благоприятно повлияла на всходы зерновых культур.

Первые всходы отмечены 3 июня. В первой декаде июня установилась теплая погода с обильными осадками. Температура воздуха составила +18,4 °С, при среднегодовой +12,8 °С. Количество осадков составило — 15,0 мм, при норме 10,0 мм. Со второй декады июня началась засуха, сумма осадков составила 18,6 мм, что ниже нормы на 8,4 мм. Температура воздуха достигала +34,0 °С, при среднегодовой температуре +14,6 °С. В июле среднемесячная температура воздуха была 22,0 °С, максимальная температура достигала +34,6 °С. Осадков выпало в 1,9 раз больше нормы — 88,4 мм. Большая часть осадков выпало во второй декаде июля. С начала до середины августа установилась теплая погода, в третьей декаде температура была ниже нормы на 2,3 °С. Обильные дожди выше нормы отмечены во второй декаде — 21,3 мм при норме — 14 мм (табл. 1).

**Методика исследований.** В период вегетации проводили учеты и наблюдения согласно методике исследования по культуре картофеля, ВНИИКС, 1967 г. [8].

В пробной копке в период максимального развития растений учитывали общий вес клубней и ботвы, структуру клубней, высоту и их кустистость. Учет урожая проводили методом сплошной копки, в клубнях определяли содержание крахмала, сухого вещества, аскорбиновой кислоты и нитратов [9,10].

За период вегетации в опыте было проведено 3 полива — 250-300 м<sup>3</sup>/га. Уход за посадками состоял в культивации по всходам и глубокому окучиванию.

Агротехника на опытном участке — общепринятая по республике. Учеты и наблюдения проводили согласно методике исследований по культуре картофеля [10]. Полученные данные подвергли математической обработке с использованием методики полевого опыта Б.А. Доспехова [2], программ SNEDECOR, Microsoft Excel.

Для определения сухих веществ клубни картофеля подвергали лиофильному высушиванию на сублиматоре CX Техника Lab 3 (Россия).

Для метаболомного анализа 10 мг лиофилизированных клубней картошки экстрагировали в 1 мл метанола. Полученный экстракт вы-

паривали при 40° С на ротормном испарителе, сухой остаток растворяли в 50 мкл пиридина. Для получения летучих триметилсиллил-производных (ТМС) проводили дериватизацию с использованием 50 мкл N,O-бис-(триметилсиллил) трифторацетамида (BSTFA) в течение 15 мин при 100° С. Анализ проводили методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) на хроматографе «Маэстро» (Россия) с квадрупольным масс-спектрометром Agilent 5975C (США), колонка HP-5MS, 30 м × 0,25 мм. Для хроматографии использовали линейный градиент температуры от 70°С до 320°С со скоростью 4°С/мин при потоке газа (гелий) 1 мл/мин. Сбор данных осуществляли с помощью программного обеспечения Agilent ChemStation. Количественную интерпретацию хроматограмм проводили методом внутренней стандартизации по углеводороду C<sub>33</sub> [12]. Обработка и интерпретация масс-спектрометрической информации проводилась с использованием стандартной библиотеки NIST 2011.

Содержание сухих веществ и метаболомный анализ выполняли в четырех биологических и аналитических повторностях. Полученные результаты представлены в виде средней арифметической величины и ее стандартного отклонения (M±SD). Сравнение средних значений выборок проводили методом ANOVA. Расчет проводился с помощью пакета AnalystSoft, StatPlus — программа статистического анализа, Vol.2007.

**Фенологические показатели роста и развития растений.** Посадку сортов картофеля в коллекционном питомнике проводили 03 июня 2022 г. Полные входы картофеля появились на 21-25 день. Ранние всходы наблюдались у стандартного сорта Тулунский ранний и Якутянка. Фаза бутонизации наблюдалась с 25 июня по 9 июля. Первое цветение было отмечено у сортов Розара, Аляска, Тулеевский, Тулунский ранний, Якутянка. Сорта убирали по зеленой ботве, пожелтение листьев в нижнем ярусе, отмечено у сорта Тулунский ранний (табл. 2).

Большую роль в формировании высоких урожаев картофеля имеет количество основных стеблей, высота растений и ассимиляционная поверхность листьев. Рост и развитие растений находится в прямой зависимости от сортовых особенностей и условий выращивания. Эти показатели определяли перед бутонизацией,



а высоту основных стеблей — в период максимального развития листовой поверхности — в фазе цветения. Изучаемые сорта картофеля отличались по высоте растения и по количеству основных стеблей на одном кусте.

Высота растений у разных сортов картофеля варьировала в зависимости от их биологических особенностей и условий выращивания. Максимальная высота растений отмечена у сортов Розара, Северное сияние и Эликс — 55,0-59,0 см.

В среднем за 2022 г. по количеству стеблей в одном кусте выделились сорта Розара (4,3 шт./раст.), Эликс (4,2 шт./раст.). Наибольшее количество основных стеблей сформировал сорт Розара, минимальное количество стеблей сформировали сорта Аляска (3,0 шт./раст.). Коэффициент вариации в среднем 16,1%.

Формирование урожая и потребность растений картофеля в элементах питания тесно связаны, как и у других сельскохозяйственных растений, с особенностями роста и развития листовой поверхности, которая не остается неизменной в течение всей вегетации. Листья играют основную роль в создании органического вещества, из которого впоследствии, в том числе и образуются клубни.

В Центральной Якутии площадь ассимиляционной поверхности у картофеля обычно далеко не достигает размеров, характерных для средней полосы европейской части России. В зависимости от погодных условий, питания и типа почв площадь листовой поверхности на посевах картофеля изменялась в пределах 12-27 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Изучаемые сорта картофеля формировали достаточно высокую площадь листьев. В год исследований листовая поверхность у растений картофеля варьировала в пределах от 0,42 до 0,68 м<sup>2</sup>/куст. Наибольшую ассимиляционную поверхность в год наблюдения сформировали сорта Северное сияние, Розара, Эликс 0,64-0,68 м<sup>2</sup>/куст., а наименьшую — сорта Аляска и Тулеевский — 0,42 м<sup>2</sup>/куст. Ассимиляционная поверхность у стандартных сортов Тулунский — 0,57 м<sup>2</sup>/куст., сорта Вармас — 0,55 м<sup>2</sup>/куст.

Количество сформировавшихся клубней у сортов картофеля варьирует от 3,7-3,8 (сорта Аляска, Тулеевский) до 7,4-8,5 шт./куст. (сорта Вармас, Розара, Эликс, Якутянка, Тулунский ранний,) (табл. 2). Наиболее урожайными оказались сорта Тулунский ранний, Терра, Вармас, Якутянка (12,5-13,0 т/га). Сорт Эликс оказался не устойчивым к условиям засухи, урожайность клубней которого была существенно ниже, по сравнению со стандартными сортами (на 5,7-6,6 т). Высокую товарность обеспечивали сорта Вармас (81,6%), Тулунский ранний (85,0%), Якутянка (87,0%) и Терра (88,6%) (табл. 3).

Оценка сортов картофеля на поражаемость болезнями показала, что сорта были устойчивы к вирусным болезням, кроме сорта Эликс, у которого при глазомерной оценке обнаружена мозаичная мозаика (3 балла).

При дегустационной оценке клубней картофеля были установлены хороший вкус клубней, развариваемость и нежная консистенция мякоти у сортов Северное сияние и Терра (табл. 4).

**Биохимический состав клубней картофеля.** Исследовано содержание сухих веществ в некоторых сортах клубня картофеля, выращенных на территории Центральной Якутии (рис. 1). Показано, что минимальные значения сухих веществ в клубнях картофеля были зафиксированы у сортов Северное сияние, Эликс ред и Якутянка, что может свидетельствовать об большем накоплении воды в тканях.

Таблица 2. Продолжительность межфазных периодов сортов картофеля, 2022 г.  
Table 2. Duration of interphase periods of potato varieties, 2022

№	Сорта	Посадка-полные всходы-	Полные всходы — начало бутозации	Начало бутонизации-полное цветение	Полное цветение-завядание ботвы (уборка)
1	Вармас	14	38	2	38
2	Тулунский ранний	12	36	2	34
3	Якутянка	12	36	2	37
4	Розара	14	38	3	37
5	Аляска	14	38	3	37
6	Северное сияние	14	-	-	-
7	Терра	14	41	-	-
8	Тулеевский	14	38	4	37
9	Эликс	14	41	5	41

Таблица 3. Урожайность и товарность клубней картофеля, 2022 г.  
Table 3. Yield and marketability of potato tubers, 2022

№	Сорт	Количество клубней, шт./куст	Товарность, %	Урожайность, т/га
1	Вармас — st	7,4	81,6	12,3
2	Тулунский ранний — st	8,5	85,0	12,8
3	Якутянка — st	8,4	87,0	13,0
4	Розара	7,8	66,5	7,9
5	Аляска	3,7	77,6	9,5
6	Северное сияние	6,3	51,3	9,0
7	Терра	4,8	88,6	12,5
8	Тулеевский	3,8	76,9	8,9
9	Эликс	8,3	46,2	6,2
	НСР <sub>05</sub>	-	-	1,2

Таблица 4. Оценка сортов картофеля по потребительским качествам, 2022 г.  
Table 4. Evaluation of potato varieties by consumer qualities, 2022

№	Сорт	Консистенция мякоти	Развариваемость, балл	Вкус клубней, балл
1	Вармас — st	Грубая	1	3
2	Тулунский ранний — st	Нежная	3	4
3	Якутянка — st	Нежная	3	4
4	Розара	Водянистая	1	3
5	Аляска	Грубая	2	2
6	Северное сияние	Нежная	3	4
7	Терра	Нежная	3	4
8	Тулеевский	Грубая	1	4
9	Эликс	Грубая	3	3

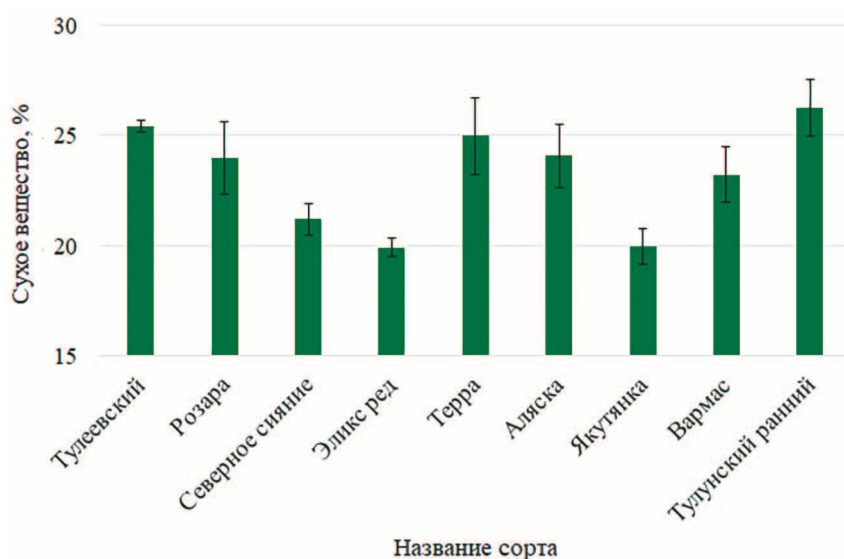


Рисунок 1. Содержание сухих веществ в клубнях некоторых сортов картофеля, выращенных на территории Якутии  
Figure 1. Dry matter content in tubers of some potato varieties grown in Yakutia



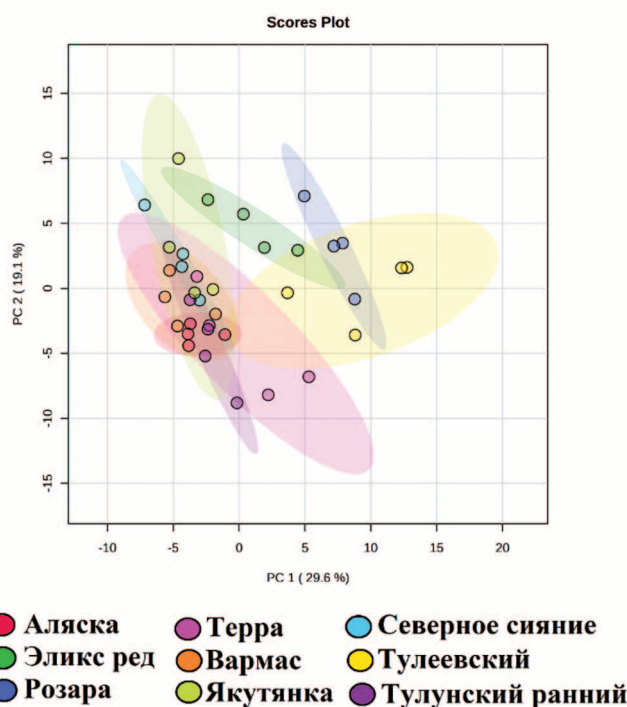


Рисунок 2. Распределение метаболомов в клубнях некоторых сортов картофеля, выращенных на территории Центральной Якутии  
Figure 2. Distribution of metabolomes in tubers of some potato varieties grown in Central Yakutia

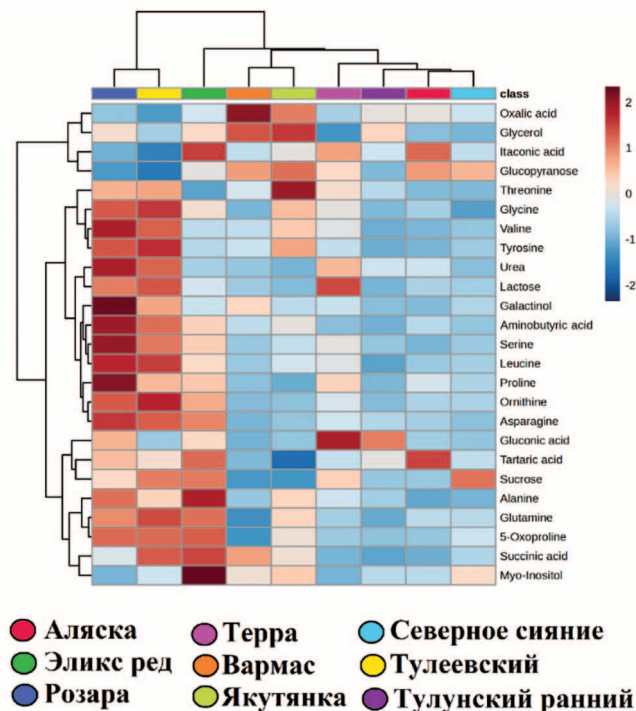


Рисунок 3. Тепловая карта метаболитов в клубнях некоторых сортов картофеля, выращенных на территории Якутии  
Figure 3. Heat map of metabolites in tubers of some potato varieties grown in Yakutia

Максимальные значения были зафиксированы для сортов Тулеевский, Розара, Терра, Аляска, Вармас, Тулеевский ранний, где содержание сухих веществ варьировалось от 23 до 26% в пересчете на исходную массу.

В работах, проводившихся в Тамбовской области установлено, что в сортах картофеля Розалинда, Крепыш и Ред Леди содержание сухих веществ в клубнях колебалось от 17 до 19% [14]. Другими исследователями показано, что в сортах картофеля Валентина, Люкс, Алена, Жуковский ранний выращенных в Тюменская области содержание сухого вещества варьировалась от 18 до 23% [5].

Таким образом, показано, что исследованные сорта картофеля, выращенные в учебном хозяйстве «Карпатское», содержат больше сухих веществ в клубнях по сравнению с сортами, культивируемыми в Тюменской и Тамбовской областях, что может быть связано с засушливым климатом на территории Якутии.

Известно, что в настоящее время при изучении картофеля значительная часть исследований уделяется метаболическим процессам для выяснения механизмов, ответственных за продуктивность, накопление веществ, которые определяют вкусовые и питательные качества, сохранение качества клубней при хранении, устойчивость растений к патогенам [18].

Проведен метаболомный анализ клубней картофеля сортов Тулеевский, Розара, Терра, Аляска, Вармас, Тулунский ранний, Северное сияние, Эликс ред и Якутянка выращенных на территории Центральной Якутии. Для статистического анализа полученных метаболомных данных была создана матрица, в которой отражены метаболомные профили исследованных сортов клубней картофеля (рис. 2). Построенный профиль включал 36 наблюдений по 98 метаболитам.

Полученный массив данных был обработан методом главных компонент (PCA). По результатам анализа установлено, что точки, являющиеся отражением метаболома клубней картофеля, разделились на 2 основные группы, в 1 группу входили сорта картофеля: Розара, Эликс ред и Тулеевский. В 2 группу: Терра, Аляска, Вармас, Тулеевский ранний, Северное сияние и Якутянка. Следует отметить, что сорта картофеля, входящие в 1 группу, имеют минимальные значения урожайности, что может свидетельствовать об эффективности метаболомного профайлинга для предпосевной диагностики урожайности картофеля на территории Центральной Якутии. Известно, что различия метаболомов картофеля между группами селекционных и аборигенных сортов были незначительны и сопоставимы с различиями, которые выявляются при анализе растений, выращенных в разных экологических условиях [15]. Таким образом, для каждого региона характерны свои специфические метаболомные профили клубней, полученные в результате селекционных работ и адаптации к определённой климатической зоне, которые позволяют картофелю поддерживать высокую урожайность и ценные потребительские качества.

Основные метаболиты, оказавшие наибольший вклад в разделение метаболомов в клубнях некоторых сортов картофеля представлены на тепловой карте (рис. 3).

Показано, что у сортов Розара, Эликс ред и Тулеевский, имевших минимальные значения урожайности, отмечалось высокая концентрация 5-оксoproлина, глутамин, аланина, аспарагина, орнитина, пролина, лейцина, серина, γ-аминомасляной кислоты (ГАМК) и сахарозы в клубнях. Следует отметить, что в клубнях картофеля сортов Розара и Тулеевский зафиксировано наибольшее содержание глицина, валина,

тирозина, мочевины и галактинола. Таким образом, можно предположить, что высокое содержание свободных аминокислот в клубнях способствует низкой урожайности картофеля на территории Центральной Якутии. Авторами [16] показано, что при недостатке влаги в клубнях картофеля накапливались аминокислоты, которые являются осмопротекторами.

В другой работе также показано, что сорт картофеля с низкой устойчивостью к засухе накапливал большее количество ГАМК и пролина при дефиците влаги [19]. Таким образом высокое содержание аминокислот в клубнях картофеля сорта Розара, Эликс ред и Тулеевский может свидетельствовать о их низкой устойчивости к засушливому климату, который характерен для территории Якутии.

**Выводы.** По итогам исследований, проведенных вегетационный период 2022 года в почвенно-климатических условиях Центральной Якутии, для получения ранней продукции рекомендуется использовать такие сорта картофеля, как Якутянка, Вармас, Тулунский ранний и Терра, которые формируют высокие урожаи клубней с хорошими потребительскими качествами при длительном недостатке влаги и высоких температурах воздуха в период начала цветения — образования клубней.

Установлено, что исследованные сорта картофеля, выращенные на территории Центральной Якутии, имеют высокое содержание сухих веществ по сравнению с выращенными в Тамбовской и Тюменской области. Методом главных компонент показано отчетливое разделение метаболомов клубней сортов картофеля с низкой урожайностью на территории Центральной Якутии (Розара, Эликс ред и Тулеевский) от сортов с высокой урожайностью (Терра, Аляска, Вармас, Тулеевский ранний, Северное сияние, и Якутянка). Установлено, что в клубнях



картофеля с низкой урожайностью повышается содержание аминокислот, таких как 5-оксипролин, глутамин, аланин, аспарагин, орнитин, пролин, лейцин, серин, ГАМК, валин и тирозин. Таким образом, данное исследование показало эффективность метаболомного профилирования для предпосевной диагностики сортов картофеля на территории Центральной Якутии.

**Список источников**

1. Бакунов А.Л., Дмитриева Н.Н. Экологическая пластичность перспективных сортов и гибридов картофеля в условиях Самарской области. Картофелеводство: результаты исследований, инновации, практический опыт: материалы научно-практической конференции и координационного совещания «Научное обеспечение и инновационное развитие картофелеводства». М., 2008. Т. 1. С. 198-202
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1973. 351 с.
3. Жученко А.А. Проблемы адаптации в селекции, сортоиспытании и семеноводстве сельскохозяйственных культур. Генетические основы селекции сельскохозяйственных растений. М., 1995. С. 3-19.
4. Зыкин В.А., Мешков В.В., Сапега В.А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчетов и анализ: метод. Рекомендации/ ВАСХНИЛ Сибирское отделение. Новосибирск, 1984. 24 с.
5. Казак А.А., Логинов Ю.П., Гаизатулин А.С. Экологическая оценка сортов картофеля при выращивании по разным предшественникам в северной лесостепи Тюменской области // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (166). С. 85-93.
6. Корзун О.С., Бруйло А.С. Адаптивные особенности селекции и семеноводства сельскохозяйственных растений: пособие. Гродно, 2011. С. 45-67.
7. Лукина Ф.А., Охлопкова П.П. Оценка новых сортов картофеля при выращивании в Якутии // Наука и образование. 2005. №(38). С. 112-114.
8. Методика исследования по культуре картофеля. М.: НИИКХ, 1967. 262 с.
9. Методические положения по проведению оценки сортов картофеля на испытательных (тестовых) участках. ВНИИКХ, М.2013.
10. Методические указания по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля. СПб., 2010. 26 с.
11. Охлопкова П.П. Картофель Якутии. Якутск: Изд-во СО РАН, 2004. 184 с.
12. Петрова Н.В., Сазанова К.В., Медведева Н.А., Шаварда А.Л. Особенности метаболомного профиля на разных стадиях онтогенеза *Prunella vulgaris* (Lamiaceae) при выращивании в климатической камере // Химия растительного сырья. 2018. № 3. С. 139-147. (DOI: 10.14258/jcrpm.2018033798)
13. Серегина Н.И. Сорт, качество, технология — факторы высокой урожайности картофеля // Картофель и овощи. 2012. № 6. С. 7-8.
14. Утешев В.Ю., Новикова Д.А., Конохова А.А. Агротехнологическая оценка сортов картофеля отечественной

и зарубежной селекции // Наука и Образование. 2019. Т. 2. №. 2. С. 248.

15. Dobson G., Shepherd T., Verrall S.R., Conner S., McNicoll J.W., Ramsay G., Shepherd L.V., Davies H.V., Stewart D. Phytochemical diversity in tubers of potato cultivars and landraces using a GC-MS metabolomics approach. J. Agric. Food Chem. 2008;56(21):1028010291. DOI 10.1021/jf801370b.
16. Drapal M., Vignolo E.R.F., Rosales R.O.G., Bonierbale M., Mihovilovich E., Fraser P.D. Identification of metabolites associated with water stress responses in *Solanum tuberosum* L. clones. Phytochemistry, 2017, 135: 24-33 (doi: 10.1016/j.phytochem.2016.12.003).
17. Okhlopova P.P., Yakovleva N.S., Efremova S.P. Selection evaluation of hybrids potato of preliminary testing under the conditions of Yakutia // Emerging Threats for Human Health Impact of Socioeconomic and Climate Change on Zoonotic Diseases: program and abstract book. Якутск: ДК Эрэл, 2018. С. 79.
18. Puzanskiy R.K., Gavrilenko T.A., Shishova M.F., Yemelyanov V.V. The perspectives of metabolomic studies of potato plants // Russian Journal of Genetics: Applied Research. 2017. V. 7. P. 744-756.
19. Vasquez-Robinet C., Mane S.P., Ulanov A.V., Watkinson J.I., Stromberg V.K., De Koeeyer D., Schafleitner R., Willmot D.B., Bonierbale M., Bohnert H.J., Grene R. Physiological and molecular adaptations to drought in Andean potato genotypes. J. Exp. Bot., 2008, 59(8): 2109-2123 (doi: 10.1093/jxb/ern073).

**References**

1. Bakunov A.L., Dmitrieva N.N. (2008). *Ehkologicheskaya plastichnost' perspektivnykh sortov i gibridov kartofelya v usloviyakh Samarskoi oblasti* [Ecological plasticity of promising potato varieties and hybrids in the Samara region] *Kartofelevodstvo: rezul'taty issledovaniy, innovatsii, prakticheskii opyt: materialy «Nauchnoe obespechenie i innovatsionnoe razvitiye kartofelevodstva»*, no. 1. pp. 198-202.
2. Dospikhov B.A. (1973). *Metodika polevogo opyta* [Methodology of field experience]. Moscow, Kolos, 351 p.
3. Zhuchenko A.A. (1995). *Problemy adaptatsii v selektsii, sortoispytanii i semenovodstve sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* [Problems of adaptation in breeding, variety testing and seed production of agricultural crops]. Geneticheskie osnovy selektsii sel'skokhozyaistvennykh rastenii, pp. 3-19.
4. Zykin V.A. & Meshkov V.V. & Sapega V.A. (1984). *Parametry ehkologicheskoi plastichnosti sel'skokhozyaistvennykh rastenii, ikh raschetov i analiz: metod. rekomendatsii* [Parameters of ecological plasticity of agricultural plants, their calculations and analysis: method. recommendations], VASKHNIL, 24 p.
5. Kazak A.A. & Loginov YU. P. & Gaizatulina A.S. (2021). *Ehkologicheskaya otsenka sortov kartofelya pri vyrashchivaniy po raznym predshestvennikam v severnoi lesostepi Tyumenskoi oblasti* [Ecological assessment of potato varieties grown according to different predecessors in the northern forest-steppe of the Tyumen region]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no. 1 (166), pp. 85-93.
6. Korzun O.S. & Bruilo, A.S. (2011). *Adaptivnyye osobennosti selektsii i semenovodstva sel'skokhozyaistvennykh ras-*

*tenii: posobie* [Adaptive features of breeding and seed production of agricultural plants: manual], Grodno, pp. 45-67.

7. Lukina F.A. & Okhlopova P.P. (2005). *Otsenka novykh sortov kartofelya pri vyrashchivaniy v Yakutii* [Evaluation of new potato varieties when growing in Yakutia]. *Nauka i obrazovanie*, no. 2 (38), pp. 112-114.
8. *Metodika issledovaniya po kul'ture kartofelya* (1967). [Methods of research on potato culture], NIИKХ, 262 p.
9. *Metodicheskie polozheniya po provedeniyu otsenki sortov kartofelya na ispytatel'nykh (testovyykh) uchastkakh* [Methodological provisions for the evaluation of potato varieties on test (test) sites], 2013, VNIИKХ, 28 p.
10. *Metodicheskie ukazaniya po podderzhaniyu i izucheniyu mirovoi kolleksii kartofelya*. [Guidelines for maintaining and studying the world potato collection], 2010, 26 p.
11. Okhlopova P.P. (2004). *Kartofel' Yakutii* [Yakutia potatoes], Yakutsk, SO RAN, 184 p.
12. Petrova N.V. & Sazanova K.V. & Medvedeva N.A. & Shavarda A.L. (2018). *Osobennosti metabolomnogo profilya na raznykh stadiyakh ontogeneza Prunella vulgaris (Lamiaceae) pri vyrashchivaniy v klimaticheskoi kamere* [Features of the metabolomic profile at different stages of ontogenesis of *Prunella vulgaris* (Lamiaceae) when grown in a climatic chamber]. *Himiya rastitel'nogo syr'ya*, no. 3, pp. 139-147. (DOI: 10.14258/jcrpm.2018033798)
13. Seregina N.I. (2012). *Sort, kachestvo, tekhnologiya — faktory vysokoi urozhainosti kartofelya* [Variety, quality, technology — factors of high potato yield], *Kartofel' i ovoshchi*, no. 6, pp. 7-8.
14. Uteshev V. YU. & Novikova D.A. & Konyukhova A.A. (2019). *Agrotekhnologicheskaya otsenka sortov kartofelya otchestvennoi i zarubezhnoi selektsii* [Agrotechnological evaluation of potato varieties of domestic and foreign selection]. *Nauka i Obrazovanie*, no. 2., p. 248.
15. Dobson G., Shepherd T., Verrall S.R., Conner S., McNicoll, J.W., Ramsay G., Shepherd L.V., Davies H.V. & Stewart D. (2008). Phytochemical diversity in tubers of potato cultivars and landraces using a GC-MS metabolomics approach. *J. Agric. Food Chem*, p. 21.
16. Drapal M., Vignolo E.R.F., Rosales R.O.G., Bonierbale M., Mihovilovich E., Fraser P.D. (2017). Identification of metabolites associated with water stress responses in *Solanum tuberosum* L. clones. *Phytochemistry*, vol. 135, pp. 24-33.
17. Okhlopova P.P., Yakovleva N.S. & Efremova S.P. (2018). Selection evaluation of hybrids potato of preliminary testing under the conditions of Yakutia. *Emerging Threats for Human Health Impact of Socioeconomic and Climate Change on Zoonotic Diseases: program and abstract book*. Yakutsk: DK Ehrel, p. 79.
18. Puzanskiy R.K., Gavrilenko T.A., Shishova M.F. & Yemelyanov V.V. (2017). The perspectives of metabolomic studies of potato plants. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*, vol. 7, pp. 744-756.
19. Vasquez-Robinet C., Mane S.P., Ulanov A.V., Watkinson J.I., Stromberg V.K., De Koeeyer D., Schafleitner R., Willmot D.B., Bonierbale M., Bohnert H.J. & Grene R. (2008). Physiological and molecular adaptations to drought in Andean potato genotypes. *J. Exp. Bot.*, 59(8): 2109-2123 (doi: 10.1093/jxb/ern073).

**Информация об авторах:**

**Яковлева Нарьяа Семеновна**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории картофелеводства и агроэкологии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7875-9728>, [naria820513@mai.ru](mailto:naria820513@mai.ru)  
**Слепцов Игорь Витальевич**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5980-579X>, WOS Research ID J-7736-2018, Scopus Author ID 57200540770, ID РИНЦ 763903, [neroxasg@mail.ru](mailto:neroxasg@mail.ru)  
**Амбросова Юлия Германовна**, магистрант, Арктический государственный агротехнологический университет, Октемский филиал, [juliaemeyanova090@gmail.com](mailto:juliaemeyanova090@gmail.com)  
**Охлопкова Полина Петровна**, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией картофелеводства и агроэкологии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0007-5359-6299>, [okhlopkova.49@mail.ru](mailto:okhlopkova.49@mail.ru)

**Information about the authors:**

**Naria S. Yakovleva**, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the laboratory of potato growing and agroecology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7875-9728>, [naria820513@mai.ru](mailto:naria820513@mai.ru)  
**Igor V. Sleptsov**, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Institute of Biological Problems of the Cryolithozone SB RAS, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5980-579X>, WOS Research ID J-7736-2018, Scopus Author ID 57200540770, RSCI ID 763903, [neroxasg@mail.ru](mailto:neroxasg@mail.ru)  
**Yulia G. Ambrosova**, master's student, Arctic State Agrotechnological University, Oktemsky branch, [juliaemeyanova090@gmail.com](mailto:juliaemeyanova090@gmail.com)  
**Polina P. Okhlopkova**, doctor of agricultural sciences, head of potato growing laboratory, ORCID: <http://orcid.org/0000-0007-5359-6299>, [okhlopkova.49@mail.ru](mailto:okhlopkova.49@mail.ru)

