

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 633.13:631.52:632.11
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-86-98



Изменение климата и урожайность овса посевного (*Avena sativa* L.) в Якутии

Л. В. Петрова¹, Л. Ю. Новикова², А. В. Алексеева³, И. Г. Лоскутов²

¹ Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова, Якутск, Россия

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

³ Государственное бюджетное учреждение Республики Саха (Якутия) «Служба земледелия РС(Я)», Якутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Лидия Владимировна Петрова, petrovalidblad@gmail.com

Актуальность. Якутия расположена в зоне рискованного земледелия, в которой лимитирующими факторами являются как низкие температуры, так и недостаточная влагообеспеченность. Овес – основная зернофуражная культура Якутии. В последние десятилетия наблюдается потепление климата, влияющее на эффективность возделывания овса в разных климатических зонах республики. Цель исследования – анализ погодно-климатических факторов и их влияние на урожайность овса посевного в Якутии в последнее десятилетие.

Материалы и методы. Материалом для исследования послужили данные по урожайности районированных сортов овса в 2014–2021 гг. на трех государственных сортоучастках Якутии, расположенных в Центральной, Заречной и Среднеленской агроклиматических зонах, и хозяйственно ценные признаки трех сортов в Центральной зоне в 1999–2021 гг. При статистической обработке данных использованы дисперсионный, корреляционный, регрессионный анализы.

Результаты и заключение. Анализ данных 2014–2021 гг. выявил снижение урожайности овса во всех трех исследованных зонах. Корреляционный анализ показал, что это связано с изменениями климата – активным потеплением и тенденцией к снижению количества осадков за период вегетации овса. Регрессионный анализ структуры урожайности овса в Центральной зоне в 1999–2021 гг. подтвердил, что структурные элементы зависят от условий влагообеспеченности: уменьшение осадков и гидротермического коэффициента приводит к снижению таких показателей, как масса 1000 зерен, высота растения, длина метелки, урожайность. Значительная зависимость от условий увлажнения свидетельствует о необходимости продолжения селекционной работы по созданию засухоустойчивых сортов овса посевного, адаптированных к конкретным агроклиматическим условиям Якутии.

Ключевые слова: сорта овса, Якутия, агроклиматические зоны, потепление, снижение осадков, структура урожайности, регрессионные модели

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ЯНИИСХ по государственному заданию № FWRS-2022-0006 и тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0009. Работа выполнена с использованием оборудования Spectra Star 2200 ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН и гранта № 3.ЦКП.21.0016 Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Петрова Л.В., Новикова Л.Ю., Алексеева А.В., Лоскутов И.Г. Изменение климата и урожайность овса посевного (*Avena sativa* L.) в Якутии. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(1):86-98. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-86-98

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-86-98

Climate change and crop yield of oats (*Avena sativa* L.) in Yakutia

Lidia V. Petrova¹, Liubov Yu. Novikova², Alexandra V. Alekseeva³, Igor G. Loskutov²

¹Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture, Yakutsk, Russia

²N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

³Agriculture Service of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia

Corresponding author: Lidia V. Petrova, petrovalidblad@gmail.com

Background. Yakutia lies within a risky farming region, where both low temperatures and insufficient moisture are the limiting factors. Oat is the main cereal fodder crop in Yakutia. Climate warming observed in recent decades has been affecting oat cultivation in different climatic areas of Yakutia. The objective of the study was to analyze weather and climate factors affecting oat yield in the republic during the past decade.

Materials and methods. The study covered the data of 2014–2021 on the yield of zoned oat cultivars in three Yakutian variety trial sites located in the Central, Transfluvial and Middle Lena agroclimatic zones, and agronomic characteristics of three oat cultivars in the Central zone in 1999–2021. Variance, correlation, and regression analyses were applied.

Results and conclusion. The study showed that in 2014–2021 there was a decrease in oat yields in Yakutia. The correlation analysis showed that this was due to climate changes: active warming, and a tendency towards a decrease in precipitation during the oat growing season. The regression analysis of the oat crop structure in the Central Zone in 1999–2021 confirmed that all yield components depended on the moisture availability, and it was the decrease in precipitation that led to a reduction in such indicators as 1000 grain weight, plant height, panicle length, and yield. A significant dependence on humidification conditions indicates the need to continue breeding work towards the development of drought-resistant oat cultivars adapted to the specific agroclimatic environments of Yakutia.

Keywords: oat cultivars, Yakutia, agroclimatic zones, warming, precipitation decrease, yield structure, regression models

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state tasks according to the theme plans of the M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture, Project No. FWRS-2022-0006, and VIR, Project No. FGEM-2022-0009.

The work was carried out using the Spektra Star 2200 equipment of the Collective Use Center, Yakut Scientific Center, SB RAS, and supported by Grant No. 3.CUC.21.0016.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Petrova L.V., Novikova L.Yu., Alekseeva A.V., Loskutov I.G. Climate change and crop yield of oats (*Avena sativa* L.) in Yakutia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(1):86-98. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-86-98

Введение

Республика Саха (Якутия) входит в зону рискованного земледелия из-за крайне низких температур в зимний период, больших годовых, сезонных и суточных колебаний температуры воздуха, засушливого климата, короткого безморозного периода, низкотемпературных многолетнемерзлых пород и холодных почв с низким плодородием (Agriculture in the Republic..., 2021). В Якутии растениеводство в основном развито в центральных и юго-западных районах, расположенных в среднетаежной подзоне, граница которой проходит по 64–65° с. ш. Подзона средней тайги занимает 38% территории Якутии, или 1103 тыс. км².

Производство зерна продовольственного и кормового назначения остается одним из приоритетных направлений в земледелии и растениеводстве региона. Овес в Якутии возделывается на фуражные цели. За последние 20 лет доля его посевных площадей в структуре зерновых культур Якутии увеличилась в 2,1 раза – с 31,6% в 2000 г. до 65,6% в 2021 г. Посевные площади ячменя и пшеницы уменьшились за это время в 5–5,3 раза – с 13 014 до 2579 га и с 6791 до 1293 га соответственно. Посевная площадь овса в 2021 г. составила 7386 га. В среднем за 2014–2020 гг. урожайность овса в Якутии была больше на 0,03–0,18 т/га, чем озимой ржи, пшеницы и ячменя (Agriculture in the Republic..., 2021).

На территории России, в том числе и Якутии, в последние десятилетия отмечается рост температуры воздуха, в ряде регионов РФ снижается количество осадков, наблюдается увеличение частоты засух (Varlamov et al., 1998; Fedorov, Svinoboev, 2000; Skachkov, 2005; Malkova et al., 2011; A report on climate..., 2021; IPCC..., 2021). Изменение климата влияет на условия вегетации и хозяйственно ценные признаки многих культур, в том числе овса (Vidovic, Sochorova, 2004; Novikova et al., 2013; Mohammadi et al., 2020; Kole et al., 2020).

Ценность сортов сельскохозяйственных растений в значительной мере определяется их экологической пластичностью и способностью в различных условиях внешней среды обеспечивать определенный уровень урожайности. Поэтому изучение природы взаимодействия «генотип – среда» – одно из центральных направлений в современных генетико-селекционных исследованиях (Korzun, 2010; Galitsky, 2014; Loskutov et al., 2020). Резкие колебания урожайности являются результатом нестабильности погодных условий и недостаточной сбалансированности адаптивных возможностей сортов (Kogobeynikov, 2010). Стабилизация производства зерна по годам независимо от изменения метеорологических факторов – важнейшая проблема сельскохозяйственного производства (Batalova, 2011; Surin et al., 2016). Происходящие в последнее время климатические изменения необходимо анализировать в каждом регионе и учитывать при разработке долгосрочных селекционных программ по созданию новых сортов сельскохозяйственных культур, адаптированных к определенным природно-климатическим условиям (Surin et al., 2006).

Овес – культура, более приспособленная к прохладному, влажному климату и кислым почвам, чем другие злаки, но он чувствителен к дефициту воды и тепла во время налива и созревания семян (Loskutov, 2007; Surin, 2011; Boczkowska et al., 2016; Lyubimova et al., 2022; Gong et al., 2022).

Благодаря своей скороспелости и широкой экологической пластичности овес в Якутии возделывается во многих улусах в разных агроклиматических зонах. Поэтому анализ многолетних данных по урожаю и выявление

особенностей его формирования в различных метеорологических условиях очень важны для планирования стратегии селекционных программ по овсу и повышения его продуктивности в регионе.

Цель исследования – анализ погодно-климатических факторов и их влияния на урожайность овса посевного в Якутии в последнее десятилетие.

Материал и методы

Проанализированы результаты испытания районированных сортов овса посевного ‘Покровский’, ‘Покровский 9’ (стандарт) и ‘Виленский’, проведенного в 2014–2021 гг. на Якутском, Мегино-Кангаласском и Олёкминском госсортоучастках (ГСУ), расположенных соответственно в Центральной, Заречной и Средненской агроклиматических зонах Якутии (рис. 1).

Центральная зона включает в себя близлежащие к г. Якутску районы, образующие сельскохозяйственный агропояс на левом берегу реки Лены. Зона развитого земледелия и животноводства. По данным на 2020 г. в Центральной зоне расположено 20,9% площадей зерновых республики, 38,1% картофеля, 51,1% овощных открытого грунта, 25,9% кормовых культур (The system of agriculture..., 2021). Якутский ГСУ (ближайшая метеостанция – Якутск) расположен в 20 км к северо-востоку от г. Якутска. Сумма активных температур выше 10°C на метеостанции Якутск – 1565°C, годовая сумма осадков – 202 мм (Handbook..., 1966, 1968).

В состав Заречной зоны входят территории агропромышленного комплекса районов, расположенных в Лено-Алданском междуречье. Зона включает районы с традиционно сельскохозяйственным укладом. В ней расположено 63,4% площадей зерновых, 17,6% картофеля, 17,1% овощных, 43,6% кормовых культур республики (The system of agriculture..., 2021). Мегино-Кангаласский ГСУ (метеостанция Тюнгилю) расположен на территории Мегино-Кангаласского района Заречной зоны. Годовая сумма осадков на станции Тюнгилю составляет 194 мм. Сумма температур в справочнике не представлена, но на ближайших станциях Якутск и Борогонцы, удаленных на 80–90 км от Тюнгилю, составляет 1565 и 1515°C (Handbook..., 1966, 1968); можно предположить сходный уровень теплообеспеченности на станции Тюнгилю – 1500–1600°C.

Аграрно-промышленная Средненская зона, в которой находится Олёкминский ГСУ (метеостанция Олёкминск), расположена на юго-западе Якутии. Зона активной нефтегазодобычи, но с благоприятным для растениеводства климатом. Здесь возделывается 5,9% площадей зерновых, 20,2% картофеля, 9,1% овощных, 3,4% кормовых (The system of agriculture..., 2021). Сумма активных температур на метеостанции Олёкминск составляла до потепления 1540°C, сумма осадков – 264 мм (Handbook..., 1966, 1968).

Таким образом, при сходном уровне теплообеспеченности пункты исследования характеризуются разным уровнем влагообеспеченности, наибольшее количество осадков наблюдается в Средненской зоне.

Сорт ‘Покровский’ выведен в Якутском НИИСХ методом гибридизации местного сорта ‘Маганский 44’ с византийским овсом к-4093 (Палестина). Сорт среднеспелый, вегетационный период – 70–77 дней, устойчив к осыпанию, среднеустойчив к полеганию, пыльной и твердой головней поражается незначительно. Масса 1000 зерен – 27–35 г. Урожайность зерна – в среднем

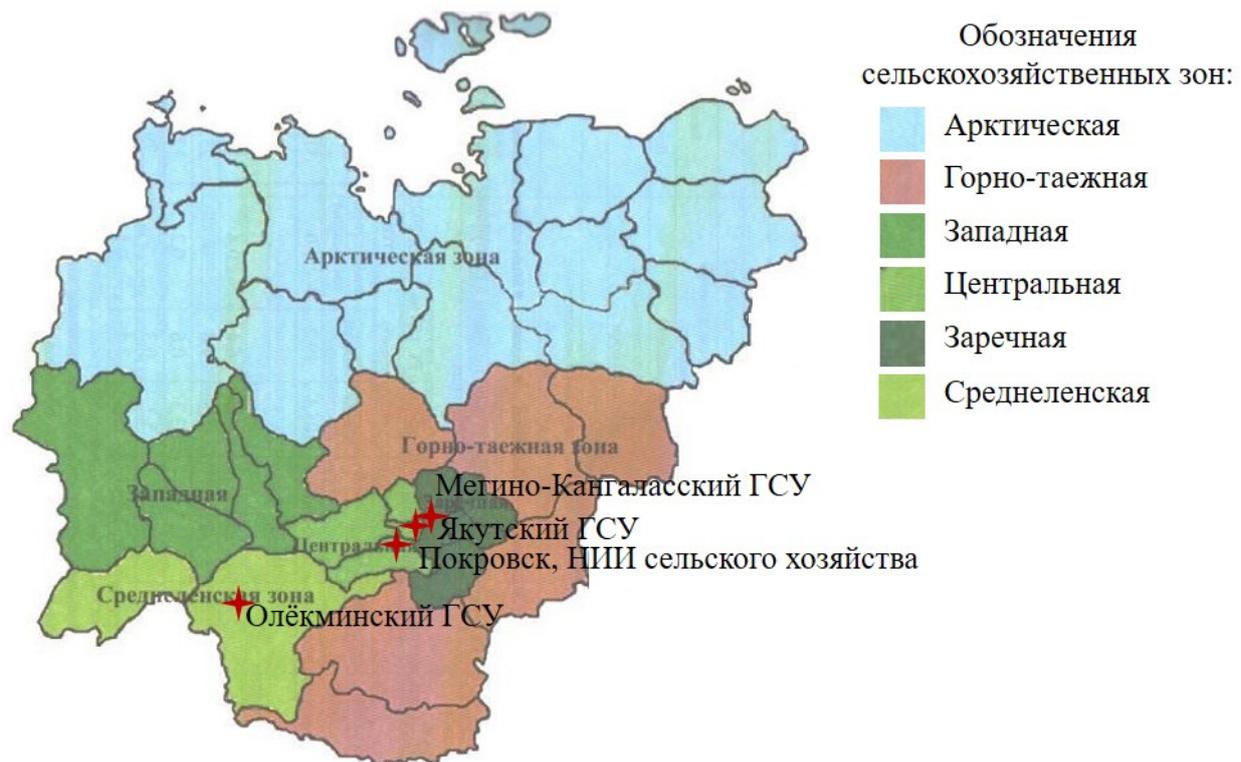


Рис. 1. Пункты исследования на карте Якутии
(источник: The system of agriculture..., 2021, модифицирована)

Fig. 1. Research sites on the map of Yakutia
(source: The system of agriculture..., 2021, modified)

2,5 т/га, зеленой массы – до 25 т/га. От византийского овса унаследовал засухоустойчивость, но имеет склонность к полеганию в дождливые годы (Petrova, 2018).

Сорт 'Покровский 9' выведен в Якутском НИИСХ методом гибридизации шведского сорта 'Победа' с ультраскороспелым сортом 'Хибины 2'. Сорт среднеспелый, вегетационный период – 70–77 дней, практически не полегаёт, не даёт «подгона». Масса 1000 зерен – 32–35 г. Урожайность зерна на производственных посевах достигает 2,5–3,0 т/га, зеленой массы – 25–40 т/га. По крупным качествам зерна отнесен к ценным сортам и занесен в список ценных сортов РФ. Из-за высокого процента обрубленных семян пока не имеет широкого распространения в производстве (Petrova, 2018).

Сорт 'Виленский' создан в Якутском НИИСХ методом гибридизации местного районированного сорта 'Покровский 9' × ('Wodan' × 'Хибины 2'). Среднеранний, вегетационный период – 68–72 дня, устойчив к полеганию. Масса 1000 зерен – 31–38 г. Урожайность зерна на производственных посевах достигает 2,5–5,0 т/га, зеленой массы – 25–40 т/га (Petrova, 2018).

Более подробно исследовали динамику урожайности и других хозяйственно ценных признаков овса, их связи в условиях Центральной Якутии на полях НИИ сельского хозяйства Якутии (г. Покровск) по данным наблюдений за более длительный период (1999–2021 гг.). Изучены продолжительность вегетационного периода, высота растений, структура метелки, урожайность сортов 'Покровский', 'Покровский 9' и 'Хибины 2'.

Ультраскороспелый сорт 'Хибины 2' был районирован по IV земледельческой зоне Якутии. Хорошо приспособлен к условиям длинного светового дня, умеренным температурам в период созревания (Petrova, 2018).

Учетная площадь делянок в питомнике конкурсного сортоиспытания – 25 м², повторность четырехкратная с рандомизированным размещением. Наблюдения и учеты проведены согласно общепринятым методикам (Methodology for state ..., 2019).

Почва опытного участка мерзлотная таежная, палевая, среднесуглинистая. Содержание гумуса в пахотном слое составляет 2,67%, в более нижних слоях снижается до 0,44%. Содержание подвижного фосфора по Эгнеру – Риму – 10,43 мг/100 г почвы, обменного калия по Маслоу – 27,4 мг/100 г почвы. Реакция водной вытяжки щелочная по всему профилю – 7,11–7,55, гидролитическая кислотность почвы – 0,84–0,98 мг/экв. на 100 г почвы. Тип засоления сульфатно-хлоридный (до 49,1%) с преобладанием натриевых солей.

При анализе агроклиматических условий использованы данные метеостанций Якутск, Тюнгюлю, Олёкминск, Покровск.

Статистическая обработка проведена с использованием дисперсионного анализа с апостериорным критерием Тьюки (Dospikhov, 1973), корреляционного и регрессионного анализов – в пакете Statistica 13.3 (Khalafyan, 2010).

Результаты и обсуждение

Исследование динамики урожайности овса на трех ГСУ в 2014–2021 гг.

За годы исследования условия тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода (июнь – август) в указанных агроклиматических зонах значительно различались. Наиболее холодной и влажной является Среднелен-

ская зона, более теплой и сухой – Центральная зона. В среднем за анализируемые годы сумма среднесуточных температур воздуха за период вегетации растений составила 1508°C в Олёкминске (Среднеленская зона), 1585°C в Тунгюлю (Заречная зона) и 1650°C в Якутске (Центральная зона) (уровень значимости различий $p = 0,054$); среднесуточная температура воздуха составила соответственно 16,7; 17,3 и 18,1°C ($p = 0,094$), а сумма осадков – 155, 128 и 99 мм ($p = 0,068$). По влагообеспеченности Центральная зона характеризуется как зона средней засухи (ГТК – 0,60), Заречная и Среднеленская – зоны слабой засухи и недостаточного увлажнения (ГТК – 0,80 и 1,04 соответственно) ($p = 0,055$). Таким образом, в 2014–2021 гг. исследуемые агроклиматические зоны Якутии существенно различались по тепло- и влагообеспеченности.

За период 2014–2021 гг. во всех пунктах наблюдались (рис. 2) недостоверный рост суммы температур за июнь – август (Якутск – на 28,1°C/год, $p = 0,110$; Тунгюлю – на 19,2°C/год, $p = 0,146$; Олёкминск – на 27,0°C/год, $p = 0,190$), снижение осадков (соответственно по станциям на 6 мм/год, $p = 0,188$; на 16,3 мм/год, $p = 0,043$ (достоверно) и на 2,9 мм/год, $p = 0,727$), а также снижение ГТК (Якутск – на 0,05 ед./год, $p = 0,142$; Тунгюлю – на 0,12 ед./год, $p = 0,042$ (достоверно); Олёкминск – на 0,04 ед./год, $p = 0,575$).

‘Покровский 9’ (3,21–3,22 т/га), на других превышала его на 0,05–0,19 т/га. Урожайность сорта ‘Покровский’ была ниже сорта ‘Виленский’ на 0,15–0,33 т/га. В каждой агроклиматической зоне наблюдалась сильная вариабельность урожайности зерна сортов овса и особенно значительно ($V = 64–73\%$) – в засушливой Центральной зоне по сравнению с менее засушливой Заречной (41–49%) и более благоприятной по влагообеспеченности Среднеленской (30–36%) зонами (см. табл. 1).

Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что урожайность исследуемых сортов овса достоверно различалась в пунктах исследования ($p = 0,000$), сорта не различались по средней урожайности ($p = 0,672$), а существенное взаимодействие «пункт × сорт» не отмечено ($p = 0,985$) (рис. 3).

Поскольку сорта достоверно не различались по урожайности, была рассчитана средняя урожайность по трем сортам для каждого пункта и года. Урожайность сортов овса в среднем ежегодно снижалась в Центральной зоне на 0,25 т/га ($p = 0,006$), Заречной – на 0,26 т/га ($p = 0,054$), Среднеленской – на 0,10 т/га ($p = 0,564$) (рис. 4).

Таким образом, во всех изученных зонах в период с 2014 по 2021 г. наблюдалось снижение урожайности районированных сортов овса.

В изученных пунктах степень влияния температур

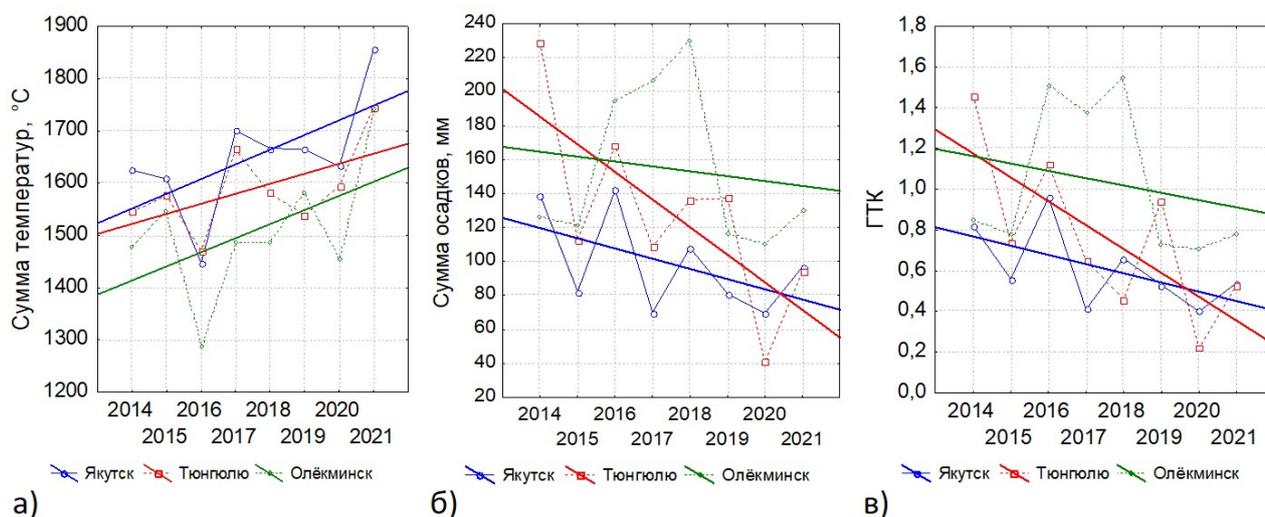


Рис. 2. Динамика тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода (июнь – август) в трех агроклиматических зонах Якутии в 2014–2021 гг.: а) сумма температур; б) сумма осадков; в) ГТК (метеорологические станции: Якутск – Центральная зона, Тунгюлю – Заречная зона, Олёкминск – Среднеленская зона)

Fig. 2. Dynamics of heat and moisture availability during the growing season (June–August) in three agroclimatic zones of Yakutia in 2014–2021: а) the sum of temperatures; б) the amount of precipitation; в) HTK (meteorological stations: Yakutsk in the Central zone; Tyungyulyu in the Transfluvial zone; Olyokminsk in the Middle Lena zone)

Таким образом, изменения агроклиматических показателей в различных регионах Якутии синхронны, в последние годы наблюдается рост теплообеспеченности и снижение влагообеспеченности периода вегетации овса.

На Олёкминском ГСУ урожайность (табл. 1) по трем сортам составила в среднем 3,10 т/га (2,88–3,22 т/га), что было в 1,5 раза больше, чем на Мегино-Кангаласском ГСУ (в среднем 1,99 т/га) и в 2,7–3,2 раза больше в сравнении с Якутским ГСУ (1,09 т/га). Урожайность сорта ‘Виленский’ на Олёкминском ГСУ была на уровне стандарта

и осадков на урожайность овса была различна (табл. 2). В наиболее теплой Центральной зоне влияние температур было менее значительным, чем осадков, а в более прохладных Заречной и особенно в Среднеленской зонах, где теплообеспеченность является лимитирующим фактором, наибольшее влияние оказывала температура.

Таким образом, наблюдаемое в трех агроклиматических зонах Якутии снижение урожайности районированных сортов овса объясняется климатическими изменениями – ростом температур и снижением количества осадков и значений ГТК.

Таблица 1. Урожайность районированных сортов овса в трех агроклиматических зонах Якутии, т/га
Table 1. Yield of zoned oat cultivars in three agroclimatic zones of Yakutia, t/ha

Сорт	Год								Среднее	Коэффициент вариации, %
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021		
Якутский ГСУ (Центральная зона)										
Покровский 9	2,14	1,05	1,60	0,53	1,50	0,41	0,38	0,46	1,01 ± 0,24	67
Покровский	1,92	1,34	1,72	0,65	1,68	0,45	0,32	0,35	1,05 ± 0,24	64
Виленский	2,25	2,30	1,81	0,73	1,57	0,35	0,34	0,28	1,20 ± 0,31	73
Мегино-Кангаласский ГСУ (Заречная зона)										
Покровский 9	2,77	1,86	3,44	1,70	2,21	2,26	0,88	1,13	2,03 ± 0,30	41
Покровский	2,65	1,96	3,32	1,60	2,12	1,85	0,31	1,11	1,87 ± 0,32	49
Виленский	2,76	2,08	3,89	1,69	2,14	2,35	0,67	1,06	2,08 ± 0,35	48
Олёкминский ГСУ (Средленская зона)										
Покровский 9	3,80	2,44	4,66	1,91	3,50	3,20	4,63	1,60	3,22 ± 0,41	36
Покровский	3,54	2,85	3,57	1,74	3,00	3,02	3,86	1,51	2,89 ± 0,30	30
Виленский	3,54	2,72	4,56	2,25	3,24	3,33	4,38	1,63	3,21 ± 0,35	31

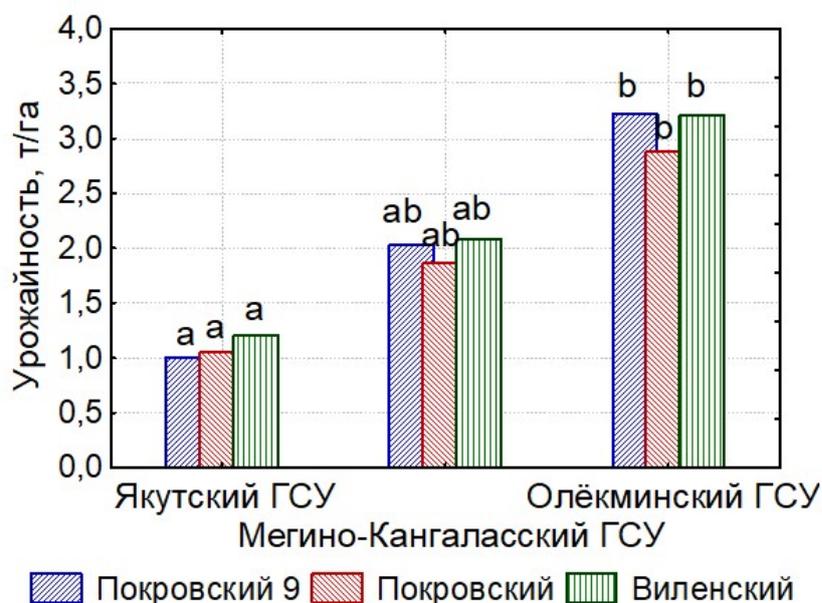


Рис. 3. Средняя урожайность районированных сортов овса в трех агроклиматических зонах Якутии в 2014–2021 гг.: Якутский ГСУ – Центральная зона; Мегино-Кангаласский ГСУ – Заречная зона; Олёкминский ГСУ – Средленская зона (одинаковыми буквами обозначены значения, не отличающиеся значимо на 5-процентном уровне)

Fig. 3. Average yields of zoned oat cultivars in three agroclimatic zones of Yakutia in 2014–2021: Yakutsk State Variety Trial Site (SVTS) in the Central zone; Megino-Kangalasskiy SVTS in the Transfluvial zone; Olyokminsk SVTS in the Middle Lena zone (the same letters denote values that do not differ significantly at the 5% level)

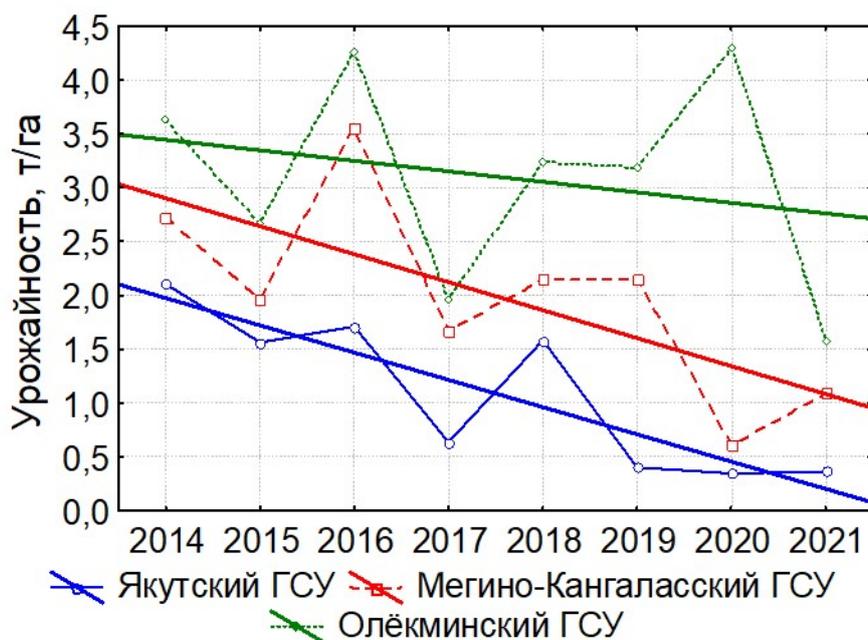


Рис. 4. Динамика средней урожайности районированных сортов овса в трех агроклиматических зонах Якутии в 2014–2021 гг.: Якутский ГСУ – Центральная зона; Мегино-Кангаласский ГСУ – Заречная зона; Олёкминский ГСУ – Среднеленская зона

Fig. 4. Dynamics of average yields for zoned oat cultivars in three agroclimatic zones of Yakutia in 2014–2021: Yakutsk SVTS in the Central zone; Megino-Kangalass SVTS in the Transfluvial zone; Olyokminsk SVTS in the Middle Lena zone

Таблица 2. Коэффициенты корреляции урожайности овса с агроклиматическими показателями периода вегетации в трех агроклиматических зонах Якутии

Table 2. Coefficients of correlations between oat yield and agroclimatic indicators during the growing season in three agroclimatic zones of Yakutia

Показатель	Якутский ГСУ (Центральная зона)	Мегино-Кангаласский ГСУ (Заречная зона)	Олёкминский ГСУ (Среднеленская зона)
Средняя температура	-0,60	-0,74*	-0,79*
Сумма температур	-0,58	-0,75*	-0,77*
Сумма осадков	0,77*	0,84*	-0,06
ГТК	0,80*	0,81*	0,09
Коэффициент увлажнения	0,74*	0,82*	-0,23
Температура за июнь	-0,83*	-0,66	-0,61
Температура за июль	-0,41	-0,83*	-0,57
Температура за август	-0,17	-0,16	-0,86*
Осадки за июнь	0,56	0,48	0,23
Осадки за июль	0,58	0,60	0,32
Осадки за август	-0,01	0,67	-0,71*
ГТК за июнь	0,59	0,48	0,23
ГТК за июль	0,59	0,64	0,37
ГТК за август	0,05	0,76*	-0,57

Примечание: * – достоверно на 5-процентном уровне значимости

Note * – statistically significant at the 5% significance level

Структура урожайности овса в Центральной Якутии в 1999–2021 гг.

В условиях Центральной Якутии (г. Покровск) нами проведен более подробный анализ климатических изменений и формирования урожайности и элементов ее структуры сортов овса посевного. В последние десятилетия (1960–2021 гг.), по данным метеостанции Покровска, наблюдается достоверный рост температур во все месяцы года, кроме сентября и декабря, когда тренды также положительны, но достоверны при уровне значимости $p < 0,010$. Наибольшая скорость роста температур наблюдалась в марте и апреле ($0,07^\circ\text{C}/\text{год}$), наименьшая – в сентябре ($0,02^\circ\text{C}/\text{год}$). Тренды месячных сумм осадков были разнонаправленными и недостоверными ($p > 0,262$), за исключением декабря, когда их количество достоверно снижалось ($p = 0,009$). За период вегетации (июнь – август) достоверно (на $2,98^\circ\text{C}/\text{год}$; $p = 0,000$), увеличивалась сумма температур (рис. 5), сумма осадков и значения ГТК снижались недостоверно – соответственно на $0,01 \text{ мм}/\text{год}$ ($p = 0,970$) и на $0,002 \text{ ед.}/\text{год}$ ($p = 0,503$). Эти тенденции усилились в последние годы (см. рис. 4). За годы исследования (1999–2021) достоверных трендов агроклиматических показателей вегетационного периода овса не наблюдалось, однако отмечена тенденция к росту температур и снижению суммы осадков и значений ГТК.

ны 2' с наименьшим (32,5 шт.) ($p = 0,017$). Продолжительность вегетационного периода сорта 'Хибины 2' (64,5 дней) была достоверно ($p < 0,032$) меньше, чем сортов 'Покровский' (69,6 дней) и 'Покровский 9' (69,0 дней), которые по этому показателю между собой различались несущественно.

Регрессионный анализ урожайности трех исследуемых сортов в 1999–2021 гг. достоверных трендов не выявил ($p > 0,826$; см. рис. 6). Однако в последние годы (2014–2021) снижение урожайности всех сортов ($0,4 \text{ т}/\text{га}/\text{год}$) было достоверным ($p < 0,050$). Некоторые тренды структурных элементов были также достоверны в исследуемый период по снижению массы 1000 зерен (уровни значимости тренда – $0,033 < p < 0,187$), повышению продуктивной кустистости ($0,015 < p < 0,064$), увеличению продолжительности вегетационного периода ($0,040 < p < 0,245$). Для всех сортов тенденции к уменьшению высоты растений и длины метелки были недостоверными, но имели одинаковую направленность.

Корреляционный анализ (табл. 4) выявил общие закономерности формирования урожайности у исследуемых сортов: наиболее сильная связь урожайности (положительная) наблюдалась с высотой растений, длиной метелки, числом зерен и колосков в метелке. Из агрометеорологических условий наиболее значительное влияние на урожайность оказали ГТК и осадки за июнь.

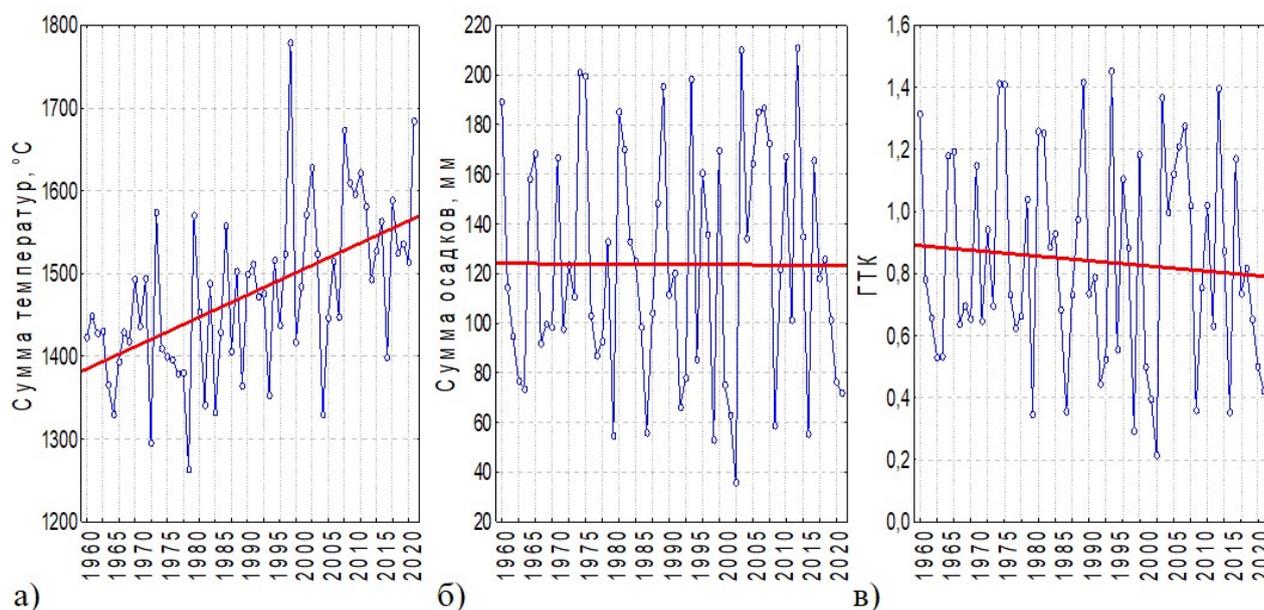


Рис. 5. Динамика тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода (июнь – август) в Центральной Якутии в 1960–2020 гг.: а) сумма среднесуточных температур; б) сумма осадков; в) ГТК

Fig. 5. Dynamics of heat and moisture availability during the growing season (June–August) in three agroclimatic zones of Yakutia in 1960–2020: а) the sum of temperatures; б) the amount of precipitation; в) HTC

В 1999–2021 гг. средняя урожайность сорта 'Покровский' составила $2,1 \text{ т}/\text{га}$, 'Покровский 9' – $2,3 \text{ т}/\text{га}$, 'Хибины 2' – $1,7 \text{ т}/\text{га}$, но на фоне значительной межгодовой вариабельности различия сортов были недостоверны ($p = 0,534$, табл. 3, рис. 6). Дисперсионный анализ показал, что между сортами наблюдались достоверные различия только по числу зерен в метелке ($p = 0,020$) и продолжительности вегетационного периода ($p = 0,008$). По числу зерен в метелке контрастными были сорта 'Покровский 9' с наибольшим значением (41,4 шт.) и 'Хиби-

Для усредненных по сортам значений хозяйственно ценных признаков («среднего сорта») зависимость от погодных условий была несколько выше, чем для отдельных сортов. Такие объединенные модели зачастую обладают большей прогностической силой, поскольку нивелируются случайные ошибки отдельных сортов (Novikova et al., 2013). Были рассчитаны регрессионные уравнения агрометеорологической зависимости хозяйственно ценных признаков овса в Центральной Якутии.

Таблица 3. Средние значения и тренды хозяйственно ценных признаков районированных сортов овса в Центральной Якутии (Покровский), 1999–2021 гг.

Table 3. Average values and trends of useful agronomic indicators for three oat cultivars in Central Yakutia (Pokrovsk), 1999–2021

Показатель	Покровский		Покровский 9		Хибины 2	
	среднее	тренд, ед./год	среднее	тренд, ед./год	среднее	тренд, ед./год
Высота растений, см	87,1 ± 2,5	-0,05	84,2 ± 2,4	-0,02	85,5 ± 2,8	-0,55
Длина метелки, см	14,8 ± 0,4	-0,01	14,9 ± 0,4	-0,02	15,4 ± 0,5	-0,11
Число колосков в метелке	24,6 ± 1,3	-0,01	24,5 ± 1,0	0,03	22,0 ± 1,3	0,16
Число зерен в метелке	35,4 ± 2,5	-0,13	41,4 ± 2,0	0,13	32,5 ± 2,1	-0,11
Масса зерна с растения, г	1,5 ± 0,2	0,02	1,9 ± 0,2	0,07*	1,6 ± 0,1	0,02
Масса 1000 зерен, г	32,6 ± 0,7	-0,22*	34,8 ± 0,8	-0,16	33,4 ± 0,9	-0,22
Продуктивная кустистость	2,3 ± 0,2	0,05	2,2 ± 0,2	0,08*	2,3 ± 0,2	0,05
Вегетационный период, дней	69,6 ± 1,2	0,37*	69,0 ± 1,3	0,23	64,5 ± 1,2	0,24
Урожайность зерна, т/га	2,1 ± 0,3	0,01	2,3 ± 0,3	0,00	1,7 ± 0,2	0,00

Примечание: * – достоверно на 5-процентном уровне значимости

Note * – statistically significant at the 5% significance level

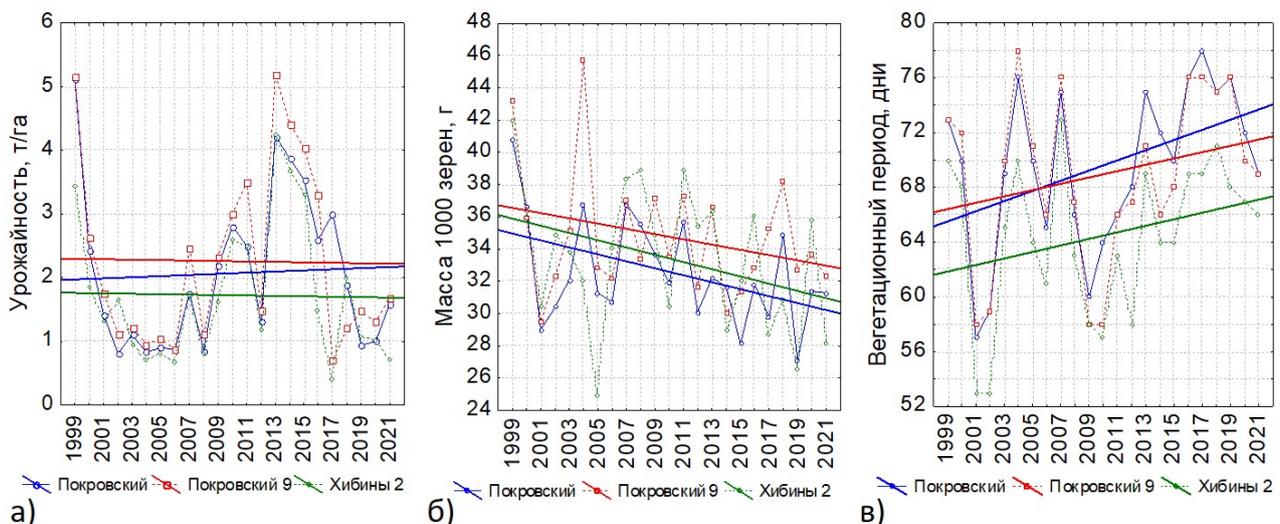


Рис. 6. Динамика хозяйственно ценных признаков трех сортов овса в Центральной Якутии (Покровский) в 1999–2021 гг.: а) урожайность; б) масса 1000 зерен; в) продолжительность вегетационного периода

Fig. 6. Dynamics of useful agronomic indicators for three oat cultivars in Central Yakutia (Pokrovsk) in 1999–2021: а) yield; б) 1000 grain weight; в) growing season duration

Высота растений (H, см) зависела от осадков май – август:

$$H = 67,521 + 0,123P_{\text{май-авг}} \quad R^2=0,32 \quad (1)$$

Здесь и далее R^2 – коэффициент детерминации уравнения.

Длина метелки (L, см) зависела от осадков июля

$$(P_{\text{июл}}): \quad L = 13,985 + 0,040P_{\text{июл}} \quad R^2 = 0,21 \quad (2)$$

Число зерен в метелке (Z) зависело от осадков июня

$$(P_{\text{июн}}): \quad Z = 30,395 + 0,228P_{\text{июн}} \quad R^2 = 0,22 \quad (3)$$

Масса 1000 зерен (M_{1000} , г) зависела от снижения

$$ГТК_{\text{июн}}: \quad M_{1000} = 31,590 + 3,696ГТК_{\text{июн}} \quad R^2 = 0,20 \quad (4)$$

Урожайность (Y, т/га) зависела от ГТК июня:

$$Y = 0,903 + 2,054ГТК_{\text{июн}} \quad R^2 = 0,45 \quad (5)$$

Продолжительность вегетации (N, дни) увеличивалась в связи с ростом температуры июля ($T_{\text{июл}}$):

$$N = 122,584 + 2,883T_{\text{июл}} \quad R^2 = 0,49 \quad (6)$$

Все уравнения значимы на 5-процентном уровне. Для продуктивной кустистости, числа зерен в метелке значимых регрессионных зависимостей не выявлено.

Таблица 4. Коэффициенты корреляции урожайности с хозяйственно ценными признаками и агрометеорологическими показателями районированных сортов овса в Центральной Якутии (Покровск), 1999–2021 гг.

Table 4. Coefficients of correlations between yield and agronomic/agrometeorological indicators for three oat cultivars in Central Yakutia (Pokrovsk), 1999–2021

Показатель	Покровский	Покровский 9	Хибины 2
Высота растений	0,60*	0,69*	0,60*
Длина метелки	0,60*	0,53*	0,52*
Число колосков в метелке	0,51*	0,65*	0,49*
Число зерен в метелке	0,57*	0,66*	0,61*
Масса зерна с растения	0,40	0,31	0,35
Масса 1000 зерен	0,27	0,13	0,29
Продуктивная кустистость	-0,03	0,07	0,10
Вегетационный период	0,28	-0,04	0,08
Температура мая	0,08	0,22	0,36
Температура июня	-0,17	-0,21	-0,19
Температура июля	-0,09	-0,07	-0,03
Температура августа	-0,02	-0,08	0,01
Осадки мая	0,25	0,26	0,38
Осадки июня	0,64*	0,65*	0,62*
Осадки июля	0,05	0,09	0,03
Осадки августа	-0,20	-0,18	-0,21
ГТК за июнь	0,65*	0,66*	0,62*
ГТК за июль	0,08	0,12	0,05
ГТК за август	-0,18	-0,16	-0,21
Сумма температур за май – август	-0,09	-0,07	0,05
Сумма температур за июнь – август	-0,14	-0,18	-0,10
Сумма осадков за май – август	0,22	0,26	0,23
Сумма осадков за июнь – август	0,16	0,20	0,13
ГТК за май – август	0,21	0,25	0,20
ГТК за июнь – август	0,17	0,22	0,14

Примечание: * – достоверно на 5-процентном уровне значимости

Note * – statistically significant at the 5% significance level

Таким образом, урожайность и элементы структуры урожая зависели от условий влагообеспеченности периода вегетации. Урожайность понижается в основном из-за уменьшения числа зерен в метелке, вызванного уменьшением осадков июня, а также из-за уменьшения массы 1000 зерен, вызванного снижением ГТК за июнь. Очень важно отметить, что за последние 23 года (1999–2021) среднесуточная температура воздуха в III декаде мая повысилась до 10,3°C, что позволяет высевать овес в более ранние сроки и более полно использовать увеличивающийся ресурс тепла.

Заключение

Во всех исследованных агроклиматических зонах Якутии (Центральной, Заречной и Среднененской) в 2014–2021 гг. наблюдали слабый (недостовверный) рост сумм температур за июнь – август, снижение осадков и ГТК.

Урожайность набора сортов овса на трех изученных ГСУ, расположенных в разных агроклиматических регионах Якутии, значительно различалась в годы исследования (2014–2021). На Олёкминском ГСУ (Среднененская

зона) средняя урожайность трех изученных сортов составила 3,10 т/га, на Мегино-Кангаласском ГСУ (Заречная зона) – 1,99 т/га и на Якутском ГСУ (Центральная зона) – 1,09 т/га. Регионы характеризовались разной степенью засушливости климата, ГТК составил 1,04, 0,80 и 0,60 единиц соответственно.

В последние годы (2014–2021) наблюдается снижение урожайности овса районированных сортов во всех трех исследованных зонах Якутии. Корреляционный анализ показал, что это связано с изменениями климата – активным потеплением и тенденцией к снижению количества осадков за вегетационный период овса.

Детальный анализ структуры урожайности районированных сортов овса в Центральной зоне Якутии подтвердил, что на структурные элементы большое влияние оказывают условия влагообеспеченности. Уменьшение осадков и ГТК за июнь – июль приводит к снижению таких показателей, как масса 1000 зерен, высота растения, длина метелки, урожайность.

Значительная изменчивость и зависимость урожайности овса и элементов ее структуры от условий увлажнения в Центральной и Заречной зонах свидетельствуют о необходимости продолжения селекционной работы по созданию засухоустойчивых сортов овса посевого, адаптированных к конкретным агроклиматическим условиям Якутии.

References / Литература

- A report on climate features on the territory of the Russian Federation in 2020. Moscow: Roshydromet; 2021. [in Russian] (Доклад об особенностях климата на территории РФ за 2020 год. Москва: Росгидромет; 2021). URL: https://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2021/doklad_klimat2020.pdf [дата обращения: 16.03.2023].
- Agriculture in the Republic of Sakha (Yakutia): Statistical digest (Selskoye khozyaystvo v Respublike Sakha [Yakutiya]). Yakutsk: Sakha(Yakutia)Stat; 2021. [in Russian] (Сельское хозяйство в Республике Саха (Якутия): Статистический сборник. Якутск: Саха(Якутия)стат; 2021).
- Batalova G.A. Condition and perspectives of grain forage crops selection and cultivation in Russia. *Grain Economy of Russia*. 2011;(3):11-14. [in Russian] (Баталова Г.А. Состояние и перспективы селекции и возделывания зернофуражных культур в России. *Зерновое хозяйство России*. 2011;(3):11-14).
- Boczowska M., Podyma W., Łapiński B. Oat. In: M. Singh, H.D. Upadhyaya (eds). *Genetic and Genomic Resources for Grain Cereals Improvement*. Cambridge, MA: Academic Press; 2016. p.159-225.
- Dospikhov V.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Kolos; 1979. [in Russian] (Доспехов В.А. Методика полевого опыта. Москва: Колос; 1979).
- Fedorov A.N., Svinoboev A.N. Changes in the air temperature of the surface air layer in the Republic of Sakha (Yakutia) (Izmeneniya temperatury vozdukha prizemnogo sloya vozdukha v Respublike Sakha [Yakutiya]). In: *Climate and Permafrost: Comprehensive Studies in Yakutia (Klimat i mertzlota: kompleksnyye issledovaniya v Yakutii)*. Yakutsk: Siberian Branch of the RAS; 2000. p.68-75. [in Russian] (Фёдоров А.Н., Свинобоев А.Н. Изменения температуры воздуха приземного слоя воздуха в Республике Саха (Якутия). В кн.: *Климат и мерзлота: комплексные исследования в Якутии*. Якутск: Сибирское отделение РАН; 2000. С.68-75).
- Galitsky D.N. Studying the ecological plasticity of linseed cultivars in southern forest-steppe of the Omsk region. *Modern Problems of Science and Education*. 2014;(4):515. [in Russian] (Галицкий Д.Н. Изучение экологической пластичности сортов льна масличного в условиях южной лесостепи Омской области. *Современные проблемы науки и образования*. 2014;(4):515).
- Gong W., Ju Z., Chai J., Zhou X., Lin D., Su W. et al. Physiological and transcription analyses reveal the regulatory mechanism in oat (*Avena sativa*) seedlings with different drought resistance under PEG-induced drought stress. *Agronomy*. 2022;12(5):1005. DOI: 10.3390/agronomy12051005
- Handbook on the Climate of the USSR. Vol. 24, Part II. Leningrad: Hydrometeorological Publishers; 1966. [in Russian] (Справочник по климату СССР. Вып. 24, Часть II. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство; 1966).
- Handbook on the Climate of the USSR. Vol. 24, Part IV. Leningrad: Hydrometeorological Publishers; 1968. [in Russian] (Справочник по климату СССР. Вып. 24, Часть IV. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство; 1968).
- IPCC: Summary for Policymakers. In: V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, B. Zhou (eds). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge; New York, NY: Cambridge University Press; 2021. p.3-32. DOI: 10.1017/9781009157896.001
- Khalafyan A.A. Statistica 6. Statistical data analysis (Statistica 6. Statisticheskiy analiz dannykh). Moscow: Binom; 2010. [in Russian] (Халафян А.А. Статистический анализ данных. Москва: Бинум; 2010).
- Kole C. (ed.). Genomic designing of climate-smart cereal crops. Cham: Springer; 2020. DOI: 10.1007/978-3-319-93381-8
- Korobeynikov N.I. The effectiveness of spring bread wheat breeding for resistance to common diseases and yield under the conditions of the Altai Territory (Rezultativnost selektsii yarovoy myagkoy pshenitsy na ustoichivost k rasprostranennym boleznyam i urozhaynost v usloviyakh Altayskogo kraya). In: *Status and Problems of Agricultural Science in Altai. Collection of Scientific Papers (Sostoyaniye i problemy selskokhozyaystvennoy nauki na Altaye. Sbornik nauchnykh rabot)*. Barnaul; 2010. p.149-166. [in Russian] (Коробейников Н.И. Результативность селекции яровой мягкой пшеницы на устойчивость к распространённым болезням и урожайность в условиях Алтайского края. В кн.: *Состояние и проблемы сельскохозяйственной науки на Алтае. Сборник научных работ*. Барнаул; 2010. С.149-166).
- Korzun O.S. Breeding and seed production of agricultural plants: a manual (Selektsiya i semenovodstvo selskokhozyaystvennykh rasteniy: posobiye). Grodno: Grodno State Agrarian University; 2010. [in Russian] (Корзун О.С. Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений: пособие. Гродно: Гродненский государственный аграрный университет; 2010).
- Loskutov I.G. Oat (*Avena L.*). Distribution, systematics, evolution, and breeding value (Oves (*Avena L.*). Rasprostraneniye, sistematika, evolyutsiya i selektsionnaya tsennost). St Petersburg: VIR; 2007. [in Russian] (Лоскутов И.Г. Овес (*Avena L.*). Распространение, систематика, эволюция и селекционная ценность. Санкт-Петербург: ВИР; 2007).

- Loskutov I.G., Novikova L.Yu., Kovaleva O.N., Ivanova N.N., Blinova E.V., Belskaya G.V. Ecological-geographic approaches to the study of genetic diversity of barley and oat from the VIR collection. *Ecological Genetics*. 2020;18(1):89-102. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Новикова Л.Ю., Ковалева О.Н., Иванова Н.Н., Блинова Е.В., Бельская Г.В. Эколого-географические подходы к изучению генетического разнообразия ячменя и овса из коллекции ВИР. *Экологическая генетика*. 2020;18(1):89-102). DOI: 10.17816/ecogen16128
- Lyubimova A.V., Mamaeva V.S., Menshchikova A.A. Genetic drought resistance of modern oat varieties as a response to global climate change. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022;6(221):49-59. [in Russian] (Любимова А.В., Мамаева В.С., Менщикова А.А. Генетическая засухоустойчивость современных сортов овса посевного как ответ глобальному изменению климата. *Аграрный вестник Урала*. 2022;6(221):49-59). DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-49-59
- Malkova G.V., Pavlov A.V., Skachkov Yu.B. Assessment of the stability of frozen strata under modern climate changes (Otsenka ustoychivosti merzlykh tolshch pri sovremennykh izmeneniyakh klimata). *Earth's Cryosphere*. 2011;15(4):33-36. [in Russian] (Малкова Г.В., Павлов А.В., Скачков Ю.Б. Оценка устойчивости мерзлых толщ при современных изменениях климата. *Криосфера Земли*. 2011;15(4):33-36).
- Methodology for state crop variety trials. First issue. General provisions (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Vypusk pervy. Obshchaya chast). Moscow: Gossortkomissiya; 2019. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый. Общая часть. Москва: Госсорткомиссия; 2019).
- Mohammadi M., Finnan J., Baker C., Sterling M. The potential impact of climate change on oat lodging in the UK and Republic of Ireland. *Advances in Meteorology*. 2020;2020:4138469. DOI: 10.1155/2020/4138469
- Novikova L.Yu., Dyubin V.N., Loskutov I.G., Zuev E.V., Kovaleva O.N., Porokhvinova E.A. et al. Analysis of economical valuable characters of cereals cultivars under climate change conditions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2013;173:102-119. [in Russian] (Новикова Л.Ю., Дюбин В.Н., Лоскутов И.Г., Зуев Е.В., Ковалева О.Н., Пороховинова Е.А. и др. Анализ динамики хозяйственно-ценных признаков сортов сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2013;173:102-119).
- Petrova L.V. Oat breeding in the environments of Yakutia (Seleksiya ovsa v usloviyakh Yakutii). Novosibirsk; 2018. [in Russian] (Петрова Л.В. Селекция овса в условиях Якутии. Новосибирск; 2018).
- Skachkov Yu.B. Trends of modern changes in air temperature in the Republic of Sakha (Yakutia) (Tendentsii sovremennykh izmeneniy temperatury vozdukh v Respublike Sakha [Yakutiya]). *Voprosy geografii Yakutii = Issues of the Geography of Yakutia*. 2005;(9):27-31. [in Russian] (Скачков Ю.Б. Тенденции современных изменений температуры воздуха в Республике Саха (Якутия). *Вопросы географии Якутии*. 2005;(9):27-31).
- Surin N.A. Adaptive potential of grain varieties of Siberian breeding and ways of its improvement (wheat, barley, oats): a monograph (Adaptivny potentsial sortov zernovykh kultur sibirskoy seleksii i puti yego sovershenstvovaniya [pshenitsa, yachmen, oves]: monografiya). Novosibirsk; 2011. [in Russian] (Сурин Н.А. Адаптивный потенциал сортов зерновых культур сибирской селекции и пути его совершенствования (пшеница, ячмень, овес): монография. Новосибирск; 2011).
- Surin N.A., Lyakhova N.E., Gerasimov S.A., Lipshin A.G. Integrated assessment of adaptive ability of barley samples from VIR collection under conditions of Krasnoyarsk forest-steppe. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2016;30(6):32-35. [in Russian] (Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А., Липшин А.Г. Интегрированная оценка адаптивной способности образцов ячменя из коллекции ВИР в условиях Красноярской лесостепи. *Достижения науки и техники АПК*. 2016;30(6):32-35).
- Surin N.A., Lyakhova N.E., Pushkina G.A., Lisunova S.N., Kolchanov V.V. Special genetics and breeding of field crops in Siberia (Chastnaya genetika i seleksiya polevykh kultur v Sibiri). Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University; 2006. [in Russian] (Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Пушкина Г.А., Лисунова С.Н., Колчанов В.В. Частная генетика и селекция полевых культур в Сибири. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет; 2006).
- The system of agriculture in the Republic of Sakha (Yakutia) for the period of 2021–2025: guidelines (Sistema vedeniya selskogo khozyaystva v respublike Sakha [Yakutiya] na period 2021–2025 gody: metodicheskoye posobiye). Belgorod: K.Yu. Sangalov's Publishing House; 2021. [in Russian] (Система ведения сельского хозяйства в республике Саха (Якутия) на период 2021–2025 годы: методическое пособие. Белгород: Издательство Сангалова К.Ю.; 2021).
- Varlamov S.M., Kim E.S., Khan E.N. Modern temperature changes in Eastern Siberia and the Russian Far East (Sovremennye izmeneniya temperatury v Vostochnoy Sibiri i na Dalnem Vostoke Rossii). *Russian Meteorology and Hydrology*. 1998;(1):19-28. [in Russian] (Варламов С.М., Ким Е.С., Хан Е.Н. Современные изменения температуры в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке России. *Метеорология и гидрология*. 1998;(1):19-28).
- Vidovic I., Sochorcova L. Vjhyv potencialnej smeny klimy na urody zrna pseni ce Zetneh F. Ozimnej (*Triticum aestivum*) v podmienkach kukuricnej virobnej oblasti Slovenka. *Agriculture*. 2004;50(10/12):187-198. [in Slovak]

Информация об авторах

Лидия Владимировна Петрова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова – обособленное подразделение ЯНЦ СО РАН, 677001 Россия, Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, 23/1, petrovalidblad@mail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0762-716X>

Любовь Юрьевна Новикова, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующая отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений име-

ни Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, l.novikova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>

Александра Васильевна Алексеева, начальник отдела, Государственное бюджетное учреждение Республики Саха (Якутия) «Служба земледелия РС(Я)», 677027 Россия, Якутск, ул. Каландаришвили, 3, alva2401@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7533-5348>

Игорь Градиславович Лоскутов, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующий отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

Information about the authors

Lidia V. Petrova, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture, division of the YSC SB RAS, 23/1 Bestuzheva-Marlinskogo St., Yakutsk 677001, Russia, petrovalidblad@mail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0762-716X>

Liubov Yu. Novikova, Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, l.novikova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>

Alexandra V. Alekseeva, Head of a Department, Agriculture Service of the Republic of Sakha (Yakutia), 3 Kalandarishvili St., Yakutsk 677027, Russia, alva2401@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7533-5348>

Igor G. Loskutov, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 17.07.2023; одобрена после рецензирования 17.10.2023; принята к публикации 04.03.2024. The article was submitted on 17.07.2023; approved after reviewing on 17.10.2023; accepted for publication on 04.03.2024.