

ИЗМЕНЕНИЕ И ВЛИЯНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ОВСА В ЯКУТИИ

✉ Петрова Л.В.

Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
им. М.Г. Сафронова – обособленное подразделение Якутского научного центра
Сибирского отделения Российской академии наук
Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия
✉ e-mail: pelidia@yandex.ru

Изложены результаты анализа динамики многолетних метеорологических показателей и изучения их влияния на урожайность районированных сортов овса в разных агроклиматических зонах Якутии. Показано, что в период с 1960 по 2021 г. среднегодовая температура воздуха на территории Центральной Якутии (метеостанция Покровск) повышалась ежегодно на 0,045 °С, с 1999 по 2021 г. – на 0,088 °С, количество засушливых лет в июне возросло с 67 до 92% за счет увеличения на 21% лет со средней (ГТК = 0,41–0,60) и очень сильной (ГТК < 0,21) засухой. В июле засуха отмечена в 50% лет, августе – в 38%. Во всех агроклиматических зонах в период с 2014 по 2021 г. за июнь – август ежегодно повышалась среднесуточная температура воздуха на 0,16...0,34 °С и их сумма – на 14...28 °С, уменьшалось количество осадков на 3–16 мм и значение ГТК – на 0,04–0,12 ед. Климатические изменения с 2014 по 2021 г. проходили в 3–8 раз интенсивнее, чем с 1999 по 2022 г. Отмечена сильная изменчивость урожайности районированных сортов овса в каждой агроклиматической зоне: Центральной – от 0,38 до 2,14 т/га ($V = 60\text{--}73\%$), Заречной – от 0,31 до 3,55 т/га ($V = 41\text{--}49\%$), Среднеленской – от 1,51 до 4,66 т/га ($V = 30\text{--}36\%$). Наибольшее ежегодное снижение урожайности зерна сортов овса (на 0,25–0,26 т/га) наблюдалось в засушливых агроклиматических зонах – Центральной (Якутский ГСУ) и Заречной (Мегино-Кангаласский ГСУ) – в сравнении с более влажной Среднеленской зоной (Олёкминский ГСУ – на 0,10 т/га). Более значительное влияние на урожай в Центральной и Заречной зонах оказывали осадки и ГТК вегетационного периода ($r = 0,77\text{--}0,84$), в Среднеленской зоне – температура ($r = -0,79$). Негативное влияние температуры на урожай в Центральной зоне отмечено в июне ($r = -0,83$), в Заречной – июле ($r = -0,83$), в Среднеленской зоне – в августе ($r = -0,86$). Осадки и ГТК наибольшее влияние на урожайность в Центральной зоне оказывали в июне и июле ($r = 0,56\text{--}0,59$), в Заречной зоне – в июле и августе ($r = 0,60\text{--}0,76$). В Среднеленской зоне связь урожайности с осадками и ГТК в июне и июле была положительной ($r = 0,23\text{--}0,37$), в августе – отрицательной ($r = -0,57\text{--}-0,71$). Значительная вариабельность урожайности зерна районированных сортов овса указывает на изменчивость погодных условий и необходимость возделывания сортов овса, обеспечивающих получение более стабильного урожая в разных агроклиматических зонах Якутии.

Ключевые слова: Якутия, агроклиматические зоны, овес, сорт, урожайность, изменчивость, корреляция, регрессия

CHANGE AND INFLUENCE OF AGROCLIMATIC CONDITIONS ON OAT YIELD IN YAKUTIA

✉ Petrova L.V.

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, Republic of Sakha (Yakutia), Russia
✉ e-mail: pelidia@yandex.ru

The results of the dynamics analysis of multi-year meteorological indicators and study of their influence on the yield of the released oat varieties in different agroclimatic zones of Yakutia are presented. It is shown that in the period from 1960 to 2021 the mean annual air temperature in Central Yakutia (Pokrovsk meteorological station) increased annually by 0.045 °C, from 1999 to 2021 – by 0.088 °C, the number of dry years in June increased from 67 to 92% due to a 21% increase in years

with medium ($HTC = 0.41-0.60$) and very strong ($HTC < 0.21$) drought. In July, drought was recorded in 50% of the years, in August – in 38%. In all agroclimatic zones in the period from 2014 to 2021 for June – August the average daily air temperature annually increased by $0.16...0.34\text{ }^{\circ}\text{C}$ and their sum by $14...28\text{ }^{\circ}\text{C}$, with precipitation decreasing by 3-16 mm and HTC value by 0.04-0.12 units. Climate change from 2014 to 2021 was 3 to 8 times more intense than from 1999 to 2022. There was a strong variability of yields of the released oat varieties in each agroclimatic zone: Central – from 0.38 to 2.14 t/ha ($V = 60-73\%$), Zarechnaya – from 0.31 to 3.55 t/ha ($V = 41-49\%$), Srednelenskaya – from 1.51 to 4.66 t/ha ($V = 30-36\%$). The greatest annual decrease in grain yield of oat varieties (by $0.25-0.26\text{ t/ha}$) was observed in arid agroclimatic zones – Central (Yakutsk SCTS) and Zarechnaya (Megino-Kangalassky SCTS) – compared to the wetter Srednelenskaya zone (Olyokminsky SCTS – by 0.10 t/ha). More significant influence on the yield in the Central and Zarechnaya zones was made by precipitation and HTC of the growing season ($r = 0.77...0.84$), in the Srednelenskaya zone – by temperature ($r = -0.79$). Negative effect of temperature on the yield in the Central zone was observed in June ($r = -0.83$), Zarechnaya zone – in July ($r = -0.83$), in the Srednelenskaya zone – in August ($r = -0.86$). Precipitation and HTC had the greatest influence on the yield in the Central zone in June and July ($r = 0.56...0.59$), Zarechnaya zone – July and August ($r = 0.60...0.76$). In the Srednelenskaya zone the relationship of the yield with precipitation and HTC in June and July was positive ($r = 0.23...0.37$), in August – negative ($r = -0.57...-0.71$). Significant variability in grain yields of the released oat varieties indicates the variability of weather conditions and the need to cultivate oat varieties that provide a more stable yield in different agroclimatic zones of Yakutia.

Keywords: Yakutia, agroclimatic zones, oats, variety, yield, variability, correlation, regression

Для цитирования: Петрова Л.В. Изменение и влияние агроклиматических условий на урожайность овса в Якутии // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. Т. 54. № 2. С. 48–59. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-2-6>

For citation: Petrova L.V. Change and influence of agroclimatic conditions on oat yield in Yakutia. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaystvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2024, vol. 54, no. 2, pp. 48–59. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-2-6>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена в соответствии с планом НИР Якутского НИИСХ в рамках государственного задания по проекту № FWRS-2022-0006.

Acknowledgements

The work was carried out in accordance with the R&D plan of the Yakut Research Institute of Agriculture within the framework of the state assignment for project No. FWRS-2022-0006.

ВВЕДЕНИЕ

Овес благодаря скороспелости и экологической пластичности возделывается в разных агроклиматических зонах и является одной из основных стратегических зернофуражных культур¹⁻³ [1, 2]. В структуре посевных площадей зерновых культур Якутии он занимает более 65%, или около 7,5 тыс. га. В среднем

по республике его урожайность выше, чем озимой ржи, пшеницы и ячменя, однако ее уровень остается низким (0,9–1,2 т/га), поэтому увеличение валовых сборов зерна овса в регионе очень актуально⁴. Для повышения урожайности и стабильности производства зерна, а также при разработке долгосрочных селекционных программ по созданию новых адаптированных сортов сельскохозяйствен-

¹Косолапов В.М., Трофимов И.А., Трофимова Л.С. Кормопроизводство – стратегическое направление в обеспечении продовольственной безопасности России: теория и практика. М.: Росинформагротех, 2009. 200 с.

²Лоскутов И.Г. Овес (*Avena L.*) Распространение, систематика, эволюция и селекционная ценность. СПб.: ГНЦ РФ ВИР, 2007. 336 с.

³Boczowska M., Podyma W., Łapiński B. Oat In: Genetic and Genomic Resources for Grain Cereals Improvement // Academic Press, 2016. P. 159–225.

⁴Сельское хозяйство в Республике Саха (Якутия): Стат. сб. Якутск: Саха (Якутия) стат, 2021. 167 с.

ных культур необходимо учитывать особенно-сти изменения агрометеорологических условий периода вегетации растений в конкретной природно-климатической зоне. Изменение климата существенно влияет на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур, в том числе овса^{5, 6} [3–5].

В настоящее время все большую актуальность приобретает возделывание адаптированных к конкретным почвенно-климатическим условиям сортов, обладающих высокой урожайностью [6–8]. Ценность сортов в значительной мере определяется их устойчивостью к стрессовым факторам внешней среды и способностью в различных агрометеорологических условиях формировать стабильный уровень урожая высокого качества. Выявление особенностей взаимодействия генотипа и среды является одним из приоритетных направлений в современных генетико-селекционных исследованиях [9–11]. Значительная вариабельность урожайности по годам свидетельствует о нестабильности погодных условий и недостаточной адаптивности сортов⁷ [12–15].

Якутия расположена в зоне рискованного земледелия, в которой лимитирующими факторами получения высококачественного урожая сельскохозяйственных культур являются засушливые условия, особенно в раннелетний период, поздние летние и ранние осенние заморозки, низкотемпературные многолетне-мерзлые породы и холодные почвы с низким плодородием и недостаточным содержанием макро- и микроэлементов⁸ [16]. В последние десятилетия на территории России, в том числе Якутии, отмечается значительный рост температуры воздуха, в ряде регионов снижается количество осадков, наблюдается ухудшение условий влагообеспеченности растений в период вегетации^{9, 10} [17]. В связи с

этим анализ многолетних данных по урожаю и выявление особенностей его формирования в различных агроклиматических условиях имеет большое значение для планирования стратегии селекционных программ по овсу и повышения его продуктивности в регионе.

Цель исследования – выявить изменение и влияние агроклиматических условий на урожайность районированных сортов овса в разных природных зонах Якутии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектами исследования были районированные сорта овса посевного и агрометеорологические факторы за многолетний период в разных агроклиматических зонах Якутии. Климатические изменения в Центральной Якутии оценивали по данным метеостанции Покровск за период с 1960 по 2022 г. Изменение агрометеорологических условий вегетационного периода (июнь – август) и их влияние на урожайность районированных сортов овса Покровский (стандарт), Покровский 9 и Хибины 2 изучали с 1999 по 2022 г. на Покровском стационаре Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова (ЯНИИСХ) в питомнике конкурсного сортоиспытания (КСИ). Учетная площадь делянок – 25 м², повторность 4-кратная с рендомизированным размещением. Почва опытного участка – слабощелочная мерзлотная таежно-палевая светло-серая супесчаная, содержание гумуса в пахотном слое – 2,7%, подвижного фосфора по Эгнеру – Риму – 10,4 мг/100 г почвы, обменного калия по Масловой – 27,4 мг/100 г почвы. Наблюдения и учеты в полевом опыте проведены согласно общепринятым методикам¹¹. Условия тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода (июнь – август) в

⁵Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А., Литшин А.Г. Интегрированная оценка адаптивной способности образцов ячменя из коллекции ВИР в условиях Красноярской лесостепи // Достижения науки и техники АПК. 2016. № 30 (6). С. 32–35.

⁶Новикова Л.Ю., Дюбин В.Н., Лоскутов И.Г. и др. Анализ динамики хозяйственно ценных признаков сортов сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2013. № 173. С. 102–119.

⁷Шаманин В.П., Моргунов А.И., Петуховский С.Л. и др. Потепление климата и урожайность сортов яровой мягкой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Вестник ОмГАУ. 2014. С. 383.

⁸Бойнов А.И. Северное земледелие. Учебное пособие. Якутск, 2007. 232 с.

⁹Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России / под ред. акад. А.Л. Иванова и акад. В.И. Кирюшина. М.: Россельхозакадемия, 2009. 518 с.

¹⁰Доклад об особенностях климата на территории РФ за 2020 год. М.: Росгидромет, 2021. 104 с.

¹¹Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1989. Вып. 2. 197 с.

годы исследования значительно различались: от сильной засухи (ГТК = 0,22–0,36) до повышенной влагообеспеченности (ГТК = 1,41), сумма среднесуточных температур воздуха – от 1330 до 1708 °С.

Влияние агроклиматических условий на урожайность сортов овса Покровский 9 (стандарт), Покровский и Виленский анализировали за 2014–2021 гг. по результатам испытания на Якутском, Мегино-Кангаласском и Олёкминском государственных сортоучастках (ГСУ), расположенных соответственно в Центральной (метеостанция Якутск), Заречной (метеостанция Тюнгилю) и Среднеленской (метеостанция Олёкминск) агроклиматических зонах Якутии. За годы испытания сортов условия вегетации растений в указанных зонах значительно различались. В среднем сумма среднесуточных температур воздуха за июнь – август составила в Среднеленской зоне 1508 °С, в Заречной зоне – 1585 °С, в Центральной зоне – 1650 °С; среднесуточная температура: 16,7; 17,3 и 18,1 °С; сумма осадков: 155, 128 и 99 мм соответственно. 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).

Влагообеспеченность вегетационного периода оценивали по гидротермическому коэффициенту Селянинова (ГТК)¹² с учетом более детальной его градации¹³. Экспериментальные данные обработаны методом дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализа с использованием пакета прикладных программ Snedecor^{14, 15}.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ многолетних наблюдений, проведенных на метеостанции Покровск, показал, что в период с 1960 по 2021 г. среднегодовая температура воздуха (y) на территории

Центральной Якутии достоверно ($p < 0,01$) повышалась ежегодно на 0,045 °С (коэффициент детерминации $R^2 = 0,44$) (1), с 1999 по 2021 г. – 0,088 °С ($R^2 = 0,44$) (2), в период с 2009 по 2021 г. – на 0,128 °С ($R^2 = 0,51$) (3):

$$y = 0,0453x - 99,60, R^2 = 0,4408, \quad (1)$$

$$y = 0,0876x - 184,7, R^2 = 0,4414, \quad (2)$$

$$y = 0,1284x - 267,0, R^2 = 0,5148. \quad (3)$$

За 62 года наблюдений среднегодовая температура в регионе повысилась на 2,8 °С. Более значительное повышение температуры в последнее десятилетие (2011–2020 гг.) в сравнении с 1961–1970 гг. отмечено в зимние (на 2,2...3,6 °С) и весенние (2,9...3,7 °С) месяцы, менее – в летние (0,7...2,0 °С) и осенние (на 0,8...1,2 °С). Значительное весеннее потепление дает возможность начинать посевные и уборочные работы зерновых культур в более ранние сроки. В условиях Центральной Якутии это имеет большое практическое значение, так как в сентябре происходит резкое понижение среднесуточной температуры воздуха (до 5...6 °С) в сравнении с августом (14...15 °С). При этом каждый второй год (в 48% лет) наблюдались заморозки интенсивностью от минус 0,9 до минус 4,7 °С в III декаде августа и от минус 3,2 до минус 9,5 °С в I декаде сентября. Следует также учитывать, что осадки второй половины вегетации растений часто имеют интенсивный характер и вызывают появление подгона, который может существенно затягивать сроки созревания и уборки посевов овса. Поэтому для получения высококачественного урожая зерна и его своевременной уборки возделываемые в регионе сорта овса должны относиться к ранней или среднеранней группе спелости и вызревать не позднее 15–20 августа.

Сумма осадков за 2011–2020 гг. в сравнении с 1961–1970 гг. изменялась незначитель-

¹²Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928. № 20. С. 16–177.

¹³Зюидзе Е.К., Хомякова Т.В. Моделирование формирования влагообеспеченности территории Европейской России в современных условиях и основы оценки агроклиматической безопасности // Метеорология и гидрология. 2006. № 2. С. 98–105.

¹⁴Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 386 с.

¹⁵Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Краснообск, 2009. 222 с.

но: в теплый период (май – сентябрь) увеличилась со 165 до 172 мм, в холодный (октябрь – апрель) – уменьшилась с 80 до 77 мм. За вегетационный период сумма осадков изменялась от 121 до 126 мм при норме 119 мм, однако в июне их количество уменьшилось на 14,4 мм, в июле и августе – увеличилось соответственно на 16,0 и 5,8 мм.

С 1960 по 2022 г. на рассматриваемой территории засушливые условия вегетационного периода со слабой, средней и сильной засухой составили 48% лет, то есть практически каждый второй год был засушливым в той или иной степени. В годы исследования (1999–2022) засушливые условия во время вегетации растений наблюдались в 42% лет, отмечено уменьшение на 11,3% лет со слабой засухой и увеличение на 5,6% лет с сильной засухой (см. табл. 1).

Анализ условий влагообеспеченности по месяцам вегетации растений показал, что в период с 1960 по 2022 г. в Центральной Яку-

тии преобладала раннелетняя (июньская) засуха, которая наблюдалась в 67% лет, в июле такие условия отмечены в 52% лет, августе – в 41% лет (см. табл. 2).

За последние четверть века (1999–2022 гг.) засуха в июне отмечалась почти ежегодно – в 92% лет (9 из 10), при этом количество лет со средней (ГТК = 0,41–0,60) и очень сильной (ГТК < 0,21) засухой возросло соответственно с 27,0 до 37,5% и с 6,3 до 16,7%. В июле и августе в последние два десятилетия в регионе наблюдалось незначительное улучшение условий влагообеспеченности – соответственно 50 и 38% засушливых лет.

В период с 1960 по 2021 г. в Центральной Якутии тренд ГТК за июнь – август был отрицательным, что указывает на ухудшение условий влагообеспеченности растений. Каждое последующее десятилетие ГТК вегетационного периода уменьшался на 0,02 ед. (см. рис. 1). С 1999 по 2021 г. его снижение было более значительным – 0,10 ед. за каж-

Табл. 1. Влагообеспеченность вегетационного периода (метеостанция Покровск)

Table 1. Moisture availability of the growing season (Pokrovsk weather station)

Влагообеспеченность	Значение ГТК	С 1960 по 2022 г.		С 1999 по 2022 г.	
		Число лет	Процент	Число лет	Процент
Повышенная	1,50–1,41	6	9,5	1	4,1
Оптимальная	1,40–1,11	12	19,1	6	25,0
Недостаточная	1,10–0,76	15	23,8	7	29,2
Слабая засуха	0,75–0,61	15	23,8	3	12,5
Средняя засуха	0,60–0,41	8	12,7	3	12,5
Сильная засуха	0,40–0,21	7	11,1	4	16,7

Табл. 2. Доля лет с различной влагообеспеченностью по месяцам вегетации растений в разные периоды (метеостанция Покровск), %

Table 2. Percentage of the years with different moisture availability by months of plant vegetation in different periods (Pokrovsk weather station), %

Влагообеспеченность	С 1960 по 2022 г.			С 1999 по 2022 г.		
	Июнь	Июль	Август	Июнь	Июль	Август
Избыточная	11,1	14,3	17,5	8,3	20,8	16,7
Повышенная	3,2	1,6	3,2	0	0	8,3
Оптимальная	4,8	12,7	17,5	0	16,7	12,5
Недостаточная	14,3	19,0	20,6	0	12,5	25,0
Слабая засуха	15,9	7,9	6,3	20,8	4,2	4,2
Средняя засуха	27,0	23,8	14,3	37,5	25,0	20,8
Сильная засуха	17,4	15,9	12,7	16,7	20,8	8,3
Очень сильная засуха	6,3	4,8	7,9	16,7	0	4,2

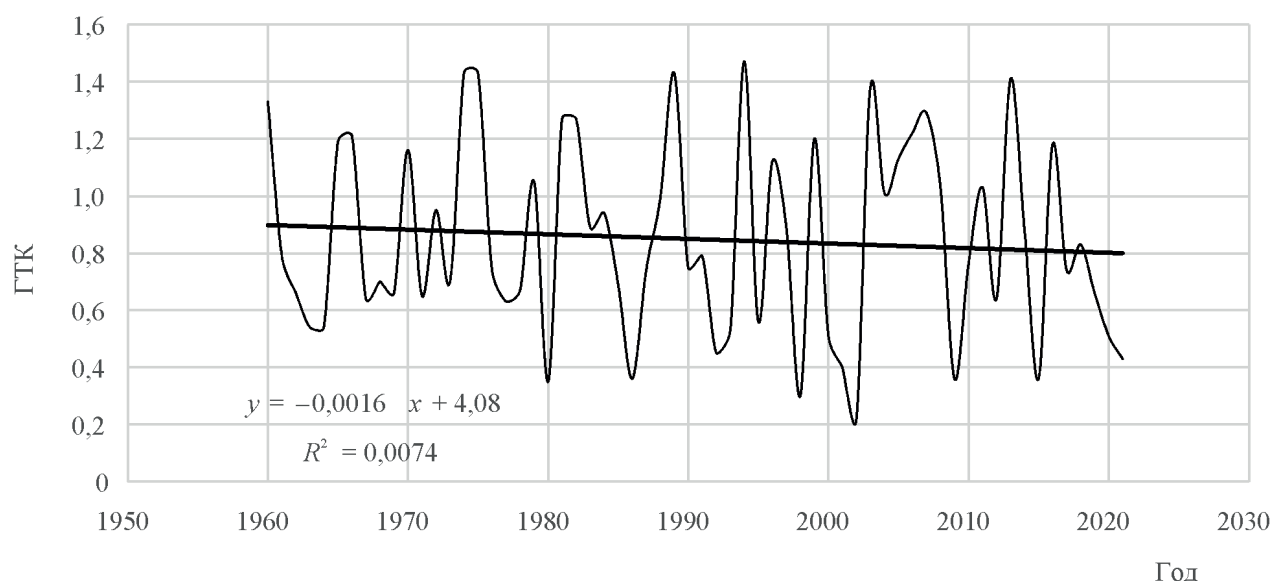


Рис. 1. Изменение ГТК вегетационного периода (y) в Центральной Якутии с 1960 по 2021 г. (метеостанция Покровск)

Fig. 1. Change in the HTC of the growing season (y) in Central Yakutia from 1960 to 2021 (Pokrovsk weather station)

дые 10 лет (4), в период с 2009 по 2021 г. еще больше – 0,15 ед. (5), с 2010 по 2022 г. – уже на 0,26 ед. за десятилетие (6):

$$y = -0,0096x + 20,04, R^2 = 0,0318, \quad (4)$$

$$y = -0,0153x + 31,53, R^2 = 0,0352, \quad (5)$$

$$y = -0,0259x + 52,97, R^2 = 0,1162. \quad (6)$$

Выявленная тенденция снижения значений ГТК также свидетельствует о значительном потеплении климата и ухудшении условий влагообеспеченности растений в Центральной Якутии в раннелетний период за последние два десятилетия.

Регрессионный анализ наблюдений за метеорологическими показателями в других агроклиматических зонах Якутии подтвердил приведенные выше закономерности климатических изменений в регионе. Так, в Центральной, Заречной и Среднеленской агроклиматических зонах в период с 2014 по 2021 г. ежегодно повышалась среднесуточная температура воздуха за июнь – август на 0,16...0,34 °С и их сумма – на 14...28 °С. При этом уменьшалось количество осадков на 3–16 мм и значение ГТК – на 0,04–0,12 ед. (см. табл. 3). Снижение показателей влагообеспеченности вегетационного периода растений в Заречной зоне было достоверно на 5%-м уровне значимости. Анализ наблюдений, проведенных на

метеостанции Покровск, показал, что климатические изменения (потепление и ухудшение условий влагообеспеченности растений) в период с 2014 по 2021 г. проходили в 3–8 раз интенсивнее, чем с 1999 по 2022 г.

Аналогичная закономерность за исследуемый период отмечена и по динамике урожайности зерна районированных сортов овса во всех агроклиматических зонах. Наибольшее ежегодное снижение урожайности (на 0,25–0,26 т/га с вероятностью по сортам от $p < 0,05$ до $p < 0,01$) наблюдалось в засушливых Центральной и Заречной агроклиматических зонах в сравнении с более благоприятной по условиям увлажнения Среднеленской агроклиматической зоной (на 0,10 т/га) (см. табл. 4, рис. 2). Исследования на Покровском стационаре показали, что ежегодное снижение урожайности зерна районированных сортов овса в период с 2014 по 2021 г. было в 12,7 раза больше, чем в период с 1999 по 2022 г.

Приведенные выше данные свидетельствуют, что агроклиматические условия вегетационного периода в исследуемых зонах значительно различались, однако повышение температуры, уменьшение осадков, ухудшение условий влагообеспеченности вегетации растений и снижение их продуктивности в период с 2014 по 2021 г. наблюдалось в каждой из них, но в разной степени интенсивности.

Табл. 3. Коэффициенты регрессии (тренды) количественных изменений метеорологических показателей вегетационного периода в разных агроклиматических зонах Якутии в период с 2014 по 2021 г.

Table 3. Regression coefficients (trends) of quantitative changes in meteorological indicators of the growing season in different agroclimatic zones of Yakutia in the period from 2014 to 2021

Зона (метеостанция)	Среднесуточная температура воздуха, °С	Сумма среднесуточных температур воздуха, °С	Сумма осадков, мм	ГТК, ед.
Центральная (Покровск)**	0,055	4,83	–0,76	–0,008
Центральная (Покровск)	0,157	14,39	–6,23	–0,046
Центральная (Якутск)	0,339	28,12	–5,97	–0,045
Заречная (Тюнгюлю)	0,201	19,17	–16,25*	–0,117*
Среднененская (Олёкминск)	0,289	27,00	–2,88	–0,036

* Достоверно на 5%-м уровне значимости.

** Данные за период с 1999 по 2022 г.

Табл. 4. Изменение урожайности районированных сортов овса в разных агроклиматических зонах Якутии в период с 2014 по 2021 г.

Table 4. Changes in the yield of the released oat varieties in different agroclimatic zones of Yakutia in the period from 2014 to 2021

Сорт	Тренд урожайности, т/га	Средняя урожайность, т/га	Min-max урожайности, т/га	Коэффициент вариации, (V), %
<i>Центральная зона (стационар ЯНИИСХ – Покровск)***</i>				
Покровский 9	–0,0116	2,22	0,70–5,20	62
Покровский	–0,0149	1,93	0,81–5,13	60
Хибины 2	–0,0093	1,70	0,40–4,26	63
Среднее	–0,0119	1,95	0,64–4,86	62
<i>Центральная зона (стационар ЯНИИСХ – Покровск)</i>				
Покровский 9	–0,1719	2,27	0,70–4,42	63
Покровский	–0,1408	1,98	0,35–3,87	64
Хибины 2	–0,1424	1,70	0,40–3,66	71
Среднее	–0,1517	1,98	0,48–3,98	66
<i>Центральная зона (Якутский ГСУ)</i>				
Покровский 9	–0,2108*	1,01	0,38–2,14	67
Покровский	–0,2246*	1,05	0,32–1,92	64
Виленский	–0,3230**	1,20	0,35–2,10	73
Среднее	–0,2528	1,09	0,35–2,05	68
<i>Заречная зона (Мегино-Кангаласский ГСУ)</i>				
Покровский 9	–0,2311	2,03	0,88–3,44	41
Покровский	–0,2729*	1,87	0,31–2,65	49
Виленский	–0,2752	2,08	0,62–3,55	48
Среднее	–0,2597	1,99	0,60–3,21	46
<i>Среднененская зона (Олёкминский ГСУ)</i>				
Покровский 9	–0,0862	3,22	1,60–4,66	36
Покровский	–0,1137	2,89	1,51–3,86	30
Виленский	–0,0925	3,21	1,63–4,56	31
Среднее	–0,0975	3,11	1,58–4,36	32

* Достоверно на 5%-м уровне значимости.

** Достоверно на 1%-м уровне значимости.

*** Данные за период с 1999 по 2022 г.

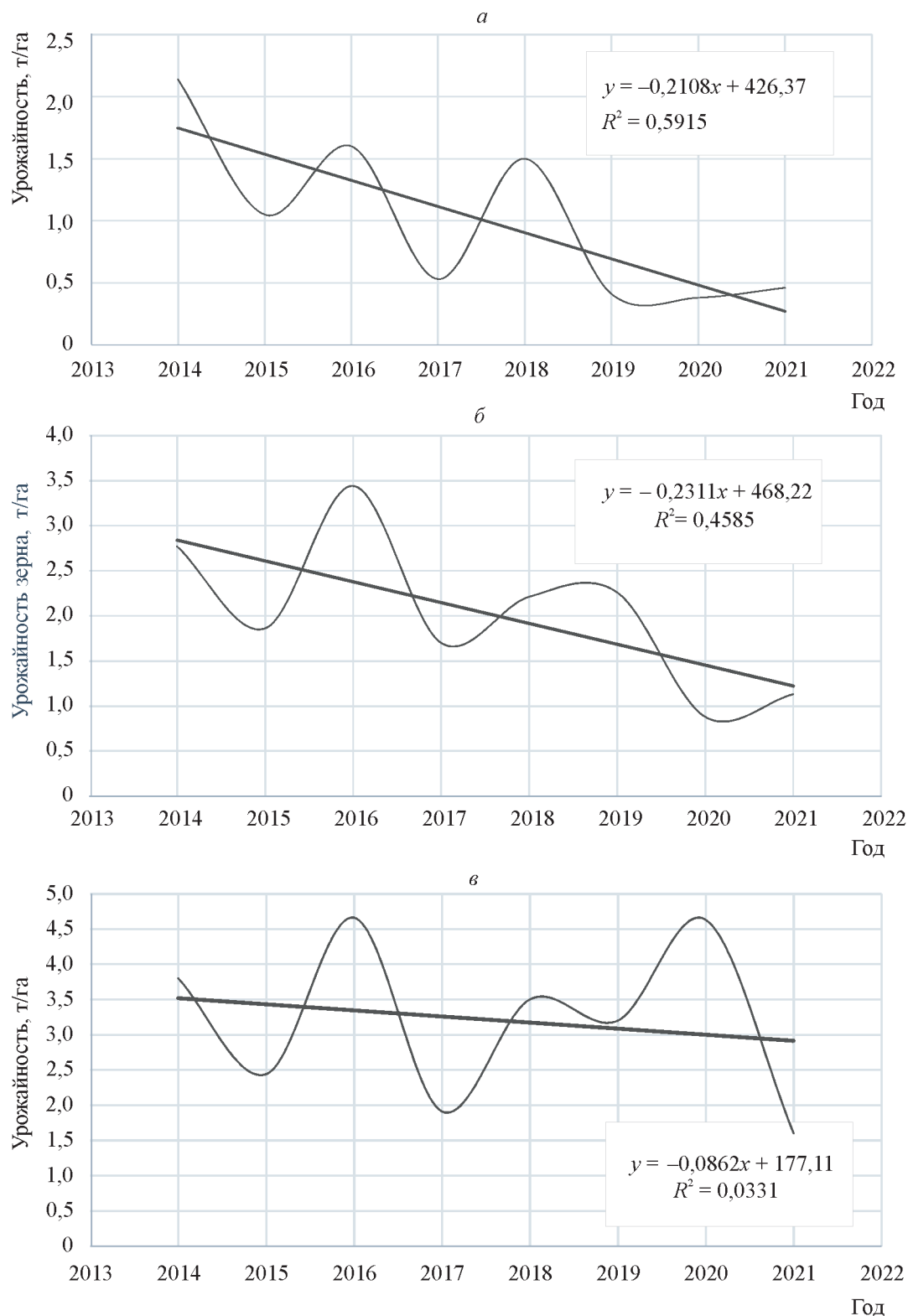


Рис. 2. Изменение урожайности зерна сорта овса Покровский 9 (у) в разных агроклиматических зонах Якутии в период с 2014 по 2021 г.:
а – Центральная зона (Якутский ГСУ); б – Заречная зона (Мегино-Кангаласский ГСУ); в – Среднеленская зона (Олёкминский ГСУ)

Fig. 2. Changes in the grain yield of the Pokrovsky 9 (y) oat variety in different agroclimatic zones of Yakutia in the period from 2014 to 2021:
а – Central zone (Yakutsk SCTS); б – Zarechnaya zone (Megino-Kangalassky SCTS); в – Srednelenskaya zone (Olyokminsky SCTS)

Урожайность зерна сортов овса на Олёкминском ГСУ составила в среднем 2,88–3,22 т/га, что было больше в 1,4–1,6 раза, чем на Покровском стационаре и Мегино-Кангаласском ГСУ, и в 2,7–3,2 раза больше, чем на Якутском ГСУ, расположенном в зоне с наиболее засушливыми условиями вегетационного периода (ГТК = 0,60). Средняя урожайность сорта Виленский на Олёкминском ГСУ находилась на уровне стандарта Покровский 9 (3,21–3,22 т/га), на других сортоучастках 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 отмечена сильная изменчивость урожайности сортов овса: в Центральной – от 0,38 до 2,14 т/га ($V = 60$ –73%), в Заречной – от 0,31 до 3,55 т/га ($V = 41$ –49%), в Среднеленской – от 1,51 до 4,66 т/га ($V = 30$ –36%) (см. табл. 4).

Значительная вариабельность урожайности зерна районированных сортов овса указывает на изменчивость погодных условий и необходимость возделывания сортов овса, обеспечивающих получение более стабильного урожая в разных агроклиматических зонах Якутии. Исследования на Покровском стационаре в КСИ выявили, что влияние сорта (генотипа) на вариабельность урожайности

овса в Центральной Якутии в разные годы и в зависимости от количества сортообразцов составляло от 8 до 35%, погодных условий – от 29 до 61%, а взаимодействие факторов было также достоверно – 19–22%.

Корреляционный анализ показал, что влияние агроклиматических показателей вегетационного периода на формирование урожая сортов овса в разных регионах Якутии было различным (см. табл. 5). В засушливых и теплых Центральной и Заречной зонах большее влияние оказывали осадки и ГТК ($r = 0,77 \dots 0,84$) в сравнении с температурой ($r = -0,60 \dots -0,74$), в более влажной и прохладной Среднеленской зоне – температура ($r = -0,79$), чем осадки и ГТК ($r = -0,06 \dots 0,09$).

Анализ взаимосвязи средней урожайности сортов овса и агроклиматических условий по месяцам вегетации также выявил некоторые региональные особенности. Более значительное негативное влияние температуры воздуха на формирование урожая в засушливой Центральной зоне наблюдалось в июне ($r = -0,83$), в менее засушливой Заречной зоне – в июле ($r = -0,83$), в более благоприятной по влагообеспеченности Среднеленской зоне – в августе ($r = -0,86$). Осадки и значение ГТК наибольшее влияние на урожайность в

Табл. 5. Связь (r) урожайности овса с агроклиматическими показателями в разных регионах Якутии (среднее по сортам). 2014–2021 гг.

Table 5. The relationship (r) of the oat yield with agroclimatic indicators in different regions of Yakutia (average by varieties). 2014–2021

Показатель	Якутск	Тюнгюлю	Олёкминск
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**
Температура за июнь – август	–0,60	–0,74*	–0,79*
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*
Осадки за июнь – август	0,77*	0,84**	–0,06
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
ГТК за июнь–август	0,80*	0,81*	0,09

* Достоверно на 5%-м уровне значимости.

** Достоверно на 1%-м уровне значимости.

Центральной зоне оказывали в июне – июле ($r = 0,56...0,59$), в Заречной – в июле – августе ($r = 0,60...0,76$).

В Среднеленской зоне связь урожайности с показателями, характеризующими условия влагообеспеченности растений, в июне и июле была положительной ($r = 0,23...0,37$), в августе – отрицательной ($r = -0,57...-0,71$) (см. табл. 5). Выпадение значительных осадков в августе часто вызывало образование подгона, что задерживало созревание и уборку посевов, увеличивало потери урожая.

Исследования, проведенные в 1999–2022 гг. в КСИ на Покровском стационаре ЯНИИСХ, показали, что на урожайность сортов овса существенно влияли осадки и ГТК июня ($r = 0,61...0,65$). Достоверное, но менее значительное влияние ($r = 0,46...0,54$), оказывали также осадки и ГТК периода июнь – I декада июля. Между урожайностью и температурой воздуха вегетационного периода отмечена слабая отрицательная связь ($r = -0,14...-0,22$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В период с 1999 по 2021 г. в Центральной Якутии ежегодное повышение среднесуточной годовой температуры воздуха составило $0,088\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($R^2 = 0,44$), с 2009 по 2021 г. – $0,128\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($R^2 = 0,51$). Более значительное повышение температуры (на $2,2...3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) было в зимние и весенние месяцы. Засушливые условия вегетационного периода наблюдались каждый второй год (48% лет). В регионе преобладает раннелетняя (июньская) засуха, которая с 1960 по 2022 г. отмечена в 67% лет, с 1999 по 2022 г. – в 92% лет (9 из 10), а количество лет с очень сильной засухой (ГТК $< 0,21$) возросло на 10%. В июле засушливые условия были в 50% лет, августе – в 38% лет.

Во всех агроклиматических зонах в период с 2014 по 2021 г. за июнь – август ежегодно повышалась среднесуточная температура воздуха на $0,16...0,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ и их сумма – на $14...28\text{ }^{\circ}\text{C}$, уменьшалось количество осадков на 3–16 мм и значение ГТК на $0,04\text{--}0,12$ ед. Климатические изменения с 2014 по 2021 г. проходили в 3–8 раз интенсивнее, чем с 1999 по 2022 г.

В годы исследования наблюдалась сильная изменчивость урожайности районированных сортов овса в каждой агроклиматиче-

ской зоне: Центральной – от 0,38 до 2,14 т/га ($V = 60\text{--}73\%$), Заречной – от 0,31 до 3,55 т/га ($V = 41\text{--}49\%$), Среднеленской – от 1,51 до 4,66 т/га ($V = 30\text{--}36\%$). В засушливых Центральной и Заречной зонах наибольшее влияние на урожайность оказывали осадки и ГТК ($r = 0,77...0,84$) в сравнении с температурой ($r = -0,60...-0,74$), в более влажной и прохладной Среднеленской зоне – температура ($r = -0,79$), чем осадки и влагообеспеченность ($r = -0,06...0,09$).

Значительная вариабельность урожайности зерна указывает на изменчивость погодных условий и необходимость возделывания сортов овса, обеспечивающих получение более стабильного урожая в разных агроклиматических зонах Якутии. Снижение урожайности районированных сортов овса в регионе в последнее десятилетие вызвано агроклиматическими изменениями – повышением температуры и уменьшением количества осадков, что привело к ухудшению влагообеспеченности растений в период вегетации, особенно в первую его половину.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gong W., Ju Z., Chai J., Zhou X., Lin D., Su W., Zhao G. Physiological and Transcription Analyses Reveal the Regulatory Mechanism in Oat (*Avena sativa*) Seedlings with Different Drought Resistance under PEG-Induced Drought Stress // *Agronomy*. 2022. N 12 (5). P. 1005. DOI: 10.3390/agronomy12051005.
2. Сотник А.Я., Лоскутов И.Г. Селекционно-ценные образцы овса с оптимальным сочетанием элементов урожайности для Приобской лесостепи // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2021. Т. 51. № 4. С. 5–13. DOI: 10.26898/0370–8799–2021–4–5–13.
3. 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. DOI: 10.1155/2020/4138469.
4. Сотник А.Я. Оценка сортов овса по урожайности и вегетационному периоду в условиях Приобской лесостепи // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2018. Т. 48. № 1. С. 51–56. DOI: 10.26898/0370–8799–2018–1–7.
5. Тулякова М.В., Баталова Г.А., Лоскутов И.Г., Пермякова С.В., Кротова Н.В. Оценка адаптивных параметров коллекционных об-

- разцововса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. № 182 (1). С. 72–79. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79.
6. Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181 (2). С. 42–49. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49.
7. Левакова О.В., Ерошенко Л.М., Ромашин М.М., Ерошенко А.Н., Ерошенко Н.А., Дедушев И.А., Болдырев М.А. Оценка зерновой продуктивности и адаптивности отечественных и зарубежных сортов ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ // Аграрный научный журнал. 2021. № 3. С. 30–33. DOI: 10.28983/asj.y2021i3pp30-33.
8. Сурин Н.А., Бутковская Л.К., Сурина Е.А. Влияние удобрений и сроков посева на качество семян ярового ячменя в Красноярской лесостепи // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52. № 2. С. 12–21. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-2-2.
9. Сурин Н.А., Герасимов С.А., Ляхова Н.Е. Адаптивность и экологическая пластичность ячменя в условиях лесостепи Красноярского края // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 48. № 1. С. 51–56. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-6-2.
10. Демина Е.А., Кинчаров А.И., Таранова Т.Ю., Чекмасова К.Ю. Оценка адаптивности сортов яровой мягкой пшеницы в лесостепных условиях Среднего Поволжья // Аграрный вестник Урала. 2021. № 11 (214). С. 8–19. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-214-11-8-19.
11. Питоня В.Н., Питоня А.А. Оценка адаптивности и стрессоустойчивости сортов ярового ячменя для Волгоградской области // Научно-агрономический журнал. 2022. № 1 (116). С. 15–18. DOI: 10.34736/FNC.2022.116.1.003.15-18.
12. Пушкарев Д.В., Чурсин Ф.С., Кузьмин О.Г., Краснова Ю.С., Каракоз И.И., Шаманин В.П. Изменчивость климатических факторов и урожайность сортов яровой пшеницы в степной зоне Омской области // Вестник Омского ГАУ. 2018. № 2. (30). С. 39–45.
13. 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). P. 89–102. DOI: 10.17816/ecogen16128.
14. Любимова А.В., Мамаева В.С., Менищикова А.А. Генетическая засухоустойчивость современных сортов овса посевного как ответ глобальному изменению климата // Аграрный вестник Урала. 2022. № 6 (221). С. 49–59. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-49-59.
15. Юсова О.А., Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Экологическая реакция сортов ярового ячменя на абиотические и биотические факторы южной лесостепи Омского региона // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1 (25). С. 224–235. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-224-235.
16. Петрова Л.В. Селекция овса в условиях Якутии: монография. Новосибирск, 2018. 135 с.
17. Лобанов В.А., Кириллина К.С. Современные и будущие изменения климата Республики Саха (Якутия): монография. СПб.: РГТМУ, 2019. 157 с.

REFERENCES

1. Gong W., Ju Z., Chai J., Zhou X., Lin D., Su W., Zhao G. Physiological and Transcription Analyses Reveal the Regulatory Mechanism in Oat (*Avena sativa*) Seedlings with Different Drought Resistance under PEG-Induced Drought Stress. *Agronomy*, 2022, no. 12 (5), p. 1005. DOI: 10.3390/agronomy12051005.
2. Sotnik A.Ya., Loskutov I.G. Oat samples valuable for breeding in the forest steppe of the Ob region with the optimal combination of yield elements. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no 4, pp. 5–13. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2021-4-5-13.
3. 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. DOI: 10.1155/2020/4138469.
4. Sotnik A.Ya. Oat cultivars estimation on yield and vegetation period in the conditions of the Priobskaya forest-steppe. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2018, vol. 48, no 1, pp. 51–56. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2018-1-7.
5. Tulyakova M.V., Batalova G.A., Loskutov I.G., Permyakova S.V., Krotova N.V. Assessment of adaptability parameters in hulled oat germplasm accessions in terms of their yield in the environments of Kirov Province. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii = Pro-*

- ceedings on applied botany, genetics and breeding*, 2021, no. 182 (1), pp. 72–79. (In Russian). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79.
6. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Safonova I.V., Anis'kov N.I. Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii = Proceedings on applied botany, genetics and breeding*, 2020, vol. 181 (2), pp. 42–49. (In Russian). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49.
 7. Levakova O.V., Eroshenko L.M., Romakhin M.M., Eroshenko A.N., Eroshenko N.A., Dedushev I.A., Boldyrev M.A. Assessment of grain productivity and adaptability of domestic and foreign varieties of spring barley in the non-chernozem zone of the Russian federation. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal = Agrarian Scientific Journal*, 2021, no. 3, pp. 30–33. (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2021i3pp30-33.
 8. Surin N.A., Butkovskaya L.K., Surina E.A. Influence of fertilizers and sowing dates on the quality of spring barley seeds in the krasnoyarsk forest-steppe. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2022, vol. 52, no. 2, pp. 12–21. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2022-2-2.
 9. Surin N.A., Gerasimov S.A., Lyakhova N.E. Adaptability and ecological plasticity of barley under forest-steppe conditions of the Krasnoyarsk Territory. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 48, no. 1, pp. 51–56. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2023-6-2.
 10. Demina E.A., Kincharov A.I., Taranova T.Yu., Chekmasova K.Yu. Assessment of adaptability of spring soft wheat varieties in forest-steppe conditions of the Middle Volga region. *Agrarnyi vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2021, no. 11 (214), pp. 8–19. (In Russian). DOI: 10.32417/1997-4868-2021-214-11-8-19.
 11. Pitonya V.N., Pitonya A.A. Adaptability and stress resistance assessment of spring barley varieties for the Volgograd region. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal. = Scientific Agronomy Journal*, 2022, no. 1 (116), pp. 15–18. (In Russian). DOI: 10.34736/FNC.2022.116.1.003.15-18.
 12. Pushkarev D.V., Chursin F.S., Kuzmin O.G., Krasnova Yu.S., Karakoz I.I., Shamanin V.P. Variability of climatic factors and yield of spring wheat varieties in the steppe zone of the Omsk region. *Vestnik Omskogo GAU = Vestnik of Omsk SAU*, 2018, no. 2 (30), pp. 39–45. (In Russian).
 13. 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, no. 18 (1), pp. 89–102. DOI: 10.17816/ecogen16128.
 14. Lyubimova A.V., Mamaeva V.S., Menshchikova A.A. Genetic drought resistance of modern oat varieties as a response to global climate change. *Agrarnyi vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2022, no. 6 (221), pp. 49–59. (In Russian). DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-49-59.
 15. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Aniskov N.I., Safonova I.V. Ecological response of spring barley varieties to abiotic and biotic factors in the southern forest-steppe of the Omsk region. *Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki = Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021, no. 1 (25), pp. 224–235. (In Russian). DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-224-235.
 16. Petrova L.V. *Breeding of oats in the conditions of Yakutia*. Novosibirsk, 2018, 135 p. (In Russian).
 17. Lobanov V.A., Kirillina K.S. *Modern and future climate changes in the Republic of Sakha (Yakutia)*. St. Petersburg, RSHMU, 2019, 157 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

✉ **Петрова Л.В.**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 677001, Республика Саха (Якутия), Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, 23/1; e-mail: pelidia@yandex.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Lidiya V. Petrova**, Candidate of Science in Agriculture, Senior Researcher; **address:** 23/1, Bestuzhev-Marlinskiy St., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677001, Russia; e-mail: pelidia@yandex.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 21.12.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 01.02.2024
Дата публикации / Published 20.03.2024