

Научная статья

УДК 633.63:631.92

DOI 10.24888/2541-7835-2024-32-108-114

## ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ОТ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

**Исмагилов Камиль Рафаэлевич**<sup>1✉</sup>

<sup>1</sup>Уфимский научно-исследовательский центр Российской академии наук,  
Республика Башкортостан, Уфа, Россия

<sup>1</sup>ismagilovk@mail.ru<sup>✉</sup>

**Аннотация.** Цель исследования состояла в количественной оценке характера и степени влияния гидротермических условий на формирование урожайности сахарной свеклы на территории Республики Башкортостан. Исследования проводились с использованием статистической информации Росстат за 2000-2022 гг. и данных температуры воздуха и осадков на территории республики. Объектом исследования была сахарная свекла (*Beta vulgaris*). Установлено, что в последние годы урожайность сахарной свеклы в Республике Башкортостан закономерно повышается, и ее ежегодный прирост составляет 9,549 ц/га. В основном это обусловлено влиянием агроклиматических ресурсов, а именно влаги и тепла на процесс формирования урожая. Зависимость дисперсии урожайности относительно тренда имеет криволинейную форму в виде параболы. При сумме осадков в пределах 200-364 мм в течение вегетационного периода урожайность формируется выше тренда и достигает максимального значения при сумме осадков 282 мм. В целом увеличение тепловых ресурсов негативно сказывается на формировании урожая сахарной свеклы. Сумма температур в вегетационный период (выше 10 °С) в пределах 2400-2600 °С является оптимальной для формирования урожайности сахарной свеклы на территории Республики Башкортостан. Зависимость урожайности от гидротермического коэффициента имеет форму одновершинной кривой ( $\eta = 0,678$ ), при величине данного показателя в интервале от 0,77 до 1,46 урожайность сахарной свеклы повышается, и максимальная прибавка достигается при величине гидротермического коэффициента, равного 1,11.

**Ключевые слова:** сахарная свекла, урожайность, гидротермические условия, Республика Башкортостан

**Для цитирования:** Исмагилов К.Р. Зависимость урожайности сахарной свеклы от гидротермических условий в Республике Башкортостан // Агропромышленные технологии Центральной России. 2024. № 2(32). С. 108-114. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2024-32-108-114>.

Original article

## DEPENDENCE OF SUGAR BEET YIELD ON HYDROTHERMAL CONDITIONS IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

**Kamil R. Ismagilov**<sup>1✉</sup>

<sup>1</sup>Ufa Research Center of the Russian Academy of Sciences, Republic of Bashkortostan, Ufa, Russia

<sup>1</sup>ismagilovk@mail.ru<sup>✉</sup>

**Abstract.** The purpose of the study was to quantify the nature and degree of influence of hydrothermal conditions on the formation of sugar beet yields in the Republic of Bashkortostan. The research was carried out using statistical information from Rosstat for 2000-2022 and data on air temperature and precipitation in the republic. The object of the study was sugar beet (*Beta vulgaris*). It has been established that in recent years the yield of sugar beet in the Republic of Bashkortostan has been naturally increasing and its annual increase is 9.549 centners per hectare. The dependence of yield variance on the trend has a curvilinear shape in the form of a parabola. With the amount of precipitation in the range of 200-364 mm during the growing season, the yield is formed above the trend and reaches the maximum value with the amount of precipitation of 282 mm. The sum of temperatures during the vegetation period (above 10°C) in the range of 2400-2600°C is optimal for the formation of sugar beet yield on the territory of the Republic of Bashkortostan. The dependence of yield on

the hydrothermal coefficient has the form of a single-vertex curve ( $\eta=0,678$ ), with the value of this indicator in the range from 0,77 to 1,46, the yield of sugar beet increases, and the maximum increase is achieved at the value of the hydrothermal coefficient equal to 1,11.

**Keywords:** sugar beet, yield, hydrothermal conditions, Republic of Bashkortostan

**For citation:** Ismagilov K.R. Dependence of sugar beet yield on hydrothermal conditions in the Republic of Bashkortostan. *Agro-industrial technologies of Central Russia*, 2024, no. 2(32), pp. 108-114. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2024-32-108-114>.

## Введение

Сахарная свекла в Башкортостане возделывается в последние годы (2010-2022 гг.) на площади 41 тыс. га. Финансовое положение и конкурентоспособность свеклосеющих хозяйств и в целом растениеводства республики в значительной мере зависят от урожайности и эффективности возделывания сахарной свеклы. Особенно чувствительно к конкурентной напряженности свекловодство республики вследствие недостаточно благоприятных природных условий [3, 4]. Урожайность и валовые сборы корнеплодов сахарной свеклы в Республике Башкортостан подвержены значительному колебанию по годам, что приводит к неустойчивости отрасли свекловодства и экономического положения свеклосеющих хозяйств. Многими исследованиями установлено влияние климатических условий на рост и развитие растений [12], урожайность сельскохозяйственных культур, в том числе, сахарной свеклы [6, 8]. Основными агроклиматическими ресурсами, влияющими на продуктивность сахарной свеклы, являются, в первую очередь, тепло и влага [7]. Например, в Центральной черноземной зоне доля влияния погодных условий на урожайность сахарной свеклы составляет 51 % [1].

Анализ влияния агроклиматических условий на особенности роста и развития растений, продуктивность сельскохозяйственных культур дает возможность научно прогнозировать производство определенного количества сельскохозяйственной продукции необходимого качества, а также оценить биологическую эффективность и сельскохозяйственный потенциал региона [9], оптимизировать размещение полевых культур на территории [5], адаптировать технологию возделывания полевых культур [11, 14], создавать и использовать гибриды для определенных регионов [3]. Несмотря на значительную роль агроклиматических ресурсов в настоящее время отсутствует научная информация о степени и характере их влияния на формирование урожая сахарной свеклы на территории Республики Башкортостан. В этой связи нами проводились исследования с целью количественной оценки характера и степени влияния агроклиматических ресурсов на формирование урожайности сахарной свеклы на территории Республики Башкортостан.

## Объект и методы исследований

Объектом исследования была сахарная свекла (*Beta vulgaris*). Исследование проводилось с использованием статистической информации урожайности сахарной свеклы в 23 муниципальных районах в 2000-2022 гг. и данных температуры воздуха и атмосферных осадков гидрометеостанции на территории предуральской степи Башкортостана. В предуральской степи республики, где возделывается сахарная свекла, преобладают черноземы типичные, типичные карбонатные (более 53%) и выщелоченные (более 37 %). Мощность гумусового горизонта данных почв – 45-60 см и содержание гумуса – 7-9 %. Сахарная свекла в республике возделывается в свекловичных севооборотах со следующим чередованием культур: пар чистый, озимая рожь, сахарная свекла, яровая пшеница.

Гидротермические условия в годы проведения исследований были разными. Сумма осадков за вегетационный период колебалась от 68 мм (2010 г.) до 327 мм (2013 г.). Сравнительно засушливыми были 2006, 2009, 2012, 2014, 2020 годы и очень засушливыми – 2010 и 2021 годы, влажными – 2002, 2007, 2009, 2011, 2013 и 2017 годы. Гидротермический коэффициент рассчитывали по Г.Т. Селянинову, коэффициент вариации урожайности

( $C_v$ ) – делением среднеквадратического отклонения ( $\sigma$ ) на среднее арифметическое величины данного показателя. Для количественного анализа применялись корреляционный и регрессионный методы, а также методы выравнивания рядов динамики. Тесноту прямолинейной связи оценивали коэффициентом корреляции ( $r$ ), криволинейной связи – коэффициентом корреляционного отношения ( $\eta$ ). Для вычленения влияния на урожайность агроклиматических факторов и факторов интенсификации нами построен временный ряд и тренд изменения урожайности в изучаемом интервале времени (2000-2020 гг.). Статистический анализ проводили с использованием компьютерной программы Excel.

### Результаты исследований и их обсуждение

Исследования показали, что урожайность сахарной свеклы в Республике Башкортостан подвержена сильному колебанию, коэффициент вариации данного показателя составил 36,4% (рис. 1). В то же время статистическим анализом выявлено закономерное повышение урожайности сахарной свеклы в республике в 2000-2022 годы. Коэффициент детерминации урожайности сахарной свеклы от года возделывания составил 0,616, что указывает на наличие устойчивого прямолинейного тренда урожайности (рис. 1).

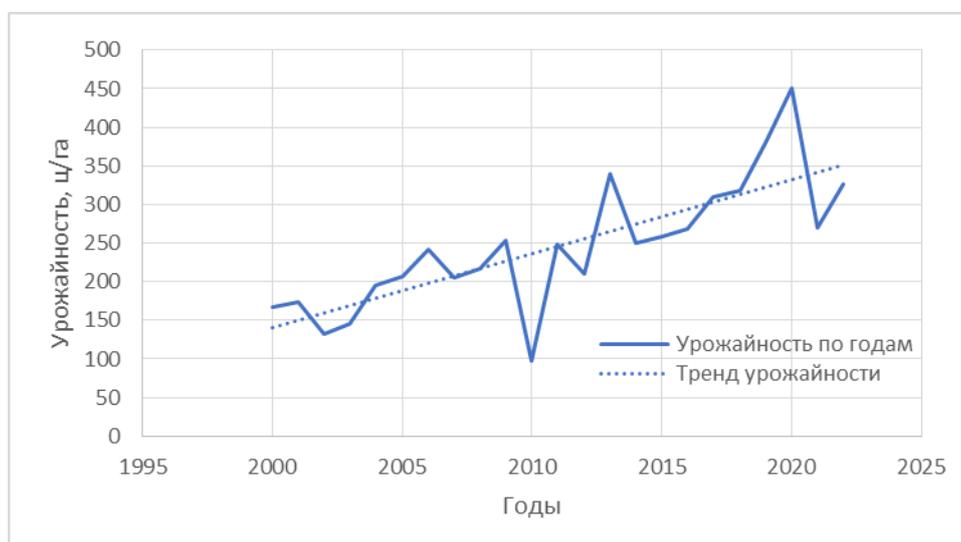


Рисунок 1. Колебание урожайности сахарной свеклы по годам и ее тренд в 2000-2022 гг. в Республике Башкортостан

Уравнение регрессии тренда урожайности за данный период (1) имеет следующий вид:

$$Y = 9,549x + 131,37, \quad (1)$$

где

$Y$  – урожайность корнеплодов сахарной свеклы, ц/га;

$x$  – год.

Согласно данному уравнению регрессии, ежегодный прирост урожайности сахарной свеклы в республике составляет 9,549 ц/га. Такая положительная тенденция урожайности происходит благодаря использованию высокопродуктивных и технологичных гибридов первого поколения  $F_1$ , использованию однострочковых дражированных семян с высокими посевными качествами, механизации всех технологических операций возделывания, применению эффективных средств защиты растений [13].

Наряду с достоверным ростом урожайности сахарной свеклы в данный интервал времени, урожайность подвержена значительному колебанию по годам относительно тренда (рис. 1), что подтверждает и высокое среднеквадратическое отклонение урожайности от тренда ( $\sigma = 46,2$  ц/га). Исследования показали, что отклонение урожайности по годам от

тренда вызвано в основном влиянием агроклиматических ресурсов на процесс формирования урожая.

Среди агроклиматических ресурсов наибольшее влияние на урожайность на территории республики с континентальным климатом оказывают «влага» и «тепло». Сумма атмосферных осадков за вегетационный период (май-сентябрь) – один из основных источников агроклиматического ресурса «влага», который в значительной степени определяет урожайность сахарной свеклы ( $\eta = 0,642$ ). Зависимость дисперсии урожайности сахарной свеклы имеет криволинейную форму в виде параболы и наиболее точно описывается следующим уравнением регрессии (2):

$$Y = -0,00272x^2 + 1,523x - 196,78, \quad (2)$$

где

$Y$  – величина отклонения урожайности сахарной свеклы от тренда, ц/га;

$x$  – сумма осадков за период «май-сентябрь», мм.

Сумма осадков за вегетационный период меньше 200 мм и больше 364 мм приводит к формированию урожайности ниже тренда. При выпадении атмосферных осадков в пределах 200-364 мм урожайность формируется выше тренда и достигает максимальной величины при сумме осадков 282 мм. Исходя из данных результатов, можно считать, что оптимальное количество атмосферных осадков для сахарной свеклы составляет 200-364 мм за период вегетации. Имеются результаты исследования, где установлено оптимальное количество осадков за весь период вегетации сахарной свеклы (не менее 350-450 мм) [9].

Как показал статистический анализ, атмосферные осадки в мае, июне и августе оказывают сравнительно небольшое положительное влияние на урожайность сахарной свеклы. По сравнению с начальным периодом роста и развития растений, существенно повышается урожайность при увеличении количества осадков во второй половине вегетации (июль, август), когда происходит накопление органического вещества в корнеплодах. Именно в данный период сахарная свекла потребляет наибольшее количество воды [10]. Коэффициент корреляции взаимосвязи величины отклонения урожайности от тренда и суммы осадков в июле месяце составил 0,486 и в августе 0,432. Дожди в конце вегетации и уборки сахарной свеклы, наоборот, отрицательно сказываются на ее урожайности ( $r = -0,358$ ).

Повышение температуры воздуха в отдельные периоды вегетации отрицательно сказывается на формировании урожайности сахарной свеклы. Негативное влияние повышенной температуры воздуха на формирование урожайности обусловлено в основном ухудшением влагообеспеченности растений в условиях континентального климата на территории республики. Особенно высокая температура воздуха в период интенсивного роста корнеплода (месяц август) приводит к существенному снижению урожайности сахарной свеклы ( $r = -0,577$ ). При этом повышение среднесуточной температуры воздуха на  $1^\circ\text{C}$  вызывает недобор урожая 11,29 ц/га.

Установлена отрицательная зависимость дисперсии урожайности сахарной свеклы от суммы активных температур (выше  $10^\circ\text{C}$ ) за период «май-сентябрь» ( $r = -0,566$ ). Форма данной зависимости прямолинейная и описывается следующим уравнением регрессии (3):

$$Y = -0,1716x + 448,08, \quad (3)$$

где

$Y$  – величина отклонения урожайности сахарной свеклы от тренда, ц/га;

$x$  – сумма активных температур (выше  $10^\circ\text{C}$ ) за период «май-сентябрь»,  $^\circ\text{C}$ .

Из данного уравнения следует, что повышение суммы активных температур в вегетационный период на  $100^\circ\text{C}$  вызывает снижение урожайности на 17,16 ц/га. При сумме температур выше  $2600^\circ\text{C}$  урожайность формируется ниже урожайности тренда. Следовательно, можно сделать заключение о том, что сумма температур в пределах  $2400$ - $2600^\circ\text{C}$  является оптимальной для формирования урожайности сахарной свеклы на территории Республики Башкортостан.

Интегральным показателем основных агроклиматических ресурсов (тепло и влага) является гидротермический коэффициент Селянинова. Исследования показали на достаточно сильную зависимость урожайности сахарной свеклы от гидротермического коэффициента ( $\eta = 0,678$ ), и она имеет форму одновершинной кривой (рис. 2).

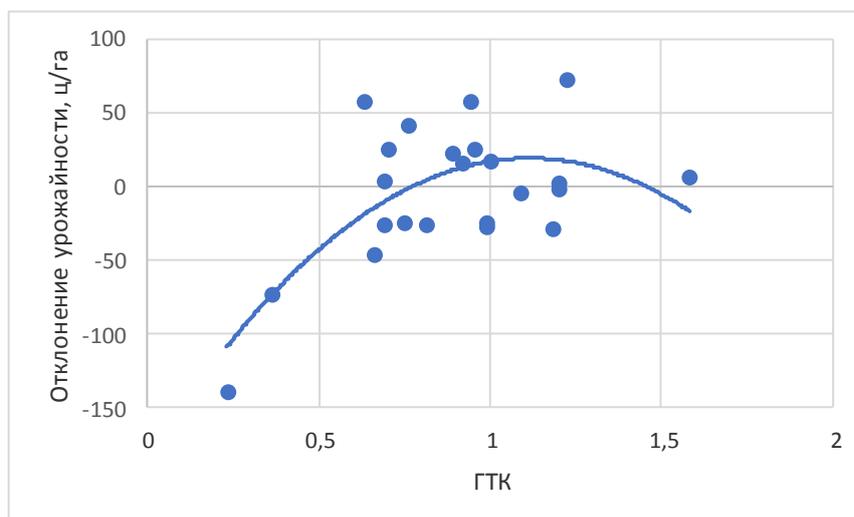


Рисунок 2. Зависимость величины отклонения урожайности сахарной свеклы (от тренда) от гидротермического коэффициента (ГТК) вегетационного периода «май-сентябрь»

Данная зависимость наиболее надежно описывается следующим уравнением регрессии (4):

$$Y = -164,33x^2 + 365,94x - 184,21, \quad (4)$$

где

$Y$  – величина отклонения урожайности сахарной свеклы от тренда, ц/га;  
 $x$  – гидротермический коэффициент в период «май-сентябрь».

При повышении гидротермического коэффициента до 0,77 урожайность повышается, при уменьшении до 1,46 урожайность снижается и приближается к тренду (рис. 2). Гидротермический коэффициент в интервале от 0,77 до 1,46 благоприятный для формирования урожайности сахарной свеклы, и максимальная прибавка урожайности достигается при его значении, равной 1,11. В то время Л. М. Карпук [7] считает, что оптимальным гидротермическим коэффициентом формирования высокопродуктивных посевов сахарной свеклы равен 1,2-1,5, а по данным Е.В.Жерякова [2] – 1,19. Расхождение в величине оптимального гидротермического коэффициента разных авторов, вероятно, обусловлено неодинаковым уровнем других факторов формирования урожая сахарной свеклы на территории проведения исследований.

### Выводы

1. В последние годы урожайность сахарной свеклы в Республике Башкортостан закономерно повышается, и ежегодный прирост ее составляет 9,549 ц/га. В то же время урожайность сахарной свеклы колеблется около тренда, что вызвано в основном влиянием агроклиматических ресурсов, а именно влаги ( $\eta = 0,642$ ) и тепла ( $r = -0,566$ ) на процесс формирования урожая.

2. Зависимость дисперсии урожайности относительно тренда имеет криволинейную форму в виде параболы. При выпадении атмосферных осадков в пределах 200-364 мм в период вегетации урожайность формируется выше тренда, и достигает она максимальной величины при сумме осадков 282 мм. Сумма температур в вегетационный период (выше 10 °С)

в пределах 2400-2600 °С является оптимальной для формирования урожайности сахарной свеклы на территории Республики Башкортостан.

3. Агроклиматические условия формирования урожайности сахарной свеклы на территории республики более точно характеризует интегральный показатель – гидротермический коэффициент ( $\eta = 0,678$ ). Зависимость дисперсии урожайности от гидротермического коэффициента имеет форму одновершинной кривой; в интервале величины данного показателя от 0,77 до 1,46 урожайность сахарной свеклы выше тренда, и максимальная прибавка урожайности достигается при значении гидротермического коэффициента, равного 1,11.

#### **Список источников**

1. Влияние агротехнических и погодных условий возделывания сахарной свеклы на урожайность и технологическое качество корнеплодов в ЦЧР / О.К. Боронтов, Л.Н. Путилина, П.А. Косякин, Е.Н. Манаенкова // Сахарная свекла. 2021. № 3. С.12-17.
2. Жеряков Е.В., Котлов С.А., Рожков С.С. Урожайность и адаптивность различных типов гибридов сахарной свеклы в условиях Пензенской области // Успехи современной науки. 2016. Т. 5. № 10. С. 141-145.
3. Жеряков Е.В. Моделирование продуктивности гибридов сахарной свеклы с учетом их адаптационных особенностей в условиях лесостепи среднего Поволжья // Нива Поволжья. 2018. № 4(49). С.33-41.
4. Исмагилов К.Р., Исламгулов Д.Р. Состояние и экономическая эффективность производства сахарной свеклы в Республике Башкортостан // Фундаментальные исследования. 2016. № 5-2. С. 329-333.
5. Исмагилов К. Р. Ресурсы тепла и размещение посевов кукурузы на Южном Урале // International Agricultural Journal. 2019. Т. 62. № 4. С. 6.
6. Камиланов А.А., Исламгулов Д.Р. Влияние природно-климатических условий на урожайность и сахаристость корнеплодов сахарной свеклы // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2022. № 2(62). С. 6-9.
7. Карпук Л.М., Вахний С.П., Крикунова Е.В. Продуктивность сахарной свеклы в зависимости от гидротермических условий вегетационного периода // Агробиология. 2015. № 2(121). С.23-28.
8. Мусаев Ф.А., Захарова О.А. Зависимость урожайности ячменя от ГТК и удобрений // Успехи современного естествознания. 2016. № 2. С. 89-97.
9. Немцев С. Н., Шарипова Р. Б. Агроклиматические ресурсы, их изменение и экологические ограничения вегетационного периода Ульяновской области // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 3. С.10-14.
10. Bastaubayeva S.O., Tabynbayeva L.K., Yerzhebayeva R.S., Konusbekov K., Abekova A.M, Bekbatyrov M.B. Climatic and agronomic impacts on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) production. SABRAO // J. Breed. Genet. 2022. No. 54(1). P.141-152.
11. Islamgulov D., Alimgafarov R., Ismagilov R. Productivity and technological features of sugar beet root crops when applying of different doses of nitrogen fertilizer under the conditions of the middle Cis-Ural region // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2019. Vol. 25. No. Suppl. 2. Pp. 90-97.
12. Lamichhane J.R., Debaeke P., Steinberg C. Abiotic and biotic factors affecting crop seed germination and seedling emergence: a conceptual framework // Plant Soil. 2018. Vol. 432. No. 1. Pp. 1-28.
13. Lubova T. N., Islamgulov D. R., Ismagilov K. R. Economic efficiency of sugar beet production // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13. No. 8. Pp. 6565-6569.
14. Petkeviciene B. The effects of climate factors on sugar beet early sowing timing // Agronomy Research. 2009. No.7. Pp. 436-443.

### References

1. The influence of agrotechnical and weather conditions of sugar beet cultivation on the yield and technological quality of root crops in the Central Asian Republic. O.K. Borontov, L.N. Putilina, P.A. Kosyakin, E.N. Manaenkova. Sugar beet, 2021, no. 3, pp. 12-17.
2. Zheryakov E.V., Kotlov S.A., Rozhkov S.S. Productivity and adaptability of various types of sugar beet hybrids in the Penza region. Successes of modern science, 2016, vol. 5. no. 10, pp. 141-145.
3. Zheryakov E.V. Modeling the productivity of sugar beet hybrids taking into account their adaptive features in the conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region. Niva of the Volga region, 2018, no. 4(49), pp. 33-41.
4. Ismagilov K.R., Islamgulov D.R. The state and economic efficiency of sugar beet production in the Republic of Bashkortostan. Fundamental research, 2016, no. 5-2, pp. 329-333.
5. Ismagilov K. R. Heat resources and placement of corn crops in the Southern Urals. International Agricultural Journal, 2019, vol. 62, no. 4. p. 6.
6. Kamilanov A.A., Islamgulov D.R. The influence of natural and climatic conditions on the yield and sugar content of sugar beet root crops. Bulletin of the Bashkir State Agrarian University, 2022, no. 2(62), pp. 6-9.
7. Karpuk L.M., Vakhniy S.P., Krikunova E.V. Productivity of sugar beet depending on hydrothermal conditions of the growing season. Agrobiology, 2015, No. 2(121), pp.23-28.
8. Musaev F.A., Zakharova O.A. Dependence of barley yield on GTC and fertilizers. Successes of modern natural science, 2016, no. 2, pp. 89-97.
9. Nemtsev S. N., Sharipova R. B. Agro-climatic resources, their change and environmental restrictions of the growing season of the Ulyanovsk region. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex, 2021, vol. 35, no. 3, pp.10-14.
10. Bastaubayeva S.O., Tabynbayeva L.K., Yertzhebayeva R.S., Konusbekov K., Abekova A.M, Bekbatyrov M.B. Climatic and agronomic impacts on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) production. SABRAO. J. Breed. Genet, 2022, no. 54(1), p.141-152.
11. Islamgulov D., Alimgafarov R., Ismagilov R. Productivity and technological features of sugar beet root crops when applying of different doses of nitrogen fertilizer under the conditions of the middle Cis-Ural region. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 2019, vol. 25, no. suppl. 2, pp. 90-97.
12. Lamichhane J.R., Debaeke P., Steinberg C. Abiotic and biotic factors affecting crop seed germination and seedling emergence: a conceptual framework. Plant Soil, 2018, vol. 432, no. 1, pp. 1-28.
13. Lubova T. N., Islamgulov D. R., Ismagilov K. R. Economic efficiency of sugar beet production. Journal of Engineering and Applied Sciences, 2018, vol. 13, no. 8, pp. 6565-6569.
14. Petkeviciene B. The effects of climate factors on sugar beet early sowing timing. Agronomy Research, 2009, no. 7, pp. 436-443.

### Информация об авторе

**К.Р. Исмагилов** – кандидат экономических наук, доцент, заведующий лабораторией селекции и семеноводства пшеницы.

### Information about the authors

**K.R. Ismagilov** – Candidate of economic sciences, associate professor, head of the laboratory of selection and seed production of wheat.