

**АГРОНОМИЯ**  
**AGRONOMY**

Научная статья

УДК 633.35(571.1)

doi : 10.34655/bgsha.2023.70.1.001

**ВЛИЯНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ  
И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОЛИВИДОВЫХ ПОСЕВОВ  
В ПОДТАЙГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

**Александр Владимирович Банкрутенко**

Тарский филиал ФГБОУ ВО «Омский ГАУ им. П.А. Столыпина», Тара, Россия  
bankrutav@mail.ru

**Аннотация.** В статье приведены результаты изучения влияния агроклиматических ресурсов на урожайность и продуктивность поливидовых посевов в подтайге Западной Сибири, в частности в подтаежной зоне Омской области. При этом установлены математические зависимости урожайности и продуктивности поливидовых посевов от одиночного и комплексного влияния агроклиматических ресурсов. Для установления таких зависимостей были использованы метеорологические данные ГМС г. Тары за период с 2007 по 2021 г. и собственные результаты полевых исследований с поливидовыми посевами. В результате установлено, что климатические условия Омской области отличаются относительной нестабильностью. Факторами, тормозящими возделывание сельскохозяйственных культур в подтаежной зоне Омской области, где проводились исследования, являются недостаточное количество тепла и очень короткий безморозный период. К неблагоприятным особенностям климата зоны относятся большое количество ненастных дней в период уборки и низкая среднесуточная температура, вследствие чего задерживается созревание и затрудняется уборка урожая. Холодная и влажная погода, а также ранние заморозки заметно снижают качество получаемой продукции. В наших исследованиях в качестве агроклиматических показателей использовались средняя, максимальная, минимальная температура воздуха, суммы температуры выше 5 и 10°C, количество выпавших осадков и относительная влажность воздуха за период вегетации культур в поливидовых посевах. Роль агроклиматических факторов в формировании урожая смешанных посевов огромна, поэтому необходимо производить их детальный анализ и учитывать совместное действие, так как зависимость урожайности от климатических факторов во многом носит нелинейный характер. В результате исследований установлены корреляционно-регрессионные зависимости и выведены уравнения регрессии зависимостей сбора урожайности зеленой массы смеси овса + кормовые бобы и ее продуктивности от агроклиматических условий, позволяющих спрогнозировать выход продукции, в среднем, с погрешностью от ±4 до ±10%.

**Ключевые слова:** агроклиматические ресурсы, поливидовые посевы, лимитирующие факторы, прогнозирование, зависимости, подтаежная зона, Западная Сибирь.

---

Original article

## THE INFLUENCE OF AGRO-CLIMATIC RESOURCES ON THE YIELD CAPACITY AND PRODUCTIVITY OF POLY-SPECIES CROPS IN THE SUBTAIGA OF WESTERN SIBERIA

**Alexander V. Bankutenko**

Tara branch of the Omsk State University named after P.A. Stolypin, Tara, Russia  
bankrutav@mail.ru

**Abstract.** The article presents the results of studying the influence of agro-climatic resources on the yield capacity and productivity of poly-species crops in the subtaiga of Western Siberia, particularly in the subtaiga zone of the Omsk region. Mathematical dependences of the yield capacity and productivity of poly-species crops on the single and complex influence of agro-climatic resources are established. To establish such dependencies, meteorological data of the HMS of the city of Tara for the period from 2007 to 2021 and own results of field studies with poly-species crops were used. It was found that the climatic conditions of the Omsk region are characterized by relative instability. Factors hindering the cultivation of agricultural crops in the subtaiga zone of the Omsk region, where studies were conducted, are insufficient amount of heat and a very short frost-free period. The unfavorable climatic features of the zone include a great number of rainy days during the harvesting period and a low average daily temperature, as a result ripening is delayed and harvesting is difficult. Cold and wet weather, as well as early frosts significantly reduce the quality of the products obtained. In our studies, the average, maximum, minimum air temperatures, the sum of temperatures above 5 and 10 °C, the amount of precipitation and relative humidity during the growing season of crops in poly-species crops were used as agro-climatic indicators. The role of agro-climatic factors in the formation of the yield of mixed crops is huge, so it is necessary to make a detailed analysis of them and take into account the joint action, since the dependence of yield on climatic factors is largely nonlinear. As the result of the research, correlation and regression dependencies were established and regression equations were derived for the dependence of the yield of the green mass of the mixture of oats and fodder beans and its productivity on agro-climatic conditions, allowing to predict the output of products on average with an error of  $\pm 4$  to  $\pm 10\%$ .

**Keywords:** agro-climatic resources, poly-species crops, limiting factors, forecasting, dependencies, subtaiga zone, Western Siberia.

**Введение.** В настоящее время большое внимание в Российской Федерации уделяется продовольственной безопасности. Стратегической задачей в агропромышленном комплексе является обеспечение населения страны собственными продуктами питания, при этом развитие растениеводства и животноводства будет приоритетным. Получение высокого качества животноводческой продукции ни в одном регионе России, в т.ч. и в Западной Сибири, невозможно без создания прочной и стабильной кормовой базы [1-4].

На протяжении многих десятилетий корма в регионах имели среднее, а иногда и низкое качество, не отвечающее современным отраслевым и государственным стандартам. Хотя в научных учреж-

дениях и вузах страны велись и ведутся научно-исследовательские работы по улучшению технологий возделывания и получению кормов из различных культур, при этом результаты опытов просто отличные, но многие из них дальше защиты диссертаций не идут. На практике все не так хорошо. По данным агрохимических обследований кормов (сена, сенажа, силоса, зеленой массы) в хозяйствах, как говорилось уже выше, их качество низкое. Многие руководители и агрономы предприятий гонятся за количеством кормов, пренебрегая при этом качеством, поэтому в целом выход животноводства (удои молока, качество молочной продукции, среднесуточный привес живой массы) остается невысоким [5-7].

В современных условиях ведения сельского хозяйства необходим детализированный и комплексный подход к подбору сельскохозяйственных культур для формирования кормовой базы [8, 9]. В связи с этим культуры должны быть приспособлены по биологическим требованиям к почвенно-климатическим условиям регионов возделывания.

**Целью** наших исследований являлось изучение влияния агроклиматических ресурсов на урожайность и продуктивность поливидовых посевов в подтайге Западной Сибири, в частности в подтаежной зоне Омской области. Главной же задачей было установление математических зависимостей урожайности и продуктивности поливидовых посевов от одиночного и комплексного влияния агроклиматических ресурсов.

**Объект и методы исследований.** Объект исследования – поливидовые посевы (овес + кормовые бобы, ячмень – кормовые бобы). Место проведения исследований – подтаежная зона Омской области; почва – серая лесная. предшественник – зерновые яровые культуры.

Полевые опыты закладывались согласно Методическим указаниям по проведению полевых опытов с кормовыми культурами [10]. Математическая обработка данных за период с 2007 по 2021 г. и установление зависимостей выполнялась методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов в изложении Б.А. Доспехова [11] в табличном процессоре Microsoft Excel [12].

**Результаты исследований.** Агроклиматические ресурсы – система климатических показателей, которыми располагает какая-либо территория для получения сельскохозяйственной продукции. Эти показатели представляют собой количественно выраженную связь между климатическими факторами и объектами сельского хозяйства [13].

Климатические условия Омской области отличаются относительной нестабильностью. Факторами, тормозящими возделывание сельскохозяйственных культур в подтаежной зоне Омской области, где про-

водились исследования, являются недостаточное количество тепла и очень короткий безморозный период – 100...120 дней, в отдельные годы – от 70 до 150 дней. К неблагоприятным особенностям климата зоны относится большое количество ненастных дней в период уборки и низкая среднесуточная температура, вследствие чего задерживается созревание и затрудняется уборка урожая. Холодная и влажная погода, а также ранние заморозки заметно снижают качество получаемой продукции [14].

В связи с тем, что тепло является лимитирующим фактором для роста и развития растений в подтайге Омской области, то без оценки ресурсов тепла не может считаться завершенной практически ни одна агроклиматическая разработка.

В наших исследованиях в качестве агроклиматических показателей использовались средняя, максимальная, минимальная температура воздуха суммы температуры выше 5 и 10°C, количество выпавших осадков и относительная влажность воздуха за период вегетации культур в поливидовых посевах. Подбор культур в смеси проводился с учетом их биологических особенностей, которые практически полностью совпадают с агроклиматическими условиями зоны, поэтому, в целом, возделывать овес, ячмень и кормовые бобы в условиях подтайги Омской области целесообразно как в одновидовых, так и в поливидовых посевах.

Климатические условия, сложившиеся в 2007-2016 и 2018-2020 годах благоприятно сказались на росте и развитии компонентов в поливидовых посевах. Так:

- среднесуточный температурный режим в вегетационный период находился в пределах от 15,6 до 18,3°C, что соответствовало хозяйственно благоприятным температурам формирования вегетативных органов кормовых бобов, которые, в основном, определяли урожайность зеленой массы в смеси с овсом ( $r = 0,91 \pm 0,08$ ) и ячменем ( $r = 0,93 \pm 0,07$ );

- колебание атмосферных осадков в течение вегетации культур в смесях было от 178,0 до 138,6 мм. В период «посев -

всходы» набухание и прорастание семян растений шло благоприятно, так как влаги в данный момент было в оптимальном количестве. Далее ростовые процессы замедлились из-за нехватки влаги, но в период «бутонизация – начало цветения» кормовых бобов выпало достаточное количество атмосферных осадков, это позволило при одновременном действии высоких среднесуточных температур собрать наибольшие урожаи зеленой массы. Если сравнивать смеси овес + кормовые бобы и ячмень + кормовые бобы, то, в среднем, по годам урожайность зеленой массы была 31,2 и 29,5 т/га соответственно;

- то, что касается суммы температур выше 10°C в сложившихся погодных условиях, то она находилась в тех пределах, в которых данные растения смеси оптимально растут и развиваются (1200–1550°C).

В результате наших исследований лучшей по всем агрономическим показателям была смесь овес + кормовые бобы. Так, урожайность зеленой массы, в среднем, составила 31,2 т/га, сбор абсолют-

но сухого вещества – 8,21 т/га, кормовых единиц – 6,23 т/га и переваримого протеина – 120,8 т/га. Анализируя полученные многолетние данные, мы попытались установить математическую зависимость влияния агроклиматических показателей на урожайность зеленой массы и ее продуктивность, в частности на переваримый протеин в смеси овса с кормовыми бобами. При этом оценку установили как по одиночному влиянию факторов, так и по комплексному.

Среди группы факторов наиболее сильное одиночное значение на сбор зеленой массы смеси оказала среднесуточная температура воздуха ( $r = 0,65 \pm 0,14$ ) и относительная влажность воздуха ( $r = 0,70 \pm 0,11$ ). Такая же закономерность прослеживается и при влиянии на качественные показатели зеленой массы. То есть, с увеличением среднесуточной температуры воздуха и относительной влажности шло увеличение урожайности качественной зеленой массы. Отдельные факторы существенного влияния на урожайность не оказали (табл. 1).

**Таблица 1** – Корреляционная зависимость урожайности зеленой массы и ее продуктивности смеси овес + кормовые бобы от влияния агроклиматических факторов в период вегетации

Показатели	Зеленая масса	Абс. сухое вещество	Кормовые единицы	Переваримый протеин
Среднесуточная температура воздуха, °C ( $t_{cp}$ )	$0,65 \pm 0,14$	$0,72 \pm 0,08$	$0,65 \pm 0,13$	$0,68 \pm 0,09$
Максимальная температура воздуха, °C ( $t_{max}$ )	$0,54 \pm 0,17$	$0,62 \pm 0,15$	$0,48 \pm 0,21$	$0,57 \pm 0,18$
Минимальная температура воздуха, °C ( $t_{min}$ )	$0,60 \pm 0,15$	$0,59 \pm 0,16$	$0,60 \pm 0,14$	$0,62 \pm 0,15$
Сумма температур выше 5°C ( $t_{\Sigma > 5^{\circ}C}$ )	$t_{факт} < t_{теор}$	$t_{факт} < t_{теор}$	$t_{факт} < t_{теор}$	$t_{факт} < t_{теор}$
Сумма температур выше 10°C ( $t_{\Sigma > 10^{\circ}C}$ )	$t_{факт} < t_{теор}$	$0,54 \pm 0,16$	$0,46 \pm 0,23$	$t_{факт} < t_{теор}$
Сумма осадков, мм (v)	$t_{факт} < t_{теор}$	$t_{факт} < t_{теор}$	$t_{факт} < t_{теор}$	$t_{факт} < t_{теор}$
Относительная влажность воздуха, % (w)	$0,70 \pm 0,11$	$0,74 \pm 0,07$	$0,83 \pm 0,06$	$0,71 \pm 0,07$

Все мы прекрасно понимаем, что действие одного фактора на урожайность зеленой массы и ее продуктивность не дает целостной картины, поэтому логично выразить данное действие через совокуп-

ность агроклиматических ресурсов, влияющих на рост и развитие культур в смеси:

1. Многофакторная прямолинейная регрессионная зависимость урожайности зеленой массы (Y) смеси овес + кормо-

вые бобы от группы агроклиматических факторов:

$$Y = 17,18 + 1,077 \cdot t_{cp} + 0,066 \cdot t_{max} + 0,160 \cdot t_{min} - 0,024 \cdot t_{\Sigma > 5^{\circ}C} + 0,005 \cdot t_{\Sigma > 10^{\circ}C} + \\ + 0,011 \cdot v + 0,178 \cdot w \quad (r = 0,92 \pm 0,07).$$

Данное регрессионное уравнение позволяет учитывать всю совокупность влияющих агроклиматических факторов на урожайность зеленой массы смеси овса + кормовые бобы, что в дальнейшем позволяет прогнозировать и программировать получение урожайности в подтаеж-

ной зоне Омской области с погрешностью  $\pm 6-10\%$ .

2. Двухфакторная криволинейная регрессионная зависимость урожайности зеленой массы ( $Y$ ) смеси овса + кормовые бобы от среднесуточной температуры ( $t_{cp}$ ) и количества выпавших осадков ( $v$ ):

$$Y = -1446,8 - 6,7 \cdot t_{cp} + 19,9 \cdot v + 2,8 \cdot t_{cp}^2 - 0,58 \cdot t_{cp} \cdot v - 0,03 \cdot v^2, \quad (r = 0,96 \pm 0,04)$$

Полученное уравнение позволяет давать прогноз выхода зеленой массы с отклонением  $\pm 4-5\%$ . Графически зависи-

мость выражается криволинейной поверхностью (рис. 1).

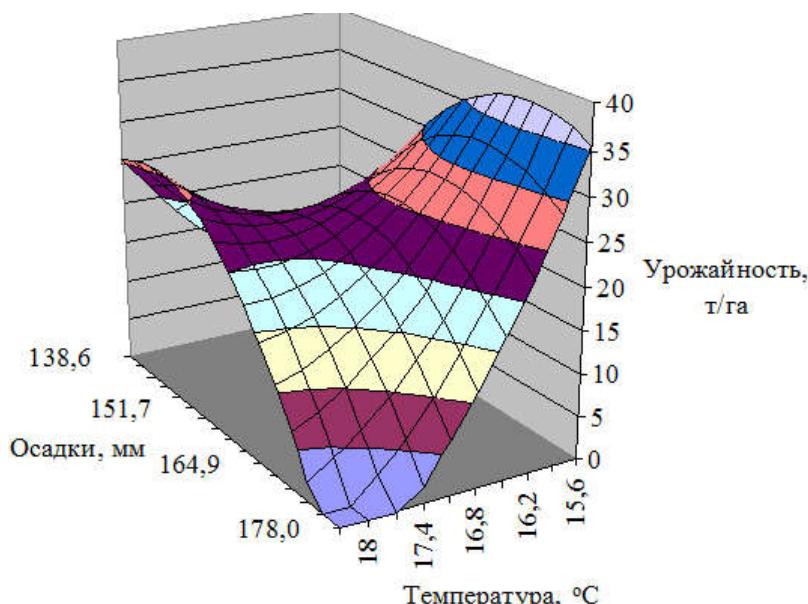


Рисунок 1. Зависимость урожая зеленой массы смеси кормовых бобов с овсом при совместном действии температуры и осадков

Аналогично можно формировать зависимости разных показателей продуктивности зеленой массы от разных погодных факторов. Так, например, зависимость

переваримого протеина (ПП) от среднесуточной температуры ( $t_{cp}$ ) и выпавших осадков ( $v$ ) выражается поверхностью (рис. 2) и уравнением:

$$ПП = -3436,2 - 21,2 \cdot t_{cp} + 48,3 \cdot v + 4,7 \cdot t_{cp}^2 - 0,92 \cdot t_{cp} \cdot v - 0,10 \cdot v^2, \quad (r = 0,94 \pm 0,03).$$

Таким образом, роль агроклиматических факторов в формировании урожая смешанных посевов огромна, поэтому необходимо производить их детальный анализ и учитывать совместное действие. При этом зависимость урожайности от агроклиматических факторов во многом носят, как показали исследования, нели-

нейный характер.

**Заключение.** Полученные уравнения регрессии зависимостей урожайности зеленой массы и ее продуктивности смеси овса + кормовые бобы позволяют прогнозировать выход продукции, в среднем, с погрешностью от  $\pm 4$  до  $\pm 10\%$ , но тут необходимо учитывать погодные особен-

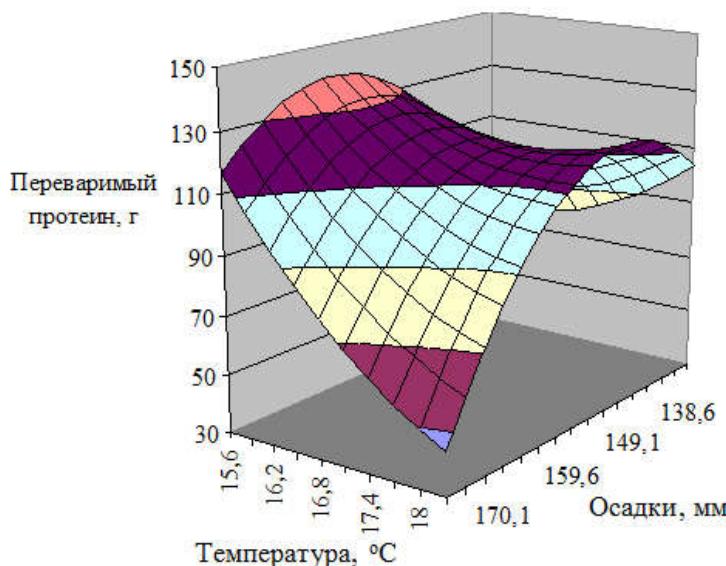


Рисунок 2. Зависимость сбора переваримого протеина смеси кормовых бобов с овсом при совместном действии температуры и осадков

ности конкретного года, так как каждый год неповторим.

Все-таки математические зависимости не являются идеальными, они лишь подтверждают полученные агрономические результаты, поэтому их нельзя рассматривать независимо, так как, кроме погодных условий, на растения в смеси влияют межвидовая конкуренция, биологические и морфологические особенности компонентов, содержание элементов питания в почве, солнечный свет и т.д.

#### Список источников

- Косолапов В.М., Трофимов И.А. Проблемы и перспективы развития кормопроизводства // Кормопроизводство. 2011. № 2. С. 4-7. EDN : NDEPRHH
- Банкрутенко А.В. Проблема кормов – проблема животноводства // Главный зоотехник. 2012. № 8. С. 10-13. EDN : PDQQYZ
- Банкрутенко А.В. Агротехнические приемы возделывания смесей кормовых бобов с мятыковыми культурами на корм в подтаежной зоне Западной Сибири: дис. канд. с.-х. наук: 06.01.01/ Банкрутенко Александр Владимирович. Омск: 2011. 200 с. EDN : QFDMYJ
- Коломеец И.А. Влияние сроков посева на зерновую продуктивность смешанных посевов в условиях лесостепи Алтайского Приобья // Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 1. С. 23-26. EDN :
5. Краснопёров А.Г., Буянкин Н.И., Анцифирова О.А. Совершенствование технологии возделывания смешанных посевов // Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции «Инновации в АПК: стимулы и барьеры». 2017. С. 165-171. EDN : ZQRWZJ
6. Благополучная О.А., Мамсиров Н.И. Влияние способов обработки почвы и минеральных удобрений на урожайность смешанных посевов однолетних бобово-злаковых культур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6 (110). С. 158-165. EDN : LYMLQD
7. Сальникова Е.А. Продуктивность и питательная ценность однолетних кормовых культур в чистых и смешанных посевах среднегорной зоны Республики Алтай // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (184). С. 52-56. EDN : XPVSZJ
8. Кузнецова Е.А. Влияние соотношения компонентов на урожайность смешанных посевов // Междисциплинарные исследования: Электронный сборник статей. 2017. С. 164-169. EDN : ZBCDXP
9. Королева Ю.С. Формирование урожайности злаковой травосмеси // Научное обеспечение интенсивного развития животноводства и кормопроизводства: сб. науч. статей по материалам 6-й международной науч.-практ. конф. Тверь : ЦНиОТ, 2016. С. 192-194. EDN : YIQLPF
10. Методика полевых опытов с кормовыми культурами / Всесоюз. НИИ кормов

- им. В.Р. Вильямса. М.[б. и.], 1983. 197 с.
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработкой результатов исследований) / Б.А. Доспехов. М.: Колос, 1973 (4-е изд., перераб. и доп.). 336 с. EDN : ZJTYLB
12. Банкрутенко А.В., Казанцев В.П. Статистическая обработка результатов научных исследований в агрономии : учеб. пособие. Омск : Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2009. 136 с. EDN : QLCLGX
13. Пищимко О.И., Гарафутдинова Л.В. Прогнозирование урожайности картофеля // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2022. № 4 (69). С. 15-22. EDN : HBAVCT
14. Ермохин Ю.И., Неклюдов А.Ф. Программирование урожая в Западной Сибири: учеб. пособие. Омск : Издательство ОмГАУ, 2002. 88 с. EDN : ZBTQAX

### References

1. Kosolapov V.M., Trofimov I.A. Problems and prospects of forage production development. *Fodder production*. 2011;2:4-7 (In Russ.)
2. Bankrutenko A.V. The problem of feed - the problem of animal husbandry. *Chief zootechnik*. 2012;8:10-13 (In Russ.)
3. Bankrutenko A.V. Agrotechnical methods of cultivating mixtures of fodder beans with bluegrass crops for feed in the taiga zone of Western Siberia. Candidate's Dissertation. Omsk, 2011. 200 p. (In Russ.)
4. Kolomeets I.A. Influence of sowing dates on grain productivity of mixed crops in the conditions of forest steppe of the Altai Ob region. *Bulletin of Youth Science of the Altai State Agrarian University*. 2020;1:23-26 (In Russ.)
5. Krasnoperov A.G., Buyankin N.I., Antsifirova O.A. Improvement of technology of cultivation of mixed crops. *Innovations in agriculture: incentives and barriers: Proc. of Int.* Sci. and Pract. Conf. 2017;165-171 (In Russ.)
6. Blagopoluchnaya O.A., Mamsirov N.I. Influence of soil treatment methods and mineral fertilizers on yield of mixed crops of annual legumes and grains // *Izvestiya Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2022;6(110):158-165 (In Russ.)
7. Salnikova Yelena A. The productivity and nutritional value of annual forage crops in single-crop and mixed sowings in the middle altitude mountain zone of the Republic of Altai. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2020;2(184):52-56 (In Russ.)
8. Kuznetsova E.A. The influence of the ratio of components on the yield of mixed crops. *Interdisciplinary research. Electronic collection of articles*. 2017:164-169 (In Russ.)
9. Koroleva Yu.S. The formation of the yield of cereal grass mixture . *Scientific support of intensive development of animal husbandry and feed production: Coll. of Sci. Articles*. Tver : TSNIOT. 2016:192-194 (In Russ.)
10. Methodology of field experiments with fodder crops. Moscow, 1983. 197 p.
11. Dospekhov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). Moscow : Kolos, 1973 (In Russ.)
12. Bankrutenko A.V., Kazantsev V.P. Statistical processing of research results in agronomy: textbook. Omsk : Publishing house of FGOU VPO OmGAU, 2009. 136 p. (In Russ.)
13. Pishchimko O.I., Garafutdinova L.V. Potato yield forecasting. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Filippov*. 2022;4(69):15-22 (In Russ.)
14. Ermokhin Yu.I., Neklyudov A.F. Crop programming in Western Siberia: textbook. Omsk : OmGAU Publishing House, 2002;88 (In Russ.)

### Информация об авторах

**Александр Владимирович Банкрутенко** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры агрономии и агроинженерии

### Information about the authors

**Alexander V. Bankrutenko** – Candidate of Science (Agriculture), Associate Professor, Chair of Agronomy and Agroengineering.

Статья поступила в редакцию 26.01.2023; одобрена после рецензирования 22.02.2023; принятая к публикации 03.03.2023.

The article was submitted 26.01.2023; approved after reviewing 22.02.2023; accepted for publication 03.03.2023