

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЗОТА УДОБРЕНИЙ ЗЕРНОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ БУРЯТИИ

✉ Билтуев А.С., Будажапов Л.В., Уланов А.К.

Бурятский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук

Республика Бурятия, Улан-Удэ, Россия

✉ e-mail: burniish@inbox.ru

Представлены результаты исследований в длительном (1982–2021 гг.) стационарном опыте по определению коэффициентов использования азота минеральных удобрений культурами зернопарового севооборота в условиях сухостепной зоны Бурятии. Каштановая супесчаная почва на изучаемых вариантах характеризовалась очень низким содержанием гумуса, общего азота и нитратов перед посевом культур. В период проведения исследований отмечено преобладание засушливых лет. Коэффициенты использования азота минеральных удобрений в условиях сухостепной зоны Бурятии в среднем за 39 лет исследований составляли для пшеницы 69%, овса – 54 и овса на зерносенаж – 90%. На вариацию коэффициентов значимо влияли условия увлажнения летнего периода. При экстремальной и сильной засухе они составляли 32%, при умеренной и слабой – 57% и значительно (до 124%) возрастали при благоприятном увлажнении. Использование азота туков было максимальным у третьей культуры (овса на зерносенаж) и более отзывчивым на атмосферное увлажнение. Наименьшие коэффициенты потребления и размах его изменений отмечены у овса на зерно. Первая культура севооборота (пшеница по пару) в этой оценке занимала промежуточное положение. Получены данные о влиянии почвенного увлажнения и гидротермических условий отдельных критических периодов вегетации на вариацию коэффициента использования азота минеральных туков (N_{40}) пшеницей, овсом и овсом на зерносенаж. Корреляционный анализ показал, что наиболее критичным периодом по потреблению азота пшеницей является июнь ($r = 0,61$), у овса – июль ($r = 0,51$) и июль – август для овса на зерносенаж ($r = 0,50–0,52$). Построены множественные линейные модели зависимости коэффициентов использования азотных удобрений от содержания продуктивной влаги и гидротермических условий.

Ключевые слова: коэффициент использования азотных удобрений, сухостепная зона

FERTILIZER NITROGEN USE BY CEREAL CROPS IN ARID CONDITIONS OF BURYATIA

✉ Biltuev A.S., Budazhapov L.V., Ulanov A.K.

Buryat Scientific Research Institute of Agriculture – Branch of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Ulan-Ude, Republic of Buryatia, Russia

✉ e-mail: burniish@inbox.ru

The results of research in a long-term (1982–2021) stationary experiment to determine the coefficients of nitrogen use of mineral fertilizers by the crops of grain and fallow crop rotation in the conditions of the dry-steppe zone of Buryatia are presented. Chestnut loamy sand soil on the studied variants was characterized by very low content of humus, total nitrogen and nitrates before sowing of the crops. During the research period, the prevalence of dry years was noted. Nitrogen use coefficients of mineral fertilizers in the conditions of the dry-steppe zone of Buryatia on average for 39 years of research were 69% for wheat, 54% for oats and 90% for oats for grain haylage. The variation of the coefficients was significantly influenced by summer moistening conditions. They were 32% under extreme and severe drought, 57% under moderate and weak drought, and increased significantly (up to 124%) under favorable moisture conditions. The utilization of nitrogen of solid mineral fertilizers was maximum in the third crop (oats for grain haylage) and more responsive to the atmospheric moistening. The smallest consumption coefficients and the range of its changes were observed in oats for grain. The first crop of the rotation (fallow wheat) occupied an intermediate position in this

assessment. The data on the influence of soil moisture and hydrothermal conditions of separate critical periods of vegetation on the variation of the coefficient of mineral fertilizer nitrogen utilization (N_{40}) by wheat, oats, and oats for grain haylage were obtained. The correlation analysis showed that the most critical period for nitrogen consumption in wheat is June ($r = 0.61$), in oats – July ($r = 0.51$) and July–August for oats for grain haylage ($r = 0.50–0.52$). Multiple linear models of dependence of N fertilizer use coefficients on productive moisture content and hydrothermal conditions were made.

Keywords: nitrogen fertilizer utilization rate, dry steppe zone

Для цитирования: Билтуев А.С., Будажапов Л.В., Уланов А.К. Использование азота удобрений зерновыми культурами в аридных условиях Бурятии // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 9. С. 15–22. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-2>

For citation: Biltuev A.S., Budazhapov L.V., Ulanov A.K. Fertilizer nitrogen use by cereal crops in arid conditions of Buryatia. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 9, pp. 15–22. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-2>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest

ВВЕДЕНИЕ

Коэффициент использования питательных веществ удобрений – один из основных критериев эффективности и экологической рациональности их применения. Интенсивность использования вносимых туков определяется не только биологическими особенностями растений, но и зависит от комплекса эдафических и метеорологических факторов, определяющих урожайность культур. Их совместное действие образует значительную вариацию почвенно-климатических условий, однако вычленив роль отдельных факторов на минеральное питание растений в краткосрочных опытах бывает затруднительно. В связи с этим математическая обработка данных многолетних полевых исследований позволяет более точно установить коэффициенты использования удобрений на определенной территории и почве в зависимости от климатических условий вегетации культур [1–4].

На каштановых почвах Забайкалья определение коэффициентов использования питательных веществ удобрений при их систематическом применении в севообороте проводили в период 1968–1997 гг. в отделе агрохимии Бурятского научно-исследовательского института сельского хозяйства. Выявлено, что в шестипольном зернопаропропашном севообороте (1968–1981 гг.) использование

азота из аммиачной селитры (N_{40}) в среднем составляло 34%, под культурами четырехпольного севооборота пар – пшеница – овес – овес на зерносеяж (1982–1997 гг.) возрастало до 89% при очень высокой вариативности значений. Основными факторами, формирующими эту изменчивость, были гидротермические условия вегетации культур. Азот является наиболее дефицитным элементом, эффективность его применения на каштановых почвах Бурятии проявлялась как в условиях умеренной засухи, так и при хорошем увлажнении¹ [4–9].

Цель исследования – обобщить экспериментальный материал по изучению особенностей использования азота минеральных удобрений культурами зернопарового севооборота с определением влияния гидротермических условий вегетации на вариацию коэффициентов его использования из минеральных удобрений в сухостепной зоне Бурятии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Опыт проходил на опытном поле Бурятского НИИСХ в центральной сухой степи Республики Бурятия (п. Иволгинск) на зональных каштановых почвах (входит в систему Географической сети опытов с удобрениями). Эксперимент заложен в 1967 г. и состоял из 13 вариантов минеральной, органиче-

¹Ревенский В.А. Эффективность азотных удобрений на каштановых почвах Бурятии: монография. Новосибирск: Наука, 1985. 149 с.

ской и органо-минеральной систем удобрений. Однако в 1982 г. схема опыта изменена в сторону снижения доз, поскольку высокие нормы не обеспечивали запланированной продуктивности в богарных условиях сухой степи Бурятии. Наиболее оптимальной дозой минеральных удобрений принята $N_{40}P_{40}K_{40}$. Соответственно для изучения коэффициента использования азотных удобрений введен и вариант $P_{40}K_{40}$.

Плодородие супесчаной мучнистокарбонатной малогумусной супесчаной каштановой почвы на изучаемых вариантах характеризовалось очень низким содержанием гумуса, общего азота и нитратов. Содержание подвижного P_2O_5 возрастало от высокой обеспеченности на контроле до очень высокой на вариантах с удобрениями, также повышалось и содержание обменного K_2O от средней до высокой обеспеченности на этих вариантах (см. табл. 1).

Климат сухой степи Бурятии обусловлен горно-котловинным характером местности и

удаленностью от океанов. Сумма среднегодовых осадков находилась в пределах 220–340 мм, из них в период вегетации выпадало 150–240 мм. Сумма активных температур составляла 1600–1800°. Метеорологические условия в период исследований оценивали по ГТК за июнь – август по Селянинову в классификации Е.С. Улановой². Анализ корреляционных связей выявил наиболее высокую зависимость коэффициента использования азотных удобрений от гидротермических условий календарного лета ($r = 0,69$). Экстремальные и сильные засухи в течение проведения опыта (1982–2021 гг.) отмечены в течение 11 из 39 лет, или в 28% случаев. Отметим, что эффект почвенной засухи имел пролонгированное действие, особенно при периодическом наступлении. Сезоны с благоприятным увлажнением отмечены в 46% случаев (см. табл. 2).

В период исследований прошло 10 неполных ротаций зернопарового севооборота пар – пшеница – овес – овес на зерносеяж.

Табл. 1. Агрохимические показатели пахотного слоя каштановых почв опытного участка (среднее за 1982–2021 гг.)

Table 1. Agrochemical parameters of chestnut soils arable layer of the experimental plot (average for 1982–2021)

Вариант	рН вод	Гумус	N общий	P_2O_5 подвижный	K_2O обменный	N-NO ₃ , мг/кг перед посевом		
		%		мг/кг		Пшеница	Овес	Овес на зерносеяж
Контроль	6,9	0,87	0,072	159 ± 12	79 ± 8	3,5 ± 0,2	2,8 ± 0,4	3,9 ± 0,5
$P_{40}K_{40}$	6,9	0,95	0,077	236 ± 19	140 ± 14	3,2 ± 0,2	3,0 ± 0,2	3,3 ± 0,4
$N_{40}P_{40}K_{40}$	6,7	1,05	0,081	240 ± 22	130 ± 23	4,3 ± 0,4	3,3 ± 0,6	4,6 ± 0,5

Табл. 2. Гидротермические условия периода исследований

Table 2. Hydrothermal conditions of the research period

Характеристика условий увлажнения периода июнь – август		Годы (n = 39)
Засуха:		
экстремальная и сильная	ГТК ≤ 0,6	1987, 1989, 2002, 2007, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018 (n = 11)
умеренная и слабая	0,6 < ГТК ≤ 1,0	1993, 1996, 1997, 2000, 2004, 2005, 2009, 2016, 2019, 2020 (n = 10)
Обеспеченное и избыточное увлажнение	ГТК > 1,0	1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1988, 1990, 1991, 1992, 1994, 1995, 1998, 2001, 2003, 2006, 2008, 2012, 2021 (n = 18)

²Уланова Е.С. Засухи в СССР и их влияние на производство зерна // Метеорология и гидрология. 1988. № 7. С. 127–134.

Минеральные удобрения (Naa, Pсд, Kх) вносили весной ежегодно разбросным методом под вспашку. Число повторений в опыте четырехкратное, площадь делянок 100 м². Коэффициент использования растениями азота удобрений (КИАУ, %) рассчитывали разностным методом между выносами элементов хозяйственным урожаем на удобренном N₄₀ P₄₀ K₄₀ и фоновом P₄₀ K₄₀ вариантах с последующим расчетом процентного показателя по отношению к количеству действующего вещества азота (40 кг/га), внесенного в почву с удобрением. Общий вынос рассчитывался по формуле

$$P_{\text{вын}} = Y_o C_o + Y_{\text{п}} C_{\text{п}},$$

где Y_o – урожайность зерна пшеницы и овса при влажности 14%, ц/га; $Y_{\text{п}}$ – урожайность соломы пшеницы и овса при влажности 17%, ц/га; C_o и $C_{\text{п}}$ – содержание азота в основной и побочной продукции, %.

Для овса, убранного на зеленую массу и зерносенаж, формула имела вид

$$P_{\text{вын}} = Y_o C_o,$$

где Y_o – урожайность зеленой массы овса, ц/га; C_o – содержание азота в зеленой массе, %.

В отдельные годы овес не давал зерна, поэтому учитывали его зеленую массу. Для приведения зеленой массы овса и зерносенажа от уборочной (55%) к стандартной влажности применяли понижающий коэффициент 0,542³. В почвах определяли гумус, общий

азот, нитратный азот, подвижные соединения фосфора и калия, pH согласно методическим рекомендациям⁴.

Влияние климатических условий на изменение коэффициентов использования азота из удобрений определяли для каждого фактора на основе корреляционных зависимостей. Регрессионные модели построены на основе метода наименьших квадратов по наиболее значимым предикторам⁵.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Использование азотных удобрений связано как с биологическими особенностями культур, так и назначением продукции. Технология возделывания культур зернопарового севооборота подразумевала различные сроки посева: I и III декады мая для пшеницы и овса на зерно соответственно, II декада июня – для овса на зерносенажную массу. В соответствии с этим растения проходили критические фазы развития в различные по влагообеспеченности периоды.

Наименьшее потребление азотных удобрений овсом связано с его низкой продуктивностью относительно пшеницы и овса на зерносенаж (см. табл. 3).

При 73%-й вероятности наступления засушливого сезона с конца мая по II декаду июня именно вторая культура проходит критический период от всходов до выхода в трубку в наименее благоприятных условиях атмосферного и почвенного увлажнения.

Табл. 3. Коэффициент использования азотных удобрений культурами зернопарового севооборота (1982–2021 гг.), %

Table 3. Nitrogen fertilizer use coefficient by crops of grain and fallow crop rotation (1982–2021), %

Культура в севообороте	Коэффициент			
	ГТК ≤ 0,6	0,6 < ГТК ≤ 1,0	1,0 < ГТК	Средний
Первая (пшеница)	38	44	126	69
Вторая (овес)	24	49	89	54
Третья (овес на зерносенаж)	33	78	158	90
В севообороте	32	57	124	71

³Ягодин Б.А., Жуков В.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия / под ред. Б.А. Ягодина. М.: Колос, 2002. 584 с.

⁴Методические рекомендации по изучению показателей плодородия почв, баланса гумуса и питательных веществ в длительных опытах. М.: Почвенный институт, 1987. 80 с.

⁵Елисеева И.И., Курьшева С.В., Гордеенко Н.М., Бабаева И.В., Костеева Т.В., Михайлов Б.А. Практикум по эконометрике. М.: Финансы и статистика, 2005. 192 с.

Пшеница по пару в большей степени обеспечена почвенной влагой парового поля, чем овес, который использует лишь его последствие. В связи с этим стратегию возделывания третьей культуры проводили по типу однолетних трав для получения максимального выхода зерносеяжа. Интенсивное нарастание вегетативной массы технологически подводило к наиболее влагообеспеченному периоду – со II декады июля по II декаду августа, чтобы азот удобрений более полно использовался в синтетических процессах в период максимального роста от выхода в трубку до выметывания. Среднегодовые значения КИАУ для культур севооборота возрастали в ряду овес → пшеница → овес на зерносеяж.

При различных метеорологических ситуациях КИАУ в севообороте был закономерно наименьшим (32%) в условиях экстремальной и сильной засухи, возрастал до 57% при умеренной и слабой и достигал максимума (124%) при достаточном увлажнении. Возрастание КИАУ в благоприятные годы обусловлено как усилением прайминг-эффекта, так и увеличением последствия ежегодного внесения минеральных удобрений после засушливых лет⁶ [10]. Вне зависимости от условий увлажнения в целом сохранилась общая тенденция распределения КИАУ среди культур в различные по влагообеспеченности периоды.

Азотное питание культур обусловлено физиологическими особенностями развития растений, темпами прироста в течение периода вегетации. В связи с этим представляет

интерес определение наиболее критических показателей среды и периодов их влияния на КИАУ. В качестве признак-факторов для определения корреляционных связей (r) отобраны показатели ГТК в различные периоды вегетации и содержания продуктивной влаги в почве при посеве (ПВ, мм) в слое 0–50 см (см. табл. 4).

Пшеница, используя запасы влаги и минерализованного азота, накопленные в паровом поле по пару, находилась в наиболее привилегированном положении. Корреляционный анализ показал, что наиболее критичным периодом по потреблению азота этой культурой является июнь ($r = 0,61$).

В I–II декадах июня проходит фаза кущения, закладывается вторичная корневая система и в целом габитус растения, в III декаде в фазу выхода в трубку происходит нарастание вегетативной массы, формирование репродуктивных органов пшеницы (число колосков в колосе и цветков в колосках) и резко увеличивается водопотребление⁷ [11]. В несколько меньшей степени на потребление азота повлияли условия июля (озерненность колоса) и августа (налив зерна). В связи с этим наиболее значимым предиктором, определяющим КИАУ пшеницы, был ГТК периода июнь – август ($\text{ГТК}_{\text{VI-VIII}}$). Содержание продуктивной влаги при посеве в полуметровом слое (ПВ, мм) влияло на КИАУ в средней степени. Модель, построенная по этим факторам, имела вид множественной линейной регрессии:

Табл. 4. Влияние условий увлажнения на коэффициент использования азота удобрений культурами зернопарового севооборота ($n = 39$)

Table 4. Influence of humidification conditions on the nitrogen utilization rate of fertilizers by crops of grain-fallow crop rotation ($n = 39$)

Культура	ПВ, мм	ГТК (по Селянинову)							
		Май	Июнь	Июль	Август	Май – август	Июнь – июль	Июнь – август	Июль – август
Пшеница	0,44	0,01	0,61	0,42	0,44	0,66	0,66	0,73	0,60
Овес	0,31	–0,14	0,28	0,51	0,40	0,47	0,52	0,61	0,63
Овес на зерносеяж	0,37	–0,05	0,23	0,50	0,52	0,54	0,49	0,65	0,69

⁶Семенов В.М. Современные проблемы и перспективы агрохимии азота // Проблемы агрохимии и экологии. 2008. № 1. С. 55–63.

⁷Осипов В.И. Зерновые культуры в Бурятии. Улан-Удэ: Бурятское книж. изд-во. 1982. 88 с.

$$\text{КИАУ (пшеница)} = 108,9 \text{ ГТК}_{\text{VI-VIII}} + 2,2 \text{ ПВ} - 125,4, R^2 = 0,61.$$

Развитие второй культуры (овса) обычно запаздывало более чем на 2 нед от пшеницы. Это связано как со смещением сроков посева, так и с большей продолжительностью начальных фаз развития в условиях типичной засухи. В условиях опыта межфазовый период выход в трубку – выметывание проходил со II по III декаду июля. Данный период считается наиболее критическим для овса в сухой степи, поскольку расходуется до 55–65% от общего водопотребления [12]. При значительном нарастании вегетативной массы усиливалось и азотное питание ($r = 0,51$). На потребление азота овсом влияли и осадки августа ($r = 0,40$), что связано с рядом причин: налив зерна овса обычно проходил в III декаде августа; август является определяющим месяцем для продуктивности овса в тех случаях, когда не удастся получить урожай зерна. Так, в период исследований урожайность овса в 20% случаев формировалась в виде зеленой массы второй волны всходов и подгона. Этому способствовали засуха в первой половине лета и благоприятное увлажнение во второй. Влияние продуктивной влаги в почве при посеве было слабым ($r = 0,29$). Модель зависимости использования азота удобрений овсом от гидротермических условий июля (ГТК_{VII}) и августа (ГТК_{VIII}), а также содержания продуктивной влаги в слое 0–50 см при посеве имела вид

$$\text{КИАУ (овес)} = 37,4 \text{ ГТК}_{\text{VII}} + 34,4 \text{ ГТК}_{\text{VIII}} + 0,55 \text{ ПВ} - 40,3, R^2 = 0,40.$$

Третья культура севооборота (овес на зерносеяж) проходила стадии кущения, выхода в трубку, выметывания и цветения в июле – августе. Условия тепло- и влагообеспеченности этого периода ($\text{ГТК}_{\text{VII-VIII}}$) имели определяющее влияние на азотное минеральное питание культуры ($r = 0,50$ – $0,52$). Влияние запасов влаги при посеве (ПВ, мм) было менее значимым ($r = 0,37$). Зависимость коэффициента потребления азота туков от условий атмосферного и почвенного увлажнения наиболее адекватно выражалась функцией

$$\text{КИАУ (овес на зерносеяж)} = 110,6 \text{ ГТК}_{\text{VII-VIII}} + 2,3 \text{ ПВ} - 94,4, R^2 = 0,51.$$

Построенные модели показали, что вариации коэффициентов потребления азота из минеральных удобрений на 40–61% обусловлены изменениями атмосферного и почвенного увлажнения. Наиболее значимым оказалось действие гидротермических условий на азотное питание овса на зерносеяж и пшеницы. Изменение ГТК на 0,1 вызывало изменение КИАУ соответственно на 11,1 и 10,8%. Для овса данный показатель был намного ниже (3,7%). Аналогичное влияние почвенного увлажнения перед посевом культур было значительно меньшим. Каждый миллиметр продуктивной влаги соответствовал изменению КИАУ на 2,2–2,3% для пшеницы и овса на зерносеяж и 0,6% – для овса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В системе каштановая почва – климат – растение – удобрение интенсивность азотного питания культур зернопарового севооборота находится в тесной связи с метеорологическими условиями в наиболее критические периоды питания. Различия культур по потреблению азота туков обусловлены особенностями роста и развития культур, технологией их возделывания.

Среднегодовые коэффициенты использования азота минеральных удобрений в условиях сухостепной зоны Бурятии составляют для пшеницы 69%, овса – 54 и овса на зерносеяж – 90%. Отмечена высокая вариация этих коэффициентов, которая обусловлена значительной изменчивостью условий увлажнения в критические периоды роста и развития культур. Относительно большая выборка данных полевого опыта позволяет выявить влияние гидротермических условий и почвенного увлажнения на коэффициенты потребления азота туков. На азотное питание пшеницы в большей степени влияют ГТК за июнь – август ($r = 0,73$), овса и овса на зерносеяж – за июль – август ($r = 0,63$ – $0,69$). Влияние почвенного увлажнения в период посева значительно слабее ($r = 0,31$ – $0,44$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамзиков Г.П. Точное земледелие в Сибири: реальности, проблемы и перспективы // *Земледелие*. 2022. № 1. С. 3–9. DOI: 10.24412/0004-3913-2922-1-3-9.
2. Завалин А.А., Соколов О.А. Коэффициент использования растениями азота удобрений и его регулирования // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2019. № 4 (370). С. 71–75. DOI: 10.24411/2587-6740-2019-14070.
3. Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю. Влияние минеральных удобрений и погодных условий на вынос элементов питания зерновыми культурами в степи Поволжья // *Плодородие*. 2020. № 2 (113). С. 17–20. DOI: 10.25680/S19948603.2020.113.05.
4. Новиков М.Н. Биологические приемы эффективного использования азота почвы, удобрений, симбиотической азотфиксации в полевых агроценозах // *Агрохимия*. 2020. № 8. С. 60–69. DOI: 10.31857/S0002188120080086.
5. Билтуев А.С., Будажапов Л.В., Уланов А.К. Эффективность применения удобрений под культуры зернопарового севооборота в сухостепной зоне Забайкалья // *Земледелие*. 2022. № 7. С. 32–36. DOI: 10.24412/0004-3913-2922-1-3-9.
6. Кудеяров В.Н. Агрогеохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России // *Агрохимия*. 2019. № 12. С. 13–15. DOI: 10.31857/S0002188120080086.
7. Кудрявцев А.Е., Гуггенбергер Г., Иллигер П., Стецов Г.Я., Юров В.В. Экологические аспекты эволюции плодородия при интенсивном использовании почвенных ресурсов аридных территорий // *Агрохимический вестник*. 2020. № 1. С. 14–24.
8. Назаренко П.Н., Пургин Д.В., Кравченко В.И. Влияние севооборотов, обработки на состояние показателей плодородия каштановой почвы за 50 лет интенсивного использования в пашне в условиях Кулундинской степи Алтайского края // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2018. № 9 (167). С. 64–72.
9. Будажапов Л.-З.В. Биокинетический цикл азота и оборот азотных пулов: монография. М.: ВНИИА, 2019. 287 с.
10. Гаркуша А.А., Усенко В.И., Литвинцева Т.А., Кравченко В.И., Пургин Д.В., Щербакова А.А. Реакция яровой пшеницы и овса на средства интенсификации и приемы обработки кашта-

новых и черноземных почв на юге Западной Сибири // *Земледелие*. 2021. № 7. С. 30–35.

11. Алферов А.А., Чернова Л.С. Устойчивость агроэcosystemы при применении удобрений и биопрепаратов // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019. № 3. С. 35–37.
12. Любимова А.В., Мамаева В.С., Менищикова А.А. Генетическая засухоустойчивость современных сортообразцов овса посевного как ответ глобальному изменению климата // *Аграрный вестник Урала*. 2022. № 6 (221). С. 49–59.

REFERENCES

1. Gamzikov G.P. Precision farming in Siberia: realities, challenges and prospects. *Zemledelie = Zemledelie*, 2022, no. 1, pp. 3–9. (In Russian). DOI: 10.24412/0004-3913-2922-1-3-9.
2. Zavalin A.A., Sokolov O.A. Utilization by plants of nitrogen fertilizer and its regulation. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal = International Agricultural Journal*, 2019, no. 4 (370), pp. 71–75. (In Russian). DOI: 10.24411/2587-6740-2019-14070.
3. Pron'ko V.V., Yaroshenko T.M., Klimova N.F., Zhuravlev D.Yu. Influence of mineral fertilizers and weather conditions on the nutrients removal with grain crops in the steppe of the Volga region. *Plodородие = Plodородие*, 2020, no. 2 (113), pp. 17–20. (In Russian). DOI: 10.25680/S19948603.2020.113.05.
4. Novikov M.N. Biological methods of effective use of nitrogen of soil, fertilizers, symbiotic fixation in field agrocenoses. *Agrokhimiya = Agricultural Chemistry*, 2020, no. 8, pp. 60–69. (In Russian). DOI: 10.31857/S0002188120080086.
5. Biltuev A.S., Budazhapov L.V., Ulanov A.K. Efficiency of fertilizers usage for crops of grain-fallow crop rotation in the dry-steppe zone of Western Transbaikalia. *Zemledelie = Zemledelie*, 2022, no. 7, pp. 32–36. (In Russian). DOI: 10.24412/0004-3913-2922-1-3-9.
6. Kudeyarov V.N. Agrogeochemical cycles of carbon and nitrogen in modern agriculture of Russia. *Agrokhimiya = Agricultural Chemistry*, 2019, no. 12, pp. 13–15. (In Russian). DOI: 10.31857/S0002188120080086.
7. Kudryavtsev A.E., Guggenberger G., Illiger P., Stetsov G.Y., Yurov V.V. Ecological aspects of soil fertility evolution during intensive use of soil resources in arid ecosystems. *Agrokhimicheskiy vestnik = Agrochemical Herald*, 2020, no. 1, pp. 14–24. (In Russian).

8. Nazarenko P.N., Purgin D.V., Kravchenko V.I. The effect of crop rotation and tillage on fertility indices of chestnut soil for 50 years of intensive use as arable land under the conditions of the Kulunda steppe of the Altai Region. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogouniversiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2018, no. 9 (167), pp. 64–72. (In Russian).
9. Budazhapov L.-Z.V. *The biokinetic cycle of nitrogen and the turnover of nitrogen pools*. Moscow, VNIIA Publ., 2019. 287 p. (In Russian).
10. Garkusha A.A., Usenko V.I., Litvintseva T.A., Kravchenko V.I., Purgin D.V., Shcherbakova A.A. Response of spring wheat and oat to the means of intensification and methods of processing chestnut and chernozem soils in the south of Western Siberia. *Zemledelie = Zemledelie*, 2021, no. 7, pp. 30–35. (In Russian).
11. Alferov A.A., Chernova L.S. Sustainability of the agroecosystem in the application of fertilizers and biopreparations. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka = Russian Agricultural Sciences*, 2019, no. 3, pp. 35–37. (In Russian). DOI: 10.31857/S2500-26272019335-37.
12. Lyubimova A.V., Mamaeva V.S., Menshikova A.A. Genetic drought resistance of modern oat varieties as a response to global climate change. *Agrarnii Vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2022, no. 6 (221), pp. 49–59. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Билтуев А.С.**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 670045, г. Улан-Удэ, ул. Третьякова, 25з; e-mail: burniish@indox.ru

Будажаров Л.В., доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник

Уланов А.К., доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Alexander S. Biltuev**, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher; **address:** 25z, Tret'yakova St., Ulan-Ude, 670045, Russia; e-mail: burniish@indox.ru

Lubsan V. Budazhapov, Doctor of Science in Biology, Corresponding Member RAS, Head Researcher

Alexander K. Ulanov, Doctor of Science in Agriculture, Lead Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 02.05.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 09.08.2023
Дата публикации / Published 20.10.2023