

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ
УРОЖАЙНОСТИ МОДЕЛЬНОГО СОРТА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯА.А. Belyakov, E.V. Melnikova,
V.N. Romanov, V.K. IvchenkoANALYTICAL MONITORING OF THE INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS ON THE FORMATION
OF THE PRODUCTIVITY OF MODEL VARIETY OF SPRING BARLEY

Беляков А.А. – канд. техн. наук, вед. науч. сотр. отдела агротехнологий Красноярского НИИ сельского хозяйства ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск. E-mail: belyakov@ksc.krasn.ru

Мельникова Е.В. – канд. техн. наук, ассист. каф. технологий хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: mev131981@mail.ru

Романов В.Н. – д-р с.-х. наук, вед. науч. сотр. отдела агротехнологий Красноярского НИИ сельского хозяйства ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск. E-mail: romanov1948@yandex.ru

Ивченко В.К. – д-р с.-х. наук, проф., зав. каф. общего земледелия Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: v.f.ivchenko@mail.ru

Belyakov A.A. – Cand. Techn. Sci., Leading Staff Scientist, Department of Agrotechnologies, Krasnoyarsk Research and Development Institute of Agriculture, FRC KRC, SB RAS, Krasnoyarsk. E-mail: belyakov@ksc.krasn.ru

Melnikova E.V. – Cand. Techn. Sci., Asst, Chair of Technologies of Baking, Confectionery and Macaroni Productions, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: mev131981@mail.ru

Romanov V.N. – Dr. Agr. Sci., Leading Staff Scientist, Department of Agrotechnologies, Krasnoyarsk Research and Development Institute of Agriculture, FRC KRC, SB RAS, Krasnoyarsk. E-mail: romanov1948@yandex.ru

Ivchenko V.K. – Dr. Agr. Sci., Prof., Head, Chair of General Agriculture, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: v.f.ivchenko@mail.ru

Систематизирован теоретический и экспериментальный материал, относящийся к идее формирования урожайности ярового ячменя под действием комплекса минеральных удобрений. Проведен аналитический прогноз, представлена аналитическая модель определения относительной прибавки урожая модельного сорта ячменя с использованием геоинформационных данных по равномерности распределения природно-ресурсного потенциала. В рассматриваемых 1190 вариантах опыта количество азота (N) изменяется в диапазоне 0–160 кг д. в/га; фосфора (P_2O_5) – 0–90; количество калия (K_2O) – в диапазоне 0–60 кг д. в/га. Относительная прибавка урожайности распределена на промежутке 1,000–1,996 ед. с центром рассеивания 1,592 ед. и стандартным отклонением 0,171 ед. Область эффективности относительной прибавки урожайности, зависящая от трех переменных (n, p, k), определяется значениями функции $y_1 = f_1(x_1, x_2) + \varepsilon(x_1, x_2)$. Средняя относительная прибавка оценивается медианой:

$$y_{eff} = \frac{y_{s-1} + y_s}{2}. \text{ Адекватность модели и значи-}$$

мость весовых коэффициентов установлена по t -критерию Стьюдента на уровне 0,05 и F -критерию Фишера средствами подпакета Statistics пакета Maple. Значения коэффициентов попадают в 95 % доверительный интервал. Анализ отклонений опытных данных от теоретической поверхности показывает, что стандартное отклонение по данным относительной прибавки и вычисленным по модели аналогичным данным принимает, соответственно, значения 0,31 и 0,28, а доля невязки составляет 7,20 % при среднем ее значении 0,14 %. Расхождение средних значений этих показателей не превышает 0,005. В вариантах вычислительного эксперимента, при заданном базовом уровне урожайности 10 ц/га, средняя урожайность оценивается значением 15,92 ц/га, максимальная – 19,66 ц/га, стандартное отклонение – 1,71 ц/га. При базовом уровне урожайности 40 ц/га средняя урожайность – 63,68 ц/га, максимальная – 78,64 ц/га, стандартное отклонение – 6,84 ц/га. Методический подход по определению относи-

тельной прибавки урожайности применим и к другим зерновым культурам, возделываемым в лесостепных зонах Красноярского края.

Ключевые слова: аналитический мониторинг, аналитическая модель, урожайность, прогнозирование, модельный сорт ячменя, комплекс минеральных удобрений.

Theoretical and experimental material relating to the idea of formation of productivity of spring barley under the influence of the complex of mineral fertilizers is systematized. Analytical forecast is carried out, analytical model of definition of relative increase of the crop of model of barley variety with use of geodetails on the uniformity of distribution of natural and resource potential is presented. In considered 1190 options of experiment the amount of nitrogen (N) changes in the range of 0–160 kg of in/hectare, phosphorus (P_2O_5) – 0–90, the amount of potassium (K_2O) – in the range of 0–60 kg of in/hectare. Relative increase of productivity is distributed on an interval of 1.000–1.996 units with the center of dispersion of 1.592 units and standard deviation of 0.171 pieces. The area of efficiency of relative increase of productivity depending on three variables (n, p, k) is defined by values of function $y_1 = f_1(x_1, x_2) + \varepsilon(x_1, x_2)$. Average relative increase is estimated by the median $y_{eff} = \frac{y_{s-1} + y_s}{2}$.

quacy of model and the importance of weight coefficients were established by Student's t-criterion at the level of 0.05 and to Fischer's F-criterion by means of Statistics subpackage of Maple package. The values of coefficients got to 95 % confidential interval. The analysis of rejections of experimental data from theoretical surface showed that standard deviation according to relative increase and similar data calculated on model accepts, respectively, values 0.31 and 0.28, and nonviscous share made 7.20% at its average value of 0.14 %. The divergence of average values of these indicators did not exceed 0.005. In options of computing experiment, at the set basic level of productivity of 10 c/hectare, average productivity was estimated by value of 15.92 c/hectare, maximum – 19.66 c/hectare, standard deviation was 1.71 c/hectare. At basic level of productivity of 40 c/hectare average productivity was 63.68 c/hectare, maximum – 78.64 c/hectare, standard deviation was 6.84 c/hectare. Methodical approach by definition of relative increase of productivity was also applicable to other grain crops cultivated in forest-steppe zones of Krasnoyarsk Region.

Keywords: analytical monitoring, analytical model, productivity, forecasting, model variety of barley, mineral fertilizers complex.

Введение. В земледельческой части Красноярского края короткий вегетационный период в большинстве районов вызывает необходимость возделывания раннеспелых зерновых культур. К числу таких культур относится ячмень [1]. Почвы, пригодные для выращивания ячменя, занимают более 55,1 % площади пахотных земель [2]. В последние 3 года площадь под ячменем в крае составляла около 107 тыс. га. Для сравнения овес занимал 163 тыс. га, а пшеница – около 695 тыс. га [3].

Красноярскими исследователями отмечается, что среди показателей пищевого режима почвы ключевым фактором является уровень обеспеченности нитратным азотом. Колебания уровня содержания нитратов к посеву обусловлены погодными условиями весны. Так, в 2014 г. нитратов было 18 мг/кг, а в 2015 г. – 7 мг на 1 кг почвы. Низким содержанием нитратов обусловлена необходимость внесения минеральных удобрений к посеву. В середине вегетации содержание азота нитратов снижается до уровня 3–6 мг/кг. Устойчиво повышением урожайности ячмень реагирует на азотно-фосфорные и калийные удобрения. Последние лучше оптимизируют питание растений при возделывании ячменя по вспашке, производимой в севообороте с чистым паром [4–6].

Как показывают наши полевые опыты, урожайность ярового ячменя при использовании минеральных удобрений распределяется в широком диапазоне, а ее конкретное значение зависит от базовой урожайности (контроль – без внесения минеральных удобрений). Полученные под действием удобрений прибавки урожайности могут быть несопоставимы и при достаточно близких агротехнических условиях.

Для развития методологии принятия оптимальных агрономических решений становится целесообразным использование технологии дистанционного зондирования аграрных ландшафтов с наземной обработкой результатов (камеральные исследования, калибровка). Этот методический подход оценки влияния удобрений можно усилить, если перейти к относительным (безразмерным) величинам урожайности и далее к относительным показателям качества зерна и структурных элементов урожая, корректируемым методами наземного и дистанционного зондирования агробиогеоценоза.

Исследований по двойственной оценке природно-ресурсного потенциала аграрных ландшафтов посредством биометрических показателей группы сортов довольно устойчивой по продуктивности сельскохозяйственной культуры с использованием сопряжения опытных, аналитических и геоинформационных данных ранее не проводилось.

Цель исследования: аналитический мониторинг влияния минеральных удобрений на формирование урожайности модельного сорта ярового ячменя.

Задачи исследования: выявить закономерности формирования урожайности ярового ячменя; раскрыть механизм изменения относительной прибавки урожая под действием минеральных удобрений; теоретически обосновать модель прогнозирования урожайности модельного сорта в условиях лесостепной зоны Красноярского края.

Объект исследования: группа сортов ярового ячменя, возделываемых на полях Солянской опытной станции и полях Красноярского НИИСХ, расположенных в Канской и Красноярской лесостепи: Винер, Унион, Айхал, Енисей, Оленек, Буян, Ц-1102, А-2212, А-2302 и др.

Предмет исследования: закономерности формирования урожайности модельного сорта ярового ячменя, высеваемого по зерновому и пропашному предшественникам при внесении гранулированного суперфосфата, хлористого калия и аммиачной селитры.

Методы исследования: системный анализ результатов полевых опытов по изучению элементов точного земледелия; повторность опыта – четырехкратная, агротехника – общепринятая для лесостепи; аппарат математической статистики [7–9], биологические информационные технологии; метод сравнения – прямой [10]; использованы пакеты компьютерной математики Maple и DataFit, табличный процессор MsExcel [11–13].

Результаты исследования. Представлены: области изменений эффективности урожайности ячменя под действием минеральных удобрений, критерий и аналитическая модель определения урожайности, прогноз величины урожая модельного сорта ярового ячменя в зависимости от комплекса вносимых минеральных удобрений.

Изменение функции $\zeta(n, p, k)$ относительной прибавки урожайности ярового ячменя под действием комплекса применяемых минеральных удобрений на выщелоченных черноземах лесостепи характеризуется вектором-градиентом

$$\nabla \zeta = \left(\frac{\partial \zeta}{\partial n}, \frac{\partial \zeta}{\partial p}, \frac{\partial \zeta}{\partial k} \right)$$

этой функции в каждой точке (n, p, k) , который формируется векторным полем $\lambda = (\lambda_n, \lambda_p, \lambda_k)$ интенсивности насыщения растений минеральными веществами.

$$\nabla \zeta = \lambda \cdot \zeta(0, 0, 0)$$

На основании анализа величины изменений строится система линейных уравнений в частных производных первого порядка:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial n} = \frac{1}{3} b_N \cdot n^{-\frac{2}{3}} + \frac{1}{3} b_{N,K} \cdot n^{-\frac{2}{3}} k^{\frac{1}{3}}$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial p} = \frac{1}{3} b_P \cdot p^{-\frac{2}{3}} + \frac{1}{3} b_{P,K} \cdot p^{-\frac{2}{3}} k$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial k} = b_{P,K} \cdot p^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3} b_{N,K} \cdot n^{\frac{1}{3}} k^{-\frac{2}{3}}$$

Проинтегрировав данную систему с помощью компьютерной математики Maple, найдем ее общее решение:

$$\zeta(n, p, k) = 1 + b_N \cdot \sqrt[3]{n} + b_P \cdot \sqrt[3]{p} + b_{N,K} \times \sqrt[3]{n} \cdot \sqrt[3]{k} + b_{P,K} \cdot \sqrt[3]{p} \cdot k + C$$

зависящее от единственного параметра C . Числовое значение C берем из условия $\zeta(0, 0, 0) = 1$, откуда получим значение $C = 0$ и соответствующее ему частное решение

$$\zeta(n, p, k) = 1 + b_N \cdot \sqrt[3]{n} + b_P \cdot \sqrt[3]{p} + b_{N,K} \times \sqrt[3]{n} \cdot \sqrt[3]{k} + b_{P,K} \cdot \sqrt[3]{p} \cdot k$$

где $b_N, b_P, b_{N,K}, b_{P,K}$ – весовые коэффициенты комплекса действующих минеральных удобрений, соответственно азота (N), фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O).

Область значений функции $\zeta(n, p, k)$ относительной прибавки урожайности, зависящей от трех переменных (n, p, k) . При заданном количестве калия (K_2O) для функции $\zeta(n, p, k_i)$ относительной прибавки урожайности конкретного сорта ячменя, зависящей от двух переменных (n, p) , находим оптимальные значения границы области данной функции $s-1$, линий уровня этой функции от (n, p) , разбивающих параметрическую область на s подобластей уровня s с постоянным шагом: $\tau = \frac{\max \zeta - \min \zeta}{s}$.

Промежуточные значения между парами смежных линий, то есть между $(j-1)$ -й и j -й линиями, представляет среднее двух значений, принимаемых функцией на данных линиях:

$$y_{j+0.5} = \frac{y_j + y_{j+1}}{2}, \quad j = 0 \dots s-1.$$

Для практики интерес представляет область наибольшего значения функции относительной прибавки урожайности, ограниченная линиями уровня со значениями y_{s-1} и y_s . В этой части пространства, называемой **областью эффективности**, средняя относительная прибавка оценивается медианой: $y_{eff} = \frac{y_{s-1} + y_s}{2}$. Очевидно, что абсолютная погрешность $\tau = |y_s - y_{s-1}|$ оценки y_{eff} будет достаточно малой при близких значения y_{s-1} и y_s , то есть при выборе достаточно малого шага τ разбиения параметрической области.

Например, область – эффективности на поверхности урожайности модельного сорта при заданном количестве калия ($k = 60 \text{ кг} - K_2O$), кг д.в.: азота ($n, \text{кг} - N$), фосфора ($p, \text{кг} - P_2O_5$) (рис. 1).

Изменение функции изображается изменением цвета и интенсивности окраски: от минимального (серого) до максимального (кораллового). Чем больше интенсивность закрашки (области и графика), тем больше значение функции, описывающей теоретическую поверхность урожайности. Левый нижний угол соответствует минимуму (27,000), а правый верхний – максимуму (53,087) урожайности. В области эффективности средняя урожайность равна 51,637.

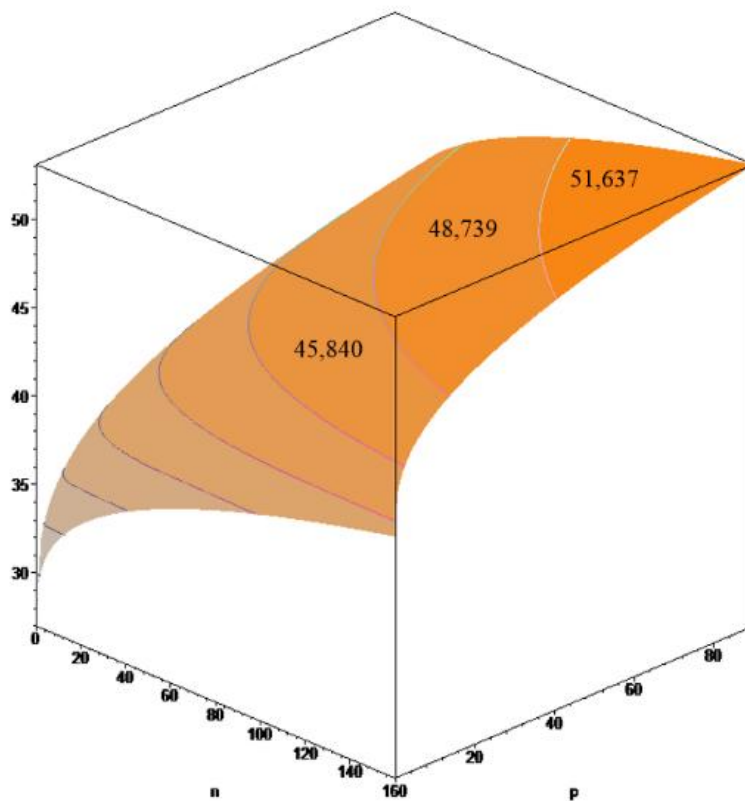


Рис. 1. Изменение урожайности в зависимости от количества применяемых минеральных удобрений

Аналитическая модель определения урожайности $u(n, p, k)$ по относительной прибавке $\zeta(n, p, k)$ урожайности конкретного сорта ячменя в зависимости от количеств вносимых минеральных удобрений – азота ($n, \text{кг} - N$), фосфора ($p, \text{кг} - P_2O_5$) и калия ($k, \text{кг} - K_2O$) представляется в следующем виде:

$$u(n, p, k) = u(0, 0, 0) \cdot \zeta(n, p, k)$$

$$\zeta(n, p, k) = 1 + b_N \cdot \sqrt[3]{n} + b_P \cdot \sqrt[3]{p} + b_{N,K} \cdot \sqrt[3]{n} \cdot \sqrt[3]{k} + b_{P,K} \cdot \sqrt[3]{p} \cdot k,$$

где $u(0, 0, 0) = Const$ – базовый уровень урожайности (без внесения минеральных удобрений: азота, фосфора и калия), ц/га; $b_N, b_P, b_{N,K}, b_{P,K}$ – весовые коэффициенты действующих количеств соответственно азота (n), фосфора (p) и калия (k).

Как следствие, при базовом уровне урожайности $u(0, 0, 0) = \alpha = Const$, ц/га, формула урожайности примет следующий вид:

$$u(n, p, k) = \alpha + \beta_N \cdot \sqrt[3]{n} + \beta_P \cdot \sqrt[3]{p} + \beta_{N,K} \cdot \sqrt[3]{n} \cdot \sqrt[3]{k} + \beta_{P,K} \cdot \sqrt[3]{p} \cdot k,$$

где $\beta_N = \alpha \cdot b_N$, $\beta_P = \alpha \cdot b_P$, $\beta_{N,K} = \alpha \cdot b_{N,K}$, $\beta_{P,K} = \alpha \cdot b_{P,K}$ – весовые коэффициенты действующих количеств, соответственно азота, фосфора, азота и калия, фосфора и калия.

Адекватность модели и значимость весовых коэффициентов попадают в 95 % доверительный интервал. Весовые коэффициенты после подстановки в общую формулу определяют регрессионную зависимость, детерминированную на 84,27 %, теоретическую поверхность (поверхность отклика) относительной прибавки урожайности модельного сорта, сглаживающую опытные данные.

Анализ отклонений опытных данных от теоретической поверхности показывает, что стандартное отклонение по данным относительной прибавки и

вычисленным по модели аналогичным данным принимает, соответственно, значения 0,31 и 0,28, а для невязки составляет 7,20 % при среднем ее значении 0,14 %. Кроме того, расхождение средних значений этих показателей, равных, соответственно, 1,475 и 1,473, не превосходит 0,005.

На основе построенной выше модели влияния минеральных удобрений на величину урожайности рассчитываются основные сценарии прогнозирования величины урожайности ярового ячменя, соответствующие действию вносимого калия ($k, \text{кг} - K_2 O$) в следующих количествах, кг д.в. (рис. 2): 0; 20; 40; 60.

При базовом уровне урожайности модельного сорта $\alpha = u(0, 0, 0) = 27$ ц/га с помощью компьютерного пакета Maple вычисляем оптимумы функции и диапазон изменения урожайности модельного сорта при заданном количестве калия ($K_2 O$):

$$k = 60. \text{ minimum}, 27., \{ [\{ n = 0., p = 0. \}, 27.] \}$$

$$\text{maximum}, 53.08707951, \{ [\{ k = 60.00, n = 160.00, p = 90.00 \}, 53.08707951] \}$$

$$\text{min} .. \text{max} = 27. .. 53.08707950$$

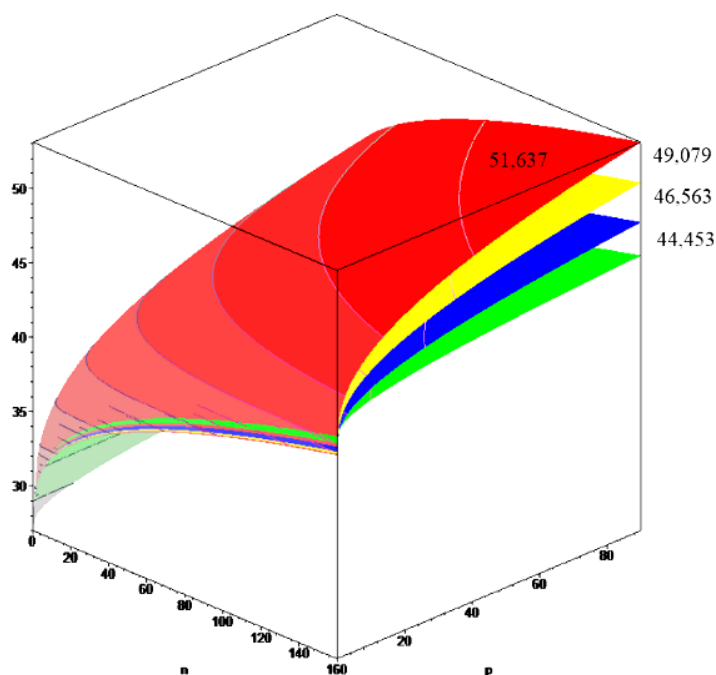


Рис. 2. Изменение урожайности в зависимости от количества применяемых минеральных удобрений, кг д.в.: азота ($n, \text{кг} - N$), фосфора ($p, \text{кг} - P_2 O_5$) при определенных количествах калия ($k - 0; 20; 40; 60, \text{кг} - K_2 O$)

Мелкость (шаг) разбиения области значений функции урожайности модельного сорта на 9 областей при заданном количестве калия ($k = 60 \text{ кг} K_2 O$): $\tau = 2,989\,564\,389$. Значения функции урожайности модельного сорта на линиях уровня: минимум урожай-

ности $y_0 = 27$ ц/га, максимум $y_9 = 53,087\,079\,50$ ц/га: значение в 9-й области эффективности – $y_{8,5} = 51,637\,797\,31$ ц/га.

Аналогично выстраиваются поверхности урожайности модельного сорта с областями эффективно-

сти при задании других значений базовой урожайности α и количества вносимого калия (K_2O), промежуточных между 0–20–40–60.

В рассматриваемых 1190 вариантах опыта количество азота (N) изменяется в диапазоне 0–160 кг д.в/га, фосфора (P_2O_5) – 0–90, количество калия (K_2O) – в диапазоне 0–60 кг д.в/га. Относительная прибавка урожайности распределена на промежутке 1,000–1,996 ед. с центром рассеивания 1,592 ед. и стандартным отклонением 0,171 ед.

В вариантах вычислительного эксперимента при заданном базовом уровне урожайности 10 ц/га средняя урожайность оценивается значением 15,92 ц/га; максимальная – 19,66; стандартное отклонение – 1,71 ц/га. При базовом уровне урожайности 20 ц/га средняя урожайность – 31,84 ц/га; максимальная – 39,32; стандартное отклонение – 3,42 ц/га.

Аналогично при поддерживаемом базовом уровне урожайности 30 ц/га средняя урожайность оценивается значением 47,76 ц/га; максимальная – 58,98; стандартное отклонение – 5,13 ц/га. При базовом уровне урожайности 40 ц/га средняя урожайность – 63,68 ц/га; максимальная – 78,64 ц/га; стандартное отклонение – 6,84 ц/га.

Методический подход по определению относительной прибавки урожайности применим и к другим зерновым культурам, возделываемым в лесостепных зонах Красноярского края. Исследования последних лет показывают, что ячмень по продуктивности уступает пшенице и овсу и положительно отзывается на элементы интенсификации (табл.). Без применения минеральных удобрений урожайность ячменя составила 20–22 ц/га и не зависела от способа обработки почвы. Внесение аммиачной селитры повысило продуктивность культуры на 1 ц/га (вариант прямого посева) и на 9 ц/га (вариант минимальной обработки почвы дискатором).

Максимальная урожайность зерновых культур в зависимости от технологии возделывания (Минино, 2014–2016 гг.)

Вариант обработки почвы	Фон удобрений	Урожайность, ц/га			
		Пшеница	Ячмень	Овес	Среднее
Вспашка (контроль)	Без удобрений	37,0	21,0	45,0	34,0
	Аммиачная селитра, 1ц/га	39,0	24,0	47,0	37,0
Дискование	Без удобрений	37,0	20,0	40,0	32,0
	Аммиачная селитра, 1ц/га	43,0	29,0	43,0	38,0
Прямой посев (No-till)	Без удобрений	39,0	22,0	30,0	30,0
	Аммиачная селитра, 1ц/га	41,0	23,0	38,0	34,0

Выводы

1. Исследованиями по разработке элементов точного земледелия установлено, что внесение минеральных удобрений повышает продуктивность ярового ячменя на 1 ц/га (вариант прямого посева) и на 9 ц/га (вариант минимальной обработки почвы дискатором). Получено модельное представление урожайности и величины урожая стандартного сорта ярового ячменя в условиях лесостепной зоны Красноярского края с уровнем детерминации свыше 84 %.

2. Теоретически и практически обоснована возможность использования геоинформационных данных уровня урожайности и относительной прибавки урожая группы сортов и модельного сорта ярового ячменя в качестве показателей, характеризующих продуктивность аграрных ландшафтов для оценки равномерности распределения природно-ресурсного

потенциала лесостепных территорий Красноярского края. Разработана аналитическая модель влияния минеральных удобрений на относительную прибавку урожайности и величину урожая ярового ячменя.

Литература

1. Зобова Н.В., Романов В.Н., Трубников Ю.Н. и др. Система земледелия Красноярского края на ландшафтной основе: науч.-практ. рекомендации / под ред. С.В. Брылёва. – Красноярск, 2015. – С. 27–32.
2. Трубников Ю.Н. Природные ресурсы и агроэкологический потенциал сельскохозяйственных культур в Красноярском крае // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 6. – С. 63.
3. Агропромышленный комплекс Красноярского края в 2011–2015 гг. – Красноярск, 2016. – 217 с.

4. Андропова Т.М. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений и их новых форм на урожай различных сортов, образцов ячменя и их качество, 1976–1979 г.: отчет о научной работе // Препринт Красноярского НИИСХ. – Красноярск, 1979. – 10 с.
5. Сурин Н.А., Ляхова Н.Е. Селекция ячменя Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАСХН; Енисей, 1993. – 292 с.
6. Романов В.Н., Литав В.М. Продуктивность зерновых культур в зернопаровом севообороте в условиях Красноярской лесостепи // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 6. – С. 43.
7. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 448 с.
8. Байгина Е.М., Шпедт А.А., Кратасюк В.А. и др. Развитие методов биологического мониторинга почв // Почвенные ресурсы Сибири: вызовы XXI века: сб. мат-лов Всерос. конф. с междунар. участием (4–8 декабря 2017 г., г. Новосибирск) / отв. ред. А.И. Сысо. – Томск: Изд-во ТГУ, 2017. – Ч. 2. – С. 237–241.
9. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд, доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
11. Draper, Norman R., and Smith, Harry. Applied Regression Analysis. – New York: Wiley, 1998 – 3rd. ed. – 389 p.
12. Montgomery, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control. – 2nd. ed. New York: John Wiley & Sons, 1991. – 243 p.
13. Stuart A., Ord K. Kendall's Advanced Theory of Statistics. Distribution Theory. – London: Edward Arnold, 1998. – 6th ed. – V. 1. – 375 p.
2. Trubnikov Ju.N. Prirodnye resursy i agrojekologicheskij potencial sel'skoho-zhajstvennyh kul'tur v Krasnojarskom krae // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2016. – Т. 30, № 6. – С. 63.
3. Agropromyshlennyj kompleks Krasnojarskogo kraja v 2011–2015 gg. – Krasnojarsk, 2016. – 217 s.
4. Andronova T.M. Vlijanie vozrastajushhих doz mineral'nyh udobrenij i ih novyh form na urozhaj razlichnyh sortov, obrazcov jachmenja i ih kachestvo, 1976–1979 g.: otchet o nauchnoj rabote // Preprint Krasnojarskogo NIISH. – Krasnojarsk, 1979. – 10 s.
5. Surin N.A., Ljahova N.E. Selekcija jachmenja Sibiri. – Novosibirsk: Izd-vo SO RASHN; Enisej, 1993. – 292 s.
6. Romanov V.N., Litau V.M. Produktivnost' zernovyh kul'tur v zernoparovom sevooborote v uslovijah Krasnojarskoj lesostepi // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2014. – № 6. – С. 43.
7. Moiseev N.N. Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza. – М.: Nauka, 1981. – 448 s.
8. Bajgina E.M., Shpedt A.A., Kratasjuk V.A. i dr. Razvitie metodov biologicheskogo monitoringa pochv // Pochvennye resursy Sibiri: vyzovy XXI veka: sb. mat-lov Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem (4–8 dekabrja 2017 g., g. Novosibirsk) / отв. ред. А.И. Сысо. – Томск: Изд-во ТГУ, 2017. – Ч. 2. – С. 237–241.
9. Ermakov A.I. Metody biohimicheskogo issledovanija rastenij. – L.: Agroprom-izdat, 1987. – 430 s.
10. Dospheov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanij). – 5-e izd, dop. i pererab. – М.: Agropromizdat, 1985. – 351 s.
11. Draper, Norman R., and Smith, Harry. Applied Regression Analysis. – New York: Wiley, 1998 – 3rd. ed. – 389 p.
12. Montgomery, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control. – 2rd. ed. New York: John Wiley & Sons, 1991. – 243 p.
13. Stuart A., Ord K. Kendall's Advanced Theory of Statistics. Distribution Theory. – London: Edward Arnold, 1998. – 6th ed. – V. 1. – 375 p.

Literatura

1. Zobova N.V., Romanov V.N., Trubnikov Ju.N. i dr. Sistema zemledelija Krasnojarskogo kraja na landshaftnoj osnove: nauch.-prakt. rekomendacii / pod red. S.V. Bryljova. –Krasnojarsk, 2015. – S. 27–32.
2. Trubnikov Ju.N. Prirodnye resursy i agrojekologicheskij potencial sel'skoho-zhajstvennyh kul'tur v Krasnojarskom krae // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2016. – Т. 30, № 6. – С. 63.
3. Agropromyshlennyj kompleks Krasnojarskogo kraja v 2011–2015 gg. – Krasnojarsk, 2016. – 217 s.
4. Andronova T.M. Vlijanie vozrastajushhих doz mineral'nyh udobrenij i ih novyh form na urozhaj razlichnyh sortov, obrazcov jachmenja i ih kachestvo, 1976–1979 g.: otchet o nauchnoj rabote // Preprint Krasnojarskogo NIISH. – Krasnojarsk, 1979. – 10 s.
5. Surin N.A., Ljahova N.E. Selekcija jachmenja Sibiri. – Novosibirsk: Izd-vo SO RASHN; Enisej, 1993. – 292 s.
6. Romanov V.N., Litau V.M. Produktivnost' zernovyh kul'tur v zernoparovom sevooborote v uslovijah Krasnojarskoj lesostepi // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2014. – № 6. – С. 43.
7. Moiseev N.N. Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza. – М.: Nauka, 1981. – 448 s.
8. Bajgina E.M., Shpedt A.A., Kratasjuk V.A. i dr. Razvitie metodov biologicheskogo monitoringa pochv // Pochvennye resursy Sibiri: vyzovy XXI veka: sb. mat-lov Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem (4–8 dekabrja 2017 g., g. Novosibirsk) / отв. ред. А.И. Сысо. – Томск: Изд-во ТГУ, 2017. – Ч. 2. – С. 237–241.
9. Ermakov A.I. Metody biohimicheskogo issledovanija rastenij. – L.: Agroprom-izdat, 1987. – 430 s.
10. Dospheov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanij). – 5-e izd, dop. i pererab. – М.: Agropromizdat, 1985. – 351 s.
11. Draper, Norman R., and Smith, Harry. Applied Regression Analysis. – New York: Wiley, 1998 – 3rd. ed. – 389 p.
12. Montgomery, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control. – 2rd. ed. New York: John Wiley & Sons, 1991. – 243 p.
13. Stuart A., Ord K. Kendall's Advanced Theory of Statistics. Distribution Theory. – London: Edward Arnold, 1998. – 6th ed. – V. 1. – 375 p.

