

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ МАРГАНЦА В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

✉ Нарожных К.Н.

Новосибирский государственный аграрный университет

Новосибирск, Россия

✉ e-mail: nkn.88@mail.ru

Представлены результаты определения наиболее эффективной модели прогноза уровня марганца в мышечной ткани герефордского скота для прижизненной оценки элементного статуса животных малоинвазивными методами. Эксперимент проведен с помощью гематологического и биохимического исследования крови и атомно-абсорбционного анализа мышечной ткани крупного рогатого скота. Полученные данные использованы для подгонки регрессионной модели методом наименьших квадратов. Для анализа отобраны пробы скелетной мускулатуры массой 100 г с диафрагмальной мышцы от герефордского скота, разводимого в южной части Западной Сибири в условиях промышленного комплекса. Оценка концентрации марганца в тканях осуществляли методом атомно-абсорбционного анализа на спектрометре МГА-1000. Определение содержания эритроцитов, лейкоцитов и гемоглобина проводили на автоматическом гематологическом анализаторе PCE-90VET. Уровень протеина, альбуминов, глобулинов, мочевины, мочевой кислоты и холестерина определяли фотометрическими методами на полуавтоматическом биохимическом анализаторе Photometer-5010. Расчет эффектов регрессионных моделей осуществляли методом наименьших квадратов. Селекция лучшей модели по эффективности и точности оценки модели базировалась на комплексной оценке значений внутренних и внешних критериев качества. Между зависимой и независимыми переменными выявлены статистически значимые ассоциации ($p < 0,05$). Внутри пула предикторов отмечена скоррелированность ($p < 0,05$). В результате подгонки моделей получено оптимальное регрессионное уравнение, включающее два показателя (скорость оседания эритроцитов и уровень глобулинов), для прогноза уровня марганца в мышечной ткани крупного рогатого скота. Между главными эффектами модели отсутствуют признаки мультиколлинеарности, что подтверждает значения фактора инфляции дисперсии – 1,2. Полученная модель удовлетворяет необходимым допущениям в отношении остатков. Распределения остатков модели входят в доверительные интервалы кривой нормального распределения. Коэффициент автокорреляции был равен 0,039 ($p > 0,05$), что указывает на независимость остатков. Полученная модель может быть использована для прижизненной оценки концентрации марганца в мышечной ткани крупного рогатого скота.

Ключевые слова: марганец, крупный рогатый скот, герефордская порода, прогнозирование, регрессия

MATHEMATICAL MODELING OF THE MANGANESE LEVEL IN THE MUSCLE TISSUE OF CATTLE

✉ Narozhnykh K.N.

Novosibirsk State Agrarian University

Novosibirsk, Russia

✉ e-mail: nkn.88@mail.ru

The results of determining the most effective model for predicting the level of manganese in the muscle tissue of Hereford cattle for in vivo assessment of the elemental status of animals by low invasive methods are presented. The experiment was carried out using hematological and biochemical blood tests and atomic absorption analysis of the muscle tissue of cattle. The data obtained are used to fit the regression model using the least square method. Skeletal muscle samples weighing 100 g from the diaphragm muscle of the Hereford cattle bred in the southern part of Western Siberia in the conditions of industrial complex were taken for analysis. Manganese concentration in tissues was assessed by atomic absorption analysis on an MGA-1000 spectrometer. The content of erythrocytes, leukocytes, and hemoglobin was determined on an automatic hematology analyzer

PCE-90VET. Protein, albumin, globulin, urea, uric acid, and cholesterol levels were determined by photometric methods on a Photometer-5010 semi-automatic biochemical analyzer. The effects of regression models were calculated using the least square method. Selection of the best model for efficiency and accuracy of model estimation was based on a comprehensive assessment of the values of internal and external quality criteria. Statistically significant associations ($p < 0.05$) were found between the dependent and independent variables. Within the pool of predictors, correlation ($p < 0.05$) was observed. As a result of model fitting, an optimal regression equation including two indicators (erythrocyte sedimentation rate and globulin level) for predicting manganese levels in bovine muscle tissue was obtained. There are no signs of multicollinearity between the main effects of the model, which confirms the values of the variance inflation factor - 1.2. The resulting model satisfies the necessary assumptions about the residuals. The distributions of the model residuals fall within the confidence intervals of the normal distribution curve. The autocorrelation coefficient was 0.039 ($p > 0.05$), indicating the independence of the residuals. The resulting model can be used for in vivo assessment of manganese concentration in bovine muscle tissue.

Keywords: manganese, cattle, Hereford breed, prediction, regression

Для цитирования: Нарожных К.Н. Математическое моделирование уровня марганца в мышечной ткани крупного рогатого скота // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 4. С. 81–92. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-4-9>

For citation: Narozhnykh K.N. Mathematical modelling of the manganese level in the muscle tissue of cattle. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 4, pp. 81–92. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-4-9>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-76-00003, <https://rscf.ru/project/22-76-00003/>.

Acknowledgments

The study was supported by the Russian Science Foundation Grant No. 22-76-00003, <https://rscf.ru/project/22-76-00003/>.

ВВЕДЕНИЕ

Марганец – эссенциальный микроэлемент, потребность в котором крупного рогатого скота мясного направления продуктивности составляет 20 мг марганца/кг рациона [1–3]. При дефиците этого элемента отмечаются нарушения углеводного и липидного обмена, задержка роста, дерматиты, дисфункция синтеза костной ткани и репродуктивной системы [4, 5]. Установлено, что основными ферментами, чувствительными к дефициту марганца в рационе, являются гликозилтрансферазы и ксилозилтрансферазы (ферменты, активируемые марганцем и участвующие в синтезе протеогликанов и, следовательно, в формировании костей), а также аргиназа и митохондриальная супероксиддисмутаза (металлоферменты марганца) [6–9]. Снижение фертильности при недостатке марганца возникает вследствие нарушения синтеза холестерина и родствен-

ных ему соединений (эргостерол, эргостерол, стигмастерол и др.), необходимых для синтеза половых гормонов и иных стероидов [10–12]. Восполнение дефицита марганца у жвачных животных может быть достигнуто за счет использования поликомпонентных минеральных кормов [13, 14]. С целью профилактики добавки, содержащие марганец, используются, когда есть только неподтвержденное подозрение на недостаток микроэлемента [15].

Элементный статус связан с происходящими в организме биохимическими процессами [16–18]. Выявление этих закономерностей позволит разработать методы прижизненной оценки уровня микроэлементов в тканях животных. В качестве предикторов и биоиндикаторов уровня марганца могут выступать гематологические и биохимические показатели крови.

Цель исследования – выявить наиболее эффективную модель прогноза уровня мар-

ганца в мышечной ткани герефордского скота, которая позволит прижизненно оценивать элементный статус животных малоинвазивными методами.

Задачи исследования реализованы посредством гематологического и биохимического исследования крови и атомно-абсорбционного анализа мышечной ткани крупного рогатого скота. Полученные данные использованы для подгонки регрессионных моделей методом наименьших квадратов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пробы скелетной мускулатуры ($n = 22$) взяты с диафрагмальной мышцы герефордского скота, разводимого на территории юга Западной Сибири. Животные содержались в типовых условиях промышленного комплекса при выполнении ветеринарных и зоотехнических требований (ГОСТ 32855–2014, ГОСТ 26090–84, ГОСТ Р 52254–2004). На момент убоя животные были клинически здоровы. Пробы крови взяты из яремной вены животных и стабилизированы 5%-м цитратом натрия. Анализ проб мышечной ткани выполняли в соответствии с ГОСТ Р 55484–2013 на электротермическом атомно-абсорбционном спектрометре МГА-1000. Уровень гемоглобина, количество эритроцитов и лейкоцитов определяли на гематологическом анализаторе РСЕ-90VET. Биохимический анализ сыворотки крови проводили на биохимическом анализаторе Photometer-5010.

Статистический анализ исходных данных выполнен в среде R. Подгонку моделей выполняли методом наименьших квадратов в соответствии с протоколом разведочного анализа данных [19]. С помощью критерия Шапиро – Уилка проверяли соответствие распределений остатков модели гауссовскому. Расчет коэффициентов корреляции между переменными модели выполняли методом Спирмена. Оценку наличия мультиколлинеарности в параметрах моделей-кандидатов проводили на основании значений коэффициента инфляции дисперсии, а также с помощью визуальной оценки матрицы диаграммы рассеяния. Выявление влиятельных

наблюдений в остатках модели проводили с помощью теста Граббса. Множественные сравнения влиятельных наблюдений в остатках модели проводили с использованием поправки Бонферонни. С помощью теста Дарбина – Уотсона проверяли выполнения условия независимости остатков модели.

Для удобства анализа и описания названия исходных переменных изменены (см. табл. 1).

Табл. 1. Обозначение и расшифровка для комплекса независимых переменных, используемых для селекции регрессионных моделей

Table 1. Designation and interpretation for the complex of independent variables used for the selection of regression models

Показатель	Единица измерения	Переменная в модели
Уровень Fe в крови	ммоль/л	x1
Лейкоциты	$\times 10^9$ ед.	x2
Эритроциты	$\times 10^{12}$ ед.	x3
Гемоглобин	г/л	x4
СОЭ	мм/ч	x5
Цветовой показатель крови	Соотношение	x6
Протеин	г/л	x7
Альбумин	г/л	x8
Глобулин	г/л	x9
Мочевина	ммоль/л	x10
Мочевая кислота	мкмоль/л	x11
Холестерин	ммоль/л	x12

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для подгонки регрессионных моделей методом наименьших квадратов необходима оценка скоррелированности между предикторами. Так, при выявлении мультиколлинеарности между параметрами модели значения коэффициентов будут неустойчивыми, кроме того, анализ вклада каждого из эффектов в дисперсию зависимой переменной будет затруднен. Поэтому для оценки ассоциаций между переменными были рассчитаны коэффициенты корреляции Спирмена (см. рис. 1) и построены диаграммы рассеяния (см. рис. 2).

Между зависимой и независимыми переменными выявлены 4 статистически значимые корреляции с гемоглобином, цветовым

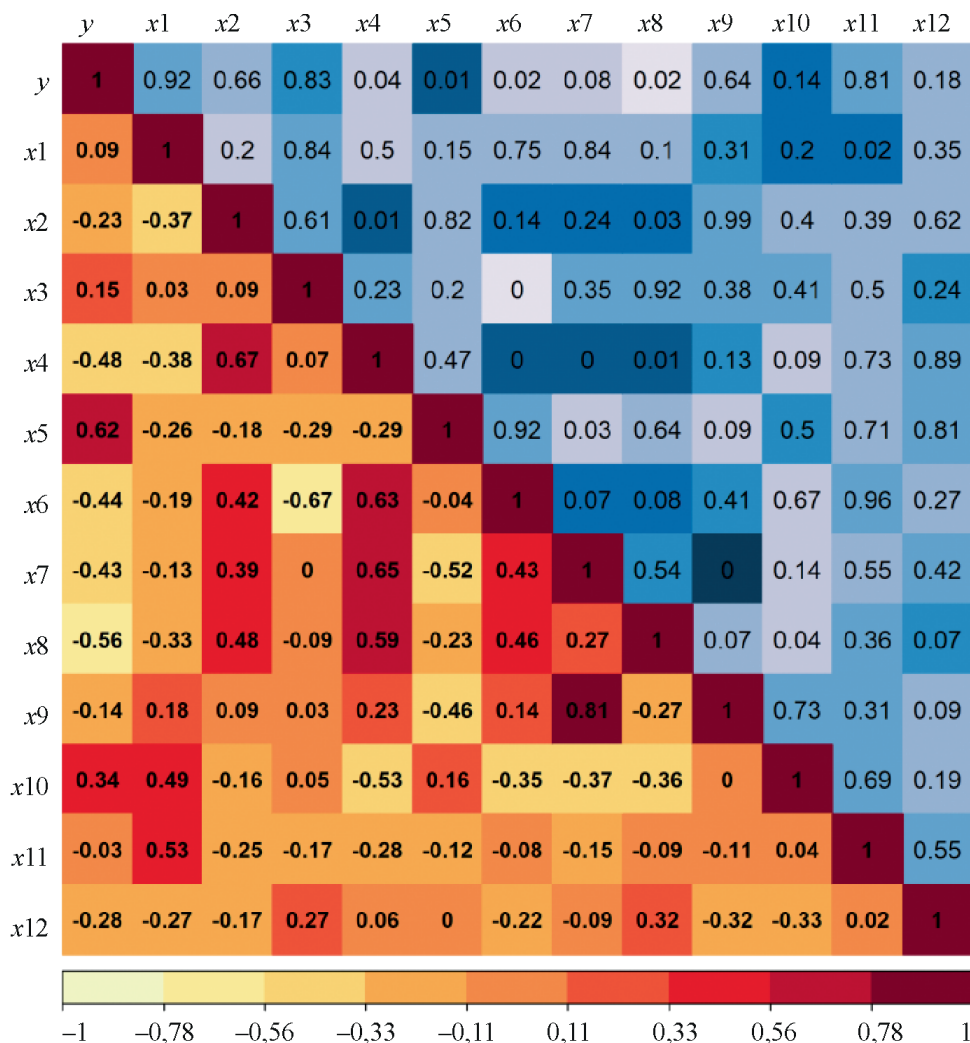


Рис. 1. Корреляционная матрица (на красном фоне значения коэффициентов корреляции, на синем – их уровней значимости)

Fig. 1. Correlation matrix (on the red background are the values of the correlation coefficients, on the blue background are their significance levels)

показателем крови, альбумином и СОЭ. В свою очередь, концентрация гемоглобина ассоциирована со значениями альбуминов и цветового показателя крови, только уровень СОЭ не связан с этими признаками. При селекции моделей необходимо отобрать такой комплекс предикторов, который позволит рассчитать наиболее эффективную и компактную модель, чтобы ее параметры не дублировали влияние друг друга на дисперсию зависимой переменной.

Отбор моделей-кандидатов был основан на оценках внутренних критериев качества – информационного критерия Акаике (AIC), скорректированного коэффициента детерми-

нации (R^2_{adj}), критерия Мэллоу (C_p) и байесовского информационного критерия (BIC). На основании оценок первых двух критериев качества построена модель с 4 предикторами (см. табл. 2). По оценкам последних двух критериев получена более компактная модель с двумя предикторами (см. рис. 3).

Оценка полученных моделей и их эффектов представлены в табл. 3 и 4. Несмотря на то, что оценка стандартного отклонения остатков была незначительно ниже у модели с 4 предикторами, статистически значимым был только один коэффициент (x_9), хотя значение F -статистики было ниже критического, что позволяет отклонить гипо-

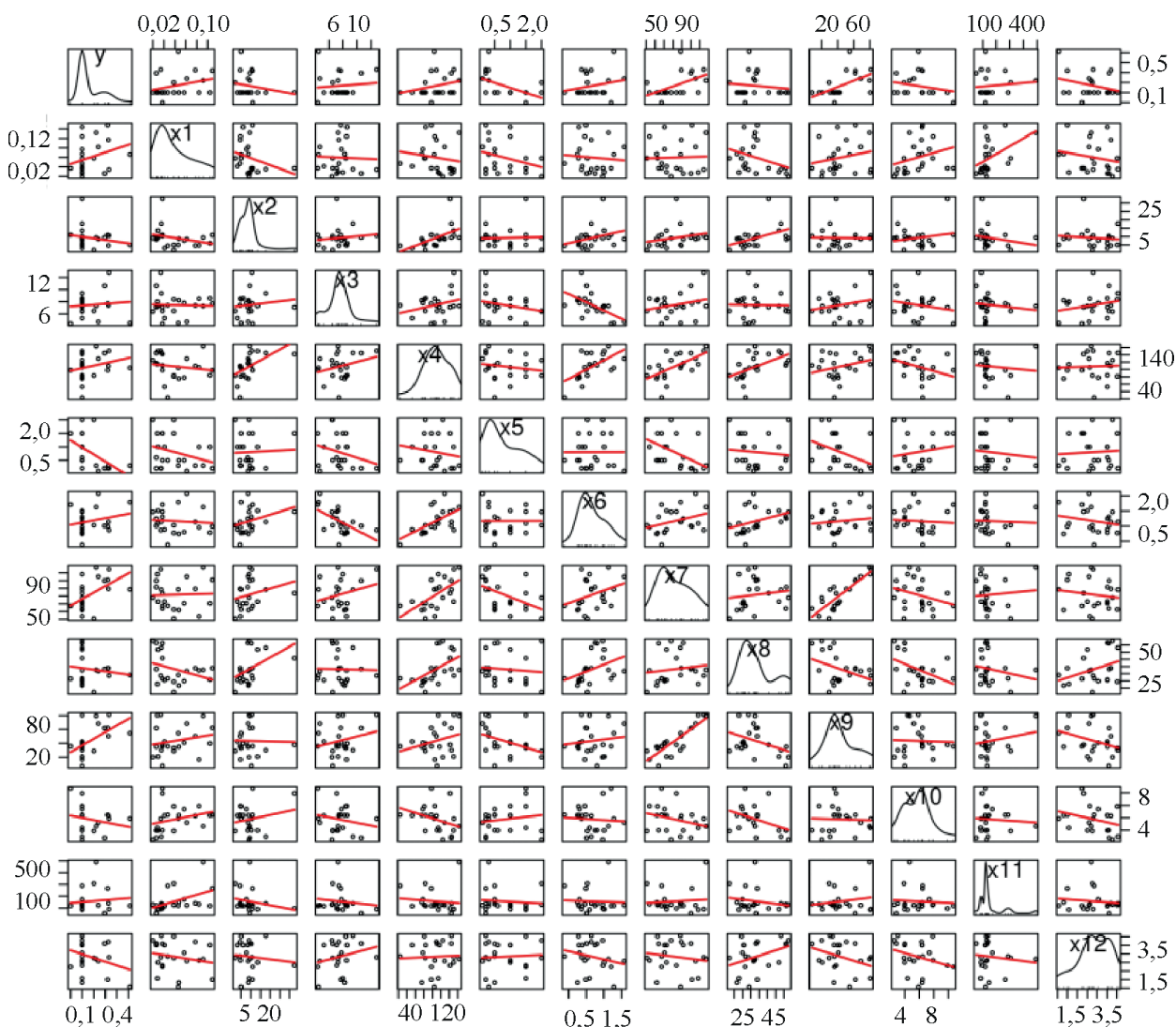


Рис. 2. Матрица диаграмм рассеяния параметров регрессионных моделей

Fig. 2. Matrix of scatterplots of regression models parameters

Табл. 2. Внутренние критерии оценки качества моделей-кандидатов прогноза уровня марганца в мышечной ткани, мг/кг

Table 2. Internal criteria for assessing the quality of candidate models for predicting the level of manganese in muscle tissue, mg/kg

Формула модели	df	p	SSE	MSE	R^2	R^2_{adj}	AIC	BIC
$y \sim 1 + x1 + x3 + x9 + x10$	17	4	0,079	0,005	0,573	0,472	-49,358	-37,242
$y \sim 1 + x5 + x9$	19	2	0,097	0,005	0,478	0,423	-48,932	-38,998

Здесь и далее: SSE – ошибка суммы квадратов; MSE – средняя квадратная ошибка; R^2 – коэффициент детерминации; R^2_{adj} – скорректированный коэффициент детерминации (СКД); AIC – информационный критерий Акаике; BIC – байесовский информационный критерий.

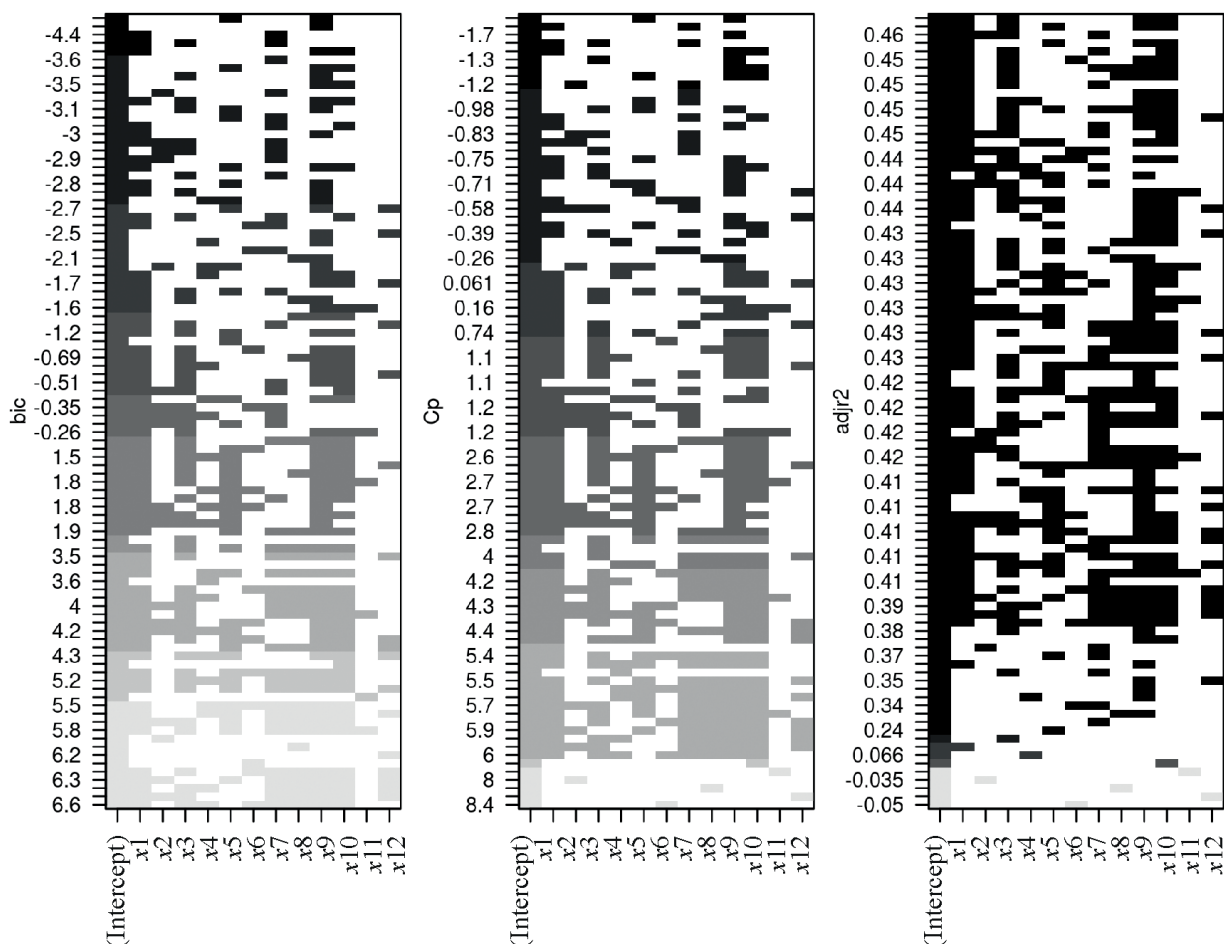


Рис. 3. Ранжирование моделей (слева направо) по BIC, критерию Мэллоу и R^2_{adj}

Fig. 3. Ranking of models (from left to right) according to the BIC, the Mallows criterion and R^2_{adj}

тезу о равенстве всех коэффициентов нулю (см. табл. 3). В свою очередь, у модели с двумя независимыми переменными значение F -статистики было выше, что привело к улучшению значения уровня значимости в 2 раза по сравнению с предыдущей моделью (см. табл. 4).

Расчет фактора инфляции дисперсии для полной модели и моделей-кандидатов представлен в табл. 5. Очевидно, что у моделей-претендентов отсутствует мультиколлинерность между предикторами в отличие от полной модели, где более половины коэффициентов сильно скоррелированы.

Выбор лучшей модели выполнялся на основании данных внешнего критерия качества регрессионных моделей – кросс-валидации. Визуализация кросс-валидации с разбиением исходной выборки на 3 блока представлена на рис. 4. На левом графике

видно, что одна из регрессионных линий значительно отклоняется от общего тренда, в отличие от модели с двумя предикторами (справа).

Качество прогноза моделей-кандидатов можно оценить с помощью несмещенного значения коэффициента детерминации и среднего квадрата для каждой из моделей кандидатов (см. табл. 6). Полученные данные указывают на значительное превосходство компактной модели, так как она дает значительно более точный прогноз и объясняет дисперсию уровня марганца в мышечной ткани почти в 3 раза лучше по сравнению с ближайшей конкурирующей моделью.

Таким образом, в результате селекции можно сделать вывод, что лучшая модель для прогноза уровня марганца в мышечной ткани скота содержит два предиктора (x_5 и x_9).

Табл. 3. Параметры оценки коэффициентов модели-претендента прогноза уровня марганца в мышечной ткани от показателей крови, мг/кг

Table 3. Parameters for estimating the coefficients of the candidate model for predicting the level of manganese in the muscle tissue from blood parameters, mg/kg

Обозначение коэффициентов	Оценки коэффициентов	Стандартные ошибки коэффициентов	t-статистика	p_t
Integer ¹	0,090	0,084	1,115	0,280
x1	0,889	0,463	1,919	0,072
x3	0,011	0,009	1,323	0,203
x9	0,002	0,001	2,759	0,013
x10	-0,013	0,007	-1,738	0,100

Примечание. RSE = 0,068, F-statistic = 5,7, $p = 0,004$.

¹Свободный член уравнения.

Табл. 4. Параметры оценки коэффициентов модели-претендента прогноза уровня марганца в мышечной ткани от показателей крови, мг/кг

Table 4. Parameters for estimating the coefficients of the candidate model for predicting the level of manganese in the muscle tissue from blood parameters, mg/kg

Обозначение коэффициентов	Оценки коэффициентов	Стандартные ошибки коэффициентов	t-статистика	p_t
Integer ¹	0,200	0,050	3,983	0,001
x5	-0,052	0,028	-1,873	0,077
x9	0,002	0,001	2,711	0,014

Примечание. RSE = 0,71, F-statistic = 8,7, $p = 0,002$.

¹Свободный член уравнения.

Табл. 5. Значения фактора инфляции дисперсии для коэффициентов регрессионных моделей оценки уровня марганца в мышечной ткани

Table 5. Values of the dispersion inflation factor for the coefficients of regression models for estimating the level of manganese in the muscle tissue

Предиктор	Полная модель	$y \sim x1 + x3 + x9 + x10$	$y \sim x3 + x5$
x1	2,1	1,1	—
x2	4,2	—	—
x3	24	1,1	1,2
x4	33,8	—	—
x5	2,3	—	1,2
x6	33,3	—	—
x7	595,9	—	—
x8	162,6	—	—
x9	658,6	1,2	—
x10	3,3	1,1	—
x11	1,8	—	—
x12	1,8	—	—

Чтобы считать выбранную модель достаточно эффективной для прогнозирования, необходимо проверить допущения в отношении ее остатков. Формальные тесты Андерсона – Дарлинга ($A = 0,5$; $p = 0,2$) и Шапиро – Уилка ($W = 0,9$; $p = 0,2$) свидетельствуют о соответствии распределения остатков нормальному. Визуализация значений плотности вероятности остатков находится в пределах доверительного интервала для кривой нормального распределения (см. рис. 5).

График квантилей стандартизированных остатков и теоретически ожидаемых квантилей также показывает, что их значения распределены нормально (см. рис. 6, левый верхний график).

Левый верхний и нижний графики указывают на относительную однородность дисперсий остатков (см. рис. 6). Выявление потенциально влиятельных наблюдений с помощью расстояния Кука показано на нижнем правом графике рис. 6. Отображены порядковые номера трех наблюдений с

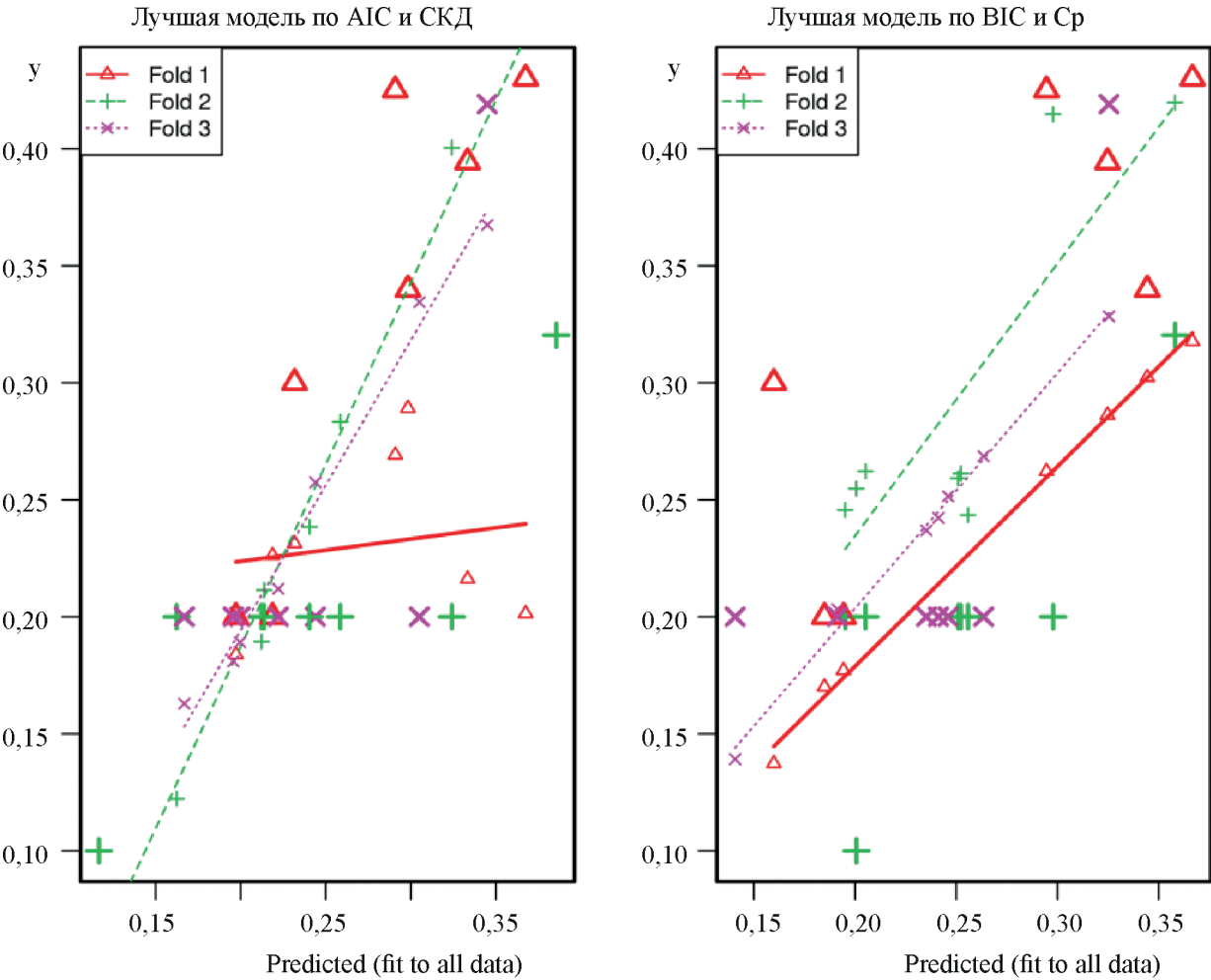


Рис. 4. Визуализация моделей-претендентов методом кросс-валидации с разбиением на 3 блока
Fig. 4. Visualization of candidate models for assessing by the cross-validation method divided into 3 blocks

Табл. 6. Кросс-валидация оценок регрессионных моделей прогноза уровня марганца в мышечной ткани
Table 6. Cross-validation of estimates of regression models for predicting the level of manganese in the muscle tissue

Формула модели	SSE	df	MS	R ²	Кросс-валидация R ²
$y \sim 1 + x_5 + x_9$	0,2200	22	0,00996	0,478	0,227
$y \sim 1 + x_1 + x_3 + x_9 + x_{10}$	0,2242	22	0,01019	0,573	0,0826

высоким потенциалом воздействия. Однако визуально на предыдущих графиках рис. 6 эти варианты согласуются с моделью. Формальная проверка наиболее влиятельного наблюдения на соответствие совокупности проводилась с учетом поправки Бонферрони. Так, в отобранной модели максимальное значение студентизированного остатка со-

ставляло 2,52 и соответствовало скорректированному уровню значимости – 0,47. Полученные результаты свидетельствуют о том, что данное максимальное значение не отличается от других наблюдений в совокупности. Для проверки гипотезы о независимости остатков рассчитано значение коэффициента автокорреляции – 0,039 ($p = 0,32$),

что подтверждает нулевую гипотезу о независимости остатков модели.

Таким образом, для прогноза уровня марганца в мышечной ткани герефордского скота необходимо установить концентрацию глобулина и скорость оседания эритроцитов и на основании полученных данных построить уравнение регрессии

$$y = 0,2 - 0,052 \times \text{СОЭ} + 0,002 \times \Gamma,$$

где y – концентрация марганца в мышечной ткани (мг/кг); СОЭ – скорость оседания эритроцитов (мм/ч); Γ – уровень глобулина (г/л).

Несмотря на то, что полученные результаты показали достаточный уровень статистической значимости модели и ее коэффициентов, а также отсутствие выбросов, данная модель нуждается в обучении на новых

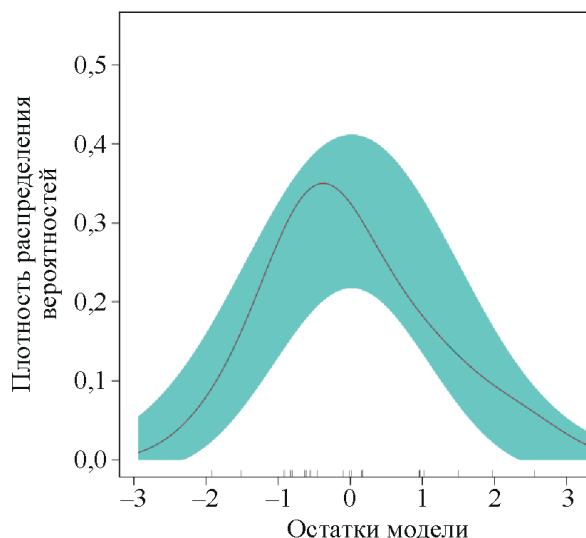


Рис. 5. Распределение остатков регрессионной модели оценки уровня марганца в мышечной ткани, мг/кг

Fig. 5. Residual distribution of the regression model for estimating the level of manganese in the muscle tissue, mg/kg

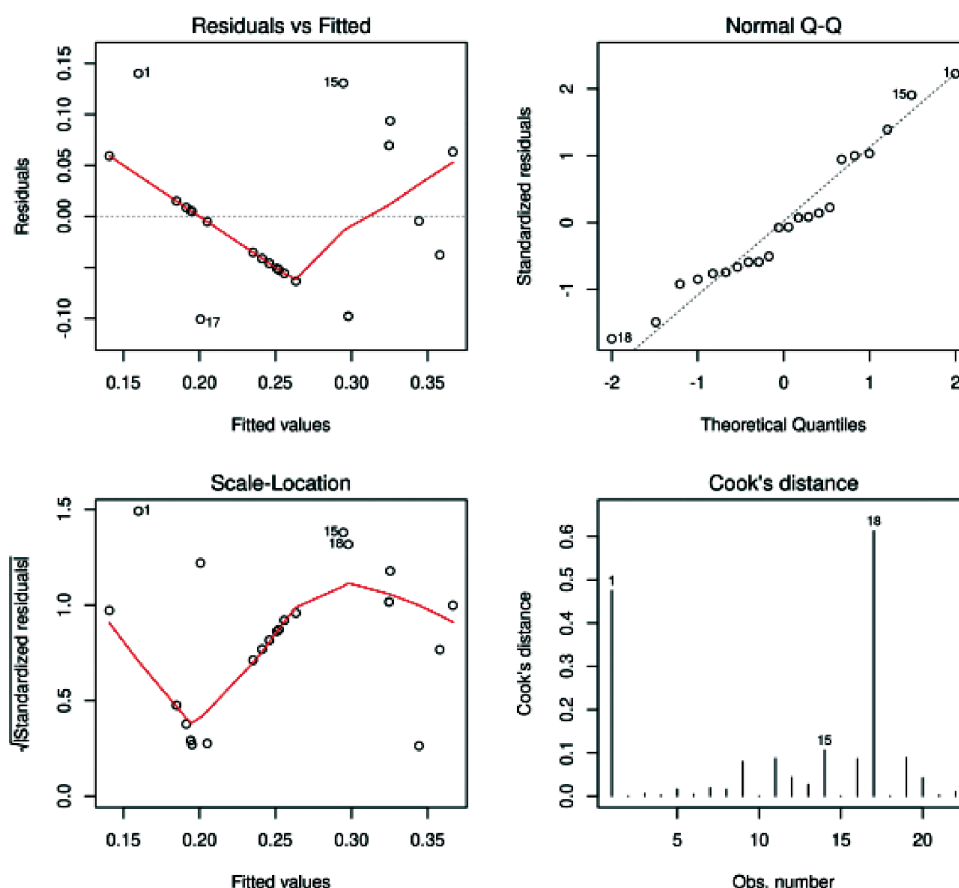


Рис. 6. Слева направо: остатки в зависимости от отклика, график квантилей, квадратный корень стандартизованных остатков в зависимости от отклика и дистанций Кука

Fig. 6. From left to right: residuals versus response, quantile plot, square root of standardized residuals versus response, and Cook's distances

данных, так как с имеющейся точностью прогноз уровня марганца в мышечной ткани будет иметь широкие доверительные интервалы. Поэтому необходимы дополнительные данные для улучшения модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученная модель может быть использована для прижизненной оценки уровня марганца в мышечной ткани герефордского скота. Полученные данные могут быть использованы с целью экологического мониторинга элементной нагрузки на животных. Применение данного метода позволит своевременно выявлять дисбаланс Mn в мышечной ткани и с помощью изменения рационов снижать или увеличивать концентрацию данного металла. Необходимо проводить дальнейшее обучение модели, найти более широкий комплекс предикторов для повышения точности оценок зависимой переменной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. National Research Council. Mineral tolerance of animals. Washington DC: National Academy Press. 2005. 469 p.
2. Narozhnykh K.N., Sebezshko O.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Tarasenko E.I. Manganese Content In Muscles Of Sons Of Different Holstein Bulls Reared In Western Siberia // Trace Elements and Electrolytes. 2021. Vol. 38. N 3. P. 149.
3. Scher D.P., Goeden H.M., Klos K.S. Potential for manganese-induced neurologic harm to formula-fed infants: a risk assessment of total oral exposure // Environmental health perspectives. 2021. Vol. 129. N 4. P. 047011.
4. Stephenson E.L., Rathert A.R., Tucker H., Meyer A.M. 70 Effects of copper, zinc, and manganese intake in late gestation on milk, cow plasma, and calf plasma trace mineral concentrations post-calving in beef cattle // Journal of Animal Science. 2019. Vol. 97. № 2. P. 45.
5. Kropyvka Y.H., Bomko V.S. Influence of feeding of mixed-ligande complexes of zinc, manganese and cobalt on cow productivity, feed digestibility and nitrogen metabolism in the last period of lactation // Feeds and Feed Production. 2020. Vol. 90. P. 179–190.
6. Davy J.S., Forero L.C., Shapero M.W., Rao D.R., Becchetti T.A., Koopman Rivers, Stackhouse J.W.C., DeAtley K.L., McNabb B.R. Mineral status of California beef cattle // Translational Animal Science. 2019. Vol. 3. N 1. P. 66–73.
7. Palomares R.A. Trace Minerals Supplementation with Great Impact on Beef Cattle Immunity and Health // Animals. 2022. Vol. 12. N 20. P. 2839.
8. Alfaro G.F., Novak T.E., Rodning S.P., Moisa S.J. Preconditioning beef cattle for long-duration transportation stress with rumen-protected methionine supplementation: A nutrigenetics study // PloS one. 2020. Vol. 15. N 7. P. E0235481.
9. Batra J., Aggarwal J., Pasha E.H., Singh R.S. A Review of the Role of Zinc, Manganese, and Copper in the Metabolic Processes That Take Place in the Rumen and in Immune Function // International Journal of Food and Nutritional Sciences. 2022. Vol. 11. N 4. P. 92–110.
10. Gorski K., Saba L. Assessment of manganese levels in the soil and feeds, and in the bodies of milk cows from central-eastern Poland administered a mineral compound feed // Acta Scientiae Veterinariae. 2015. Vol. 43. N 1. P. 1.
11. Hansen S.L., Spears J.W., Lloyd K.E., Whisnant C.S. Growth, reproductive performance, and manganese status of heifers fed varying concentrations of manganese // Journal of animal science. 2006. Vol. 84. N 12. P. 3375–3380.
12. Studer J.M., Schweer W.P., Gabler N.K., Ross J.W. Functions of manganese in reproduction // Animal Reproduction Science. 2022. P. 106924.
13. Krajnicakova M., Kovac G., Kostecky M., Valocky I., Maracek I., Sutiakova I., Lenhardt L. Selected clinicobiochemical parameters in the puerperal period of goats // Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy. 2003. Vol. 47. N 1. P. 177–182.
14. Spears J.W. Boron, chromium, manganese, and nickel in agricultural animal production // Biological trace element research. 2019. Vol. 188. N 1. P. 35–44.
15. National Research Council. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Washington DC: National Academy Press, 2001. 401 p.
16. Sebezshko O., Korotkevich O., Konovalova T., Biryula I., Petukhov V., Kamaldinov E., Narozhnykh K., Nezavitin A.G., Dementyev V.N., Nazarenko A.V., Osadchuk L. Biochemical and min-

- eral parameters in pigs of two breeds reared in large industrial complexes of Western Siberia // *Journal of Agricultural, Food, and Environmental Sciences*. 2017. Vol. 71. N 1. P. 186–190.
17. Konovalova T.V., Sebezhko O.I., Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N., Nazarenko A.V., Kamaldinov E.V., Andreeva V.A., Petukhov V.L., Popovski Z.T. Correlations of some biochemical and hematological, parameters with polymorphisms in as1-casein and β -lactoglobulin genes in Romanov sheep breed // *Proceedings of the International Symposium on Animal Science*. 2018. P. 47.
18. Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Chysyma R.B., Kuzmina E.E., Shishin N.I., Korotkevich O.S., Konovalova T.V., Narozhnykh K.N., Marenkov V.G., Zheltikov A.I., Nezavitin A.G., Osadchuk L.V. Influence of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the Republic of Tyva // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2017. Vol. 9. N 9. P. 1530–1535.
19. Zuur A.F., Ieno E.N., Elphick C.S. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems // *Methods in ecology and evolution*. 2010. Vol. 1. N 1. P. 3–14.
- REFERENCES**
1. *National Research Council. Mineral tolerance of animals*. Washington DC: National Academy Press, 2005, 469 p.
2. Narozhnykh K.N., Sebezhko O.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Tarasenko E.I. Manganese Content In Muscles Of Sons Of Different Holstein Bulls Reared In Western Siberia. *Trace Elements and Electrolytes*. 2021. vol. 38, no 3, pp. 149.
3. Scher D.P., Goeden H.M., Klos K.S. Potential for manganese-induced neurologic harm to formula-fed infants: a risk assessment of total oral exposure. *Environmental health perspectives*, 2021, vol. 129, no. 4, pp. 047011.
4. Stephenson E.L., Rathert A.R., Tucker H., Meyer A.M. 70 Effects of copper, zinc, and manganese intake in late gestation on milk, cow plasma, and calf plasma trace mineral concentrations post-calving in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 2019, vol. 97, no. 2, pp. 45.
5. Kropyvka Y.H., Bomko V.S. Influence of feeding of mixed-ligande complexes of zinc, manganese and cobalt on cow productivity, feed digestibility and nitrogen metabolism in the last period of lactation. *Feeds and Feed Production*, 2020, vol. 90, pp. 179–190.
6. Davy J.S., Forero L.C., Shapero M.W., Rao D.R., Becchetti T.A., Koopman Rivers, Stackhouse J.W.C., DeAtley K.L., McNabb B.R. Mineral status of California beef cattle. *Translational Animal Science*. 2019, vol. 3, no. 1, pp. 66–73.
7. Palomares R.A. Trace Minerals Supplementation with Great Impact on Beef Cattle Immunity and Health. *Animals*, 2022, vol. 12, no. 20, pp. 2839.
8. Alfaro G.F., Novak T.E., Rodning S.P., Moisa S.J. Preconditioning beef cattle for long-duration transportation stress with rumen-protected methionine supplementation: A nutrigenetics study. *PloS one*, 2020, vol. 15, no. 7, p. e0235481.
9. Batra J., Aggarwal J., Pasha E.H., Singh R.S. A Review of the Role of Zinc, Manganese, and Copper in the Metabolic Processes That Take Place in the Rumen and in Immune Function. *International Journal of Food and Nutritional Sciences*, 2022, vol. 11, no. 4, pp. 92–110.
10. Gorski K., Saba L. Assessment of manganese levels in the soil and feeds, and in the bodies of milk cows from central-eastern Poland administered a mineral compound feed. *Acta Scientiae Veterinariae*, 2015, vol. 43, no. 1, p. 1.
11. Hansen S.L., Spears J.W., Lloyd K.E., Whisnant C.S. Growth, reproductive performance, and manganese status of heifers fed varying concentrations of manganese. *Journal of animal science*, 2006, vol. 84, no. 12, pp. 3375–3380.
12. Studer J.M., Schweer W.P., Gabler N.K., Ross J.W. Functions of manganese in reproduction. *Animal Reproduction Science*, 2022, p. 106924.
13. Krajnicakova M., Kovac G., Kostecky M., Valocky I., Maracek I., Sutiakova I., Lenhardt L. Selected clinicobiochemical parameters in the puerperal period of goats. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*, 2003, vol. 47, no. 1, pp. 177–182.
14. Spears J.W. Boron, chromium, manganese, and nickel in agricultural animal production. *Biological trace element research*, 2019, vol. 188, no. 1, pp. 35–44.
15. *National Research Council. Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. Washington DC, National Academy Press, 2001, 401 p.

16. Sebezhko O., Korotkevich O., Konovalova T., Biryula I., Petukhov V., Kamaldinov E., Narozhnykh K., Nezavitin A.G., Dementyev V.N., Nazarenko A.V., Osadchuk L. Biochemical and mineral parameters in pigs of two breeds reared in large industrial complexes of Western Siberia. *Journal of Agricultural, Food, and Environmental Sciences*, 2017, vol. 71, no. 1, pp. 186–190.
17. Konovalova T.V., Sebezhko O.I., Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N., Nazarenko A.V., Kamaldinov E.V., Andreeva V.A., Petukhov V.L., Popovski Z.T. Correlations of some biochemical and hematological, parameters with polymorphisms in as1-casein and β -lactoglobulin genes in Romanov sheep breed. *Proceedings of the International Symposium on Animal Science*, 2018, p. 47.
18. Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Chysyma R.B., Kuzmina E.E., Shishin N.I., Korotkevich O.S., Konovalova T.V., Narozhnykh K.N., Marenkov V.G., Zheltikov A.I., Nezavitin A.G., Osadchuk L.V. Influence of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the Republic of Tyva. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, vol. 9, no. 9, pp. 1530–1535.
19. Zuur A.F., Ieno E.N., Elphick C.S. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in ecology and evolution*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 3–14.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

✉ **Нарожных К.Н.**, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией; **адрес для переписки:** Россия, 630039, Новосибирск, Добролюбова, 160; e-mail: nkn.88@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Kirill N. Narozhnykh**, Candidate of Science in Biology, Laboratory Head; **address:** 160, Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630039, Russia; e-mail: nkn.88@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 20.01.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 28.02.2023
Дата публикации / Published 22.05.2023