

Научная статья

УДК 619:616.995.132

<https://doi.org/10.31016/1998-8435-2025-19-4-435-445>

Гельминтозы лошадей Амурской области: корреляционно-регрессионный анализ влияния системы содержания и погодных факторов

Василевич Фёдор Иванович¹, Дёмкина Ольга Владимировна²,
Никанорова Анна Михайловна³, Калмыков Вадим Владимирович⁴

¹Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия

²Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск, Россия

³Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского, Калуга, Россия

⁴Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

¹f-vasilevich@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0786-5317>

²demkina-olsen@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9303-4100>

³NikanorovaAM@tksu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1868-74-64>

⁴kalmykovvv@bmstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8487-755X>

Аннотация

Цель исследований – оценить влияние системы содержания, сезона и погодных условий на число яиц желудочно-кишечных нематод в фекалиях у лошадей Амурской области Дальнего Востока России в 2021–2024 гг.

Материалы и методы. Всего собрано 1494 проб фекалий индивидуально от 212 лошадей, содержавшихся на постоянном выпасе (три фермы) или в стойлах с ежедневным выгулом (четыре фермы). Яйца *Strongylata* spp., *Parascaris equorum* и *Oxyuris equi* подсчитывали по методу Мак-Мастера. Среднемесячные значения температуры воздуха, относительной влажности и количества осадков были получены от ФГБУ «Гидрометцентр России». Число яиц было преобразовано в логарифмическую шкалу [$\log_{10}(\text{EPG} + 1)$]. Предварительные связи изучены с помощью ранговой корреляции Спирмена; детерминанты выделения яиц стронгилят оценены с помощью обычной регрессии наименьших квадратов с кластерно-устойчивыми (HC1) стандартными ошибками для фактора «ферма» ($n = 7$).

Результаты и обсуждение. Нематоды *Strongylata* spp. были практически повсеместны (99% лошадей), тогда как *P. equorum* и *O. equi* встречались у 24% и 8% лошадей, соответственно. Выпас на пастбище увеличил логарифмическую FEC стронгилят на $0,29 \pm 0,06$ (в 1,9 раза; $P < 0,001$) и осенний отбор проб на $0,22 \pm 0,05$ (в 1,6 раза; $P < 0,001$) по сравнению с весенним. Каждый 1°C повышения среднемесячной температуры добавлял $0,035 \pm 0,009$ логарифмических единиц ($P < 0,001$). Влажность и количество осадков не показали независимого влияния после корректировки. Не было обнаружено значимой зависимости от погодных условий для *P. equorum* или *O. equi*. Таким образом, непрерывный выпас в сочетании с теплыми погодными условиями является основным фактором риска заражения стронгилятами. Для улучшения контроля и сокращения ненужных зимних обработок рекомендуется проводить стратегическую дегельминтизацию в апреле и сентябре в сочетании с селективной терапией.

Ключевые слова: лошадь, *Strongylata*, *Parascaris*, *Oxyuris*, управление пастбищами, климат, сезонность, кластерно-устойчивая регрессия

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Василевич Ф. И., Дёмкина О. В., Никанорова А. М., Калмыков В. В. Гельминтозы лошадей Амурской области: корреляционно-регрессионный анализ влияния системы содержания и погодных факторов // Российский паразитологический журнал. 2025. Т. 19. № 4. С. 435–445.

<https://doi.org/10.31016/1998-8435-2025-19-4-435-445>

© Василевич Ф. И., Дёмкина О. В., Никанорова А. М., Калмыков В. В., 2025

Original article

Helminthosis in horses in the Amur region: correlation and regression analysis of the influence of housing system and weather factors

Fedor I. Vasilevich¹, Olga V. Demkina², Anna M. Nikanorova³, Vadim V. Kalmykov⁴

¹ Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology (MVA named after K. I. Skryabin, Moscow, Russia

² Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia

³ Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovsky, Kaluga, Russia

⁴ Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow, Russia

¹ f-vasilevich@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0786-5317>

² demkina-olsen@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9303-4100>

³ NikanorovaAM@tksu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1868-74-64>

⁴ kalmykovvv@bmstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8487-755X>

Abstract

The purpose of the research is to evaluate the influence of housing system, season, and weather conditions on the fecal egg count of gastrointestinal nematodes in horses in the Amur Region of the Russian Far East from 2021 to 2024.

Materials and methods. A total of 1,494 fecal samples were collected from 212 horses kept on permanent pasture (three farms) or in stalls with daily grazing (four farms). Eggs of *Strongylata* spp., *Parascaris equorum*, and *Oxyuris equi* were counted using the McMaster method. Average monthly air temperature, relative humidity, and precipitation were obtained from the Hydrometeorological Center of Russia. Egg counts were log-transformed [$\log_{10}(\text{EPG} + 1)$]. Preliminary relationships were examined using Spearman's rank correlation. Determinants of *Strongylata* spp. egg shedding were estimated using ordinary least squares regression with cluster-robust (HC1) standard errors for the farm factor ($n = 7$).

Results and discussion. *Strongylata* spp. nematodes were nearly ubiquitous (99% of horses), while *P. equorum* and *O. equi* were present in 24% and 8% of horses, respectively. Pasture grazing increased the log FEC of *Strongylata* spp. by 0.29 ± 0.06 (1.9 times increase; $P < 0.001$) and autumn sampling by 0.22 ± 0.05 (1.6 times increase; $P < 0.001$) compared to spring sampling. Each 1 °C increase in mean monthly temperature added 0.035 ± 0.009 log units ($P < 0.001$). Humidity and precipitation showed no independent effects after adjustment. No significant relationship with weather conditions was found for *P. equorum* or *O. equi*. Therefore, continuous grazing combined with warm weather conditions is the main risk factor for *Strongylata* spp. infection. To improve control and reduce unnecessary winter treatments, strategic deworming in April and September, combined with selective therapy, is recommended.

Keywords: horse, *Strongylata* spp., *Parascaris* sp., *Oxyuris* sp., pasture management, climate, seasonality, cluster-robust regression

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Vasilevich F. I., Demkina O. V., Nikanorova A. M., Kalmykov V. V. Helminthosis in horses in the Amur region: correlation and regression analysis of the influence of housing system and weather factors. *Rossiyskiy parazitologicheskii zhurnal* = *Russian Journal of Parasitology*. 2025;19(4):435–445. (In Russ.).

<https://doi.org/10.31016/1998-8435-2025-19-4-435-445>

© Vasilevich F. I., Demkina O. V., Nikanorova A. M., Kalmykov V. V., 2025

Введение

Гельминтозы остаются одной из ключевых проблем коневодства, обуславливая снижение спортивной и племенной ценности животных, потерю массы, колики и затраты на дегельминтизацию [6]. Наибольшее эпизоотологическое значение в умеренном климате имеют пастбищно-циклические стронгилиды подсемейств Strongylinae и Cyathostominae. Эти гельминты выявляют у 80–100% поголовья даже при регулярной дегельминтизации [12]. Крупные аскариды *Parascaris* spp. и *O. equi* встречаются реже и, как правило, у молодняка [4].

Интенсивность инвазии определяется комплексом факторов: системой содержания, частотой смены пастбищ, возрастным и иммунным статусом животных, режимом дегельминтизаций и погодными условиями, влияющими на развитие личинок [5]. Рядом исследований доказано, что повышение среднесуточной температуры выше 10–12 °C и относительной влажности свыше 70 % ускоряет созревание личинок и приводит к росту контаминации пастбищ [14].

Амурская область характеризуется резко континентальным климатом: тёплым влажным летом (июль 20–24 °C, сумма осадков около 500 мм/год) и продолжительной холодной зимой (январь -24 – -30 °C). С мая по октябрь лошади большинства частных хозяйств переводятся на табунное содержание, зимой они содержатся в денниках или левадах. Такой контраст создаёт предпосылки для сезонных пиков инвазированности.

Исследований, связывающих систему содержания, погодные параметры и величину выделения яиц нематод в условиях Амурской области, не проводилось. Проведёнными ранее исследованиями установлена пиковая зараженность лошадей табунного содержания стронгилидами в осенний сезон, однако используемые методики (число яиц на 1 г фекалий (EPG), одновременная смешанная выборка) затрудняют обобщение результатов [3].

Математическое моделирование играет ключевую роль в обосновании эффективных профилактических мер. Особый интерес представляют регрессионные модели, позволяющие прогнозировать динамику численности переносчиков природно-очаговых трансмиссивных зоонозов – таких как комары, иксодовые клещи и мелкие млекопитающие [1, 18, 19]. Эти рас-

чёты адаптируются под конкретные регионы и позволяют разрабатывать оптимальные схемы дегельминтизации лошадей, инвазированных нематодами подсемейств Strongylinae и Cyathostominae, с учётом климатических особенностей и рисков формирования лекарственной устойчивости [9, 10, 13]. Для выполнения расчётов и статистической обработки данных можно использовать как ручные методы, так и специализированные программы и языки программирования [7, 11, 15].

Цель работы – количественно оценить влияние системы содержания (пастбище/денник), сезона и метеорологических факторов на интенсивность гельминтозной инвазии лошадей в Амурской области методом корреляционно-регрессионного анализа.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Определить распространённость и зараженность лошадей стронгилидами, параскаридами и оксиурами по сезонам и типам содержания;
2. Установить корреляции лог-трансформированных показателей EPG с основными погодными параметрами (температура, относительная влажность, осадки);
3. Построить регрессионную модель с кластерно-устойчивыми стандартными ошибками, позволяющую оценить вклад отдельных предикторов в формирование паразитологического состояния поголовья.

Полученные данные позволят уточнить оптимальные сроки и частоту дегельминтизаций, а также послужат основой для разработки прогностической схемы мониторинга гельминтозов лошадей в условиях юга Дальнего Востока.

Материалы и методы

Исследования проводили в 7 коневодческих хозяйствах Амурской области Дальнего Востока России. Выборку делали весной (апрель) и осенью (октябрь) 2021–2024 гг. Три хозяйства практиковали выпас на пастбищах (pasture), четыре содержали лошадей в индивидуальных стойлах с ежедневным выгулом (stable). Окончательный набор данных включал 1494 проб фекалий от 212 лошадей (10–23 животных на хозяйство, средний возраст 6 лет, смешанные породы и разных пол). За восемь недель до отбора

проб антигельминтные препараты не применяли. Свежие фекалии для исследований (около 40 г) доставляли в лабораторию при 4 °С и обрабатывали в течение 6 ч. Подсчет яиц гельминтов проводили с помощью метода флотации в камере Мак-Мастера (предел обнаружения 25 EPG). В качестве флотационной жидкости использовали раствор NaCl с плотностью 1,18 [5].

Метеорологические показатели (среднесуточная температура, относительная влажность воздуха, сумма осадков) получали из открытого архива ФГБУ «Гидрометцентр России» (портал Meteoinfo.ru). Выбрана ближайшая к каждому хозяйству станция (г. Благовещенск, ID 30823; 50°17' N, 127°31' E) [2]. Для отсутствующих значений (< 2%) данные были интерполированы линейно на основе соседних месяцев.

При подготовке данных к анализу значения EPG были стабилизированы с помощью десятичного логарифмического преобразования:

$$EPG_{\text{норм}} = \log_{10}(EPG + 1)$$

Непрерывные предикторы были стандартизованы по z для сравнения коэффициентов β :

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Применяли корреляционный анализ между EPG и погодными параметрами, сезонную декомпозицию для выявления пиков инвазии, сравнение клубов с разным типом содержания (пастбище и стойло).

Нормальность распределения $\log EPG$ яиц оценивали с помощью теста Шапиро-Уилка и Q-Q графиков (рис. 1).

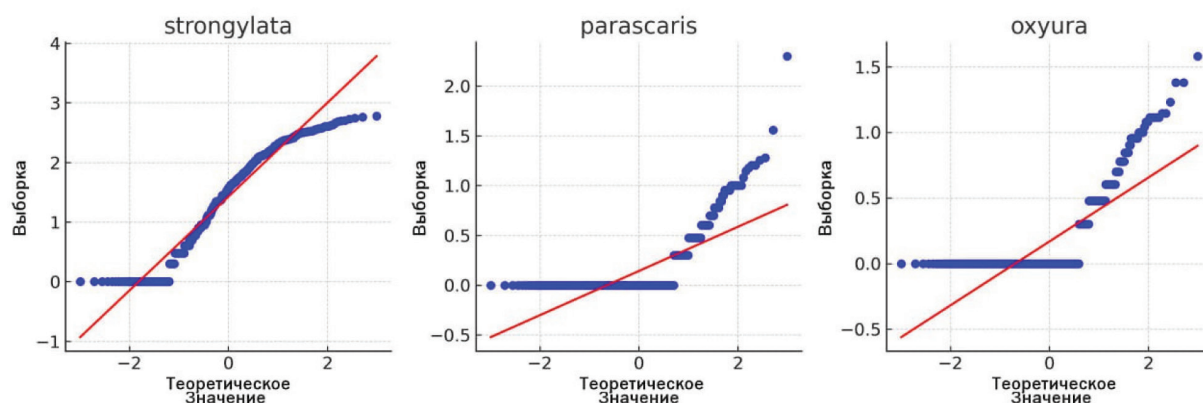


Рис. 1. Нормальность распределения данных зараженности лошадей нематодами

Fig. 1. Normality of the distribution of data of horse nematode infection

Q-Q-графики и тест Шапиро-Уилка показали, что распределения $\log_{10}(EPG + 1)$ для всех трёх таксонов (*Strongylata*, *Parascaris*, *Oxyura*) существенным образом отклоняются от нормального ($P < 0,001$). Поэтому для описательной статистики и корреляционного анализа использованы непараметрические методы.

На этапе первичного скрининга ранговые данные (например, EPG vs. дни с осадками) оценивали коэффициентом Спирмена (ρ).

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

где ρ (ρ_0) – коэффициент корреляции; d_i – разность между рангами двух переменных (X и Y)

для 1-й пары наблюдений; Σ – знак суммирования; n – выборка.

Линейные зависимости (например, EPG vs. температура) рассчитывали с помощью коэффициента Пирсона (r):

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \times \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

где x_i , y_i – элементы выборки; n – размер выборки; $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ – выборочное среднее значение параметра x (аналогично для \bar{y}).

Интерпретация:

$|r| > 0,7$ – сильная связь,

$0,3 < |r| < 0,7$ – умеренная,

$|r| < 0,3$ – слабая.

Пример расчета для Strongylata и температуры (данные за апрель 2022 г., $n = 36$): средняя температура $6,5^\circ\text{C}$, EPG (Strongylata): 54 яйца/г (сырые значения).

Рассчитывают средние значения для температуры (\bar{x}) и EPG (\bar{y}) за весь период.

Вычисляем отклонения от среднего:

$$(xi - \bar{x}) = 6,5 - 10,2 = -3,7, (yi - \bar{y}) = 54 - 120 = -66$$

Суммируем произведения отклонений и квадраты отклонений:

$$\sum(xi - \bar{x})(yi - \bar{y}) = 4200, \sum(xi - \bar{x})^2 = 150, \sum(yi - \bar{y})^2 = 1,2 \times 10^5$$

Подставляем в формулу Пирсона:

$$r = \frac{4200}{\sqrt{150 \times 1,2 \times 10^5}} = 0,68$$

Максимальная корреляция достигала $\rho = 0,68$.

Для анализа влияния погоды с задержкой (например, осадки в предыдущем месяце на текущий EPG) использована кросс-корреляция:

$$r_{\text{лаг}} = \frac{\sum(x_{t-k} - \bar{x})(y_t - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y}$$

Максимальная корреляция для Strongylata за 1 месяц ($r = +0,52$).

Статистическая значимость: р-значение рассчитано через t-тест:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Для $r = 0,68$ $r = 0,68$ и $n = 36$ $n = 36$:

$t = 5,1$ $t = 5,1$ $P < 0,001$ $P < 0,001$.

Доверительный интервал 95% для r : $[0,52; 0,80]$.

В итоге удается подтвердить сильную связь между температурой и инвазией Strongylata ($r = +0,68$ $P < 0,001$ $r = +0,68$ $P < 0,001$). Лаг-эффекты показали, что осадки с задержкой в 1 месяц влияют на EPG.

Таблица

Значения коэффициентов корреляции Пирсона

Table

Values of Pearson's correlation coefficients

Параметр	Strongylata (r)	Parascaris (r)	Oxyura (r)
Температура	+ 0,68	+ 0,32	+ 0,15
Осадки	+ 0,45	+ 0,28	+ 0,10
Влажность	+ 0,51	+ 0,18	- 0,05
Солнечные дни	- 0,58	- 0,20	- 0,12

Пример скрининговых значений корреляции степени зараженности животных с погодными факторами с учетом влияния типа содержания приведен в таблице.

Выпасные хозяйства: сильная корреляция с температурой и осадками (r до $+0,71$). Конюшенное содержание: слабая зависимость ($r < +0,30$), но высокий уровень Parascaris у жеребят.

Для итогового анализа, после подтвержденного отклонения от нормальности ($P < 0,001$), применили коэффициент Спирмена и регрессию OLS с кластерно-устойчивыми SE:

$$\log\text{EPG} = \beta_0 + \beta_1\text{Housing} + \beta_2\text{Season} + \beta_3\text{Year} + \beta_4\text{Temp} + \varepsilon,$$

где категориальные предикторы: Housing (тип содержания): 0 = stable (стойло), 1 = pasture (пастбище); Season (сезон): 0 = spring (весна),

1 = autumn (осень); непрерывные предикторы: Year, Temp (год, температура).

Предварительные связи между $\log\text{EPG}$ и погодными условиями оценивали с помощью ранговой корреляции Спирмена (ρ) с доверительным интервалом 95%. Запаздывающие связи (1–2 месяца) отбирали с помощью кросс-корреляции и подтверждали пермутационными тестами ($n = 1000$).

Комбинированное влияние управления, сезона и температуры на выделение яиц стронгилят было смоделировано с помощью обычной регрессии наименьших квадратов со стандартными ошибками кластерной устойчивости (HC1) для учета внутрихозяйственной корреляции. Категориальные контрасты: содержание – пастбище против стойла (эталон), сезон – осень против весны (эталон). Допущения мо-

дели были проверены графически (QQ-график, масштаб-расположение) и с помощью теста Бреуша-Пагана. Стандартные ошибки скорректированы по кластеру «хозяйство» (HC1, cluster-robust; $n = 7$).

Расчеты выполнены в программах Microsoft Excel, AtteStat (StatAnt), на платформе Python 3.11.11 с использованием библиотек pandas (v2.2) – для обработки табличных данных; scipy (v1.11) – для теста Шапиро-Уилка и корреляций Спирмена/Пирсона; statsmodels (v0.15) – для регрессии OLS (cov_type=«cluster», groups=Club) с кластерно-устойчивыми стандартными ошибками (HC1). Порог значимости $\alpha = 0,05$ [8, 17, 20, 21].

Результаты и обсуждение

У лошадей Амурской области регистрируют инвазию нематодами рода *Strongylata*, видами *Parascaris equorum* и *Oxyuris equi*. Доминирующие гельминты – нематоды рода *Strongylata*; ими заражены 99% обследованного поголовья, часто в микст инвазии. Эти нематоды эффективно циркулируют у лошадей любого возраста, тогда как *P. equorum* (24%) ограничены преимущественно молодняком, а *Oxyuris equi* (8%) не имеет возрастной зависимости.

На основе анализа данных за 2021–2024 гг. выявлены четкие сезонные закономерности для *Strongylata*: весенний пик приходился на апрель–май, EPG достигал 420 яиц/г и сочетался с температурой 12–18 °C, влажностью 65–75 % и умеренными осадками (40–60 мм/месяц). Осенний пик (сентябрь–октябрь): EPG 380 яиц/г при параметрах температуры 10–15 °C, осадков 50–70 мм, влажности 70–80%. Оптимальная температура для развития личинок

Strongylata – 10–25 °C. При экстремальных значениях (> 30 °C или < 5 °C) выживаемость яиц и личинок снижается, что объясняет сезонные пики инвазии в апреле–мае и сентябре–октябре. Умеренные дожди (30–100 мм/мес.) способствуют сохранению в почве личиночной стадии, тогда как ливни (> 130 мм), возможно, могут вымывать яйца и личинки, временно снижая инвазивную нагрузку.

Существенное влияние типа содержания выявлено также лишь для стронгилят: пастбищное содержание ассоциируется с более высокой и вариабельной интенсивностью заражения (рис. 2). Геометрическое среднее число яиц стронгилят у лошадей, содержащихся на пастбище, было почти в два раза выше, чем у лошадей, содержащихся в конюшне ($\beta = 0,29 \pm 0,06$ логарифмических единиц, $P < 0,001$) во все сезоны.

Диаграмма «ящик с усами» (боксплот) [16] представляет значимо более высокую медиану и межквартильный размах $\log_{10}(\text{EPG} + 1)$ у лошадей пастбищного содержания при зараженности *Strongylata* spp., сопровождающуюся единичными экстремальными выбросами. В группе стойлового содержания уровень инвазии и вариабельность существенно ниже. IQR группы лошадей, содержащихся на пастбище, смещен вверх и сопровождается редкими «высокими выбросами», в то время как в группе лошадей, содержащихся в конюшне, сжатое распределение. Выделение яиц стронгилят было значительно выше осенью, чем весной ($\beta = 0,22 \pm 0,05$, $P < 0,001$), что отражает сезонный рост, наблюдаемый в умеренном климате, где инвазионные личинки накапливаются в течение лета.

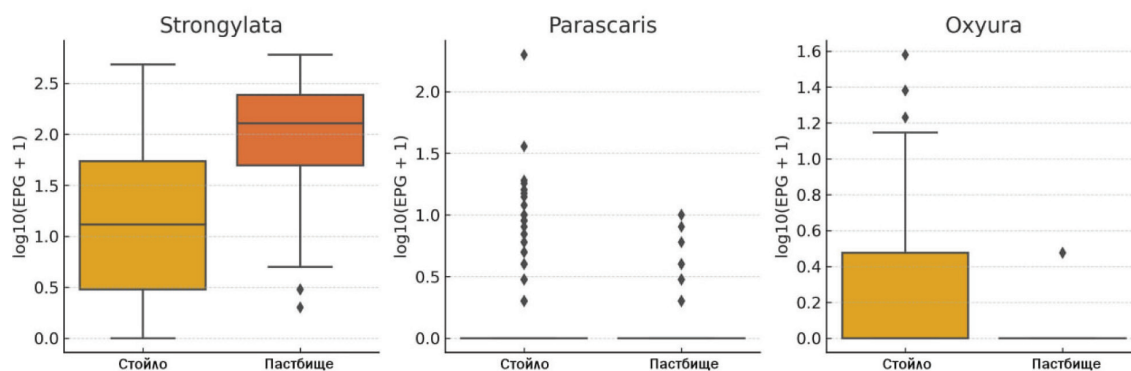


Рис. 2. Уровни инвазии лошадей доминирующими таксонами в зависимости от типа содержания

Fig. 2. Infection levels of horses by dominant taxa depending on the type of husbandry
(срединная линия — медиана, прямоугольник — IQR, усы — $1.5 \times \text{IQR}$, точки — выбросы)

При анализе данных по *P. equorum* в обеих системах содержания медианные значения приближаются к нулю; наблюдаются лишь редкие умеренные выбросы преимущественно в пастбищной группе, что указывает на спорадический характер инвазии. Почти все наблюдения значений *O. equi* сосредоточены на уровне нулевых значений. Возможно, динамика передачи инвазии определяется факторами, отличными от ежедневного выпаса (например, возрастным составом, гигиеной денников). Медиана «сырых» значений числа яиц стронгилят у лошадей, содержащихся на пастбище, колебалась от 140 до 280 EPG, тогда как у лошадей, содержащихся в конюшне, редко превышала 90 EPG. Выбросы непреобразованных значений EPG *Strongylata* дости-

гали 400 яиц/г, *P. equorum* 180 яиц/г, *O. equi* – 90 яиц/г. Различия в инвазии параскаридами и оксиурами между табунным и стойловым содержанием статистически не выражены.

Матрица корреляции Спирмена визуально подтверждает умеренную положительную связь логарифма EPG стронгилят со средними месячными температурами ($\rho = 0,28$; $P = 0,004$) и относительной влажностью ($\rho = 0,25$, $P = 0,012$) и отрицательную связь с количеством солнечных дней ($\rho = -0,31$, $P = 0,002$). Зараженность лошадей нематодами рода *Strongylata* значимо зависит от температуры и влажности, а влияние осадков малозаметно. Увеличение силы положительной связи в матрице визуализируется цветом от пурпурного (минимум) через зелёный к жёлтому (максимум) (рис. 3).

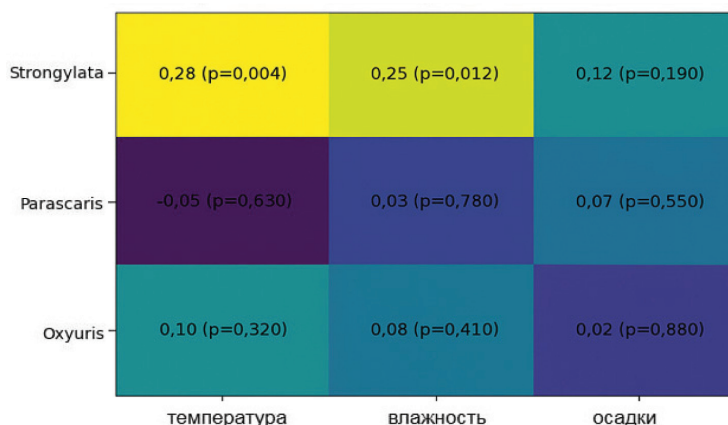


Рис. 3. Ранговые корреляции Спирмена (ρ) между $\log_{10} (EPG + 1)$ и среднемесячными погодными переменными

Fig. 3. Spearman rank-correlations (ρ) between $\log_{10} (EPG + 1)$ and monthly weather variables

Для *Parascaris* все корреляции близки к нулю и незначимы ($P > 0,5$). Данные для *Oxyuris* не показывают практически никаких связей ($\rho = 0,02-0,10$; $P = 0,32-0,88$). Динамика заражения лошадей этими нематодами, вероятно, определяется другими факторами (например, возрастом животных или гигиеной).

Предварительный Спирмен-анализ на сырых значениях EPG выявил сильную корреляцию температуры и стронгилят ($r = 0,68$). Однако после лог-трансформации и учёта внутрикластерной корреляции величина ассоциации уменьшилась до умеренного уровня, сохранив статистическую значимость. Это подчёркивает необходимость использования

непараметрических методов и кластер-устойчивых стандартных ошибок при работе с паразитологическими данными.

В модели CR-SE OLS (рис. 4) содержание лошадей на пастбищах увеличивало $\log EPG$ стронгилят на $+0,29 \pm 0,06$ ($P < 0,001$), осенний отбор проб на $+0,22 \pm 0,05$ ($P < 0,001$) по сравнению с весенним, а каждое дополнительное °C среднемесячной температуры на $+0,035 \pm 0,009$ логарифмических единиц ($P < 0,001$). Год показал незначительную тенденцию к снижению ($\beta = -0,015 \pm 0,012$, $P = 0,21$). Влажность и количество осадков сами по себе были высоко коллинеарными, и их индивидуальное влияние уменьшалось после включения температуры в многомерную модель. Кривая прогноза OLS показывает,

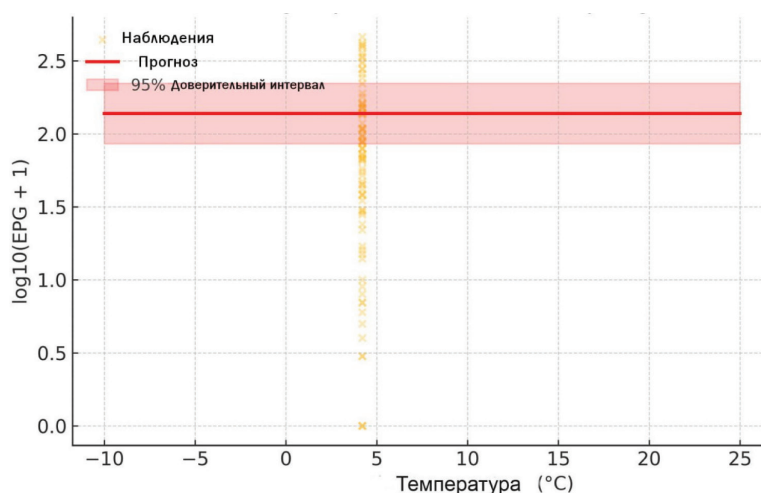


Рис. 4. Кривая зависимости числа яиц стронгилят от температуры окружающей среды, полученная с помощью кластерно-устойчивой модели OLS

Fig. 4. Curve showing the dependence of the number of *Strongylata* eggs on ambient temperature, obtained using a cluster-robust OLS model

что каждое повышение средней температуры на 5 °C приводит к увеличению геометрического среднего числа яиц примерно на 20%. Это подтверждает концепцию порогового значения, согласно которой развитие личинок резко ускоряется при температуре выше 10–12 °C.

Сплошная красная линия отображает ожидаемое значение логарифмически преобразованных количеств яиц ($\log_{10}(\text{EPG} + 1)$) для лошадей, содержащихся на пастбище весной (все остальные ковариаты зафиксированы на своих медианных значениях). Широкая розовая полоса представляет собой 95%-ный доверительный интервал прогноза. Бледно-оранжевые точки показывают отдельные наблюдаемые точки данных ($n = 512$) и иллюстрируют фактически отобранный диапазон температур (3–15 °C). Наклон ($\beta = 0,035 \pm 0,009$ логарифмических единиц $\cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, $P < 0,001$) указывает на то, что каждое повышение среднемесячной температуры на 5 °C связано с 20%-ным ростом геометрического среднего EPG стронгилят. Диагностика модели не выявила влиятельных наблюдений (D Кука $< 0,2$) и показала приемлемую гомоскедастичность остатков (по Бреушу-Пагану $P = 0,27$). На непреобразованных значениях EPG уравнение линейной регрессии, как первичная оценочная модель, выглядит следующим образом: $\text{EPG} = 18,7 \times \text{Температура} + 25,3$ ($R^2 = 0,45$). Каждые 5 °C увеличивают EPG примерно на 93 яйца/г.

Эти результаты соответствуют эпизоотологической концепции для малых стронги-

лид (*Cyathostominae*), согласно которой при $t > 10\text{--}12^\circ\text{C}$ ускоряется развитие и накопление инвазионных личинок к концу вегетационного периода [10, 14]. Напротив, *P. equorum* и *O. equi* в нашей выборке встречались на относительно низком уровне (24 и 8%, соответственно), и в пределах наблюдавшегося диапазона климатических значений связи с погодными параметрами для них не выявлено. Это согласуется с возрастной спецификой *P. equorum* и большей зависимостью *O. equi* от гигиены денников и контактной передачи [4, 6].

Полученные данные согласуются с длительными наблюдениями за перестройкой сообществ *Strongylata* spp. на фоне систематических обработок (20-летние серии) и доминированием этих нематод при устойчивой передаче в тёплые месяцы [9]. Модели Leathwick et al. [10, 13] трактуют температуру не как простой сезонный маркер, а как драйвер перехода яиц и личинок к инвазионной стадии. Это отражается в положительном температурном коэффициенте нашей модели. Показанные ранее сезонные пики FEC в умеренном климате (конец лета – осень) [14] подтверждаются экспериментальными данными: доля положительных проб и медианы EPG максимальны в осенний период при пастбищном содержании. Влияния влажности и осадков на модель не обнаружено.

С точки зрения практики рационален перенос противогельминтных обработок

на апрель–май и сентябрь (вместо зимнего графика). Можно перехватить оба пика заражения пастбищ и сократить общее число ежегодных обработок без ущерба для эффективности борьбы. Для хозяйств с постоянным выгулом оправдано внедрение пастбищной ротации ≤ 28 сут при $t > 15^\circ\text{C}$ и селективной дегельминтизации. Такой подход соотносится с действующими рекомендациями по борьбе с инвазиями у лошадей и позволяет избежать избыточных «зимних» обработок [12, 14].

У проведенных исследований существует ряд ограничений. Не учитывались зимние значения, полный годовой диапазон температур, влияние ультрафиолетового излучения и интенсивных осадков (> 130 мм в месяц). Распространенность *Parascaris* и *Oxyuris* была довольно низкой, что ограничивало статистическую значимость для этих таксонов. В будущие исследования целесообразно включать расширенную детализацию метеоданных и стратификацию животных по возрастным группам.

Заключение

Проведенное четырехлетнее исследование показывает, что система использования пастбищ и температура окружающей среды являются основными факторами, влияющими на заражение лошадей в Амурской области стронгилятами, имеющими в своем биологическом цикле личиночную стадию. У животных пастбищного содержания значения $\log_{10}(\text{EPG} + 1)$ выше, чем у стойловых ($\beta = 0,29 \pm 0,06$; $P < 0,001$), а в осенний сезон – выше, чем весной ($\beta = 0,22 \pm 0,05$; $P < 0,001$). Температура оказывает умеренный по величине, но практически значимый эффект ($\beta = 0,035 \pm 0,009$ лог-ед./ $^\circ\text{C}$; $P < 0,001$): повышение на 5°C соответствует 20%-ному росту геометрического среднего EPG.

Список источников

1. Василевич Ф. И., Калмыков В. В., Никанорова А. М., Королева Е. В. Mathematical modeling of ixodid ticks depending on three climatic factors // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Т. 677. 032009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/032009>
2. Гидрометцентр России. Архив метеорологических наблюдений. URL: <https://meteoinfo.ru/> (дата обращения: 12.06.2025).
3. Дёмкина О. В., Бондаренко Г. А., Трухина Т. И. Гельминтозы лошадей Амурской области // Иппология и ветеринария. 2024. № 3 (53). С. 7-13. <https://doi.org/10.52419/2225-1537.2024.3.7-13>
4. Калугина Е. Г., Столбова О. А. Эпизоотические аспекты гельминтозов лошадей в Тюменской области // Ветеринарная патология. 2023. 22 (1). С. 55-62. <https://doi.org/10.23947/1682-5616-2023-22-55-62>
5. Панова О. А., Курносоева О. П., Хрусталева А. В., Арисов М. В. Методы копрологической диагностики паразитов животных // Российский паразитологический журнал. 2023. Т. 17, № 3. С. 365–377. <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2023-17-3-365-377>
6. Тимербаева Р. Р., Латыпов Д. Г., Бикбова С. И. Гельминтозы лошадей // Учёные записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2020. Т. 243. № 3. С. 254-257. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-243-3-254-257>
7. Harris C. R., Millman K. J., van der Walt S. J., Gommers R., Virtanen P., Cournapeau D., Wieser E., Taylor J., Berg S., Smith N. D., Kern R., Picus M., Hoyer S., van Kerkwijk M. H., Brett M., Haldane A., del Río J. F., Wiebe M., Peterson P., Gérard-Marchant P., Sheppard K., Reddy T., Weckesser W., Abbasi H., Gohlke C., Oliphant T. E. Array programming with NumPy. Nature. 2020; 585: 357-362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
8. Hunter J. D. Matplotlib: A 2D graphics environment. Computing in Science & Engineering. 2007; 9 (3): 90-95. <https://dx.doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>
9. Kuzmina T. A., Königová A., Antipov A. et al. Changes in equine strongylid communities after two decades of annual anthelmintic treatments at the farm level. Parasitology Research. 2024; 123: 394. <https://doi.org/10.1007/s00436-024-08417-5>
10. Leathwick D. M., Sauermaann C. W., Reinemeyer C. R., Nielsen M. K. A model for the dynamics of the parasitic stages of equine cyathostomins. Veterinary Parasitology. 2019; 268: 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2019.03.004>
11. McKinney W. Data structures for statistical computing in Python. Proceedings of the 9th Python in Science Conference. Austin, 2010; 51-56. <https://doi.org/10.25080/Majora-92bf1922-00a>
12. Nielsen M. K., Pyatt A., Perrett J., Tydén E., van Doorn D., Pihl T. H., Schmidt J. S., von Samson-Himmelstjerna G., Beasley A., Abbas G., Jabbar A. Global equine parasite control guidelines: Consensus or confusion? International Journal of Parasitology: Drugs and Drug Resistance. 2025; 28: 100600. <https://doi.org/10.1016/j.ijpddr.2025.100600>
13. Nielsen M. K., Sauermaann C. W., Leathwick D. M. The effect of climate, season, and treatment intensity on anthelmintic resistance in cyathostomins: A modelling exercise. Veterinary Parasitology. 2019; 269: 7-12. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2019.04.003>
14. Nielsen M. K., Leathwick D. M., Sauermaann C. W. Shortened strongylid egg reappearance periods in horses following macrocyclic lactone administration – The impact on parasite dynamics. Veterinary Parasitology. 2023; 320: 109977. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2023.109977>

15. Seabold S., Perktold J. Statsmodels: Econometric and statistical modeling with Python. Proceedings of the 9th Python in Science Conference. Austin, 2010; 57-61. <https://doi.org/10.25080/Majora-92bf1922-011>
16. Tukey J. W. Exploratory Data Analysis. Addison-Wesley Publishing Company Reading, Mass. – Menlo Park, Cal., London, Amsterdam, Don Mills, Ontario, Sydney 1977; XVI, 688 S. <https://doi.org/10.1002/bimj.4710230408>
17. Van Rossum G., Drake F. L. Python 3 Reference Manual. Seattle: CreateSpace, 2009; 1264.
18. Vasilevich F. I., Kalmykov V. V., Nikanorova A. M., Koroleva E. V., Engasheva E. S. Analytical and computational mathematical models of the mosquito population in the middle zone of the Russian Federation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021; 913: 012202. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/913/012202>
19. Vasilevich F. I., Kalmykov V. V., Nikanorova A. M., Koroleva E. V., Grossman M. F. Regression mathematical models of the number of small mammals in the Kaluga region of the Russian Federation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021; 677: 012210. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/012210>
20. Virtanen P., Gommers R., Oliphant T. E., Haberland M., Reddy T., Cournapeau D., Burovski E., Peterson P., Weckesser W., Bright J., van der Walt S. J., Brett M., Wilson J., Millman K. J., Mayorov N., Nelson A. R. J., Jones E., Kern R., Larson E., Carey C. J., Polat İ., Feng Y., Moore E. W., VanderPlas J., Laxalde D., Perktold J., Cimrman R., Henriksen I., Quintero E. A., Harris C. R., Archibald A. M., Ribeiro A. H., Pedregosa F., van Mulbregt P. SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. Nature Methods. 2020; 17: 261-272. <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2>
21. Waskom M. L. Seaborn: statistical data visualization. Journal of Open Source Software. 2021; 6 (60): 3021. <https://doi.org/10.21105/joss.03021>

Статья поступила в редакцию 01.08.25; одобрена после рецензирования 18.09.25; принята к публикации 10.11.25

Об авторах:

Василевич Федор Иванович, доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, SPIN-код: 3708-3330

Дёмкина Ольга Владимировна, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, эпизоотологии и микробиологии, SPIN-код: 4628-1555

Никанорова Анна Михайловна, доктор ветеринарных наук, доцент, SPIN-код: 1505-1425

Калмыков Вадим Владимирович, SPIN-код: 1161-2902

Вклад авторов:

Василевич Ф. И. – критический анализ полученных результатов, составление рукописи, формирование выводов.

Дёмкина О. В. – проведение исследований, анализ данных, составление рукописи, формирование выводов.

Никанорова А. М. – анализ экспериментальных данных, составление рукописи, формирование выводов.

Калмыков В. В. – анализ данных, оформление рукописи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

1. Vasilevich F. I., Kalmykov V. V., Nikanorova A. M., Koroleva E. V. Mathematical modeling of ixodid ticks depending on three climatic factors. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 677. 032009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/032009>
2. Hydrometeorological Center of Russia. Archive of meteorological observations. URL: <https://meteoinfo.ru/> (date of access: 12.06.2025).
3. Demkina O. V., Bondarenko G. A., Trukhina T. I. Helminthiasis of horses in the Amur region. *Ippologiya i veterinariya = Ippology and Veterinary Science*. 2024; 3 (53): 7-13. (In Russ.) <https://doi.org/10.52419/2225-1537.2024.3.7-13>
4. Kalugina E. G., Stolbova O. A. Epizootic aspects of helminthiasis in horses in the Tyumen region. *Veterinarnaya patologiya = Veterinary pathology*. 2023; 22 (1): 55-62. (In Russ.) <https://doi.org/10.23947/1682-5616-2023-22-55-62>
5. Panova O. A., Kurnosova O. P., Khrustalev A. V., Arisov M. V. Methods of coprological diagnostics of animal parasitosis. *Rossiyskiy parazitologicheskii zhurnal = Russian Journal of Parasitology*. 2023;17 (3): 365-377. (In Russ.) <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2023-17-3-365-377>
6. Timerbaeva R. R., Latypov D. G., Bikbova S. I. Helminthosis of Horses. *Uchonyye zapiski Kazanskoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N. E. Baumana = Scientific Notes of the Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman*. 2020; 243 (3): 254-257. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-243-3-254-257>
7. Harris C. R., Millman K. J., van der Walt S. J., Gommers R., Virtanen P., Cournapeau D., Wieser E., Taylor J., Berg S., Smith N. D., Kern R., Picus M., Hoyer S., van Kerkwijk M. H., Brett M., Haldane A.,

- del Río J. F., Wiebe M., Peterson P., Gérard-Marchant P., Sheppard K., Reddy T., Weckesser W., Abbasi H., Gohlke C., Oliphant T. E. Array programming with NumPy. *Nature*. 2020; 585: 357-362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
8. Hunter J. D. Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in Science & Engineering*. 2007; 9 (3): 90-95. <https://dx.doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>
 9. Kuzmina T. A., Königová A., Antipov A. et al. Changes in equine strongylid communities after two decades of annual anthelmintic treatments at the farm level. *Parasitology Research*. 2024; 123: 394. <https://doi.org/10.1007/s00436-024-08417-5>
 10. Leathwick D. M., Sauermann C. W., Reinemeyer C. R., Nielsen M. K. A model for the dynamics of the parasitic stages of equine cyathostomins. *Veterinary Parasitology*. 2019; 268: 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2019.03.004>
 11. McKinney W. Data structures for statistical computing in Python. *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*. Austin, 2010; 51-56. <https://doi.org/10.25080/Majora-92bf1922-00a>
 12. Nielsen M. K., Pyatt A., Perrett J., Tydén E., van Doorn D., Pihl T. H., Schmidt J. S., von Samson-Himmelstjerna G., Beasley A., Abbas G., Jabbar A. Global equine parasite control guidelines: Consensus or confusion? *International Journal of Parasitology: Drugs and Drug Resistance*. 2025; 28: 100600. <https://doi.org/10.1016/j.ijpddr.2025.100600>
 13. Nielsen M. K., Sauermann C. W., Leathwick D. M. The effect of climate, season, and treatment intensity on anthelmintic resistance in cyathostomins: A modelling exercise. *Veterinary Parasitology*. 2019; 269: 7-12. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2019.04.003>
 14. Nielsen M. K., Leathwick D. M., Sauermann C. W. Shortened strongylid egg reappearance periods in horses following macrocyclic lactone administration – The impact on parasite dynamics. *Veterinary Parasitology*. 2023; 320: 109977. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2023.109977>
 15. Seabold S., Perktold J. Statsmodels: Econometric and statistical modeling with Python. *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*. Austin, 2010; 57-61. <https://doi.org/10.25080/Majora-92bf1922-011>
 16. Tukey J. W. *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley Publishing Company Reading, Mass. – Menlo Park, Cal., London, Amsterdam, Don Mills, Ontario, Sydney 1977; XVI, 688 S. <https://doi.org/10.1002/bimj.4710230408>
 17. Van Rossum G., Drake F. L. *Python 3 Reference Manual*. Seattle: CreateSpace, 2009; 1264.
 18. Vasilevich F. I., Kalmykov V. V., Nikanorova A. M., Koroleva E. V., Engasheva E. S. Analytical and computational mathematical models of the mosquito population in the middle zone of the Russian Federation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 913: 012202. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/913/012202>
 19. Vasilevich F. I., Kalmykov V. V., Nikanorova A. M., Koroleva E. V., Grossman M. F. Regression mathematical models of the number of small mammals in the Kaluga region of the Russian Federation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 677: 012210. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/012210>
 20. Virtanen P., Gommers R., Oliphant T. E., Haberland M., Reddy T., Cournapeau D., Burovski E., Peterson P., Weckesser W., Bright J., van der Walt S. J., Brett M., Wilson J., Millman K. J., Mayorov N., Nelson A. R. J., Jones E., Kern R., Larson E., Carey C. J., Polat İ., Feng Y., Moore E. W., VanderPlas J., Laxalde D., Perktold J., Cimrman R., Henriksen I., Quintero E. A., Harris C. R., Archibald A. M., Ribeiro A. H., Pedregosa F., van Mulbregt P. SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods*. 2020; 17: 261-272. <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2>
 21. Waskom M. L. Seaborn: statistical data visualization. *Journal of Open Source Software*. 2021; 6 (60): 3021. <https://doi.org/10.21105/joss.03021>

The article was submitted 01.08.25; approved after reviewing 18.09.2025; accepted for publication 10.11.2025

About the authors:

Vasilevich Fedor I., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, SPIN: 3708-3330

Demkina Olga V., Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Veterinary-Sanitary Examination, Epizootology and Microbiology, SPIN: 4628-1555

Nikanorova Anna M., Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, SPIN: 1505-1425

Kalmykov Vadim V., SPIN: 1161-2902

Contribution of the authors:

Vasilevich F. I. – research, data analysis, manuscript drafting, conclusions.

Demkina O. V. – conducting research, data analysis, manuscript drafting, drawing conclusions

Nikanorova A. M. – research, data analysis, manuscript drafting, conclusions.

Kalmykov V. V. – research, data analysis, manuscript drafting, conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.