



научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



<http://petrsu.ru>

Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 3 (57). Сентябрь, 2025

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

Редакционная коллегия

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
B. Krasnov
A. Gugotek
В. Н. Якимов
А. В. Сони́на

Службы поддержки

А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>



© ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»



УДК 598.132.4:591.111.1

ЦИТОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ ЭРИТРОЦИТОВ СРЕДИЗЕМНОМОРСКОЙ ЧЕРЕПАХИ НИКОЛЬСКОГО *TESTUDO GRAECA NIKOLSKII* SKHIKVADZE ET TUNIYEV, 1986 (TESTUDINIDAE, REPTILIA) ПРИ ЗАРАЖЕНИИ ГЕМОГРЕГАРИНАМИ

РОМАНОВА
Елена Борисовна

доктор биологических наук, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, 603950, Россия, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23,
romanova@ibbm.unn.ru

НЕЧУПЕЙ
Екатерина Юрьевна

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, 603950, Россия, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23,
ekaterinanechupai@yandex.ru

ГОРЕЛОВ
Роман Андреевич

кандидат биологических наук, Жигулёвский государственный природный биосферный заповедник им. И. И. Спрыгина, Россия, 445362, Самарская обл., с. Бахилова Поляна, ул. Жигулёвская, д. 1,
gorelov.roman@mail.ru

БАКИЕВ
Андрей Геннадьевич

кандидат биологических наук, Самарский федеральный исследовательский центр РАН, 445003, Тольятти, ул. Комзина, 10,
herpetology@list.ru

Ключевые слова:

Testudo graeca nikolskii
Haemogregarina
морфология эритроцитов

Аннотация: Проведен анализ цитометрических, кариометрических параметров и морфологических аномалий эритроцитов средиземноморской черепахи Никольского *Testudo graeca nikolskii* Ckhikvadze et Tuniyev, 1986 при заражении паразитами рода *Haemogregarina* spp. Морфологические показатели эритроцитов незараженных самок и самцов были сопоставимы. Межполовые различия затронули линейные размеры ядер эритроцитов. Малая ось ядра у самок больше, а индекс удлинения ядра меньше по сравнению с самцами. Пораженные гемопаразитами эритроциты имели меньшую площадь ядра, более короткую малую ось и более низкое ядерно-цитоплазматическое отношение по сравнению с непораженными эритроцитами. Доля микроядер у неинфицированных и инфицированных особей была одинаковой, доля морфологических аномалий клеток и их ядер была выше в эритроцитах неинфицированных особей. Установлена корреляционная связь и зависимость возрастания морфологических аномалий ядер при увеличении ядерно-цитоплазматического отношения в эритроцитах, свидетельствующая о возрастании доли аномалий при нарушении регуляции формообразовательных процессов в клетке. Полученные результаты свидетельствуют о влиянии паразитарных

стадий внутриклеточных паразитов на размерные параметры эритроцитов и интенсивность клеточного метаболизма. Относительно высокий уровень морфологических и цитогенетических патологий в клетках крови иллюстрирует неблагоприятное воздействие комплекса факторов среды на организм черепах находящегося под угрозой исчезновения подвида *T. g. nikolskii*.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 31 Мая 2025 года

Подписана к печати: 25 сентября 2025 года

Введение

Внутриклеточные гемопаразиты рода *Haemogregarina* встречаются в крови у черепах по всему миру (Siddall, Dessler, 1992; Adl et al., 2012), имеют сложные жизненные циклы, включающие мерогонию и образование гаметоцитов в хозяине – позвоночном животном (черепахе), гамогонию и спорогонию в кишечнике переносчика – беспозвоночного животного (пиявки) (Hawkey, Dennet, 1989; Telford, 2008). Биология, векторы и пути передачи гемогрегаринов в основном неизвестны (Dessler, 1993); еще недостаточно данных о таксономии, эволюционных связях, биогеографии и влиянии гемогрегаринов на организм хозяина (Dvořáková et al., 2014).

Эритроциты рептилий вследствие их интенсивной метаболической активности за счет наличия ядра служат на клеточном уровне прекрасным модельным объектом для изучения взаимоотношений в системе «паразит – хозяин» (Бейер, Сидоренко, 1972). В опубликованной нами ранее работе при анализе зараженности внутриэритроцитарными гемопаразитами *Haemogregarina* spp. средиземноморских черепах Никольского *Testudo graeca nikolskii* Ckhikvadze et Tuniyev, 1986, содержащихся в питомнике пос. Супсех (Краснодарский край), выявлены высокие показатели экстенсивности и интенсивности инвазии, свидетельствующие о большей склонности самок к инфицированию гемогрегаринами по сравнению с самцами (Романова и др., 2024). С целью изучения влияния *Haemogregarina* spp. на организм хозяина была проведена оценка линейных параметров и доли морфологических и ядерных аномалий эритроцитов *T. g. nikolskii* при заражении гемогрегаринами.

Материалы

Исследованные особи *T. g. nikolskii* (6 самцов и 16 самок) содержались в питомнике пос. Супсех, расположенном в 2 км на юго-восток от центра г. Анапы, и доставлены сюда из окрестностей Анапы в 2023–2024 гг. Забор крови у черепах проведен в один день (19.04.2024) путем прокола яремной

вены. Мазки крови (по два от каждой особи) готовили с помощью гематологического штапеля, высушивали на воздухе, затем фиксировали в спиртоэфирной смеси (1:1). Зафиксированные мазки хранили до окрашивания при комнатной температуре. Мазки окрашивали в течение 20 минут красителем Гимза азу-эозин по Романовскому (10–12-кратный раствор, фирма «Биолот», Россия), приготовленном на фосфатном буфере (pH 6.8–7.2). Готовые мазки просматривали на микроскопе Meiji Techno серии MT 4000 с иммерсией (Meiji Techno, Japan), при увеличении $\times 1500$, с дифференцированным подсчетом размерных характеристик неинфицированных и инфицированных эритроцитов *T. g. nikolskii*.

Методы

Учет морфологических аномалий клеток и их ядер проводили на 500 эритроцитов у каждой особи. Определение величины большой и малой оси клеток и их ядер (в мкм) проводили с помощью окуляр-микрометра cross-line (0.1 mm). Площадь поверхности клеток S_k и ядер S_y (в мкм²) рассчитывали по формуле эллипса: $S = \pi \times a \times b$, где $\pi = 3.14$; a – длина большой полуоси эллипса, мкм; b – длина малой полуоси эллипса, мкм. Индекс удлинения клеток (E) и их ядер (e) рассчитывали как частное от деления длинного диаметра на короткий. Ядерно-цитоплазматическое отношение (ЯЦО) определяли как отношение площади ядра к площади клетки.

Цифровые изображения морфологических аномалий ядер эритроцитов выполняли камерой Vision CAM (Vision, Japan) для тринокулярного микроскопа Meiji Techno (увеличение $\times 1500$).

Оценку нормальности распределения размеров клеток осуществляли с помощью критерия Шапиро – Уилка. С учетом вида распределения центральные тенденции и рассеяние изученных показателей описывали медианой (Me) и интерквартильным размахом (IQR) (значения 25-го и 75-го процентилей). При сравнении двух групп применяли непараметрический критерий Манна – Уитни (u). Для сравнения долей исполь-

зовали z-критерий. Корреляцию морфометрических показателей клеток с видами клеточных и ядерных аномалий оценивали коэффициентом корреляции Спирмена (r) в пакете прикладных программ «STATISTICA v.8». За величину уровня статистической значимости принимали $\alpha = 0.05$.

Результаты

Основные размерные характеристики эритроцитов незараженной средиземно-

морской черепахи Никольского (длина большой, $u = 0.49$, $p = 0.61$ и малой, $u = 0.04$, $p = 0.96$ осей), а также интегральные показатели (индекс удлинения клеток, E , $u = 0.31$, $p = 0.56$; ядерно-цитоплазматическое отношение, ЯЦО, $u = 0.92$, $p = 0.35$) у самцов и самок были сопоставимы. Но выявлены значимые различия по длине малой оси ядра и по индексу удлинения ядра, e , $u = 3.36$, $p < 0.001$ (табл. 1).

Таблица 1. Морфометрические показатели (Me/IQR) эритроцитов средиземноморской черепахи Никольского

| Показатели | Пол | | Статистические показатели | |
|-------------------------|------------|------------|--------------------------------|---------------|
| | самки | самцы | критерий Манна – Уитни (u) | p -значение |
| A , мкм | 18.0/2.0 | 18.0/3.0 | 0.49 | 0.61 |
| B , мкм | 10.0/1.0 | 10.0/1.0 | 0.04 | 0.96 |
| E , отн. ед | 1.7/0.3 | 1.8/0.2 | 0.31 | 0.56 |
| a , мкм | 8.0/1.0 | 8.0/2.0 | 1.35 | 0.17 |
| b , мкм | 5.4/1.0 | 5.1/1.0 | 2.30 | 0.02 |
| e , отн. ед. | 1.4/0.3 | 1.6/0.3 | 3.36 | 0.0007 |
| Sk , мкм ² | 149.2/36.1 | 155.5/22.7 | 0.56 | 0.74 |
| Sy , мкм ² | 32.9/10.2 | 31.4/10.2 | 3.36 | 0.35 |
| ЯЦО | 0.2/0.07 | 0.2/0.04 | 0.92 | 0.35 |

Примечание. A – большая ось клетки, мкм; B – малая ось клетки, мкм; E – индекс удлинения клетки, отн. ед.; a – большая ось ядра, мкм; b – малая ось ядра, мкм; e – индекс удлинения ядра, отн. ед.; Sk – площадь клетки, мкм²; Sy – площадь ядра, мкм²; ЯЦО – ядерно-цитоплазматическое отношение.

Анализ размерных показателей показал увеличение длины малой оси ядра, но уменьшение индекса удлинения ядра самок средиземноморской черепахи по сравнению с самцами (рис. 1).

Сравнительный анализ размерных характеристик непораженных и пораженных гемогрегаридами эритроцитов проводили по гематологическим препаратам самок средиземноморской черепахи, зараженных *Haemogregarina* spp. Индексы удлинения клеток и их ядер непораженных и пораженных эритроцитов не различались, как и линейные размеры клеток (табл. 2). Площадь ядра ($u = 3.71$, $p = 0.0002$), длина его малой оси ($u = 3.44$, $p = 0.0005$) и ядерно-цитоплазматическое отношение ($u = 2.80$, $p = 0.004$) пораженных гемопаразитами клеток были меньше по сравнению с непораженными эритроцитами (рис. 2).

Как известно, при воздействии на организм различных внутренних и внешних стрессовых факторов отмечаются аномалии морфологии как самих клеток, так и их ядер (Крюков, 2023). Нормальные эритро-

циты средиземноморской черепахи имели овальную форму с округлым несегментированным ядром, расположенным в центре клетки (рис. 3А). Распространенным видом цитогенетических аномалий считаются микроядра, которые возникают в анафазе митоза в результате отставания ацентрических фрагментов или целых хромосом. В эритроцитах средиземноморской черепахи чаще встречались микроядра каплевидной формы (рис. 3Б), хвостатые (рис. 3В) и прикрепленные (рис. 3Г). Другим видом аномалий являлись морфологические изменения клеток: эритроциты вытянутой формы (рис. 3Д) и со смещенным ядром (рис. 3Ж).

Морфологические аномалии ядер в эритроцитах средиземноморской черепахи были представлены лопастными ядрами с обособленным перетяжкой участком гетерохроматина, сохранившим связь с основной его частью (рис. 3З); ядрами с впадинами, обусловленными нарушением правильной эллипсоидной формы ядра и представляющими собой явно различимую вогнутость (инвагинацию) ядерной оболочки со

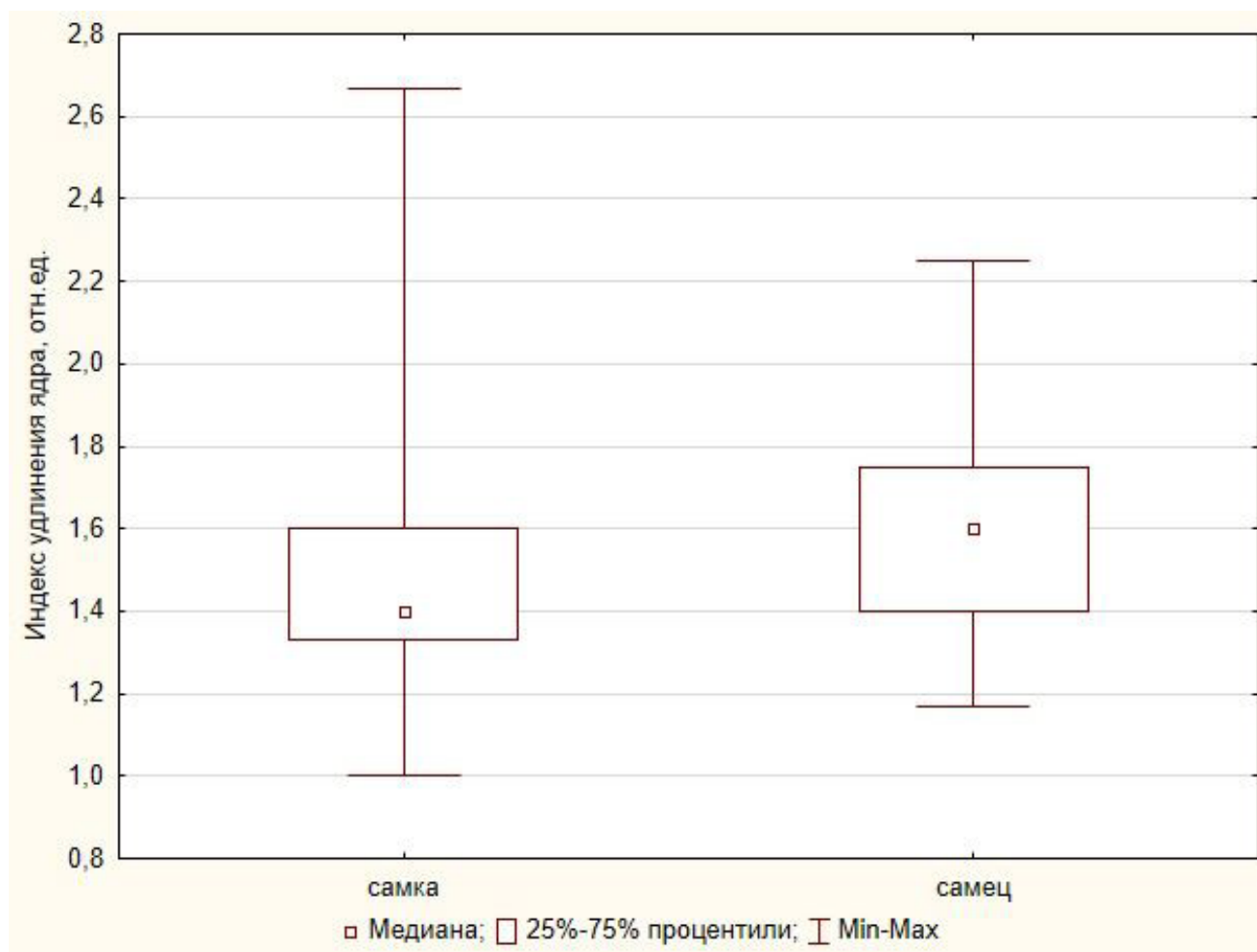


Рис. 1. Индекс удлинения ядра эритроцитов самцов и самок *T. g. nikolskii*

Fig. 1 Index of elongation of the erythrocyte nucleus in males and females of *T. g. nikolskii*

Таблица 2. Сравнительный анализ морфометрических показателей (Me/IQR) непораженных и пораженных эритроцитов самок средиземноморской черепахи Никольского, зараженных *Haemogregarina* spp.

| Параметры | Эритроциты | | Статистические показатели | |
|-------------------------------|--------------|------------|-------------------------------------|--------------------|
| | непораженные | пораженные | критерий Манна – Уитни (<i>u</i>) | <i>p</i> -значение |
| <i>A</i> , мкм | 18.0/3.0 | 18.0/3.0 | 0.66 | 0.50 |
| <i>B</i> , мкм | 12.0/1.0 | 11.0/2.0 | 0.78 | 0.44 |
| <i>E</i> , отн. ед. | 1.5/0.2 | 1.6/0.3 | 0.47 | 0.63 |
| <i>a</i> , мкм | 7.0/1.0 | 7.0/2.0 | 1.25 | 0.21 |
| <i>b</i> , мкм | 5.0/1.0 | 4.6/1.0 | 3.44 | 0.0005 |
| <i>e</i> , отн. ед. | 1.5/0.2 | 1.5/0.3 | 1.73 | 0.08 |
| <i>Ск.</i> , мкм ² | 169.6/6.9 | 160.2/24.3 | 1.23 | 0.21 |
| <i>Ся.</i> , мкм ² | 27.4/6.6 | 25.1/7.8 | 3.71 | 0.0002 |
| яцо | 0.17/0.04 | 0.15/0.04 | 2.80 | 0.004 |

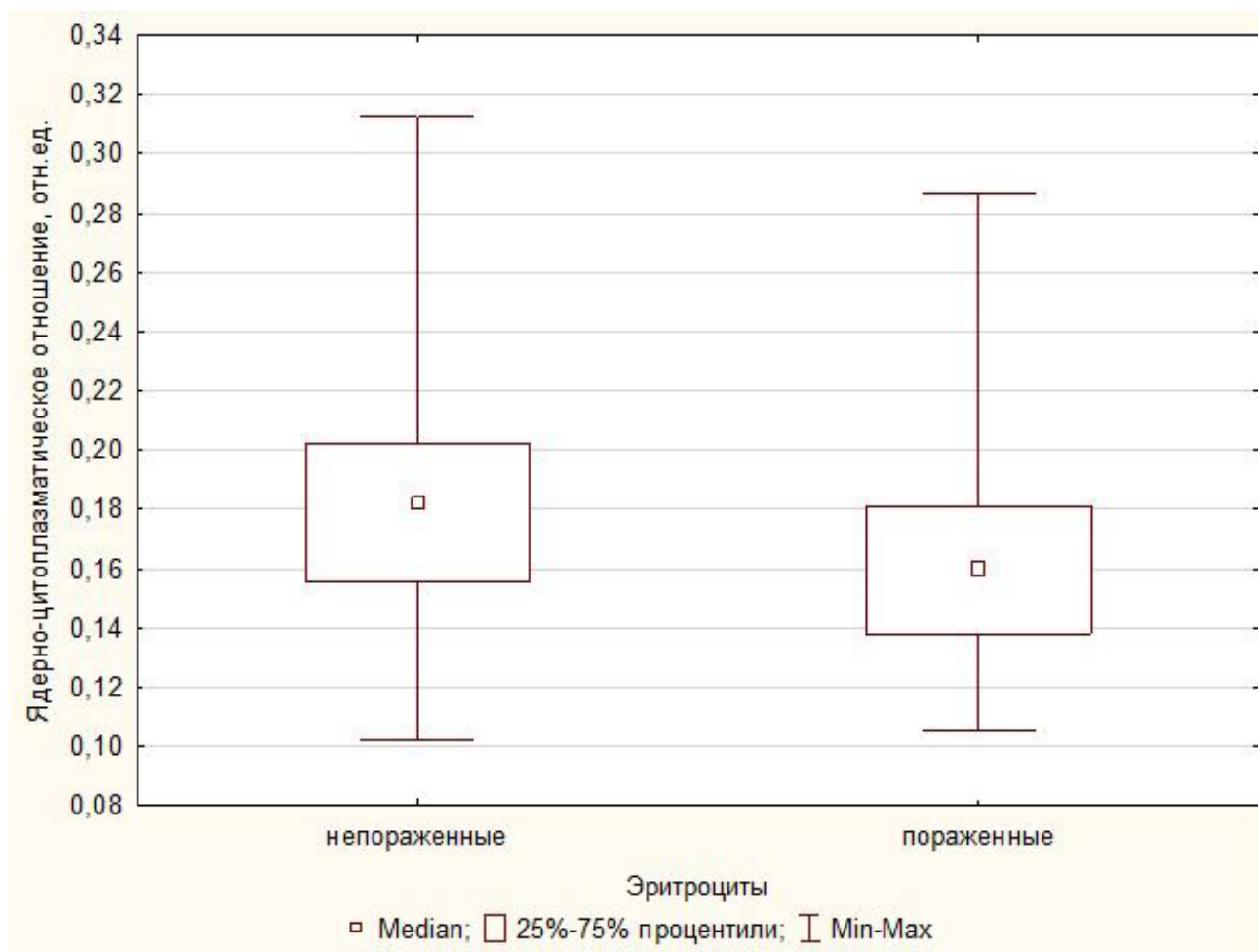


Рис. 2. Ядерно-цитоплазматическое отношение непораженных и пораженных гемопаразитами эритроцитов самок *T. g. nikolskii*

Fig. 2. Nuclear-cytoplasmic ratio of uninfected and hemoparasite-affected erythrocytes of female *T. g. nikolskii*

сравнительно пологими скатами (рис. 3И); зазубренными ядрами, имеющими клинообразную инвагинацию ядерной оболочки (рис. 3К); почкующимися ядрами, у которых имелись характерные выпячивания ядерной оболочки, заполненные хроматином, сохраняющим тесную связь с хроматином ядра (рис. 3Л), и пузырящимися ядрами, часть оболочки которых имела множественные мелкие выпячивания (рис. 3М). Реже встречались двухлопастные ядра, или ядра в форме восьмерки с перетяжкой (рис. 3Н).

Частота встречаемости микроядер у непораженных и инфицированных особей была одинаковой, доли морфологических аномалий клеток и их ядер были выше в эритроцитах здоровых особей (табл. 3).

Выявлена взаимосвязь возрастания морфологических аномалий клеток ($p = 0.38$, $p < 0.001$) и их ядер ($p = 0.51$, $p < 0.001$) при увеличении ядерно-цитоплазматического отношения в эритроцитах. Уравнение регрессии, аппроксимирующее линейную

зависимость числа ядерных аномалий от величины ядерно-цитоплазматического отношения в клетках, имело вид: $y = 0.129 + 0.7153x$ ($R^2 = 0.20$, $r = 0.45$, $p < 0.001$). Результат анализа зависимости показал, что примерно на 20 % (показатель детерминации $R^2 = 0.20$) дисперсия числа морфологических аномалий ядер объясняется дисперсией показателя ядерно-цитоплазматического отношения в эритроцитах, с увеличением которого количество ядерных аномалий в клетке возрастает (рис. 4).

Для визуализации различий по совокупности изученных показателей между непораженными и зараженными средиземноморскими черепахами мы воспользовались методом главных компонент. Участие главных компонент, выделенных при помощи графика каменистой осыпи, с общим качеством репрезентации 99.43 %, в дифференциации было неодинаково. Первая главная компонента (факторная ось), соответствующая собственному значению 27.39, описы-

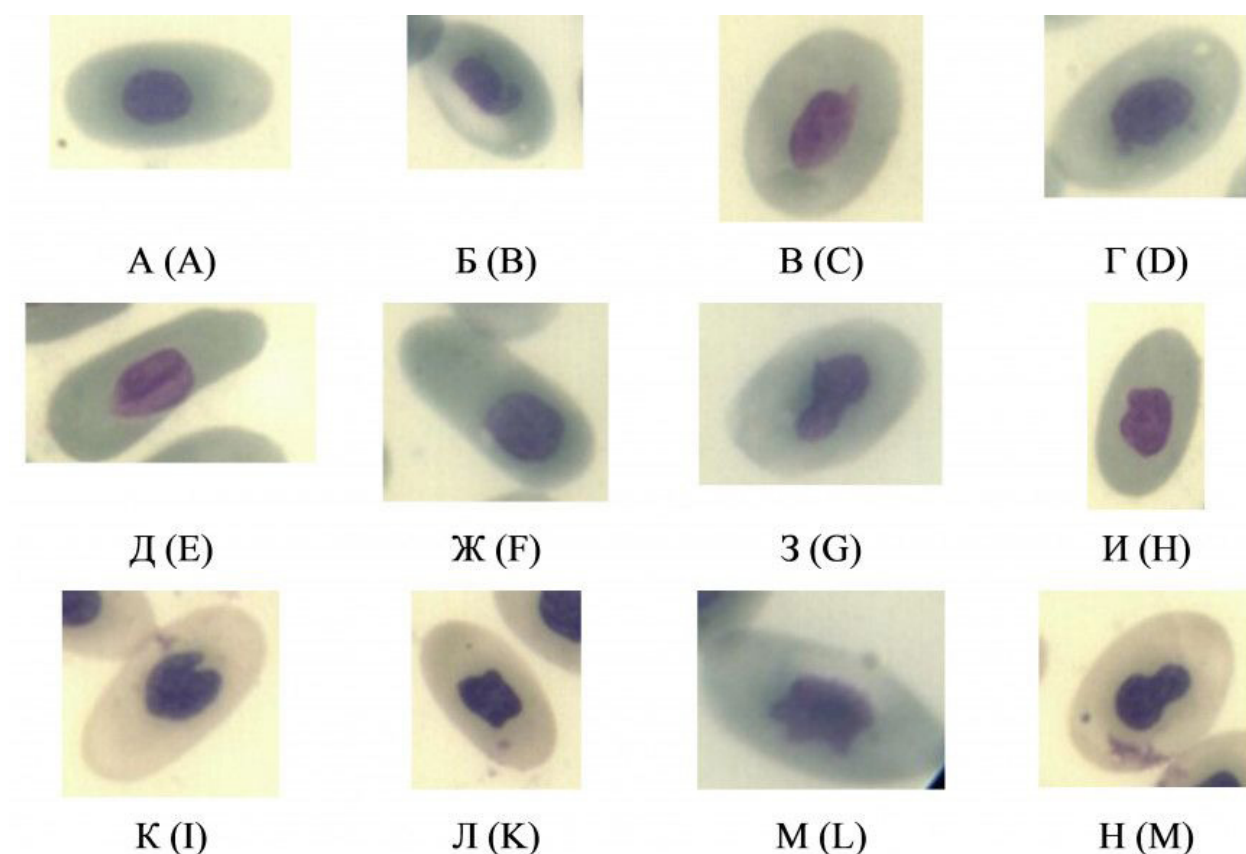


Рис. 3. Эритроциты средиземноморской черепахи Никольского с морфологическими и ядерными аномалиями: А – нормальный эритроцит; Б – эритроцит с примыкающим микроядром каплевидной формы; В – эритроцит с хвостатым микроядром; Г – эритроцит с прикрепленным микроядром; Д – эритроцит вытянутой формы; Ж – эритроцит со смещенным ядром; З – эритроцит с лопастным ядром; И – ядро эритроцита с впадиной; К – эритроцит с зазубренным ядром; Л – эритроцит с почкующимся ядром; М – эритроцит с пузырящимся ядром; Н – ядро эритроцита в форме восьмерки

Fig. 3. Erythrocytes of *T. g. nikolskii* with morphological and nuclear abnormalities: А – normal erythrocyte; В – erythrocyte with an adjacent teardrop-shaped micronucleus; С – erythrocyte with a caudate micronucleus; D – erythrocyte with an attached micronucleus; E – elongated erythrocyte; F – erythrocyte with a displaced nucleus; G – erythrocyte with a lobed nucleus; H – erythrocyte nucleus with a depression; I – erythrocyte with a serrated nucleus; K – erythrocyte with a budding nucleus; L – erythrocyte with a vesicular nucleus; M – the figure-of-eight erythrocyte nucleus

Таблица 3. Доля эритроцитов (на 500 клеток) с аномалиями в крови незараженных и зараженных гемопаразитами средиземноморских черепах

| Виды аномалий | Незараженные особи | Зараженные особи | Статистические показатели: | |
|---------------------------------|--------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | | z-критерий | p-значение |
| Морфологические аномалии клеток | 0.06 | 0.196 | 6.25 | <i>p</i> < 0.001 |
| Морфологические аномалии ядер | 0.207 | 0.325 | 4.22 | <i>p</i> = 0.00001 |
| Микроядра | 0.02 | 0.03 | 1.16 | <i>p</i> = 0.12 |

Примечание. Жирным выделены значимые различия.

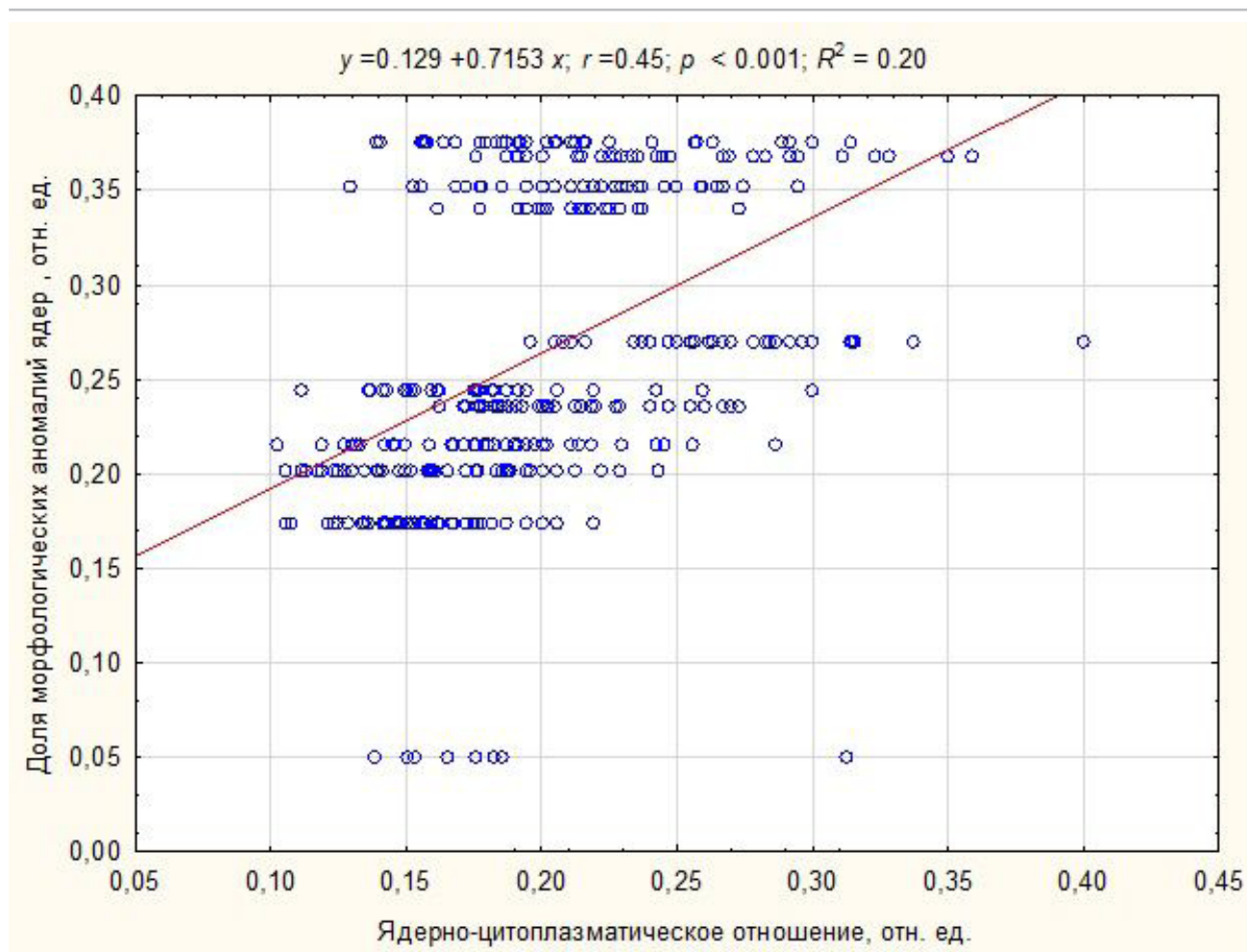


Рис. 4. Зависимость возрастания морфологических аномалий ядер эритроцитов *T. g. nikolskii* при увеличении ядерно-цитоплазматического отношения клеток

Fig. 4. Dependence of the increase in morphological anomalies of the erythrocyte nuclei of *T. g. nikolskii* with an increase in the nuclear-cytoplasmic ratio of cells

вала приблизительно 71.54 % общей дисперсии, и ее роль выше других по информационной насыщенности. Вторая компонента (факторная ось), соответствующая собственному значению 10.67, описывала 27.89 % оставшейся дисперсии, ее роль меньше по сравнению с первой компонентой. Первая факторная ось коррелировала с размерными показателями клеток и имела сильные положительные корреляции с длиной малой оси клеток (0.88), с площадью клеток (0.87), ядерно-цитоплазматическим отношением (0.79) и сильные отрицательные корреляции с индексом удлинения клеток (-0.85) и площадью ядра (-0.81). Вторая факторная ось имела сильную положительную корреляцию с морфологическими аномалиями клеток (0.71). График наблюдений в пространстве главных компонент визуализировал полученный результат (рис. 5).

Незараженные и зараженные гемогрегарины черепахи по совокупности изученных показателей разошлись как по первой,

так и по второй главным компонентам. Зараженные особи сгруппировались в первом и четвертом квадрантах, т.е. имели положительные значения по первой главной компоненте. Незараженные занимали второй, третий и четвертый квадранты и имели как отрицательные, так и положительные значения по первой главной компоненте, объединяясь в области переменных «площадь ядра» и «площадь клетки». По второй главной компоненте незараженные черепахи группировались относительно близко друг к другу в области переменных «морфологические аномалии клеток и их ядер». Пораженные эритроциты по совокупности изученных показателей располагались ближе друг к другу по сравнению со здоровыми клетками и заметно разошлись по второй главной компоненте, которая, как уже отмечалось, дает объяснение более чем вдвое меньшей дисперсии (27.89 %) по сравнению с первой главной компонентой.

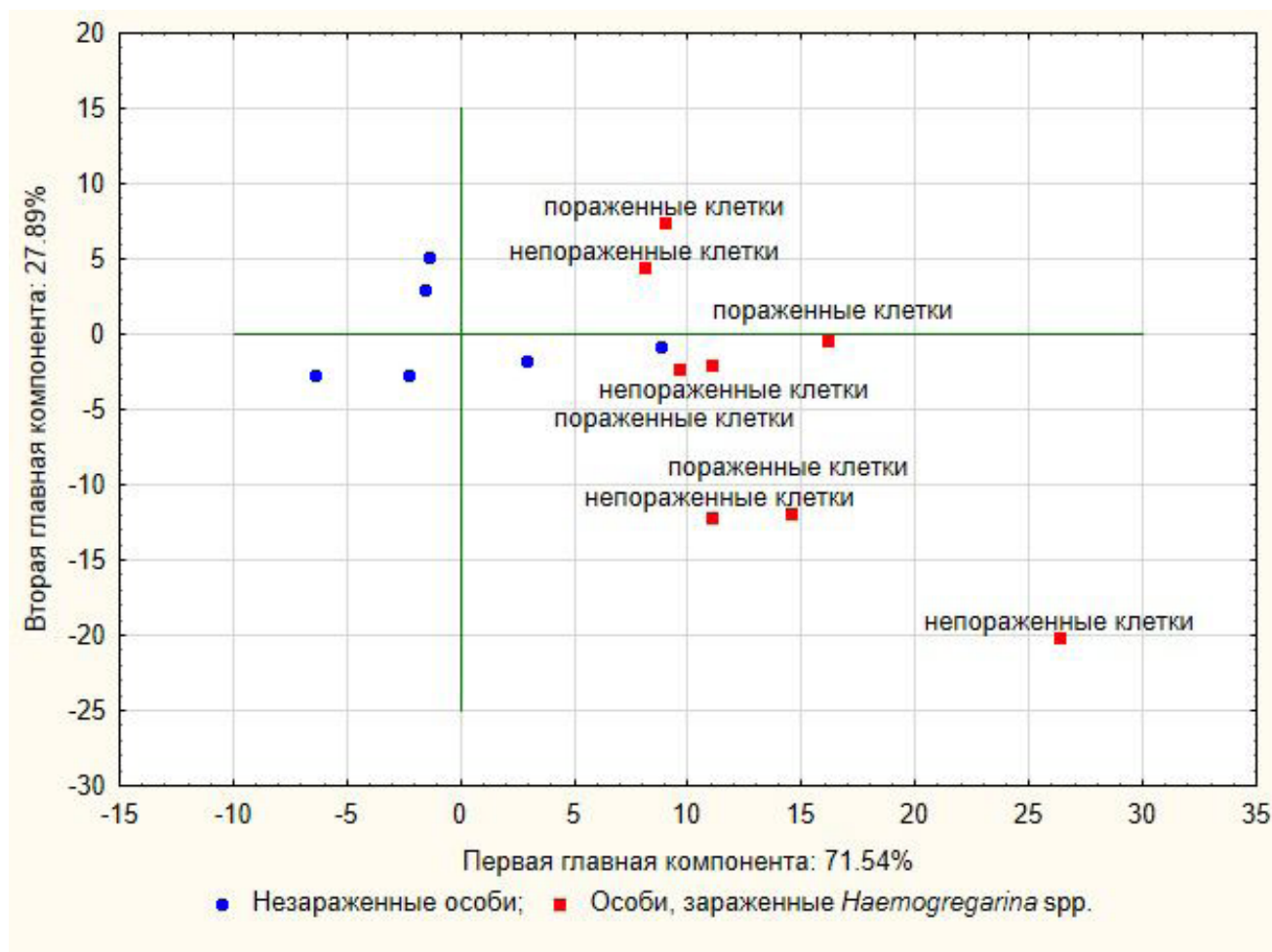


Рис. 5. График рассеивания данных об эритроцитах *T. g. nikolskii* в пространстве двух главных компонент
Fig. 5. A graph of the scattering of erythrocyte data *T. g. nikolskii* in the space of the first two main components

Обсуждение

Известно, что микроядерные образования в эритроидных клетках существуют практически у всех видов рептилий, в т.ч. и не являющихся носителями простейших (Крюков, 2023), что подтверждается полученными данными об отсутствии значимых различий по частоте встречаемости микроядер у незараженных и зараженных гемопаразитом черепах. Ядерно-цитоплазматическое отношение – объективный показатель оценки прижизненного состояния клетки и важная морфологическая характеристика, позволяющая получить определенное представление об уровне метаболизма и компенсаторных реакциях клеток крови. У незараженных самок и самцов средиземноморской черепахи этот показатель был сопоставимым. Хорошо известно, что ядро несет наследственный материал, его размер и форма являются отражением состояния клетки и позволяют судить об особенностях протекания формообразовательных и регуляторных процессов в клетке как во времени, так и в

пространстве. Эта функция осуществляется посредством ядерно-цитоплазматических взаимодействий: из ядра в цитоплазму поступают различные РНК, а из цитоплазмы в ядро – регуляторные молекулы (индукторы и супрессоры) (Ченцов, 2004). При этом количество ДНК в ядре не является фактором, определяющим его размеры и форму, но на ядерную морфологию могут влиять структура и модификация хроматина (Арешидзе, 2022), в частности, приобретение ядрами неправильной формы рассматривается как показатель высокой интенсивности метаболизма (Singla et al., 2013).

У незараженных особей размерные показатели ядер и ядерных структур эритроцитов определяются функциональным состоянием клетки за счет повышенного клеточного метаболизма (Струков, Серов, 2020), более высокое ядерно-цитоплазматическое отношение свидетельствует об активации клеток гемопоэтического роста в красном костном мозге (Донкова, Рубай, 2017). Анализ полученных данных показал, что внедрение и

жизнедеятельность внутриэритроцитарных гемопаразитов в здоровые клетки с высоким уровнем метаболизма и синтетической активностью ядер приводит к уменьшению площади ядра и снижению процессов метаболизма, о чем свидетельствует уменьшение их ядерно-цитоплазматического отношения. Аномальные по форме и размерам эритроциты не способны полноценно выполнять основную функцию переноса кислорода (Song et al., 2021), что впоследствии может привести к развитию анемии и воспалительных заболеваний в организме черепах, инфицированных *Haemogregarina* spp.

Заключение

Выявлены межполовые различия кариометрических показателей эритроцитов здоровых средиземноморских черепах, проявляющиеся у самок увеличением длины малой оси ядра и более низким значением индекса удлинения ядра по сравнению с самцами. Установлено уменьшение малой оси ядер, площади ядер и снижение ядерно-цитоплазматического отношения пораженных эритроцитов по сравнению с неза-

раженными клетками инфицированных самок средиземноморских черепах. Выявлена корреляционная связь ($\rho = 0.38$, $p < 0.001$; $\rho = 0.51$, $p < 0.001$) и зависимость возрастания морфологических изменений ядер ($R^2 = 0.20$, $r = 0.45$, $p < 0.001$) при увеличении ядерно-цитоплазматического отношения в эритроцитах, свидетельствующая о возрастании числа аномалий при нарушении регуляции формообразовательных процессов в клетке.

Следует обратить внимание на высокую долю морфологических и ядерных аномалий в эритроцитах незараженных особей, что требует дальнейшего изучения для выявления факторов, вызывающих морфологические и цитогенетические патологии клеток организма подвидов средиземноморской черепахи, который находится в России под угрозой исчезновения (Туниев, Островских, 2017; Туниев, 2021). Кроме Краснодарского края Российской Федерации, подвид *T. g. nikolskii* сохранился только в Республике Абхазия (Пестов и др., 2009), где еще сравнительно недавно (Туниев, Туниев, 2006) считался исчезнувшим.

Библиография

- Арешидзе Д. А. Механизмы поддержания и изменений формы и размеров клеточного ядра // Морфологические ведомости. 2022. Т. 30, вып. 3. С. 73–80. DOI: 10.20340/mv-mn.2022.30(3).670
- Бейер Т. В., Сидоренко Н. В. Цитохимическое исследование гемогрегаринов из рептилий Армении. II. Сдвиги в содержании гемоглобина и общих белков в эритроцитах скальных ящериц, зараженных гемогрегаринами // Паразитология. 1972. Т. VI, № 4. С. 385–390.
- Донкова Н. В., Рубай А. А. Цитологические и морфометрические особенности клеток крови тритона до и после тотальной резекции конечностей // Вестник КрасГАУ. 2017. № 6. С. 57–64.
- Крюков В. И. Анализ микроядер и ядерных аномалий в эритроцитах рыб, амфибий, рептилий и птиц: критерии выявления и типирования. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2023. 94 с. DOI: 10.12731/978-5-907608-05-4
- Пестов М. В., Маландзия В. И., Мильто К. Д., Дбар Р. С., Пестов Г. М. Средиземноморская черепаха Никольского (*Testudo graeca nikolskii*) в Абхазии // Современная герпетология. 2009. Т. 9, вып. 1/2. С. 41–51.
- Романова Е. Б., Бакиев А. Г., Горелов Р. А. Адаптивные реакции крови средиземноморской черепахи Никольского *Testudo graeca nikolskii* Ckhikvadze et Tuniyev, 1986 (Testudinidae, Reptilia) // Современная герпетология. 2024. Т. 24, вып. 3/4. С. 163–170. DOI: 10.18500/1814-6090-2024-24-3-4-1-1
- Струков А. Л., Серов В. В. Патологическая анатомия. М.: Литера, 2020. 880 с.
- Туниев Б. С. Средиземноморская черепаха Никольского *Testudo graeca nikolskii* Ckhikvadze et Tuniyev, 1986 // Красная книга Российской Федерации. Том «Животные». М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. С. 429–430.
- Туниев Б. С., Островских С. В. Черепаха Никольского (средиземноморская черепаха) *Testudo graeca nikolskii* Ckhikvadze et Tuniyev, 1986 // Красная книга Краснодарского края. Животные. Краснодар: Адм. Краснодар. края, 2017. С. 486–487.
- Туниев Б. С., Туниев С. Б. Герпетофауна Сочинского национального парка // Инвентаризация основных таксономических групп и сообществ, зоологические исследования Сочинского национального парка – первые итоги первого в России национального парка. М.: Престиж, 2006. С. 195–204.
- Ченцов Ю. С. Введение в клеточную биологию. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 495 с.
- Adl S. M., Simpson A. G. B., Lane C. E., Lukes J., Bass D., Bowser S. S., Brown M. W., Burki F., Dunthorn M.,

- Hampl V., Heiss A., Hoppenrath M., Lara E., Le Gall L., Lynn D. H., McManus H., Mitchell E. A. D., Mozley-Stanridge S. E., Parfrey L. W., Pawlowski J., Rueckert S., Shadwick L., Schoch C. L., Smirnov A., Spiegel F. W. The revised classification of eukaryotes // J. Eukaryot. Microbiol. 2012. Vol. 59. P. 429–514.
- Desser S. S. The Haemogregarinidae and Lankesterellidae // Parasitic Protozoa. 2nd Edn. Vol. 4. (ed. J. P. Kreier). New York: Academic Press, 1993. P. 247–272.
- Dvořáková N., Kvičerová J., Papoušek I., Javanbakht H., Ghoulam T. G., Kami H., Siroky P. Haemogregarines from western Palaearctic freshwater turtles (genera *Emys*, *Mauremys*) are conspecific with *Haemogregarina stepanowi* Danilewsky, 1885 // Parasitology. 2014. Vol. 141, Issue 4. P. 522–530. DOI: 10.1017/S0031182013001820
- Hawkey C. M., Dennet T. B. A colour atlas of comparative veterinary haematology. London, UK: Wolfe Publishing, 1989. 192 p.
- Siddall M. E., Desser S. S. Prevalence and intensity of *Haemogregarina balli* (Apicomplexa: Adeleina: Haemogregarinidae) in three turtle species from Ontario, with observations on intraerythrocytic development // Canadian Journal of Zoology. 1992. Vol. 70. P. 123–128.
- Singla A., Griggs N. W., Kwan R. et al. Lamin aggregation is an early sensor of porphyria-induced liver injury // J. Cell Sci. 2013. Vol. 126. P. 3105–3112. DOI: 10.1242/jcs.123026
- Song W., Huang P., Wang J. Red Blood Cell Classification Based on Attention Residual Feature Pyramid Network // Front Med (Lausanne). 2021. Vol. 8. P. 741407. DOI: 10.3389/fmed.2021.741407
- Telford Jr. S. R. Hemoparasites of the Reptilia: Color Atlas and Text. New York: CRC Press, 2008. 376 p.

CYTOMETRIC PARAMETERS AND MORPHOLOGICAL ANOMALIES OF ERYTHROCYTES OF THE MEDITERRANEAN NIKOLSKY TURTLE *TESTUDO GRAECA NIKOLSKII* CKHIKVADZE ET TUNIYEV, 1986 (TESTUDINIDAE, REPTILIA) WHEN INFECTED WITH HAEMOGRARINA

ROMANOVA
Elena Borisovna

DSc, Lobachevsky National Research Nizhny Novgorod State University,
23 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603950, Russia,
romanova@ibbm.unn.ru

NECHUPEY
Ekaterina Yuryevna

Lobachevsky National Research Nizhny Novgorod State University, 23
Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603950, Russia,
ekaterinanechupei@yandex.ru

GORELOV
Roman Andreyevich

PhD, I. I. Sprygin Zhiguli State Natural Biosphere Reserve, 1 Zhigulevskaya
St., Bakhilova Polyana, Samara region, 445362, Russia,
gorelov.roman@mail.ru

BAKIEV
Andrey Gennadyevich

PhD, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
10 Komzina St, Togliatti 445003, Russia, herpetology@list.ru

Key words:

Testudo graeca nikolskii
Haemogregarina
erythrocyte morphology

Summary: We analyzed cytometric, karyometric parameters and morphological anomalies of erythrocytes of the *Testudo graeca nikolskii* Ckhikvadze et Tuniyev, 1986 when infected with parasites of the genus *Haemogregarina* spp. Morphological parameters of erythrocytes of uninfected females and males were comparable. Intersexual differences affected the linear dimensions of the erythrocyte nuclei. The minor axis of the nucleus is larger in females and the elongation index of the nucleus is smaller compared to males. The erythrocytes infected by hemoparasites had a smaller nuclear area, a shorter minor axis, and a lower nuclear-cytoplasmic ratio compared to uninfected erythrocytes. The proportion of micronuclei in uninfected and infected individuals was the same, the proportion of morphological anomalies of cells and their nuclei was higher in the erythrocytes of uninfected individuals. A correlation and dependence of the increase in morphological anomalies of the nuclei with an increase of nuclear-cytoplasmic ratio in erythrocytes was established. This indicates the increase in the proportion of anomalies when the regulation of formative processes in the cell is disrupted. The obtained results evidence the influence of parasitic stages of intracellular parasites on the size parameters of erythrocytes and the intensity of cellular metabolism. The relatively high level of morphological and cytogenetic pathologies in blood cells illustrates the adverse impact of a complex of environmental factors on the body of turtles of the endangered subspecies *T. g. nikolskii*.

Received on: 31 May 2025

Published on: 25 September 2025

References

Adl S. M., Simpson A. G. B., Lane C. E., Lukes J., Bass D., Bowser S. S., Brown M. W., Burki F., Dunthorn M., Hampl V., Heiss A., Hoppenrath M., Lara E., Le Gall L., Lynn D. H., McManus H., Mitchell E. A. D., Mozley-Stanridge S. E., Parfrey L. W., Pawlowski J., Rueckert S., Shadwick L., Schoch C. L., Smirnov A., Spiegel F. W. The revised classification of eukaryotes, J. Eukaryot. Microbiol. 2012. Vol. 59. P.

429–514.

- Areshidze D. A. Mechanisms for maintaining and changing the shape and size of the cell nucleus, *Morfologicheskie vedomosti*. 2022. T. 30, vyp. 3. P. 73–80. DOI: 10.20340/mv-mn.2022.30(3).670
- Beyer T. V. Sidorenko N. V. II. Cytochemical studies on the haemogregarina of armenian reptiles II. Shifts in haemoglobin and total protein contents in the haemogregarina-infected erythrocytes of rock-lizards, *Parazitologiya*. 1972. T. VI, No. 4. P. 385–390.
- Chencov Yu. S. Introduction to Cell Biology. M.: IKC «Akademkniga», 2004. 495 p.
- Desser S. S. The Haemogregarinidae and Lankesterellidae, Parasitic Protozoa. 2nd Edn. Vol. 4. (ed. J. P. Kreier). New York: Academic Press, 1993. P. 247–272.
- Donkova N. V. Rubay A. A. Cytological and morphometric peculiarities of blood cells of triton before and after the total resection of limbs, *Vestnik KrasGAU*. 2017. No. 6. P. 57–64.
- Dvořáková N., Kvičerová J., Papoušek I., Javanbakht H., Ghoulem T. G., Kami H., Siroky P. Haemogregarines from western Palaearctic freshwater turtles (genera *Emys*, *Mauremys*) are conspecific with *Haemogregarina stepanowi* Danilewsky, 1885, *Parasitology*. 2014. Vol. 141, Issue 4. P. 522–530. DOI: 10.1017/S0031182013001820
- Hawkey C. M., Dennet T. B. A colour atlas of comparative veterinary haematology. London, UK: Wolfe Publishing, 1989. 192 p.
- Kryukov V. I. Analysis of micronuclei and nuclear anomalies in erythrocytes of fish, amphibians, reptiles and birds: criteria for detection and typing. Krasnoyarsk: Nauchno-innovacionnyy centr, 2023. 94 p. DOI: 10.12731/978-5-907608-05-4
- Pestov M. V. Malandziya V. I. Mil'to K. D. Dbar R. S. Pestov G. M. Mediterranean tortoise (*Testudo graeca nikolskii*) in Abkhazia, *Sovremennaya gerpetologiya*. 2009. T. 9, vyp. 1/2. P. 41–51.
- Romanova E. B. Bakiev A. G. Gorelov R. A. Adaptive blood reactions of *Testudo graeca nikolskii* Ckhikvadze et Tuniyev, 1986 (Testudinidae, Reptilia), *Sovremennaya gerpetologiya*. 2024. T. 24, vyp. 3/4. P. 163–170. DOI: 10.18500/1814-6090-2024-24-3-4-1-1
- Siddall M. E., Desser S. S. Prevalence and intensity of *Haemogregarina balli* (Apicomplexa: Adeleina: Haemogregarinidae) in three turtle species from Ontario, with observations on intraerythrocytic development, *Canadian Journal of Zoology*. 1992. Vol. 70. P. 123–128.
- Singla A., Griggs N. W., Kwan R. et al. Lamin aggregation is an early sensor of porphyria-induced liver injury, *J. Cell Sci*. 2013. Vol. 126. P. 3105–3112. DOI: 10.1242/jcs.123026
- Song W., Huang P., Wang J. Red Blood Cell Classification Based on Attention Residual Feature Pyramid Network, *Front Med (Lausanne)*. 2021. Vol. 8. P. 741407. DOI: 10.3389/fmed.2021.741407
- Strukov A. L. Pathological anatomy. M.: Litera, 2020. 880 p.
- Telford Jr. S. R. Hemoparasites of the Reptilia: Color Atlas and Text. New York: CRC Press, 2008. 376 p.
- Tuniev B. S. Ostrovskiy S. V. Nikolsky's tortoise (mediterranean tortoise) *Testudo graeca nikolskii* Ckhikvadze et Tuniyev, 1986, *Krasnaya kniga Krasnodarskogo kraya. Zhivotnye*. Krasnodar: Adm. Krasnodar. kraya, 2017. P. 486–487.
- Tuniev B. S. Tuniev S. B. Herpetofauna of Sochi National Park // Inventory of the main taxonomic groups and communities, zoological research of Sochi National Park – the first results of the first national park in Russia M.: Prestizh, 2006. P. 195–204.
- Tuniev B. S. Nikolsky's Mediterranean tortoise *Testudo graeca nikolskii* Ckhikvadze et Tuniyev, 1986, *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federacii. Tom «Zhivotnye»*. M.: FGBU «VNII Ekologiya», 2021. P. 429–430.