

Логинов Д.Н., младший научный сотрудник¹

Ли Е.Ю., младший научный сотрудник²

Панов В.И., младший научный сотрудник²

Темников А.А., заместитель декана факультета естественных наук²

Радькович Е.Л., энтомолог противоэпидемического отделения отдела эпидемиологии³

Бега А.Г., младший научный сотрудник²

Гордеев М.И., доктор биологических наук²

Москаев А.В., кандидат биологических наук²

¹ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам», г. Минск, Республика Беларусь

²ФГБОУ ВО «Государственный университет просвещения», г. Мытищи, Российская Федерация

³ГУ «Гомельский городской центр гигиены и эпидемиологии», г. Гомель, Республика Беларусь

ХРОМОСОМНЫЙ СОСТАВ ПОПУЛЯЦИЙ МАЛЯРИЙНОГО КОМАРА *ANOPHELES MESSEAE* S. L. ЦЕНТРА И ЮГА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Резюме

Изучена кариотипическая структура популяций полиморфного малярийного комара *Anopheles messeae* s. l., выявлен уровень хромосомного полиморфизма. Установлены различия по частотам хромосомных инверсий между популяциями центра и юга Беларуси. В популяциях центральной зоны по сравнению с южной выявлена повышенная частота инверсионных вариантов XL_{11} и $3R_{01}$. Гетерозиготы $2R_{01}$ обнаружены только в популяциях г. Минска. Обнаружена новая уникальная инверсия в гетерозиготе по короткому плечу третьей пары хромосом – $3L_{07}$ (33b–36b). Всего на территории Беларуси зарегистрировано 9 вариантов кариотипов. Наибольшая хромосомная изменчивость выявлена в популяциях из местообитаний Минской области.

Ключевые слова: малярийные комары, цитогенетика, инверсионный полиморфизм, кариотип, *Anopheles*.

Summary

The karyotypic structure of populations of the polymorphic malaria mosquito *Anopheles messeae* s. l. was studied. The level of chromosomal polymorphism in *Anopheles messeae* s. l. was identified. Differences in the frequencies of inversions between the populations of the center and south of Belarus were established. In the populations of the central zone, compared with the southern zone, an increased frequency of inversion variants XL_{11} and $3R_{01}$ was revealed. Heterozygotes $2R_{01}$ were found only in the populations of Minsk. A new unique inversion was found in a heterozygous for the short arm of the third pair of chromosomes – $3L_{07}$ (33b–36b). A total of 9 variants of karyotypes have been registered on the territory of Belarus. The highest chromosomal variability was found in populations from the habitats of the Minsk region.

Keywords: malaria mosquitoes, cytogenetics, inversion polymorphism, karyotype, *Anopheles*.

Поступила в редакцию 17.04.2023 г.

ВВЕДЕНИЕ

Малярийные комары (*Diptera*, *Culicidae*) представляют собой одну из наиболее эпидемически значимых групп насекомых, входящих в комплекс гнуса, активно нападающего на человека и животных. Помимо того, что кровососущие комары рода *Anopheles* являются основными переносчиками малярии в Европейском регионе, они также способны распространять других возбудителей заболеваний различной при-

роды, таких как туляремия, дирофиляриоз и некоторые арбовирусные инфекции [1, 4, 9, 11, 12, 13, 14].

На территории Беларуси зарегистрировано 6 видов малярийных комаров: *Anopheles atroparvus* Van Theil, 1927; *Anopheles claviger* Meigen, 1804; *Anopheles daciae* Linton, Nicolescu & Harbach, 2004; *Anopheles maculipennis* s. s. Meigen, 1818; *Anopheles messeae* s. s. Falleroni, 1926; *Anopheles plumbeus* Steph, 1828 [4, 8]. Виды

An. maculipennis s. s., *An. messeae* s. s., *An. daciae* и *An. atroparvus* являются видами-двойниками, которые входят в палеарктический комплекс *Maculipennis* [3]. Всего данный комплекс насчитывает 11 палеарктических видов-двойников (*An. atroparvus*; *An. artemievi* Gordeev, Zvantsov, Goryacheva, Shaikevich and Ejov, 2005; *An. beklemishevi* Stegnii, Kabanova, 1976; *An. daciae*; *An. labranchiae* Falleroni, 1926; *An. maculipennis*; *An. martinius* Shingarev, 1926; *An. melanoon* Hackett, 1934; *An. messeae*; *An. persiensis* Linton, Sedaghat and Harbach, 2003; *An. sacharovi* Favre, 1903), которые регистрируются на сопредельных территориях [18].

Виды-двойники имеют сходную морфологию, но различаются экологически, физиологически и генетически. На примере многих видовых комплексов показано, что даже близкородственные виды кровососущих комаров обладают различной способностью к переносу возбудителей трансмиссивных заболеваний, характеризуются различной степенью антропофильности, шириной ареала и численностью, что придает им разную эпидемическую значимость. Некоторые виды-двойники из данного комплекса возможно определить до вида по рисунку экзохориона яиц, но ни на стадии личинки, ни на стадии имаго они морфологически не различимы, т. е. определение до вида на постэмбриональных стадиях возможно только с использованием молекулярно- и цитогенетических методов.

Среди всех видов-двойников малярийных комаров комплекса *Maculipennis* на исследуемой территории только *An. messeae* s. l., включающий два криптических вида *An. daciae* и *An. messeae* s. s., обладает сравнительно высоким уровнем хромосомного полиморфизма, что делает его ценным объектом для популяционных исследований хромосомного состава с использованием цитогенетических методов [18, 19].

В клетках слюнных желез личинок и мальпигиевых сосудов имаго малярийных комаров содержатся политенные хромосомы, на которых идентифицируются фиксированные и флукутирующие перестройки. Именно флукутирующие парацентрические инверсии обуславливают внутривидовой хромосомный полиморфизм. В свою очередь инверсионный полиморфизм обеспе-

чивает адаптацию видов малярийных комаров к различным климатическим условиям ареала, в пределах которого могут сильно изменяться сроки зимовки, продолжительность диапаузы, количество генераций, а также фенотипические признаки данного вида [2, 20]. Помимо адаптации к различным экологическим параметрам мест выплода, инверсионный полиморфизм способствует появлению резистентных к инсектицидам форм комаров, что вызывает целый ряд проблем в проведении противозидемических мероприятий, в частности при разработке методов регуляции их численности [8]. Кроме того, на численность и хромосомный состав популяций малярийных комаров может влиять целый ряд экологических факторов в самих биотопах, а именно температура, кислотность, соленость, жесткость воды, а также концентрация растворенного кислорода [6].

Целью работы являлось изучение кариотипического разнообразия полиморфного вида *An. messeae* s. l., а также проведение сравнительного анализа хромосомного состава комаров рода *Anopheles* в местообитаниях центра и юга Беларуси.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом для исследований являлись личинки малярийных комаров 4-го возраста, собранные в водоемах центральной и южной частей Республики Беларусь, а именно в Бресте (52.131143, 23.705518), Мозыре (52.072428, 29.278592), Гомеле (52.421898, 31.027035) и Минске (53.848321, 27.524214). Сборы материала проводились в конце июля – начале августа 2021 года.

Сбор и учет численности личиночных стадий малярийных комаров проводили в типичных маляриогенных водоёмах. Отлов личинок производили стандартной кюветой 13×18 см². Личинок в кювете вылавливали спринцовкой, чтобы избежать повреждения морфологических признаков, подсчитывали и помещали в пробирки с фиксатором Кларка, затем этикетировали (указывали дату, место сбора, описание местообитания, № пробы, количество шт., экологические параметры воды).

Для приготовления препаратов политенных хромосом был использован фикса-

тор Кларка (состоит из 1 части ледяной уксусной кислоты (99,8 %) и 3 частей спирта), основным назначением которого является обезвоживание тканей. В качестве красителя хроматина применялся 2%-ный лактоацеторсеин (состоит из молочной кислоты (80 %), ледяной уксусной кислоты и кристаллического орсеина). Для разделения клеток и отмычки от лишнего красителя использовалась уксусная кислота (50 %). Изолирующий состав служит для сохранения временных препаратов от высыхания (обычно используется быстро застывающий лак или раствор красителя низкого качества).

В камеральных условиях готовили препараты политенных хромосом по видоизмененной лактоацеторсеиновой методике [8]. В капле фиксатора Кларка выделяли слюнные железы личинок малярийных комаров с использованием микроскопа Leica S4E (Германия). Препаровальными иглами надрывали хитиновый покров грудного отдела личинки и извлекали слюнные железы, располагающиеся по обеим сторонам от кишечника, ближе к голове. Остатки хитинового покрова личинки и лишний фиксатор удаляли с помощью фильтровальной бумаги, а выделенные железы окрашивали 2%-ным лактоацеторсином в течение 60 минут (время окраски варьировало в зависимости от степени сохранения выборки, а также от качества приготовления и производителя кристаллического орсеина). По истечении времени прокраски остатки красителя убирали фильтровальной бумагой. Далее окрашенные железы раздавливали под покровным стеклом в 50%-ной уксусной кислоте, стараясь не допустить возникновения пузырьков воздуха (при раздавливании необходимо слегка постукивать обратной стороной препаровальной минувции, придерживая покровное стекло через фильтровальную бумагу и не допуская смещений). Во избежание высыхания препарата по краям покровного стекла наносили изолирующий состав.

Малярийные комары являются удобными объектами для популяционных исследований и цитогенетического анализа ввиду наличия у них политенных хромосом. Политенные хромосомы – это гигантские скопления объединенных хроматид, которые в сотни и тысячи раз больше обычных. Это дает возможность качественно

анализировать структуру участков хромосом для определения последствий воздействия на комаров абиотических и биотических факторов среды.

Цитогенетический анализ политенных хромосом проводили с использованием микроскопа AXIO Imager A1 ZEISS. Определение кариотипов комаров происходило с использованием кариограмм видов и фотокарт политенных хромосом *Anopheles* [15, 18].

В ходе изучения кариотипов полиморфного вида *An. messeae* s. l. были обнаружены парацентрические инверсии в гомо- и гетерозиготном состоянии. Всего с использованием цитогенетических методов изучено 327 личинок малярийных комаров. Оценку частот инверсий f и вычисление стандартной ошибки s_f выполняли стандартными методами [10]. Сравнительный анализ частот инверсий между выборками проводился с использованием критерия Хи-квадрат.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Кровососущие комары рода *Anopheles* обладают постоянным числом хромосом $2n=6$. В кариотипе имеется две пары субметацентрических хромосом, состоящих из двух плеч: левого (короткого) и правого (длинного), 2L и 2R, 3L и 3R соответственно. Помимо аутосом, присутствует половая хромосома, представленная относительно коротким левым плечом – XL, правое плечо гетерохроматизировано. На препаратах слюнных желез самцов половая хромосома X-хромосома представлена только одним гомологом и выглядит значительно тоньше по сравнению с хромосомой самок. Y-хромосома имеет маленькое эухроматиновое плечо длиной в несколько дисков. Как у самцов, так и у самок сохраняется одинаковая последовательность дисков на половых хромосомах. Изменение конфигурации хромосомы и взаиморасположения дисков свидетельствует о наличии хромосомных перестроек.

Изучение хромосомной изменчивости в популяциях полиморфного вида *An. messeae* s. l. позволило установить следующие хромосомные варианты половой хромосомы и аутосом: XL_{00} , XL_{01} , XL_{11} , $2R_{00}$, $2R_{01}$, $3R_{00}$, $3R_{01}$, $3L_{00}$, $3L_{07}$. Эволюционно исходными приняты последовательности XL_{00} , $2R_{00}$, $3R_{00}$, $3L_{00}$. Все инверси-

онные последовательности встречаются в гетеро- и гомозиготном состоянии. Инверсии у малярийных комаров имеют адаптивное значение и закономерно замещают друг друга в тех или иных экологических условиях.

Популяции малярийного комара *An. messeae* s. l. на территории Беларуси характеризуются сравнительно высокой изменчивостью по частотам инверсионных вариантов в левом плече половой хромосомы (XL) (рисунок 1).

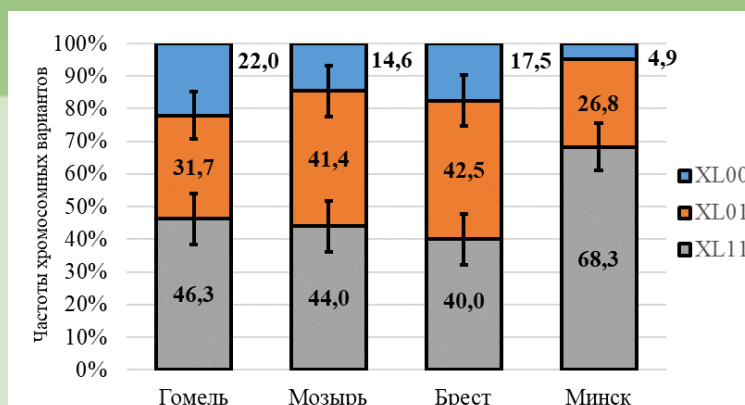


Рисунок 1. – Частоты хромосомных вариантов по половой хромосоме XL у самок *An. messeae* s. l. на исследуемой территории Республики Беларусь

Выборки из городов Бреста и Мозыря не отличались друг от друга и были объединены, однако в результате попарного сравнения брестских и мозырских популяций с популяциями Гомеля были выявлены статистически значимые различия по частотам инверсий половой хромосомы у самцов ($\chi^2=9.848$; $df=1$; $p<0,01$ и $\chi^2=3.961$; $df=1$; $p<0,05$ соответственно). Популяции Гомеля и Минска значимо различались по соотношению инверсий XL_0 и XL_1 у самок малярийных комаров ($\chi^2=10.953$; $df=1$; $p<0,001$). Также значимые различия частот инверсионных вариантов обнаружены у самок между популяциями Бреста и Минска ($\chi^2=7.325$; $df=2$; $p<0,05$). Вероятно, установленные различия в хромосомном составе в изученных местообитаниях объясняются

приспособлением популяций к локальным экологическим факторам отбора.

Основываясь на результатах сравнительного анализа состава и частот инверсий аутосом 2R и 3R, можно приурочить изученные популяции к двум зонам – центральной и южной. Южная зона включает в себя выборки из городов Гомеля, Мозыря и Бреста, к центральной зоне отнесены популяции, представленные выборками из Минска и Минской области. Популяции из южной зоны значимо различаются от центральной зоны по аутосомам 2R ($\chi^2=6.153$; $df=1$; $p<0,02$) и 3R ($\chi^2=7.057$; $df=1$; $p<0,01$) (рисунок 2). Только в местообитаниях г. Минска обнаружены гетерозиготы $2R_{01}$ ($7,3\pm2,9$ %).

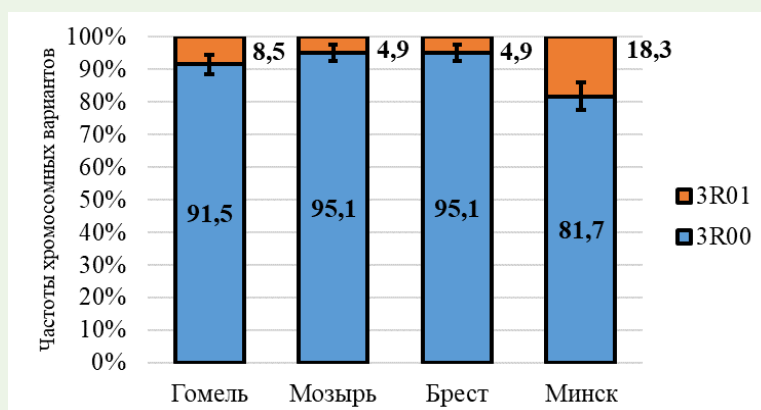


Рисунок 2. – Частоты хромосомных вариантов по аутосоме 3R у самцов и самок *An. messeae* s. l. на исследуемой территории Республики Беларусь

Необходимо отметить, что популяции, отнесенные к южной зоне, находятся в ландшафтной зоне широколиственных лесов. В свою очередь, популяции центральной зоны расположены в подтаежной зоне. По-видимому, различия популяций центральной зоны от южной объясняются климатическими закономерностями частотного распределения инверсий [16]. Доказано, что частота аутосомной инверсии $3R_1$ последовательно возрастает в долготном направлении – с запада на восток, в то время как частота инверсии $2R_1$ возрастает в

широтном направлении – с юга на север [5, 7].

По $2L$ и $3L$ плечам у полиморфного комара *An. messeae* s. l. в популяциях как центральной, так и южной зоны наблюдается отсутствие полиморфизма, за исключением обнаруженной в популяции Минска гетерозиготы по новой уникальной инверсии $3L_{07}$ (33b–36b).

В результате проведения цитогенетического анализа на территории Республики Беларусь установлено 9 кариотипов *An. messeae* s. l. (таблица).

Таблица. – Кариотипический состав популяций полиморфного вида *An. messeae* s. l. в изученных местообитаниях на территории Беларуси

Частоты кариотипов в местах сбора, $f \pm s_f$ %					
самцы					
Кариотип	Гомель	Мозырь	Брест	Минск	общее
$XL_{00}2R_{00}3R_{00}3L_{00}$	$58,5 \pm 7,7$	$36,6 \pm 7,5$	$24,4 \pm 6,7$	$29,3 \pm 7,1$	$37,2 \pm 3,8$
$XL_{12}2R_{00}3R_{00}3L_{00}$	$36,6 \pm 7,5$	$56,1 \pm 7,8$	$73,2 \pm 6,9$	$51,2 \pm 7,8$	$54,3 \pm 3,9$
$XL_{12}2R_{01}3R_{00}3L_{00}$	0	0	0	$7,3 \pm 4,1$	$1,8 \pm 1,0$
$XL_{12}2R_{00}3R_{01}3L_{00}$	$4,9 \pm 3,4$	$7,3 \pm 4,1$	$2,4 \pm 2,4$	$9,8 \pm 4,6$	$6,1 \pm 1,9$
$XL_{12}2R_{01}3R_{01}3L_{00}$	0	0	0	$2,4 \pm 2,4$	$0,6 \pm 0,6$
самки					
$XL_{00}2R_{00}3R_{00}3L_{00}$	$17,1 \pm 4,0$	$14,6 \pm 3,7$	$15,0 \pm 3,8$	$2,4 \pm 1,6$	$12,3 \pm 3,1$
$XL_{00}2R_{00}3R_{01}3L_{00}$	$4,9 \pm 2,2$	0	$2,5 \pm 1,6$	$2,4 \pm 1,6$	$2,4 \pm 1,5$
$XL_{01}2R_{00}3R_{00}3L_{00}$	$29,3 \pm 5,1$	$41,5 \pm 5,9$	$42,5 \pm 5,9$	$24,4 \pm 4,7$	$34,4 \pm 3,9$
$XL_{01}2R_{00}3R_{01}3L_{00}$	$2,4 \pm 1,6$	0	0	$2,4 \pm 1,6$	$1,2 \pm 1,1$
$XL_{11}2R_{00}3R_{00}3L_{00}$	$41,4 \pm 5,9$	$41,5 \pm 5,9$	$35,0 \pm 5,5$	$41,5 \pm 5,9$	$39,9 \pm 3,7$
$XL_{11}2R_{01}3R_{00}3L_{00}$	0	0	0	$4,9 \pm 2,2$	$1,2 \pm 1,1$
$XL_{11}2R_{00}3R_{01}3L_{00}$	$4,9 \pm 2,2$	$2,4 \pm 1,6$	$5,0 \pm 2,2$	$19,6 \pm 4,2$	$8,0 \pm 2,6$
$XL_{11}2R_{00}3R_{00}3L_{07}$	0	0	0	$2,4 \pm 1,6$	$0,6 \pm 0,8$

Самый высокий уровень кариотипического разнообразия обнаружен в водоемах Минска, где установлено 8 кариотипов из 9 зарегистрированных. Наименьшее разнообразие, а именно 4 кариотипа, отмечено в местообитаниях Мозыря. Во всех исследуемых популяциях преобладающим кариотипом являлся $XL_{11}2R_{00}3R_{00}3L_{00}$. Кроме того, кариотип $XL_{01}2R_{00}3R_{00}3L_{00}$ в местообитаниях городов Мозыря и Бреста не уступает по частоте повсеместно распространенному кариотипу $XL_{11}2R_{00}3R_{00}3L_{00}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенных исследований определен инверсионный полиморфизм *An. messeae* s. l. В по-

пуляциях этого малярийного комара обнаружены следующие хромосомные варианты: XL_{00} , XL_{01} , XL_{11} , $2R_{00}$, $2R_{01}$, $3R_{00}$, $3R_{01}$, $3L_{00}$, $3L_{07}$, из которых инверсии $2R_{01}$ и $3L_{07}$ найдены только в популяциях Минска. На основании сравнительного анализа инверсионного состава популяций были выявлены различия по половой хромосоме как у самцов, так и у самок, определяющие адаптацию к локальным факторам среды. Кариотипический состав популяций на изученных территориях представлен 9 кариотипами, из которых преобладающим являлся кариотип $XL_{11}2R_{00}3R_{00}3L_{00}$. Зарегистрированные различия в частотах инверсионных вариантов аутосом $2R$ и $3R$ позволили отнести изученные популяции к двум зонам:

центральной (популяции города Минска) и южной (популяции городов Гомеля, Мозыря, Бреста). Известно, что инверсия XL_1 является видоспецифичной для *An. daciae*, а инверсия $2R_1$ видоспецифична для *An. messeae* s. s. Полученные данные по кариотипическому составу популяций свидетель-

ствуют о наличии обоих криптических видов в местообитаниях Минска.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РЦНИ (РФФИ) и БРФФИ в рамках научного проекта № 20-54-04017 (БРФФИ-РФФИ М-2021 № Б21РМ-123).

ЛИТЕРАТУРА

1. Богуцкий, М. И. Эколого-медицинские аспекты малярии в Гродненской области / М. И. Богуцкий, А. Н. Васильева, А. Р. Хутко // Журнал ГГМУ. – 2003. – № 3. – С. 46–48.
2. Видовой и кариотипический состав личинок малярийных комаров в различных водоемах города Москвы / Е. Ю. Таныгина [и др.] // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. – 2014. – № 2. – С. 29–33.
3. Кариотипический состав и хромосомная изменчивость полиморфных видов малярийных комаров (Diptera, Culicidae) г. Минска / Д. Н. Логинов [и др.] // Актуальные проблемы охраны животного мира в Беларуси и сопредельных регионах : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 11–14 октября 2022 г. / ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам». – Минск, 2022. – С. 263–266.
4. Кровососущие комары (Diptera, Culicidae) – переносчики возбудителей трансмиссивных заболеваний на территории Брестской и Гомельской областей / Д. Н. Логинов [и др.] // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2019. – № 3 (114). – С. 51–56.
5. Москаев, А. В. Видовой и хромосомный состав малярийных комаров в различных природно-климатических зонах Ленинградской области / А. В. Москаев, М. И. Гордеев, Л. А. Ганушкина // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. – 2016. – № 3. – С. 36–40.
6. Москаев, А. В. Влияние экологических характеристик биотопов на хромосомный состав личинок малярийного комара *Anopheles messeae* (Diptera, Culicidae) / А. В. Москаев, М. И. Гордеев // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». – 2012. – № 3. – С. 28–37.
7. Москаев, А. В. Кариотипическая структура популяций малярийных комаров в северных и восточных районах Московской области / А. В. Москаев, М. И. Гордеев, Л. А. Маслова // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». – 2016. – № 1. – С. 36–49.
8. Москаев, А. В. Хромосомный состав популяций малярийного комара *Anopheles messeae* в центре и на периферии видового ареала / А. В. Москаев, М. И. Гордеев, О. В. Кузьмин // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». – 2015. – № 1. – С. 29–36.
9. Обнаружение ДНК микрофилярий *Dirofilaria repens* и *Dirofilaria immitis* в кровососущих комарах (Diptera, Culicidae) на территории Республики Беларусь / С. Е. Яшкова [и др.] // Актуальная инфектология. – 2016. – № 4 (13). – С. 118–119.
10. Плохинский Н. А. Биометрия / Н. А. Плохинский. – М. : МГУ, 1970. – 368 с.
11. Рубанова, Ф. Г. Некоторые особенности эпидемиологии туляремии в БССР / Ф. Г. Рубанова, Т. Т. Сенчук // Сб. науч. тр. Белорус. ин-та эпидемиологии микробиологии и гигиены ; под ред. В. И. Вотякова [и др.]. – Минск, 1957. – С. 224–229.
12. Рубанова, Ф. Г. О природной очаговости туляремийной инфекции / Ф. Г. Рубанова // Сб. науч. тр. Белорус. ин-та эпидемиологии микробиологии и гигиены ; под ред. В. И. Вотякова, Д. Е. Зибицкера. – Минск, 1955. – С. 234–237.
13. Самойлова, Т. И. Проблема арбовирусных инфекций в Республике Беларусь / Т. И. Самойлова // Здоровоохранение. – 2005. – № 11. – С. 22–26.
14. Самойлова, Т. И. Эпидемическая ситуация по арбовирусным инфекциям в Республике Беларусь / Т. И. Самойлова // Здоровоохранение. – 2014. – № 12. – С. 13–18.
15. Стегний В. Н. Популяционная генетика и эволюция малярийных комаров / В. Н. Стегний. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та, 1991. – 136 с.
16. Хромосомная изменчивость в популяциях малярийных комаров в различных ландшафтных зонах Восточной Европы и Южного Урала / М. И. Гордеев [и др.] // Географическая среда и живые системы. – 2022. – № 4. – С. 48–66.
17. Хромосомная изменчивость популяций малярийных комаров Белорусского и Российского Полесья / А. В. Москаев [и др.] // Генетические процессы в популяциях : материалы науч. конф. с междунар. участием, посвященной 50-летию юбилею лаборатории популяционной генетики им. Ю. П. Алтухова ИОГен РАН и 85-летию со дня рождения академика Юрия Петровича Алтухова, Москва, 11–14 октября 2022 г. / Институт общей генетики им. Н. И. Вавилова РАН. – М., 2022. – С. 40.
18. Chromosome and Genome Divergence between the Cryptic Eurasian Malaria Vector-Species *Anopheles messeae* and *Anopheles daciae* / A. N. Naumenko [et al.] // Genes. – 2020. – № 11 (2). – P. 165.
19. Geographic distribution and inversion polymorphism in natural population of cryptic species *Anopheles messeae* and *Anopheles daciae* in Eurasia / M. Sharakhova [et al.] // Abstracts of presentations at XXVI International Congress of Entomology Helsinki, Finland, July 17–22 2022. – Finland, 2022. – P. 726.
20. Gordeev, M. Genetic effects of global warming in populations of malaria mosquitoes in the taiga zone of Eurasia / M. Gordeev, A. Bega, A. Moskaev // Abstracts of presentations at XXVI International Congress of Entomology Helsinki, Finland, July 17–22 2022. – Finland, 2022. – P. 283.