

Научная статья

<https://doi.org/10.36233/0372-9311-287>

## Компетентность комаров *Culex pipiens f. molestus* как переносчиков вируса Западного Нила при различных температурных условиях

Молчанова Е.В.<sup>✉</sup>, Лучинин Д.Н., Мачнева А.Ю., Герасимова А.Д.,  
Несговорова А.В., Бородай Н.В., Плеханова Н.Г., Батулин А.А.

Волгоградский научно-исследовательский противочумный институт, Волгоград, Россия

### Аннотация

**Введение.** Комары *Culex pipiens* являются одним из компетентных видов переносчиков вируса Западного Нила (ВЗН). *Culex pipiens f. molestus* (*Cx. p. f. molestus*) — синантропная, автогенная, широко распространённая форма вида, способная питаться на широком круге хозяев, в том числе на человеке. Температура среды обитания насекомых влияет на потенциал вирусофорности, чем определяет их компетентность как переносчиков возбудителя лихорадки Западного Нила (ЛЗН).

**Цель** — экспериментальное изучение влияния температуры среды обитания личинок на компетентность комаров *Cx. p. f. molestus* как переносчиков ВЗН.

**Материалы и методы.** В работе использовали штамм ВЗН (WNV\_Volg601/18 2 генотипа) и лабораторную культуру комаров *Cx. p. f. molestus*. Концентрацию вирусного изолята определяли методом бляшкообразования с помощью культуры клеток Vero. Заражение насекомых проводили перорально на личиночной стадии с последующей инкубацией на протяжении всего цикла при 20, 22 или 28°C. Через 72 ч после вылета всех имаго из куколок комаров обездвигивали на холоде, определяли пол, выделяли у самок слюнные железы, исследовали их на наличие ВЗН и определяли его титр.

**Результаты.** В результате исследования установлено, что ВЗН в титре, достаточном для передачи патогена при кровососании, был обнаружен в слюнных железах насекомых, развивающихся при температуре 22 и 28°C, при этом его концентрация повышалась с увеличением температуры среды. В слюнных железах самок насекомых, развивающихся при температуре 20°C, вирус не выявлен.

**Заключение.** Температура среды обитания является одним из ключевых факторов, ограничивающих репликацию и концентрацию ВЗН в слюнных железах комаров *Cx. p. f. molestus*.

**Ключевые слова:** вирус Западного Нила, *Culex pipiens*, C6/36, компетентность

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Молчанова Е.В., Лучинин Д.Н., Мачнева А.Ю., Герасимова А.Д., Несговорова А.В., Бородай Н.В., Плеханова Н.Г., Батулин А.А. Компетентность комаров *Culex pipiens f. molestus* как переносчиков вируса Западного Нила при различных температурных условиях. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2022;99(5):540–544.  
DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-287>

Original article

<https://doi.org/10.36233/0372-9311-287>

## Competence of mosquitoes *Culex pipiens f. molestus* as carriers of West Nile virus under various temperature conditions

Elena V. Molchanova<sup>✉</sup>, Dmitry N. Luchinin, Anastasiya Yu. Machneva, Arina D. Gerasimova,  
Anna V. Nesgovorova, Natalya V. Boroday, Natalya G. Plekhanova, Artem A. Baturin

Volgograd Plague Control Research Institute, Volgograd, Russia

#### Annotation

**Introduction.** The *Culex pipiens* mosquito is one of the proven vectors of the West Nile virus (WNV). *Culex pipiens f. molestus* (*Cx. p. f. molestus*) is a synanthropic, autogenous, widespread form of the species that can feed on a broad range of hosts, including humans. The temperature of the habitat of insects affects the potential for virus transmission, which determines the likelihood of them carrying the pathogen of West Nile fever.

**The goal** is an experimental study of the temperature of the habitat of larvae on the competence of mosquitoes *Cx. p. f. molestus* as carriers of WNV.

**Materials and methods.** We used a strain of the WNV (WNV\_Volg601/18 genotype 2) and a laboratory culture of mosquitoes *Cx. p. f. molestus*. The concentration of the virus was detected by plaque formation using Vero cells. Insects were infected orally at the larval stage, with subsequent incubation at 20, 22 or 28°C. 72 hours after the emergence of all adults from the pupae, the mosquitoes were immobilized by cold, the sex of imago was determined, the salivary glands were isolated from the females, and the presence of WNV in glands and its titer were detected.

**Results.** The titer of WNV sufficient to transmit the pathogen through the insect biting was observed in the salivary glands of insects kept at a temperature of 22 and 28°C, with the virus titer rising with the temperature increasing. No virus was detected in the salivary glands of female insects kept at a temperature of 20°C.

**Conclusion.** Thus, it appears that the habitat temperature is an important factor limiting the replication and content of WNV in the salivary glands of *Cx. p. f. molestus*.

**Keywords:** West Nile virus, *Culex pipiens f. molestus*, C6/36, competence

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Conflict of interest.** The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Molchanova E.V., Luchinin D.N., Machneva A.Yu., Gerasimova A.D., Nesgovorova A.V., Boroday N.V., Plekhanova N.G., Baturin A.A. Competence of mosquitoes *Culex pipiens f. molestus* as carriers of West Nile virus under various temperature conditions. *Journal of microbiology, epidemiology and immunobiology = Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*. 2022;99(5):540–544.  
DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-287>

## Введение

Вид комаров *Culex pipiens* (Diptera, Culicidae) состоит из 2 морфологически идентичных биотипов: *pipiens* (Linnaeus, 1758) и *molestus* (Forskål, 1775), различающихся по физиологии и поведению [1].

В Европе *Culex pipiens f. molestus* (*Cx. p. f. molestus*) впервые появился в 1920-х гг. Приспособленность *Cx. p. f. molestus* к существованию в условиях городского жилища привела к расширению ареала его обитания на север. В 1960-х гг. комары заселили города европейского Севера. С 1980-х гг. началось проникновение этих насекомых в Сибирь и на Дальний Восток [2]. Наличие *Cx. p. f. molestus* отмечено практически во всех населённых пунктах России умеренной зоны [3]. Широкое распространение данного вида обусловлено его высокой экологической пластичностью, способностью личинок развиваться в разнообразных естественных и искусственных водоёмах, выдерживать высокую степень загрязнения воды, а имаго — питаться на широком круге хозяев [4].

Комары *Cx. pipiens* — один из основных видов — переносчиков вируса Западного Нила (ВЗН) [5, 6]. Несколько исследований определили векторную компетенцию этого вида для ВЗН [7, 8]. Температура среды обитания насекомых влияет на потенциал их вирусофорности, чем определяет их компетентность как переносчиков.

В связи с тем, что *Cx. p. f. molestus* часто встречается в подвалах городских построек, способен питаться на широком круге хозяев, в том числе на

человеке, синантропная форма при условии вирусофорности позволяет поддерживать передачу патогена в ряду поколений, что ведёт к формированию очага лихорадки Западного Нила (ЛЗН), активного в течение всего года.

При исследованиях, проведённых в Волгоградской области в 2012 г., комары *Cx. p. f. molestus* были обнаружены как в открытых городских биотопах, так и в окрестностях Волгограда: на их долю пришлось 19,4 и 34,2% вида *Cx. pipiens* соответственно. Широкое распространение формы *molestus* может привести к ухудшению эпидемиологической ситуации в регионе, поскольку самки указанной формы обладают значительно более высоким уровнем антропофилии, чем самки *pipiens* [9].

**Целью** данной работы было изучение влияния температуры среды обитания личинок на компетентность комаров *Cx. p. f. molestus* как переносчиков ВЗН.

## Материалы и методы

### Комары

Лабораторная культура комаров *Cx. p. f. molestus* была получена из Института медицинской паразитологии, тропических и трансмиссивных заболеваний им. Е.И. Марциновского.

Имаго комаров содержали в вольерах (0,5 × 0,5 × 0,5 м), обтянутых сеткой, личинок — в эмалированных кюветах с отстоянной водой. Взрослых особей кормили 6% раствором глюкозы, личинок —

измельчённым кормом для котов («Kitekat», «Mars Inc.»). Насекомых содержали при 20–22°C с циклом день : ночь 12 : 12 ч и относительной влажности 60%.

### Вирус

В экспериментах использовали штамм ВЗН Volg\_601/18 2 генотипа, выделенный из комаров *Cx. modestus* Fic., отловленных на территории Волгоградской области (штамм депонирован в государственной коллекции возбудителей вирусных инфекций и риккетсиозов ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора под номером V-959; полногеномная последовательность в GenBank: MN619800).

### Клеточные культуры

Клеточную культуру С6/36, полученную из Института общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, культивировали в среде С-46 при 25°C и атмосферном воздухе.

Клеточную культуру Vero выращивали в среде DMEM («БиолоТ») с добавлением 10% эмбриональной телячьей сыворотки («Sigma-Aldrich»), 1% L-глутамин («Gibco») и 1% антибиотика/антимикотика («Sigma-Aldrich») при 37°C, 5,5% CO<sub>2</sub> и 70% влажности.

Концентрацию вирусного изолята определяли методом бляшкообразования (количество бляшкообразующих единиц (БОЕ) на 1 мл) с использованием линии клеток Vero.

### Заражение комаров ВЗН

Все манипуляции проводили в помещениях лаборатории, соответствующих уровню биологической безопасности BSL-3<sup>1</sup>.

По 100 экземпляров личинок комаров 4-й стадии вносили в 3 флакона, содержащих по 50 мл культуральной среды с клетками С6/36, заражёнными ВЗН в титре  $1 \times 10^3$  БОЕ/мл (погрешность  $\pm 0,09 \times 10^3$  БОЕ/мл). Флаконы помещали в индивидуальные эксикаторы, которые затягивали марлей вместо крышки и ставили в термостаты на весь последующий цикл превращения и вылета имаго при температуре 20, 22 или 28°C и относительной влажности 60%. В течение 1 нед наблюдали за окуливанием и выходом имаго.

Через 72 ч после вылета всех имаго из куколок эксикаторы из термостатов помещали в холодильник (4°C) на 6–8 ч, обездвиженных холодом насекомых собирали, определяли их пол.

### Определение компетентности комаров как переносчиков ВЗН

Для определения наличия ВЗН и его титра у самок комаров выделяли слюнные железы, поме-

щали их в стерильную пластиковую пробирку, ресуспендировали в 100 мкл ледяной культуральной среды DMEM («БиолоТ») с добавлением 2% эмбриональной телячьей сыворотки («Sigma-Aldrich»), 1% L-глутамин («Gibco») и 1% антибиотика/антимикотика («Sigma-Aldrich»). Аликвоты образцов десятикратно титровали до концентрации  $1 \times 10^{-5}$  и заражали ими монослой клеток линии Vero в 96-луночном планшете («Хеликон»). Культуральные планшеты инкубировали при 37°C, 5,5% CO<sub>2</sub> и 70% влажности в течение 14 дней. Культуральную среду из лунок, где наблюдался апоптоз клеток, исследовали на наличие РНК ВЗН методом ОТ-ПЦР.

### Идентификация вируса

Окончательное подтверждение наличия РНК ВЗН в культуральной среде клеток линии Vero, заражённых материалом слюнных желёз комаров, осуществляли методом ОТ-ПЦР согласно прилагаемой к набору «АмплиСенс WNV-FL» инструкции.

### Статистический анализ

Статистическую обработку данных проводили в программе «Microsoft Excel 2010». Вычисляли средние арифметические значения, ошибки средних величин и доверительные интервалы. Данные представлены в виде  $M \pm m$  при уровне значимости  $p \leq 0,05$ .

### Результаты

Известно, что продолжительность цикла развития *Cx. pipiens* составляет до 1 мес. После выхода из яйца личинка питается бактериями, одноклеточными организмами, личинками других комаров посредством фильтрации воды и проходит 4 стадии метаморфоза. В стадии куколки насекомое не питается, живёт в среднем около 2–5 дней и превращается в имаго. Продолжительность цикла развития комаров находится в прямой связи с температурой окружающей среды и при её повышении сокращается. В наших исследованиях период развития *Cx. p. f. molestus* от яйца до имаго при их инкубации в условиях температуры атмосферного воздуха 20, 22 или 28°C составил 28, 26 и 21 день соответственно.

Для изучения влияния температуры среды обитания на компетентность комаров *Cx. p. f. molestus* как переносчиков ВЗН насекомых заражали перорально на 4-й личиночной стадии с последующей инкубацией при 20, 22 или 28°C атмосферного воздуха и анализом концентрации патогена в слюнных железах сформировавшихся взрослых самок.

Личинок комаров помещали в культуральную среду с клетками С6/36, заражёнными ВЗН Volg\_601/18 в титре  $1 \times 10^3$  БОЕ/мл (погрешность  $\pm 0,09 \times 10^3$  БОЕ/мл). Предполагалось, что благодаря своим особенностям личинки будут питаться

<sup>1</sup> СанПиН 3.3686-21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней».

инфицированными клетками, что и обусловит их пероральное заражение вирусом.

В результате работы обнаружено, что количество образовавшихся самок в каждой группе было статистически одинаковым, не зависело от температуры их содержания и равнялось 40 (20°C), 44 (22°C) и 42 (28°C) экзemplярам. В слюнных железах у насекомых, развивающихся при 20°C, вирус не был обнаружен, при 22°C ВЗН был выявлен у 7 самок, при 28°C — у 19. Частота заражения ВЗН составила 0% при 20°C, 15,9% при 22°C и 45,2% при 28°C.

Из всех комаров *Cx. p. f. molestus*, в которых был обнаружен вирус, его концентрацию можно было определить только у 3 насекомых, содержащихся при 22°C, и у 15, которые инкубировались при 28°C. У остальных экзemplяров ВЗН детектировали только молекулярно-генетическим методом.

Средний титр ВЗН в слюнных железах 3 самок, развивающихся при 22°C, составил  $1,3 \times 10^2$  БОЕ/мл, при 28°C —  $5,0 \times 10^4$  БОЕ/мл (погрешность  $\pm 0,005 \times 10^3$  БОЕ/мл).

### Обсуждение

В настоящем исследовании установлено отсутствие вируса в слюнных железах у заражённых ВЗН комаров при их развитии при температуре воздуха 20°C. В образцах слюны самок насекомых, содержащихся при 22°C, вирус обнаруживался, что указывает на возможность его трансмиссивной передачи. Вероятно, нижней границей температуры, при которой *Cx. p. f. molestus* становится компетентным переносчиком вируса, является 22°C. Аналогичные результаты были представлены в работе A.J. Folly и соавт. по изучению условий, ограничивающих заражение и системную диссеминацию вируса японского энцефалита у комаров *Cx. pipiens* [10]. Однако возможно, что при таких условиях насекомым требовался более длительный период для накопления ВЗН. Так, в ряде исследований показано, что при относительно низких температурах инкубационный период увеличивается до 15–22 дней в зависимости от конкретной комбинации вида комара и штамма ВЗН [11, 12].

Согласно данным литературы, повышение температуры среды обитания насекомых приводит к увеличению скорости репликации вируса, сокращению инкубационного периода и быстрому формированию высокой концентрации патогена в слюнных железах насекомых [13]. В нашей работе средний титр ВЗН в слюнных железах 3 самок, развивающихся при 28°C, составил  $5,0 \times 10^4$  БОЕ/мл, что говорит не только о пероральном заражении личинок, но и о высокой скорости репликации патогена, т.к. исходный титр заражения ВЗН культуральной среды с клетками С6/36 был на порядок ниже ( $1 \times 10^3$  БОЕ/мл).

Таким образом, температура среды обитания является одним из ключевых факторов, ограничива-

ющих репликацию и концентрацию ВЗН в слюнных железах комаров *Cx. p. f. molestus*.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Byrne K., Nichols R.A. *Culex pipiens* in London underground tunnels: differentiation between surface and subterranean populations. *Heredity*. 1999; 82(Pt. 1): 7–15. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6884120>
2. Потапова Н.К. Заселенность городским комаром *Culex pipiens molestus* (Diptera, Culicidae) жилых массивов г. Ленска. *Паразитология*. 2005; 39(1): 73–9.
3. Маркович Н.Я., Заречная С.Н. Материалы по распространению *Culex pipiens* на территории СССР. *Медицинская паразитология и паразитарные болезни*. 1992; (1): 5–9.
4. Виноградова Е.Б. Комары комплекса *Culex pipiens* в России. *Труды Зоологического института РАН*. 1997; 271: 307.
5. Львов Д.К., Ковтунов А.И., Яшкулов К.Б., Громашевский В.Л., Джаркенов А.Ф., Щелканов М.Ю. и др. Особенности циркуляции вируса Западного Нила (Flaviviridae, Flavivirus) и некоторых других арбовирусов в экосистемах дельты Волги, Волго-Ахтубинской поймы. *Вопросы вирусологии*. 2004; 49(3): 45–52.
6. Kramer L.D., Styer L.M., Ebel G.D. A global perspective on the epidemiology of West Nile virus. *Annu. Rev. Entomol.* 2008; 53: 61–81. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.53.103106.093258>
7. Fortuna C., Remoli M.E., Di Luca M. et al. Experimental studies on comparison of the vector competence of four Italian *Culex pipiens* populations for West Nile virus. *Parasit. Vectors*. 2015; 8: 463. <https://doi.org/10.1186/s13071-015-1067-z>
8. Brustolin M., Talavera S., Santamaría C., Rivas R., Pujol N., Aranda C., et al. *Culex pipiens* and *Stegomyia albopicta* (= *Aedes albopictus*) populations as vectors for lineage 1 and 2 West Nile virus in Europe. *Med. Vet. Entomol.* 2016; 30(2): 166–73. <https://doi.org/10.1111/mve.12164>
9. Федорова М.В., Бородай Н.В., Шайкевич Е.В. Особенности пространственного распределения и зараженность вирусом Западного Нила комаров *Culex pipiens* L. в Волгоградской области. *Медицинская паразитология и паразитарные болезни*. 2015; (1): 14–9.
10. Folly A.J., Dorey-Robinson D., Hernández-Triana L.M., Ackroyd S., Vidana B., Lean F.Z.X., et al. Temperate conditions restrict Japanese encephalitis virus infection to the mid-gut and prevents systemic dissemination in *Culex pipiens* mosquitoes. *Sci. Rep.* 2021; 11(1): 6133. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85411-2>
11. Reisen W.K., Fang Y., Martinez V.M. Effects of temperature on the transmission of West Nile virus by *Culex tarsalis* (Diptera: Culicidae). *J. Med. Entomol.* 2006; 43(2): 309–17. [https://doi.org/10.1603/0022-2585\(2006\)043\[0309:eotott\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1603/0022-2585(2006)043[0309:eotott]2.0.co;2)
12. Kilpatrick A.M., Meola M.A., Moudy R.M., Kramer L.D. Temperature, viral genetics, and the transmission of West Nile virus by *Culex pipiens* mosquitoes. *PLoS Pathog.* 2008; 4(6): e1000092. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1000092>
13. Fros J.J., Miesen P., Vogels C.B., Gaibani P., Sambri V., Martina B.E., et al. Comparative Usutu and West Nile virus transmission potential by local *Culex pipiens* mosquitoes in north-western Europe. *One Health*. 2015; 1: 31–6. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2015.08.002>

### REFERENCES

1. Byrne K., Nichols R.A. *Culex pipiens* in London underground tunnels: differentiation between surface and subterranean populations. *Heredity*. 1999; 82(Pt. 1): 7–15. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6884120>

2. Potapova N.K. Population of the mosquitoes *Culex pipiens molestus* (Diptera: Culicidae) in dwellings of Lensk city. *Parazitologiya*. 2005; 39(1): 73–9. (in Russian)
3. Markovich N.Ya., Zarechnaya S.N. Materials on the distribution of *Culex pipiens* on the territory of the USSR. *Meditsinskaya parazitologiya i parazitarnye bolezni*. 1992; (1): 5–9. (in Russian)
4. Vinogradova E.B. Mosquitoes of the *Culex pipiens* complex in Russia. *Trudy Zoologicheskogo instituta RAN*. 1997; 271: 307. (in Russian)
5. L'vov D.K., Kovtunov A.I., Yashkulov K.B., Gromashevskiy V.L., Dzharkenov A.F., Shchelkanov M.Yu., et al. The specificity of circulation of West Nile virus (*Flaviviridae, Flavivirus*) and of some other arboviruses in the ecosystems of Volga delta, Volga-Akhtuba flood-lands and adjoining arid regions (2000–2002). *Voprosy virusologii*. 2004; 49(3): 45–52. (in Russian)
6. Kramer L.D., Styer L.M., Ebel G.D. A global perspective on the epidemiology of West Nile virus. *Annu. Rev. Entomol.* 2008; 53: 61–81. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.53.103106.093258>
7. Fortuna C., Remoli M.E., Di Luca M. et al. Experimental studies on comparison of the vector competence of four Italian *Culex pipiens* populations for West Nile virus. *Parasit. Vectors*. 2015; 8: 463. <https://doi.org/10.1186/s13071-015-1067-z>
8. Brustolin M., Talavera S., Santamaría C., Rivas R., Pujol N., Aranda C., et al. *Culex pipiens* and *Stegomyia albopicta* (= *Aedes albopictus*) populations as vectors for lineage 1 and 2 West Nile virus in Europe. *Med. Vet. Entomol.* 2016; 30(2): 166–73. <https://doi.org/10.1111/mve.12164>
9. Fedorova M.V., Boroday N.V., Shaykevich E.V. Features of spatial distribution and West Nile virus infection of *Culex pipiens* L. mosquitoes in the Volgograd region. *Meditsinskaya parazitologiya i parazitarnye bolezni*. 2015; (1): 14–9. (in Russian)
10. Folly A.J., Dorey-Robinson D., Hernández-Triana L.M., Ackroyd S., Vidana B., Lean F.Z.X., et al. Temperate conditions restrict Japanese encephalitis virus infection to the mid-gut and prevents systemic dissemination in *Culex pipiens* mosquitoes. *Sci. Rep.* 2021; 11(1): 6133. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85411-2>
11. Reisen W.K., Fang Y., Martinez V.M. Effects of temperature on the transmission of West Nile virus by *Culex tarsalis* (Diptera: Culicidae). *J. Med. Entomol.* 2006; 43(2): 309–17. [https://doi.org/10.1603/0022-2585\(2006\)043\[0309:eotott\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1603/0022-2585(2006)043[0309:eotott]2.0.co;2)
12. Kilpatrick A.M., Meola M.A., Moudy R.M., Kramer L.D. Temperature, viral genetics, and the transmission of West Nile virus by *Culex pipiens* mosquitoes. *PLoS Pathog.* 2008; 4(6): e1000092. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1000092>
13. Fros J.J., Miesen P., Vogels C.B., Gaibani P., Sambri V., Martina B.E., et al. Comparative Usutu and West Nile virus transmission potential by local *Culex pipiens* mosquitoes in north-western Europe. *One Health*. 2015; 1: 31–6. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2015.08.002>

#### Информация об авторах

**Молчанова Елена Владимировна** — к.б.н., с.н.с. лаб. арбовирусных инфекций Волгоградского научно-исследовательского противочумного института, Волгоград, Россия, [elenakalinki@yandex.ru](mailto:elenakalinki@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3722-8159>

**Лучинин Дмитрий Николаевич** — н.с. лаб. арбовирусных инфекций Волгоградского научно-исследовательского противочумного института, Волгоград, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-6784-9648>

**Мачнева Анастасия Юрьевна** — н.с. лаб. арбовирусных инфекций Волгоградского научно-исследовательского противочумного института, Волгоград, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-1910-3731>

**Герасимова Арина Дмитриевна** — н.с. лаб. арбовирусных инфекций Волгоградского научно-исследовательского противочумного института, Волгоград, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-8247-6931>

**Несговорова Анна Владимировна** — н.с. сектора эпизоотологического мониторинга Волгоградского научно-исследовательского противочумного института, Волгоград, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-5810-8864>

**Бородай Наталья Владимировна** — с.н.с. сектора эпизоотологического мониторинга Волгоградского научно-исследовательского противочумного института, Волгоград, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-2076-5276>

**Плеханова Наталья Геннадьевна** — к.б.н., в.н.с. лаб. экспериментальных биомоделей Волгоградского научно-исследовательского противочумного института, Волгоград, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-2471-8776>

**Батурич Артем Александрович** — н.с. лаб. генодиагностики Волгоградского научно-исследовательского противочумного института, Волгоград, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-9510-7246>

**Участие авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию до публикации.

Статья поступила в редакцию 30.05.2022;  
принята к публикации 29.07.2022;  
опубликована 30.10.2022

#### Information about the authors

**Elena V. Molchanova** — Cand. Sci. (Biol.), senior researcher, Laboratory of arbovirus infections, Volgograd Plague Control Research Institute, Volgograd, Russia, [elenakalinki@yandex.ru](mailto:elenakalinki@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3722-8159>

**Dmitry N. Luchinin** — н.с. лаб. арбовирусных инфекций ВолНИПЧИ, Волгоград, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-6784-9648>

**Anastasiya Yu. Machneva** — researcher, Laboratory of arbovirus infections, Volgograd Plague Control Research Institute, Volgograd, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-1910-3731>

**Arina D. Gerasimova** — researcher, Laboratory of arbovirus infections, Volgograd Plague Control Research Institute, Volgograd, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-8247-6931>

**Anna V. Nesgovorova** — researcher, sector of epizootic monitoring, Volgograd Plague Control Research Institute, Volgograd, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-5810-8864>

**Natalya V. Boroday** — senior researcher, sector of epizootic monitoring, Volgograd Plague Control Research Institute, Volgograd, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-2076-5276>

**Natalya G. Plekhanova** — Cand. Sci. (Biol.), leading researcher, Laboratory of experimental biomodels, Volgograd Plague Control Research Institute, Volgograd, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-2471-8776>

**Artem A. Baturin** — researcher, Laboratory of gene diagnostics, Volgograd Plague Control Research Institute, Volgograd, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-9510-7246>

**Author contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published.

The article was submitted 30.05.2022;  
accepted for publication 29.07.2022;  
published 30.10.2022