

Оценка эпизоотической активности природных очагов туляремии на трех территориях Арктической зоны

Т. В. Михайлова*¹, Я. С. Подобедова¹, М. И. Кормилицына¹,
А. В. Амирханян¹, В. В. Баранюк², С. Б. Розенфельд³, А. Е. Дмитриев³

¹ Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамалеи, Минздрава России, Москва

² ФГБУ «ВНИИ Экология», Минприроды России, Москва

³ ФГБУН «Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова», РАН, Москва

Резюме

Актуальность. Тундровые природные очаги туляремии эпизоотически активны, поддерживаются в основном популяциями эндемиков – копытного, сибирского леммингов. Однако исследования природных очагов туляремии в Арктической зоне носили и носят нерегулярный характер. В последнее время в связи с активизацией хозяйственного освоения районов Крайнего Севера особое значение приобретает изучение распространения и циркуляции природно-очаговых инфекций, в том числе туляремии. **Цель.** Оценка эпизоотической активности природных очагов туляремии тундрового типа на трех территориях Арктической зоны: о. Шокальского, побережье залива Книповича, о. Врангеля. **Материал и методы.** Проведено комплексное исследование 379 погадок хищных птиц, собранных летом 2015 и 2019 гг. на о. Врангеля, в 2019 г – на о. Шокальского и на побережье залива Книповича (полуостров Таймыр). Туляремийный антиген определяли в реакции пассивной гемагглютинации (РПГА). ДНК *F. tularensis* в трубчатых костях мелких млекопитающих, извлеченных из погадок, выявляли в ПЦР-РВ. **Результаты и обсуждение.** В результате исследования полевого материала обнаружено наличие туляремийного антигена и ДНК возбудителя туляремии в погадках хищных птиц, собранных на всей обследуемой территории Заполярья. На трех обследованных территориях арктической зоны существуют эпизоотически активные тундровые природные очаги туляремии, которые поддерживаются популяциями леммингов – основных носителей. Это свидетельствует о высоком риске заражения человека при контакте с природными очагами. Подтверждение активно функционирующих природных очагов туляремии на о. Врангеля, а также вновь открытые очаги на о. Шокальского и территории побережья залива Книповича обуславливают необходимость проведения вакцинации людей, постоянно живущих и прибывающих на эти территории. **Заключение.** Эпизоотии туляремии в очагах тундрового типа, возможно, протекают непрерывно за счет высокой экологической пластичности возбудителя к различным факторам среды и отличаются стабильностью. Наличие и эпизоотическая активность природных очагов туляремии на территории Крайнего Севера указывают на высокий эпидемиологический риск для людей, находящихся на этих территориях. **Ключевые слова:** туляремия, *Francisella tularensis*, природный очаг, эпизоотия, туляремийный антиген, ДНК, погадки хищных птиц

Конфликт интересов не заявлен.

Для цитирования: Михайлова Т. В., Подобедова Я. С., Кормилицына М. И. и др. Оценка эпизоотической активности природных очагов туляремии на трех территориях Арктической зоны. Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. 2025;24(1):50-58. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2025-24-1-50-58>

Epizootic Activity of Natural Foci of Tularemia in Three Territories of the Arctic Zone

TV Mikhailova**¹, YaS Podobedova¹, MI Kormilitsyna¹, AV Amirkhanyan¹, VV Baranyuk², SB Rozenfeld³, AE Dmitriev³

¹ The National Research Center for Epidemiology and Microbiology named after Honorary Academician N.F. Gamaleya of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

² All-Russian Research Institute of Environmental Protection, Moscow, Russia

³ Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

* Для переписки: Михайлова Татьяна Владимировна, к. б. н., с. н. с., ФГБУ «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени Н. Ф. Гамалеи» Минздрава РФ, 123098, Москва, ул. Гамалеи, д. 18. +7 (499) 193-73-51, +7 (903) 256-11-49, kkl41@mail.ru. ©Михайлова Т. В. и др.

** For correspondence: Mikhailova Tatiana V., Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Federal State Budget Institution N. F. Gamaleya Federal Centre of Epidemiology and Microbiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, 18, st. Gamalei, Moscow, 123098, Russia. +7 (499) 193-73-51, +7 (903) 256-11-49, kkl41@mail.ru. ©Mikhailova TV, et al.

Abstract

Relevance. Tundra natural foci of tularemia are epizootically active. They are supported mainly by populations of endemics – ungulate and Siberian lemmings. However, studies of natural foci of tularemia in the Arctic zone were and are irregular. Recently, in connection with the intensification of economic development of the Far North, the study of the spread and circulation of natural focal infections, including tularemia, has become particularly important. **Goal Target.** Assessment of epizootic activity of natural foci of tundra-type tularemia in three territories of the Arctic zone: island Shokalsky, coast of Knipovich Bay, island Wrangel. **Materials and methods.** A comprehensive study of 379 raptor prey bird pellet samples in the summers of 2015 and 2019 was carried out on island Wrangel, in 2019 – on the island Shokalsky and on the coast of Knipovich Bay (Taimyr). **Results.** A study of field material revealed the presence of tularemia antigen and DNA of the causative agent of tularemia in the pellets of prey birds collected throughout the surveyed territory of the Arctic. Epizootically active tundra natural foci of tularemia exist in the three surveyed territories of the Arctic zone, which are supported by populations of lemmings, the main carriers. This indicates a high risk of human infection in contact with natural foci. Confirmation of actively functioning natural foci of tularemia on the island Wrangel, as well as newly discovered outbreaks on the island Shokalsky and the coastal areas of Knipovich Bay necessitate vaccination of people permanently living and staying in these territories. **Conclusion.** Natural foci of tundra-type tularemia were identified on the surveyed territories of Shokalsky Island and Knipovich Bay. Studies of pellets of prey birds and tubular bones from pellets collected on Wrangel Island confirmed previously identified active natural foci of tundra-type tularemia and the continuity of the epizootic process in this territory. Epizootics of tularemia in tundra-type foci may occur continuously due to the high ecological plasticity of the pathogen to various environmental factors and are stable. The presence and epizootic activity of natural foci of tularemia in the Far North indicate a high epidemiological risk for people visiting these territories.

Keywords: tularemia, *Francisella tularensis*, natural focus, epizootic, tularemia antigen, DNA, pellets of birds of prey
No conflict of interest to declare.

For citation: Mikhailova TV, Podobedova YaS, Kormilitsyna MI, et al. Epizootic activity of natural foci of tularemia in three territories of the Arctic zone. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2025;24(1):50-58 (In Russ.). <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2025-24-1-50-58>

Введение

Возбудитель туляремии – *Francisella tularensis* McCoy et Chapin, относится к группе наиболее опасных инфекционных агентов [1]. Природные очаги туляремии эпизоотически активны, широко распространены в различных природных зонах Российской Федерации, в том числе и в северных широтах. Туляремийные очаги в Заполярье были выявлены и описаны еще в 1950–70-х гг. Их эпизоотическая активность была доказана при исследовании органов мелких млекопитающих [2–4]. Однако изучение природных очагов туляремии в Арктической зоне носили и носят нерегулярный характер. Литературные источники, касающиеся туляремии в Заполярье, немногочисленны и в основном описывают эпидемиологическую ситуацию в Северо-Западном федеральном округе, в отдельных субъектах РФ.

В последнее время в связи с активизацией хозяйственного освоения районов Крайнего Севера, включая Арктическую зону, особое значение приобретает изучение распространения и циркуляции природно-очаговых инфекций, в том числе туляремии. Эти исследования имеют, несомненно, практическое значение для планирования и осуществления мер профилактики природно-очаговых заболеваний в Заполярье.

В полярных и приполярных районах активно идет промышленное освоение нефтяных, газовых месторождений, добыча полезных ископаемых. В настоящее время в Заполярье располагаются незамерзающие порты, обеспечивающие круглогодичный прием различных судов, в том числе

и круизных с туристами из разных стран, а также транзит международного грузопотока. Перспективы развития Арктики способствуют притоку новых людей на вахтовые или постоянные работы.

Кроме того, в последние годы быстрыми темпами развивается экологический туризм на ранее недоступных территориях Крайнего Севера.

Все это увеличивает возможность контактов людей с возбудителями природно-очаговых инфекций и, в свою очередь, приводит к росту заболеваемости. На вновь осваиваемых территориях возможна вспышечная заболеваемость туляремией. Особенно это актуально в настоящее время в соответствии со стратегией развития Арктической зоны РФ.

Очаги туляремии тундрового типа поддерживаются в основном популяциями эндемиков – копытного и сибирского леммингов, которые в годы их высокой численности обеспечивают массовую циркуляцию возбудителя [2]. Природные очаги тундрового типа выявлены на Кольском, Югорском полуостровах, Ямале, Таймыре, на Чукотке, острове Врангеля, в Западной и Восточной Якутии [3]. Еще в начале 70-х годов прошлого столетия впервые на Таймыре установлено существование тундровых (лемминговых) природных очагов туляремии [2]. В 1973 г. был выделен возбудитель туляремии (*F. tularensis* subsp. *holarctica*) от сибирского и копытного леммингов.

В 1982 г. на о. Врангеля был обнаружен туляремийный антиген в органах павших леммингов, в 1984 г. зарегистрирован первый случай заболевания человека туляремией [3]. В ходе исследо-

ваний 2002–2011 гг. туляреминый антиген выявлялся в погадках хищных птиц (ПХП) и помете хищных млекопитающих, а также был обнаружен ДНК возбудителя в трубчатых костях погадок и крови леммингов [4, 5].

Поэтому особую роль играет регулярная оценка эпизоотического состояния природных очагов туляремии, которые постоянно функционируют и имеют эпидемическую опасность.

Цель исследования – оценка эпизоотической активности природных очагов туляремии тундрового типа на трех территориях Арктической зоны: о. Шокальского, побережье залива Книповича, о. Врангеля.

Материалы и методы

Исследования проводили в трех районах арктической зоны: на территории о. Врангеля – июнь по июль 2015 г. и май–август 2019 г.; о. Шокальского, входящего в состав Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), – в июле 2019 г.; на полуострове Таймыр на южном побережье залива Книповича (Таймырский залив) (76°04' с.ш., 98°32' в.д.) – в июле 2019 г.

Исследования на о. Шокальского проводили на двух участках северного берега реки Переправа в нижнем течении (72°55' с.ш. и 74°25' в.д.; 72°56' с.ш. и 74°18' в.д.).

За период наблюдений было всего собрано и исследовано 379 образцов ПХП: на о. Врангеля – 327, на полуострове Таймыр – 25 экземпляров, о. Шокальского – 30 образцов. Погадки белых сов (*Bubo scandiacus*), синоним: *Nyctea scandiaca*), среднего (*Stercorarius pomarinus*) и длиннохвостого (*S. longicaudus*) поморников) собраны около мест их гнездования, а также на присадах. Хранили образцы при комнатной температуре, исследовали с использованием иммуно-серологического и молекулярно-биологического методов.

Наличие туляреминого антигена определяли в реакции пассивной гемагглютинации (РПГА) с эритроцитным туляреминым иммуноглобулиновым диагностикумом (набор «РНГА-Тул-Иг-СтавНИПЧИ», Россия).

Для выявления ДНК *F. tularensis* применяли полимеразную цепную реакцию в реальном времени (ПЦР-РВ). Были исследованы трубчатые кости, извлеченные из ПХП. Подготовка погадок и трубчатых костей описана ранее [5]. Измельченные кости помещали в раствор «Проба Репид» в соотношении 50–60 мг на 250 мкл раствора, в течение 1 часа содержимое пробирок перемешивали медленным переворачиванием и далее выделяли ДНК по инструкции производителя» (ООО «ДНК-Технология», Россия). Использовали 2,5-кратную реакционную смесь для проведения ПЦР-РВ в двух вариантах: 1) с добавлением $MgCl_2$, 2) в присутствии красителя SYBR GREEN I.

Применяли видоспецифические праймеры и зонды (TagMan пробы): 1) ISFtu2F/ISFtu2R

и зонд ISFtu2P [6], 2) модифицированные праймеры IpnA2F/IpnA2R (размер амплифицируемого участка 82 п.н.) (5'-3') CGCAGGTTTAGCGAGCTGTT / AGCAGCAGCAGTATCTTTAGC и зонд IpnA2P (FAM 5'-3') TAGGGTTAGGTGGCTCTGATGATG [7]. Некоторые ДНК-положительные образцы исследовали дополнительно для идентификации подвида (*holarctica*) с использованием модифицированной праймерной пары, амплифицирующей участок ДНК *F. tularensis* subsp. *holarctica* (размером 85–87 п.н.): ISFtu2HoI F/ISFtu2HoI R (5'-3') AGCTTGACTTTTATTGGCTAC / ACATTCCTACTTAAAGTCTTG [8]. Реакционные смеси, праймеры и зонды были изготовлены в ООО «Синтол» (Россия). В качестве отрицательного контроля использовали деионизированную воду, а для положительного контроля – образцы, содержащие ДНК-матрицу *F. tularensis* штамма 503 (и дополнительно для дифференциации подвида – штамм Schu subsp. *tularensis*). Объем исследуемой ДНК-матрицы составлял 5 мкл, объем конечной смеси – 25 мкл.

ПЦР-РВ проводили в приборе Rotor-Gene Q (QIAGEN, Германия). Программа термоциклирования реакционных смесей (с зондом): I цикл – 94 °C, 5 мин; II цикл – (59–60 °C, 50 сек; 94 °C, 15 сек) x 45 циклов. Режим амплификации в реакции с праймерной парой: I цикл – 94 °C, 5 мин; II цикл – (59 °C, 50 сек и 94 °C, 15 сек) x 10 повторов и последующим продолжением циклирования 30 повторов с детекцией; III цикл – 72 °C, 20 сек. После амплификации проводили плавление в диапазоне между 67 и 94 °C с последующим дифференциальным анализом кривой плавления.

Все погадки были разобраны для определения содержимого. Обнаруженные костные останки млекопитающих по возможности были идентифицированы до вида. Видовой состав грызунов, извлеченных из погадок, определяли по морфологическим отличиям костей черепа и строению зубов. Погадки с этих территорий содержали костные останки сибирского лемминга (*Lemmus sibiricus*), лемминга Виноградова (*Dicrostonyx vinogradovi*), копытного лемминга (*D. torquatus*).

При статистической обработке материала использованы стандартные биометрические методы, критерий χ^2 . Расчеты выполнены с помощью компьютерной программы «Statistica 6.0». Данные считали достоверными при превышении 95% уровня значимости ($p < 0,05$).

Результаты

Исследование полевого материала выявило наличие туляреминого антигена и ДНК возбудителя туляремии в ПХП, собранных на всей обследуемой территории Заполярья.

В погадках с о. Шокальского в 28 из 30 (93,3%) образцов обнаружены антиген и/или ДНК возбудителя туляремии. Туляреминый антиген выявлен в 60% образцах с титрами 1:6–1:96, тогда как ДНК туляреминого микроба – в 96,4% ПХП ($\chi^2 =$

11,052, $p = 0,001$) (табл. 1). Из 27 погадок, содержащих ДНК, в 25 образцах (92,6%) достоверно определили подвид *holarctica*. Все 30 ПХП содержали костные останки сибирских леммингов. Большой процент погадок с антигеном и ДНК возбудителя туляремии указывают на эпизоотию среди этих грызунов на исследуемых территориях о. Шокальского (табл. 1).

На территории залива Книповича в 23 погадках (92%) также был обнаружен антиген и/или ДНК возбудителя туляремии. Туляремийный антиген выявлен в 28% образцов погадок с титрами 1:6–1:192, тогда как ДНК *F. tularensis* – в 88% ($\chi^2 = 18,47$, $p < 0,001$) (см. табл. 1). В 22 из 25 исследованных ПХП был обнаружен фрагмент ДНК *F. tularensis*, позволивший определить циркуляцию штаммов *F. tularensis* subsp. *holarctica*. На Таймыре, как и на о. Шокальского, основным носителем возбудителя туляремии является сибирский лемминг (*L. sibiricus*). Костные останки этого вида были определены в 24 погадках. Одна погадка содержала останки костей копытного лемминга (*D. torquatus*), из которых мы также выделили ДНК возбудителя туляремии.

Результаты исследований, проведенных на о. Врангеля, представлены в таблице 2. На о. Врангеля в 2015 г. погадки были собраны на модельном участке «Гнездовье» около стационара Пик Тундровый в долине р. Тундровая и в окрестностях стацио-

нара Нижнетундровая (рис. 1). Одна из найденных погадок (стационар Нижнетундровая) по внешнему виду относилась к прошлогодней, в ней обнаружен и антиген (титр 1:80), и ДНК туляремийного микроба. Содержимое погадок состояло из костных останков лемминга Виноградова (*D. vinogradovi*). После предшествовавшей в 2014 г. высокой численности леммингов и, вероятно, прошлогодней эпизоотии туляремии, в 2015 г. наблюдалась крайне низкая численность леммингов на о. Врангеля. В связи с этим на всей территории острова не зарегистрировано ни одного гнезда белой совы и поэтому было собрано незначительное количество погадок.

На о. Врангеля в 2015 г. почти все погадки содержали антиген и/или ДНК *F. tularensis* (см. табл. 2). Антиген возбудителя выявлен в $41,2 \pm 11,6\%$ образцах в титрах 1:10–1:80, а специфические фрагменты ДНК обнаружены в $81,8\% \pm 15,1$ ПХП ($\chi^2 = 11,648$, $p < 0,001$).

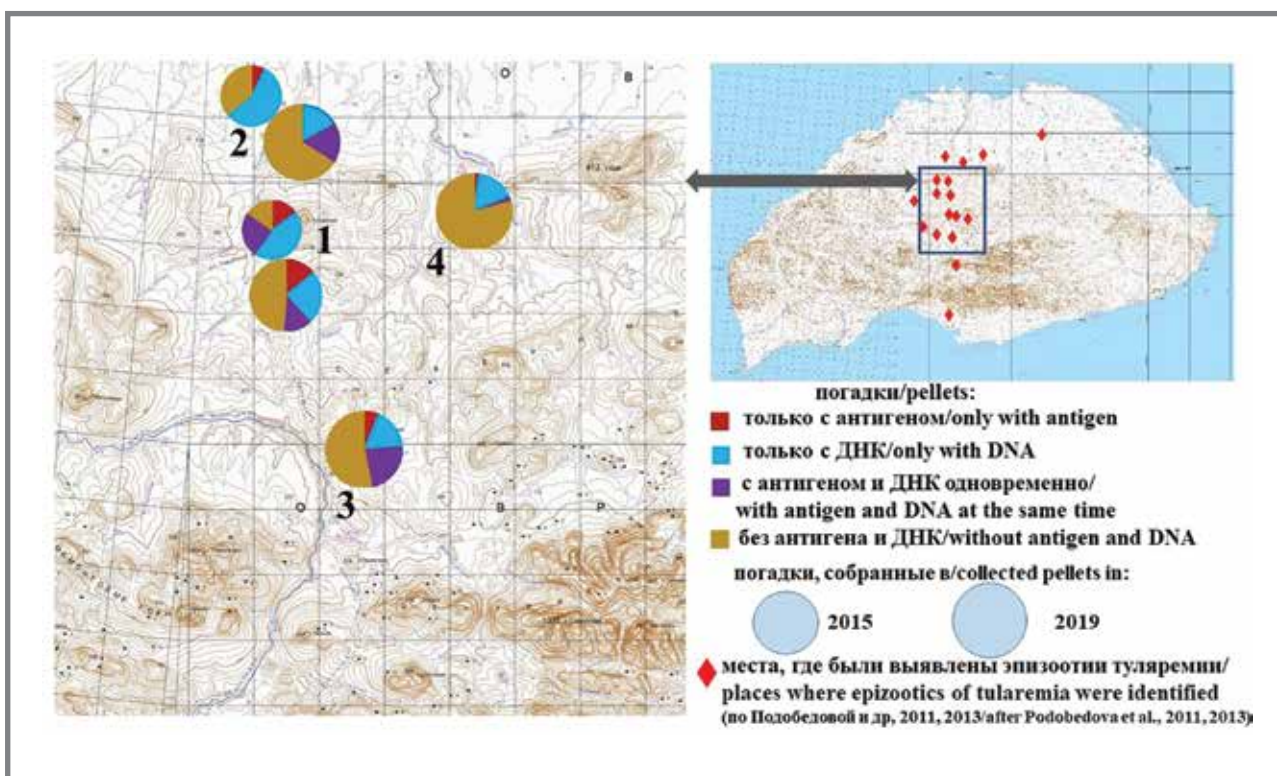
Исследования на о. Врангеля были продолжены через 4 года – в 2019 г. В этот раз были обследованы четыре территории – окрестности стационаров Пик Тундровый, Нижнетундровая, районы реки Неизвестной и Лемминговой, среднее течение реки Мамонтовой (рис. 1). В 2019 г. отмечали рост численности леммингов, ПХП, по сравнению с 2015 г., было собрано в 8,6 раз больше, ($\chi^2 = 30,326$, $p < 0,001$). Тем не менее, количество положительных

Таблица 1. Результаты комплексного исследования погадок хищных птиц, собранных на острове Шокальского и побережье залива Книповича в 2019 г.

Table 1. Results of a comprehensive study of prey bird pellets collected on Shokalsky Island and the coast of Knipovich Bay in 2019

Место сбора Gathering place	Кол-во иссл-ых погадок Number of pellets studied	Из них с туляремийным антигеном (АГ) Of them with tularemia antigen (AG)			Кол-во иссл-ых погадок с костями Number of studied pellets with bones	Из них с ДНК <i>F. tularensis</i> Of them with <i>F. tularensis</i> DNA		Одновременно с АГ+ДНК <i>F. tularensis</i> AG+DNA <i>F. tularensis</i> of simultaneously	
		n	% $p \pm 2mp$	титры в РПГА titles in RPHA		n	% $P \pm 2mp$	n	% $P \pm 2mp$
о. Шокальского, р. Переправа 72°56' с.ш., 74°18' в.д. Shokalsky Island, river Pereprava 72°56' n. l.; 74°18' e. l.	17	12	70,6 ± 15,4	1:6 – 1:96	16	15	93,8 ± 17,4	11	68,8 ± 15,3
о. Шокальского, северный берег р. Переправа 72°55' с.ш., 74°25' в.д. Shokalsky Island, the northern shore of the river Pereprava 72°55' n. l.; 74°25' e. l.	13	6	28 ± 12,9	1:6 – 1:12	12	12	100 ± 18,3	6	50 ± 13,4
Итого Total	30	18	60,0 ± 13,7	1:6 – 1:96	28	27	96,4 ± 16,4	17	56,7 ± 13,9
Залив Книповича 76°04' с.ш., 98°32' в.д. Knipovich Bay 76°04' n. l.; 98°32' e. l.	25	7	28 ± 10,0	1:6 – 1:192	25	22	88 ± 16,2	6	24 ± 9,30

Рисунок 1. Распространение природных очагов туляремии тундрового типа на острове Врангеля
Figure 1. Distribution of natural foci of tundra-type tularemia on Wrangel Island



Приложение: 1 – стационар Пик Тундровый, 2 – стационар Нижнетундровая, 3 – среднее течение реки Мамонтова, 4 – стационар Неизвестная, река Лемминговая.

Note: 1 – Tundra Peak station, 2 – Nizhetundrovaya station, 3 – middle reaches of the Mamontovaya River, 4 – Neizvestnaya station, Lemmingovaya River.

погадок составило 41,38%. Туляремийный антиген выявлен в 22% погадок (с титрами 1:6–1:192), а ДНК *F. tularensis* – почти в 38% образцах ($\chi^2 = 15,360$, $p < 0,001$) (табл. 2). В 42 погадках (16,3%) были выявлены и антиген, и ДНК.

Эпизоотии туляремии выявлены во всех исследуемых районах о. Врангеля (см. табл. 2). В районах стационара Пик Тундровый и реки Мамонтовой было собрано большее количество погадок, содержащих антиген (27–29%) и ДНК (39–46%). В окрестностях стационара Неизвестная и р. Лемминговая туляремийный антиген и ДНК возбудителя *F. tularensis* выявлены лишь в единичных пробах ($\chi^2 = 4,890$ – $12,035$, $p = 0,002$ – $0,029$), доля погадок с антигеном составила 17 и 4% и с ДНК – 35 и 20%.

Обсуждение

Известно, что очаги туляремии тундрового типа приурочены к тундровой и лесотундровой зонам. Основными носителями возбудителя инфекции в очагах тундрового типа являются сибирский (*L. sibiricus*) и копытный (*D. torquatus*) лемминги, лемминг Виноградова (*D. vinogradovi*), некоторые виды серых полевков – Миддендорфа (*Microtus middendorffii*), узкочерепная (*M. gregalis*), полевка-экономка (*M. oeconomus*) [2,9]. В очагах этого типа возбудитель туляремии неоднократно был выделен из проб воды, льда, ила, открытых тунд-

ровых водоемов и почвенного субстрата вокруг гнезд [9].

Острова Шокальского, Врангеля и полуостров Таймыр расположены преимущественно в тундровой зоне, за исключением южной части Таймырского полуострова, которая находится в лесотундровой зоне. На исследуемой территории фауна мелких млекопитающих (ММ) не отличается видовым разнообразием. Некоторые исследователи отмечают, что на о. Шокальского население ММ моновидовое, представлено только одним видом – сибирским леммингом [10]. Однако нам удалось в одной погадке, содержащей ДНК *F. tularensis*, по костным останкам черепа идентифицировать копытного лемминга. Также Г. И. Чувашов в 2001 г. на о. Шокальского отмечал регулярные встречи сибирского и копытного леммингов [11]. На Таймыре основные обитающие виды ММ – сибирский и копытный лемминги. Другие мышевидные грызуны и насекомоядные – полевка-экономка, Миддендорфа, узкочерепная полевки, средняя (*Sorex caecutiens*) и тундряная (*S. tundrensis*) буроzubки встречаются изредка в лесотундровой зоне полуострова. На о. Врангеля в тундровых экосистемах фоновыми видами являются два вида леммингов – сибирский и Виноградова. Сибирский лемминг предпочитает кочкарниковую тундру, а Виноградова – более сухие предгорные районы [5].

Таблица 2. Результаты комплексного исследования погадок хищных птиц, собранных на острове Врангеля в 2015 и 2019 гг.

Table 2. Results of a comprehensive study of prey bird pellets collected on Wrangel Island in 2015 and 2019

Место сбора (год), № точки на карте (рис. 1) Place of collection (year), point number on the map (Fig. 1)	Кол-во иссл-ых погадок Number of pellets studied	Из них с туляреминым антигеном (АГ) Of them with tularemia antigen (AG)			Кол-во иссл-ых погадок с костями Number of studied pellets with bones	Из них с ДНК <i>F. tularensis</i> Of them with <i>F. tularensis</i> DNA		Одновременно с АГ+ДНК <i>F. tularensis</i> AG+DNA <i>F. tularensis</i> of simultaneously	
		n	% P±2mp	титры в РПГА titles in RPHA		n	% P±2mp	n	% P±2mp
(2015)									
р. Тундровая, стационар Пик Тундровый (№1) Tundra River, Peak Tundra station (№1)	20	8	40,0 ± 11,8	1:10–1:40	19	14	73,7 ± 15,6	5	26,3 ± 9,8
Стационар Нижнетундровая (№2) Nizhnetundrovaya station (№ 2)	14	6	42,9 ± 12,4	1:24–1:80	14	13	92,9 ± 17,6	5	35,7 ± 11,4
Итого в 2015 г. Total in 2015 year	34	14	41,2 ± 11,6	1:10–1:80	33	27	81,8 ± 15,1	10	30,3 ± 10,2
(2019)									
р. Тундровая, стационар Пик Тундровый (№1) Tundra River, Peak Tundra station (№1)	92	25	27,2 ± 8,8	1:6–1:192	82	32	39,0 ± 10,0	11	13,4 ± 6,8
Стационар Нижнетундровая (№2) Nizhnetundrovaya station (№ 2)	46	8	17,4 ± 7,8	1:6–1:12	39	14	35,2 ± 10,8	7	17,9 ± 8,0
р. Мамонтовая, среднее течение (№3) Mamontovaya River, middle course (№ 3)	104	30	28,8 ± 8,8	1:6–1:160	91	42	46,2 ± 10,1	23	25,3 ± 8,6
р. Лемминговая, ста- ционар Неизвестная (№4) Lemmingovaya River, Unknown station (№ 4)	48	2	4,2 ± 4,0	1:6–1:24	45	9	20,0 ± 8,4	1	2,2 ± 2,9
Итого в 2019 г. Total in 2019 year	290	65	22,4 ± 5,5	1:6–1:192	257	97	37,7 ± 2,1	42	16,3 ± 6,0

В годы подъема численность леммингов в тундровой зоне может достигать более 300 особей на 1 га, и в годы пиков их численности наблюдаются разлитые эпизоотии [2]. Кроме того, лемминги в тундровой зоне являются основным кормом хищных птиц. Следует отметить, что колебания численности леммингов отражаются на численности и гнездовании птиц-миофагов [12]. На исследуемых территориях средний поморник и белая сова встречаются повсеместно, особенно в годы «мышинной напасти». Поморники являются кочующими птицами, нерегулярно прилетают в северные территории, как правило, в годы высокой численности леммингов, которые составляют основной рацион в период гнездования [13]. Полярная (белая) сова гнездится на о. Шокальского и на полуострове Таймыр только в годы высокой численности леммин-

гов, тогда как на о. Врангеля она может обитать и в годы низкой численности грызунов, и в зимний морозный период, питаясь леммингами, которые не впадают в спячку [14–16].

В Арктической зоне Европейской части, в Западной Сибири и на Чукотке многолетняя динамика численности леммингов, основных носителей возбудителя в тундровых очагах, характеризуется отсутствием выраженной цикличности [17]. С 1993 по 2019 гг. ярко выраженные пики численности леммингов либо не наблюдались вообще, либо они были отмечены не более трех раз. Однако в центральных районах Арктики – от запада Таймыра до низовьев Колымы, а также на о. Врангеля сохраняется типичная динамика с чередованием пиков и депрессий периодичностью 3–6 (на о. Врангеля – до 8) лет.

Погадки хищных птиц являются одним из индикаторов эпизоотий [18]. Как правило, птицы в первую очередь отлавливают больных ослабленных зверьков. Выявление туляремийного антигена и ДНК возбудителя туляремии в ПХП позволяет косвенно обнаруживать эпизоотии, протекающие в настоящее время, в момент обследования территорий, или рекогносцировочно в недавнем прошлом [19]. Об интенсивности эпизоотий можно судить по количеству положительных образцов в каждом месте исследования с учетом численности грызунов. Следует отметить, что в период наших наблюдений на всей обследуемой территории были выявлены эпизоотии туляремии.

На о. Шокальского впервые проведено комплексное иммуно-серологическое и молекулярно-генетическое исследование ПХП на наличие возбудителя туляремии. Визуально по внешнему виду все погадки принадлежали белым совам. Считается, что на о. Шокальского этот вид сов – кочующий – численность и гнездование которого связаны с основной его кормовой базой – леммингами [12]. В 2019 г., после предшествовавшей лемминговой депрессии, численность зверьков была в фазе роста, и отмечались лишь единичные встречи белой совы без гнездования, чем, следовательно можно объяснить незначительное количество собранных погадок [12,20]. Тем не менее, большое количество положительных погадок и достаточно высокие титры антигена (до 1:92) указывали на интенсивную эпизоотию туляремии среди леммингов.

На Таймыре в окрестностях залива Книповича, как и на о. Шокальского, в 2019 г. отмечали рост численности леммингов [16]. Однако в 2018 г. депрессию леммингов не наблюдали, численность леммингов (*L. sibiricus* и *D. torquatus*) была средней. Но, даже несмотря на малое количество собранных погадок на полуострове Таймыр, результаты исследования ПХП указывают на функционирование природных очагов туляремии. Об этом свидетельствует довольно большой процент туляремийного антигена и ДНК *F. tularensis* в собранных образцах погадок, как от белых сов, так и средних поморников (21 и 4 погадки соответственно).

Эпизоотологические исследования природных очагов туляремии на о. Врангеля подтвердили их эпизоотическую активность и длительное сохранение возбудителя в природе [4,5]. Проведенные исследования еще в 2002–2011 гг. показали, что практически во всех обследуемых районах острова ежегодно в ПХП выявляли антиген – в окрестностях р. Мамонтова, р. Лемминговая, стационаров Пик Тундровый и Нижнетундровая. В 2015 и 2019 гг. эпизоотии также отмечены в этих районах, что является доказательством постоянного существования очагов туляремии на острове (см. рис. 1). Результаты длительного ежегодного мониторинга на о. Врангеля позволили еще в начале 2000-х гг. выявить широкое распространение тундровых природных очагов туляремии в 17 районах остро-

ва [21]. Ежегодные эпизоотии носили вялотекущий характер, за исключением 2011 г., когда на фоне высокой численности леммингов была разлитая эпизоотия туляремии [5,21]. Однако следует отметить, что собранные в тот период погадки птиц исследованы менее чувствительными серологическими методами, которые не давали возможность выявить туляремийный антиген в материале при концентрации менее 1×10^6 КОЕ/мл. Использование ПЦР-РВ способствовало дополнительному выявлению проб с относительно малым содержанием субстрата ДНК *F. tularensis* в тех случаях, когда антиген в пробах обнаружен не был.

Выявление эпизоотий наиболее эффективно при сочетании иммуно-серологического и молекулярно-биологического методов. РПГА позволяет обнаруживать туляремийный антиген в погадках в концентрации, эквивалентной 10^{7-8} микробных клеток. Метод ПЦР-РВ обладает наибольшей чувствительностью по сравнению с серологическим, так как выбранные две праймерные пары с зондами амплифицируют минимальное количество сохранившихся ген-мишеней возбудителя. Высокочувствительная тест-система ISFtu2F/R+ISFtu2P позволяет определить единичные клетки или ген-эквиваленты.

Экстракты погадок не исследовали в ПЦР, так как ДНК, вероятнее всего, разрушается в пищеварительном тракте птиц [5]. Выбор трубчатых костей, извлеченных из погадок, основан на персистенции микробов в костном мозге [18]. Выявление в ПЦР-РВ ДНК *F. tularensis* в костных останках мелких млекопитающих из погадок является наиболее информативным методом, как при первичном обследовании, так и при подтверждении эпизоотической активности природного очага. Кроме того, возможно, длительность сохранения ДНК туляремийного микроба в костной ткани грызунов больше, чем туляремийного антигена в ПХП. Однако время сохранения ДНК *F. tularensis* и изменение ее концентрации в костных останках млекопитающих под влиянием биотических и абиотических факторов не известны, и для этого необходимы дальнейшие экспериментальные исследования с учетом изменения температуры окружающей среды, инсоляции, влажности [18].

Заключение

На всех трех обследованных территориях выявлены тундровые очаги туляремии. Следует отметить, что очаги туляремии активны как на фоне роста, так и спада и депрессий численности леммингов. Использование леммингами старых гнезд в качестве убежищ способствует взаимообмену эктопаразитами – гамазовыми клещами, переносчиками туляремии [22], а также горизонтальной передаче возбудителя внутри популяций основных носителей. В свое время еще Н. Г. Олсуфьев с соавт. (1972 г.) указал на непрерывность эпизоотического процесса в очагах, а П. М. Барановский

в 1991 г. предположил отсутствие межэпизоотического периода в очагах туляремии.

Основными факторами, способствующими эпизоотической активности и устойчивости природных очагов туляремии в условиях Крайнего Севера являются высокая экологическая пластичность возбудителя, адаптация к различным экосистемам, длительность выживания в окружающей среде при низких температурах [21]. При стабильных низких температурах в высоких широтах тулярийный микроб может сохранять жизнеспособность до 10 месяцев. Доказано, что бактерии *F. tularensis* способны переходить в покоящееся (некультивируемое), но жизнеспособное состояние при неблагоприятных условиях, в том числе и климатических, когда их циркуляция в природе невозможна или затруднена [23]. Покоящаяся форма обеспечивает сохранность возбудителя в почве и в водных экосистемах на протяжении межэпизоотических периодов. При смене условий существования на благоприятные бактерии способны восстанавливать метаболизм и переходить в вирулентные формы. Обратимость некультивируемых форм *F. tularensis* в исходное состояние, как правило, осуществляется с помощью чувствительных животных, что приводит к активизации эпизоотических процессов и возникновению эпидемических вспышек [24].

Подтверждение активно функционирующих природных очагов туляремии на о. Врангеля,

а также вновь открытые очаги на о. Шокальского и территории побережья залива Книповича обуславливают необходимость проведения вакцинации людей, постоянно живущих и прибывающих на эти территории. В арктических районах в условиях роста активности человека необходимо постоянно наблюдать за природно-очаговыми инфекциями на этих территориях, в том числе на тех, где обнаружены очаги с возбудителем туляремии.

Выводы

1. На обследуемых территориях острова Шокальского и залива Книповича выявлены природные очаги туляремии тундрового типа.
2. Исследования погадок хищных птиц и трубчатых костей из погадок, собранных на острове Врангеля, подтвердили наличие ранее выявленных активных природных очагов туляремии тундрового типа и непрерывность эпизоотического процесса на этой территории.
3. Эпизоотии туляремии в очагах тундрового типа, возможно, отличаются стабильностью и протекают непрерывно.
4. Наличие и эпизоотическая активность природных очагов туляремии на территории Крайнего Севера указывают на высокий эпидемиологический риск для людей, посещающих эти территории.

Литература

1. Dennis D.T., Inglesby T.V., Henderson D.A., et al. *Tularemia as a biological weapon: Medical and public health management*. JAMA. 2001. Vol. 285/ P. 2763–2773.
2. Марченко А. Н., Мефодьев В. В. Эпидемический процесс и природная очаговость туляремии в районах освоения территорий Западной Сибири и Арктики. Северный морской путь, водные и сухопутные транспортные коридоры как снова развития Сибири и Арктики в XXI веке: Сб. докладов XX Международной научно-практической конференции. Тюмень; 2018. Т. 2. С. 163–167.
3. Подобедова Я. С. Исследования туляремии на о. Врангеля. Природа острова Врангеля: современные исследования. СПб; 2007. С. 210–215.
4. Подобедова Я. С., Мещерякова И. С., Демидова Т. Н. и др. Характеристика природных очагов туляремии на острове Врангеля. Национальные приоритеты России. 2011. №2 (5). С. 118–119.
5. Подобедова Я. С., Мещерякова И. С., Демидова Т. Н. и др. Мониторинг природных очагов туляремии на острове Врангеля. Мед. паразитология и паразит. болезни. 2013. № 3. С. 40–44.
6. Versage J.L., Severin D.D.M., Chu M.C., et al. Development of a multitarget Real-Time TaqMan PCR assay for enhanced detection of *Francisella tularensis* in complex specimens. J. Clin. Microbiology. 2003. Vol. 41, №12. P. 5492–5499.
7. Lundstrom J.O., Andersson A.C., Backman S., et al. Transstadial transmission of *Francisella tularensis* holarctica in mosquitoes, Sweden. Emerg. Infect. Dis. 2011. Vol. 17. №5. P. 794–799.
8. Kugeler K.J., Pappert R., Zhou Y., et al. Real-time PCR for *Francisella tularensis* types A and B. Emerg. Infect. Dis. 2006. № 12. P. 1799–1801.
9. Куликалова Е. С., Перевалова М. А., Мазепа А. В. и др. Туляремия в Сибири и на Дальнем Востоке в период с 2005 по 2016 г. Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение. 2018. Т. 7. № 2. С. 115–121.
10. Дубровский В. Ю. Учет леммингов на о. Шокальского в августе 2019 г.: Летопись природы за 2019 г. ФГБУ ГПЗ «Гыданский»: Тазовский, 2020; книга XV. С.56. Доступно на: <https://cloud.mail.ru/public/2HSU/3cSyw4zJ8>
11. Чувашов Г. И. Гыданский заповедник и полуостров Гыданский. СПб.: СПб картфабрика ВСЕГЕИ; 2001. С. 1–264.
12. Дмитриев А. Е., Низовцев Д. С. Мониторинг текущего состояния популяций птиц о. Шокальского (заповедник «Гыданский», ЯНАО) в июне - июле 2019 г. Летопись природы за 2019 г. ФГБУ ГПЗ «Гыданский»: Тазовский, 2020; книга XV. С.80–158. (с. 84). Доступно на: <https://cloud.mail.ru/public/2HSU/3cSyw4zJ8>
13. Емельченко Н. Н., Низовцев Д. С. Осенняя орнитофауна острова Шокальского (Ямало-Ненецкий автономный округ). Фауна Урала и Сибири. 2017. №1. 195–209.
14. Чернявский Ф. Б., Дорогой И. В. Взаимоотношения хищников-миофагов и леммингов в арктической экосистеме (на примере острова Врангеля. Русский орнитологический журнал. 2009. Т.18, Экспресс-выпуск № 493. С. 1071–1086.
15. Литвин К. Е., Баранюк В. В. Размножение белых сов *Nyctea scandiaca* и численность леммингов на острове Врангеля. Рус. орнитол. журн. 2018. Т.27. Экспресс-выпуск 1559: С. 367–386. Доступно на: https://www.researchgate.net/publication/331687677_Reproduction_of_Snowy_Owls_Nyctea_scandiaca_and_lemming_numbers_on_Wrangel_Island
16. Головнюк В. В., Поповкина А. Б., Соловьев М. Ю., и др. Фауна и население птиц окрестностей залива Книповича (Северный Таймыр): современное состояние и изменения за четверть века. В сб.: Бутурлинский сборник: материалы VI Международных Бутурлинских чтений; 19–21 сентября 2019 года. Ульяновск; 2019. С. 119–124.
17. Тишков А. А., Белоновская Е. А., Вайсфельд М. А. и др. Региональные биогеографические эффекты «быстрых» изменений климата в Российской Арктике в XXI в. Арктика: экология и экономика. 2020. № 2 (38). С. 31–44.
18. Сутягин В. В., Мекка-Меченко Т. В., Козай О. В. и др. Длительность сохранения генов чумного микроба (*Yersinia pestis*) в костных останках млекопитающих. Пробл. особо опасных инф. 2016. № 4. С. 85–87.
19. Доброхотов Б. П., Мещерякова И. С. Эпизоотии туляремии в пойменно-болотных очагах Западной Сибири и сравнительная оценка различных методов их изучения. Зоол. журн. 1974. Т.53, № 11. С. 1686–1696.
20. Дубровский В. Ю. Население мелких млекопитающих острова Шокальского (Карское море). Зоол. журн. 2016. Т. 95. № 2. С. 245–248.
21. Мещерякова И. С., Михайлова Т. В., Демидова Т. Н. и др. Эпизоотическая и эпидемическая активность природных очагов туляремии различных ландшафтно-эпидемических типов в период 2009–2014 гг. Мед. паразитология и паразит. болезни. 2016. №1. С. 42–46.
22. Тарасов М. А., Поршаков А. М., Казакова Л. В. и др. Современный кадастр видов носителей тулярийного микроба в очагах разных типов на территории России. Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 1. С. 70–78.

23. Романова Л. В., Мишанькин Б. Н., Пичурина Н. Л. и др. Некультивируемые формы *Francisella tularensis*. Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2000; Т. 77, №2. С. 11–15.
24. Борисова С. В., Волох О. А. Детерминанты устойчивости *Francisella tularensis* к стрессовым условиям окружающей среды. Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2022; Т. 99, №3. С. 362–371.

References

- Dennis DT, Inglesby TV, Henderson DA, et al. Tularemia as a biological weapon: Medical and public health management. *JAMA*. 2001;285:2763–2773. DOI:10.1001/jama.285.21.2763.
- Marchenko N. A., Mefodyev V. V. Epidemic process and natural foci of tularemia in the areas of development of Western Siberia and the Arctic. The Northern Sea Route, water and land transport corridors as a mechanism for the development of Siberia and the Arctic in the 21 st century: Collection of reports of the XX International Scientific and Practical Conference. Tyumen; 2018; 2:163–167 (In Russ).
- Podobedova Ya. S. Tularemia research on Wrangel Island. The nature of Wrangel Island: modern research. St. Petersburg: 2007:210–215 (In Russ).
- Podobedova Ya. S., Meshcheryakova I. S., Demidova T. N., et al. Characteristics of natural foci of tularemia on Wrangel Island. *National priorities of Russia*. 2011;2(5):118–119. (In Russ).
- Podobedova Ya. S., Meshcheryakova I. S., Demidova T. N., et al. Monitoring of natural foci of tularemia on Wrangel Island. *Med. parasitology and parasite. diseases*. 2013;3(3):40–44. (In Russ).
- Versage J. L., Severin D. D. M., Chu M. C., et al. Development of a multitarget Real-Time TaqMan PCR assay for enhanced detection of *Francisella tularensis* in complex specimens. *J. Clin. Microbiology*. 2003;41(12):5492–5499. doi:10.1128/JCM.41.12.5492-5499.2003
- Lundstrom J. O., Andersson A. C., Backman S., et al. Transstadial transmission of *Francisella tularensis holarctica* in mosquitoes, Sweden. *Emerg. Infect. Dis.* 2011;17(5):794–799. doi:10.3201/eid1705.100426
- Kugeler K. J., Pappert R., Zhou Y., et al. Real-time PCR for *Francisella tularensis* types A and B. *Emerg. Infect. Dis.* 2006;12:1799–1801. doi:10.3201/eid1211.060629
- Kulikalova E. S., Perevalova M. A., Mazepa A. V., et al. Tularemia in Siberia and the Far East from 2005 to 2016. *Infectious diseases: news, opinions, training*. 2018;7(2):115–121. (In Russ). doi:10.24411/2305-3496-2018-12014.
- Dubrovsky V. Yu. Lemming count on Shokalskiy Island in August 2019. *Chronicle of Nature for 2019 FGBU Gydansky GPZ: Tazovsky*, 2020; XV:56. Available at: <https://cloud.mail.ru/public/2HSU/3cSyw4zJ8> (In Russ).
- Chuvashov G. I. Gydansky Nature Reserve and the Gydansky Peninsula. St. Petersburg: St. Petersburg VSEGEI card factory; 2001:1–264. (In Russ).
- Dmitriev A. E., Nizovtsev D. S. Monitoring the current state of bird populations on the island. Shokalsky (Gydansky Nature Reserve, Yamal-Nenets Autonomous Okrug) in June – July 2019. *Chronicle of Nature for 2019 FGBU Gydansky GPZ: Tazovsky*, 2020; XV:80–158. Available at: <https://cloud.mail.ru/public/2HSU/3cSyw4zJ8> (In Russ).
- Emelchenko N. N., Nizovtsev D. S. Autumn avifauna of the Shokalskiy Island (the Yamal-Nenets autonomous district). *Fauna of the Urals and Siberia*. 2017;1:195–209 (In Russ).
- Chernyavsky F. B., Dorogoy I. V. Relationships between myophagous predators and lemmings in the Arctic ecosystem (using the example of Wrangel Island. *Russian Ornithological Journal*. 2009;18(493):1071–1086. (In Russ).
- Litvin K. E., Baranyuk V. V. Reproduction of snowy owls *Nyctea scandiaca* and the number of lemmings on Wrangel Island // *Rus. Ornithol. Journ.* 2018;27(1559):367–386. Available at: https://www.researchgate.net/publication/331687677_Reproduction_of_Snowy_Owls_Nyctea_scandiaca_and_lemming_numbers_on_Wrangel_Island (In Russ).
- Golovnyuk V. V., Popovkina A. B., Soloviyov M. Yu., et al. Fauna and population of bird in the Knipovich Bay Area (Northern Taimyr): current status and changes over a quarter of a century [Abstract]. In: Buturlinsky collection: materials of the VI International Buturlinsky readings; 19–21 September 2019. Ulyanovsk; 2019:119–124. (In Russ).
- Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Weisfeld M. A., et al. Regional biogeographical effects of «rapid» climate changes in the Russian Arctic in the 21st century. *Arctic: ecology and economics*. 2020;2(38):31–44 (In Russ). doi:10.25283/2223-4594-2020-2-31-44
- Sutyagin V. V., Mecca-Mechenko T. V., Kogai O. V., et al. Duration of Conservation of Plague Microbe (*Yersinia pestis*) Genes in Mammalian Bone Remains. *Probl. especially dangerous information*. 2016;4(4):85–87. doi:10.21055/0370-1069-2016-4-85-87 (In Russ).
- Dobrokhotoy B. P., Meshcheryakova I. S. Epizootics of tularemia in floodplain-marsh foci of Western Siberia and a comparative assessment of various methods of their study. *Zool. Journal*. 1974; 53(11): 1686–1696 (In Russ).
- Dubrovsky V. Yu. Population of small mammals on Shokalsky Island (The Kara Sea). *Zool. Journal*. 2016;95(2):245–248. (In Russ). doi:10.7868/S0044513416010049
- Meshcheryakova I. S., Mikhailova T. V., Demidova T. N., et al. Epizootic and epidemic activity of natural foci of tularemia of various landscape-epidemic types in the period 2009–2014. *Med. parasitology and parasite. diseases*. 2016;1:42–46. (In Russ).
- Tarasov M. A., Porshakov A. M., Kazakova L. V., et al. Modern Cadastre of Species of Tularemia Microbe Carriers Habitant in Tularemia Foci of Different Types, Situated in the Territory of Russia. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*. 2019;19(1):70–78 (In Russian). doi:<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-1-70-78>
- Romanova L. V., Mishan'kin B. N., Pichurina N. L., et al. Noncultivable forms of *Francisella tularensis*. *Journ. of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*. 2000; 77(2):11–15. (In Russian)
- Borisova S. V., Volokh O. A. Determinants of resistance of *Francisella tularensis* to environmental stress. *Journ. of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*. 2022;99(3):362–371 (in Russian). doi:<https://doi.org/10.36233/0372-9311-219>

Об авторах

- Татьяна Владимировна Михайлова** – с. н. с., ФГБУ «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалеи» Минздрава РФ, Москва. +7 (903) 256-11-79, +7 (495) 190-73-51, kkl41@mail.ru. ORCID 0000-0002-2750-4773.
- Яна Сергеевна Подобедова** – м. н. с., ФГБУ «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалеи» Минздрава РФ, Москва. +7 (495) 190-73-51, yana.wrangel@gmail.com. ORCID 0000-0002-9667-491X.
- Марина Ильинична Кормилицына** – с. н. с., ФГБУ «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалеи» Минздрава РФ, Москва. +7(495) 190-73-51, mkormilits@mail.ru. ORCID 0000-0003-3433-9339.
- Ани Врежевна Амирханян** – м. н. с., ФГБУ «Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалеи» Минздрава РФ, Москва. +7 (495) 190-73-51, a.amirkh@mail.ru.
- Василий Васильевич Баранюк** – Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей среды (ВНИИ Экология), Москва. ORCID 0000-0001-8247-4143.
- Софья Борисовна Розенфельд** – с. н. с., Институт проблем экологии и эволюции им А. Н. Северцова РАН, Москва. +7 (499) 135-22-47, rozenfeld@sev-in.ru. ORCID 0000-0003-0015-4547.
- Александр Евгеньевич Дмитриев** – с. н. с., Институт проблем экологии и эволюции им А. Н. Северцова РАН, Москва. +7 (499) 783-32-26, zzu@inbox.ru.

Поступила: 08.07.2024. Принята к печати: 13.08.2024.

Контент доступен под лицензией CC BY 4.0.

About the Authors

- Tatiana V. Mikhailova** – senior researcher, Federal State Budget Institution N. F. Gamaleya Federal Centre of Epidemiology and Microbiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. +7 (903) 256-11-79, +7 (495) 190-73-51, kkl41@mail.ru. ORCID 0000-0002-2750-4773.
- Yana S. Podobedova** – junior researcher, Federal State Budget Institution N. F. Gamaleya Federal Centre of Epidemiology and Microbiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. +7 (495) 190-73-51, yana.wrangel@gmail.com. ORCID 0000-0002-9667-491X.
- Marina I. Kormilitsyna** – senior researcher, Federal State Budget Institution N. F. Gamaleya Federal Centre of Epidemiology and Microbiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. +7 (495) 190-73-51, mkormilits@mail.ru. ORCID 0000-0003-3433-9339.
- Ani V. Amirkhanyan** – junior researcher, Federal State Budget Institution N. F. Gamaleya Federal Centre of Epidemiology and Microbiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. +7 (495) 190-73-51, a.amirkh@mail.ru.
- Vasiliy V. Baranyuk** – All-Russian Research Institute of Environmental Protection (VNI Ecology), Moscow, Russia. ORCID 0000-0001-8247-4143.
- Sofya B. Rozenfeld** – senior researcher, Institute of Problems Ecology and Evolution them A. N. Severtsova Russian Academy Sciences, Moscow, Russia. +7 (499) 135-22-47, rozenfeld@sev-in.ru. ORCID 0000-0003-0015-4547.
- Alexandr E. Dmitriev** – senior researcher, Institute of Problems Ecology and Evolution them A. N. Severtsova Russian Academy Sciences, Moscow, Russia. +7 (499) 783-32-26, zzu@inbox.ru.

Received: 08.07.2024. Accepted: 13.08.2024.

Creative Commons Attribution CC BY 4.0.