

DOI: 10.21055/0370-1069-2020-2-13-21

УДК 616.98:578.824.11(470)

А.Д. Ботвинкин¹, Г.Н. Сидоров^{2,4}, Е.М. Полешчук², И.Д. Зарва¹, Д.Н. Нашатырева^{2,5}, Н.В. Яковчиц³,
Е.И. Андаев³, С.В. Балахонов³, Н.В. Рудаков^{2,5}**РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА РЕАЛИЗАЦИИ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ БЕШЕНСТВА В АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**¹ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет», Иркутск, Российская Федерация;²ФБУН «Омский научно-исследовательский институт природно-очаговых инфекций», Омск, Российская Федерация;³ФКУЗ «Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока», Иркутск, Российская Федерация; ⁴ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет», Омск, Российская Федерация;⁵ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет», Омск, Российская Федерация

Цель – оценить, насколько оправдался долгосрочный прогноз территориального распространения бешенства в Сибири и на Дальнем Востоке, опубликованный около 40 лет назад, и дать характеристику современных подходов к пространственному прогнозированию. Подвергнута критическому анализу концепция пространственного распространения бешенства в азиатской части России, разработанная в 80-е годы XX в. на основании сведений о регистрации бешенства за 1881–1980 гг. и зоогеографических данных. Тогда выделили пять неблагоприятных по бешенству регионов и участки наиболее вероятного выноса инфекции. На первом этапе проведен обзор опубликованных работ за 1985–2019 гг., включая информационно-справочные издания. Отобраны сведения о случаях бешенства среди людей и животных, для которых можно было определить географические координаты. Картографирование проведено с использованием ГИС-технологий (программа «QGIS 3.12.0 и электронные ландшафтно-географические карты «Natural Earth» и «OpenStreetMap»). Сравнение картограмм за разные периоды времени показало, что заболеваемость регистрировалась, в основном, в пределах ранее обозначенных территорий риска. Однако частота заболевания людей в разных регионах не всегда соответствовала интенсивности эпизоотий и прогнозируемому риску. На следующем этапе для корректировки прогноза пространственно-временного распространения бешенства представлен обзор публикаций по применению молекулярно-генетических данных, ГИС-технологий и моделирования. Распространение трех основных клад вируса бешенства («steppe», «Arctic-like», «Arctic») соответствовало неблагоприятным по бешенству регионам, которые выделили ранее. Отмечено продвижение «лисийего» бешенства (клада «steppe») в северо-восточном направлении. В ряде случаев вспышки на юге Сибири и Дальнего Востока связаны с трансграничным заносом вируса бешенства. Представлены данные по скорости распространения волны эпизоотии, путям распространения и естественным барьерам. Коррекция прогноза пространственного распространения бешенства имеет значение для разработки стратегии борьбы с бешенством в регионе, включая оральную вакцинацию диких животных.

Ключевые слова: бешенство, пространственное распространение, Сибирь, Дальний Восток.

Корреспондирующий автор: Ботвинкин Александр Дмитриевич, e-mail: botvinkin_ismu@mail.ru.

Для цитирования: Ботвинкин А.Д., Сидоров Г.Н., Полешчук Е.М., Зарва И.Д., Нашатырева Д.Н., Яковчиц Н.В., Андаев Е.И., Балахонов С.В., Рудаков Н.В. Ретроспективная оценка реализации долгосрочного прогноза пространственного распространения бешенства в азиатской части России. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2020; 2:13–21. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-2-13-21

Поступила 24.03.20. Принята к публ. 01.06.20.

A.D. Botvinkin¹, G.N. Sidorov^{2,4}, E.M. Poleshchuk², I.D. Zarva¹, D.N. Nashatyreva^{2,5}, N.V. Yakovchits³,
E.I. Andayev³, S.V. Balakhonov³, N.V. Rudakov^{2,5}**Retrospective Evaluation of Implementation of Long-Term Forecast on Spatial Spread
of Rabies in the Asian Part of Russia**¹Irkutsk State Medical University, Irkutsk, Russian Federation;²Omsk Research Institute of Natural-Focal Infections, Omsk, Russian Federation;³Irkutsk Research Anti-Plague Institute of Siberia and Far East, Irkutsk, Russian Federation;⁴Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russian Federation;⁵Omsk State Medical University, Omsk, Russian Federation

Abstract. Objective: To evaluate the historical long-term forecast of the spatial spread of rabies in Siberia and Far East and to characterize modern approaches to spatial forecasting. The concept of spatial spread of rabies in the Asian part of Russia, developed in the 80s of the twentieth century, is subjected to critical analysis based on information on rabies registration for 1881–1980 and zoogeographic data. At that time, 5 rabies enzootic regions were identified, and the most probable directions of further exportation of infection suggested. At first, a review of published data on human and animal rabies cases for the period of 1985–2019 was undertaken (including reference publications). Data on cases of rabies among humans and animals were selected for which geographical coordinates could be determined. Mapping was performed using GIS (QGIS 3.12.0 software and “Natural Earth” and “OpenStreetMap” electronic maps). Comparison of maps for different time periods demonstrated that rabies incidence was recorded mainly within the previously identi-

fied risk areas. However, the occurrence of human disease in different regions did not always correspond to the intensity of epizootics and the predicted risk. Next, in an attempt to correct the prognosis of the spatiotemporal rabies spread, we reviewed publications that incorporated virus genetic data along with GIS technology and modeling application. The distribution of the three major rabies virus lineages ("steppe", "Arctic-like", "Arctic") corresponded to the regions that were previously identified. The spread of fox rabies (the "steppe" rabies virus lineage) in the north-east direction was described. In several instances, rabies outbreaks in southern Siberia and Far East were associated with cross-border movement of the virus from Kazakhstan, Mongolia and China. Data on the speed of the epizootic waves, pathways, and natural barriers for virus spread are discussed. The correction of the forecast for rabies virus circulation and spread is important for the development of control strategies in the region, including oral vaccination of wildlife virus reservoirs.

Key words: rabies, spatial spread, Siberia, Far East.

Funding: Investigation was carried out with the support of the Russian Fund of Fundamental Research, Project 19-315-90004/19.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Corresponding author: Alexander D. Botvinkin, e-mail: botvinkin_ismu@mail.ru.

Citation: Botvinkin A.D., Sidorov G.N., Poleshchuk E.M., Zarva I.D., Nashatyreva D.N., Yakovchits N.V., Andaev E.I., Balakhonov S.V., Rudakov N.V. Retrospective Evaluation of Implementation of Long-Term Forecast on Spatial Spread of Rabies in the Asian Part of Russia. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2020; 2:13–21. (In Russian). DOI: 10.21055/0370-1069-2020-2-13-21

Received 24.03.20. Accepted 01.06.20.

Botvinkin A.D., ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0920-1330>.

Sidorov G.N., ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8344-7726>

Poleshchuk E.M., ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8217-5159>

Zarva I.D., ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4225-5998>.

Nashatyreva D.N., ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9890-1031>

Yakovchits N.V., ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9994-0371>

Andaev E.I., ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6612-479X>

Balakhonov S.V., ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4201-5828>

Rudakov N.V., ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9566-9214>

Прогнозирование эпидемических проявлений природных очагов является одной из основных задач эпидемиологического надзора за зоонозными инфекциями [1, 2]. Прогнозы систематически составляются и публикуются для многих зоонозов с природной очаговостью. Значительно меньше публикаций посвящено оценке реализации долгосрочных прогнозов.

Бешенство – зоонозная особо опасная инфекция с глобальным распространением, для которой характерно географическое разнообразие вариантов вируса, адаптированных к различным видам хищных млекопитающих и рукокрылых. Среди других зоонозных инфекций бешенство выделяется продолжительным инкубационным периодом, скоротечностью клинических проявлений и фатальным исходом [3].

В настоящее время в Российской Федерации неблагоприятное по бешенству в основном определяется активностью природных очагов [4–7]. К числу основных хозяев вируса бешенства в азиатской части России относятся лисица (*Vulpes vulpes*), песец (*Alopex lagopus*), корсак (*Vulpes corsac*), волк (*Canis lupus*) и енотовидная собака (*Nyctereutes procyonoides*) [5–8]. Для природных очагов бешенства характерна значительная изменчивость границ нозоареала, обусловленная флуктуациями численности и высокой подвижностью хозяев вируса. Расширение нозоареала обычно наблюдается вслед за активизацией бешенства на энзоотичных территориях. В эпизоотический процесс вовлекаются собаки, кошки и сельскохозяйственные животные, которые, наряду с дикими животными, служат источником инфекции для человека [4–7].

На ранних этапах изучения природных очагов бешенства для долгосрочного прогнозирования наи-

большую ценность представляли результаты ретроспективного анализа многолетней заболеваемости бешенством и зоогеографические данные. Первые прогностические работы для азиатской части России опубликованы в начале 80-х годов XX в. [8–10]. В настоящее время для этих целей привлекаются результаты молекулярно-генетического анализа вируса и ГИС-технологии [7, 11–15]. Практическая значимость прогнозов пространственного распространения бешенства возросла в связи с реализацией дорогостоящих программ оральной вакцинации диких животных [16–19].

Цель обзора – оценить, насколько оправдался долгосрочный прогноз территориального распространения бешенства в Сибири и на Дальнем Востоке, и дать характеристику современных подходов к пространственному прогнозированию.

Представлен обзор данных о распространении бешенства в азиатской части России. Критическому анализу подвергнуты первые публикации прогностического характера по Сибири и Дальнему Востоку за 1980–1983 гг. [8–10]. Основные итоги исследований этого периода иллюстрирует картограмма (рис. 1), представленная первым автором данной статьи во время доклада на сессии СО РАМН в Новосибирске в 1985 г., которая ранее в печатном виде не публиковалась.

Работа включала в себя два этапа. На первом этапе выполнен обзор работ, опубликованных за 1985–2019 гг. с последующим картографированием обработанных данных. Поиск публикаций проведен по электронным базам данных eLIBRARY.RU, «Киберленинка», Google Scholar и Medline по ключевым словам «бешенство», «прогноз», «прогнози-

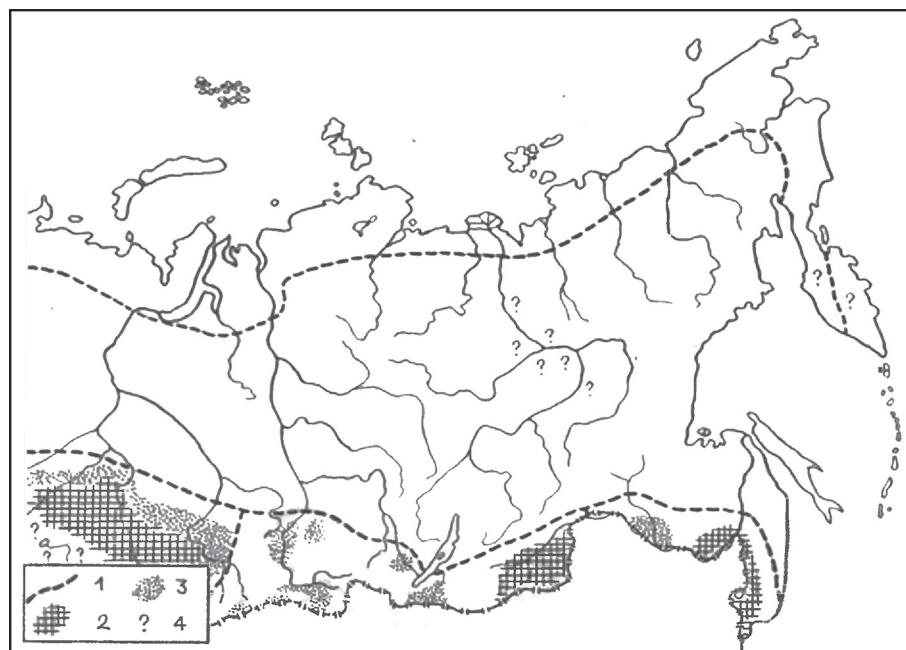


Рис. 1. Прогноз территориального распространения бешенства в Сибири и на Дальнем Востоке (1985 г.):

1 – границы очаговых регионов; 2 – стойкие природные очаги; 3 – районы наиболее вероятного выноса инфекции; 4 – ситуация требует уточнения

Fig. 1. Forecast of the territorial distribution of rabies in Siberia and Far East (1985):

1 – borders of focal regions; 2 – persistent natural foci; 3 – areas of the most likely infection exportation; 4 – the situation requires clarification

рование», «районирование», «Сибирь», «Дальний Восток», «rabies» и «spatiotemporal spread». Большинство публикаций, изданных до 2000 г., подобраны с помощью «ручного» поиска. Кроме монографий и статей [2, 4–7, 11, 12, 14, 20–24], использованы опубликованные в информационно-методических изданиях статистические данные по заболеваемости людей и животных бешенством [25–28]. Отобраны сведения о регистрации заболеваний людей и животных бешенством, имеющие географическую привязку. Картографирование проведено с использованием ГИС-технологий (программа «QGIS 3.12.0 и электронные ландшафтно-географические карты «Natural Earth» и «OpenStreetMap»). Картограмма с точками регистрации случаев заболевания людей бешенством за 1985–2019 гг. (n=26) составлена по географическим координатам места заражения (рис. 2). Не включены заболевания бешенством после укусов летучих мышей. Аналогичный подход использован при картографировании случаев бешенства у животных, при этом дополнительно использованы оперативные данные территориальных учреждений Роспотребнадзора за 2019 г., собранные по специально разработанной форме. В связи с большим числом случаев (n>9000) на рис. 2 нанесены точки по периферии очаговых территорий с заливкой по выделенным контурам постоянно неблагополучных по бешенству участков. На втором этапе проанализированы публикации не только по Сибири и Дальнему Востоку, но и по другим регионам России и зарубежным странам для оценки современных тенденций в изучении пространственной динамики эпизоотий бешенства, которые могли быть полезны для корректировки прогноза.

История разработки прогноза. Азиатская часть России значительно отличается от исторического центра страны по природным условиям, наро-

донаселению и инфраструктуре, что до настоящего времени сказывается на распространенности многих инфекционных болезней. Накопление статистических сведений и научных знаний запаздывало, а результаты эпидемиологических исследований, выполненных в европейской части России и за рубежом, не могли быть механически перенесены на Сибирь и Дальний Восток. Подробная информация о распространении бешенства в европейской части страны систематически публиковалась в бюллетенях ВОЗ [29]. Сведения о бешенстве в Сибири и на Дальнем Востоке до настоящего времени значительно менее известны.

Только во второй половине XX в. началась систематизация разрозненных сведений о бешенстве в Сибири и на Дальнем Востоке, накопленных за предшествующий период пастеровскими станциями и практикующими врачами. В середине 70-х годов XX в. социальный заказ определялся планами хозяйственного освоения Сибири и Дальнего Востока, в частности строительством Байкало-Амурской железнодорожной магистрали. Ключевой научной публикацией прогностического характера в рамках этого заказа стала статья, идея подготовки которой принадлежала В.П. Савицкому [10]. В ней представлена схема районирования Восточной Сибири и Дальнего Востока с выделением зон с различной степенью эпидемиологической опасности. Этому предшествовал исчерпывающий ретроспективный анализ публикаций по бешенству в регионе за 1881–1980 гг. С учетом этих данных Г.Б. Мальков разработал иерархическую схему природных очагов бешенства в Сибири и на Дальнем Востоке [8]. Выделены пять очаговых регионов: два тундровых и лесотундровых, Западно-Сибирско-Казахстанский, горных областей Южной и Восточной Сибири, а также Южно-Дальневосточный. Для уточнения роли

диких животных в формировании нозоареала бешенства на востоке страны проведен анализ численности и плотности хищных млекопитающих семейства *Canidae* – основных природных хозяев вируса бешенства [9]. В совокупности серия выполненных работ указывала на природно-очаговый характер бешенства в азиатской части России и связь очагов с открытыми равнинными или горными ландшафтами (степь, лесостепь, тундра и лесотундра).

Обширные пространства Сибири и Дальнего Востока, занятые таежными лесами разного типа, не включены в состав очаговых регионов (рис. 1). Известные здесь случаи заболевания бешенством крайне редки, а иногда информация о них сомнительна. Единственная вспышка, сопровождавшаяся гибелью четырех человек, описана в Алданском районе Якутии, предположительно возникла в результате завоза бешенства с собаками [5, 20]. Вековой опыт пушного промысла и многочисленные зоологические

исследования свидетельствуют, что дикие хищные млекопитающие семейства *Canidae* не достигают высокой численности в сибирской тайге [8, 9].

Распространение бешенства в Сибири и на Дальнем Востоке в 1985–2019 гг.

Заболевания людей бешенством. В 1985–2019 гг. в Сибири и на Дальнем Востоке зарегистрировано 26 случаев смерти людей от бешенства в результате местного заражения (в среднем 0,8 случаев в год) [25–27]. Общее число случаев в сравнении с 1950–1984 гг. сократилось на порядок, более 7 случаев в год [5, 10]. Все они расположены в пределах границ ранее обозначенных очаговых регионов (рис. 1, 2). На юге Западной Сибири и Дальнего Востока заболевания людей зарегистрированы на территориях, которые на рис. 1 обозначены как «стойкие природные очаги». Один случай после волчьего укуса описан в Субарктике [24]. Заболевания людей в этот период не регистрировались на юге Восточной

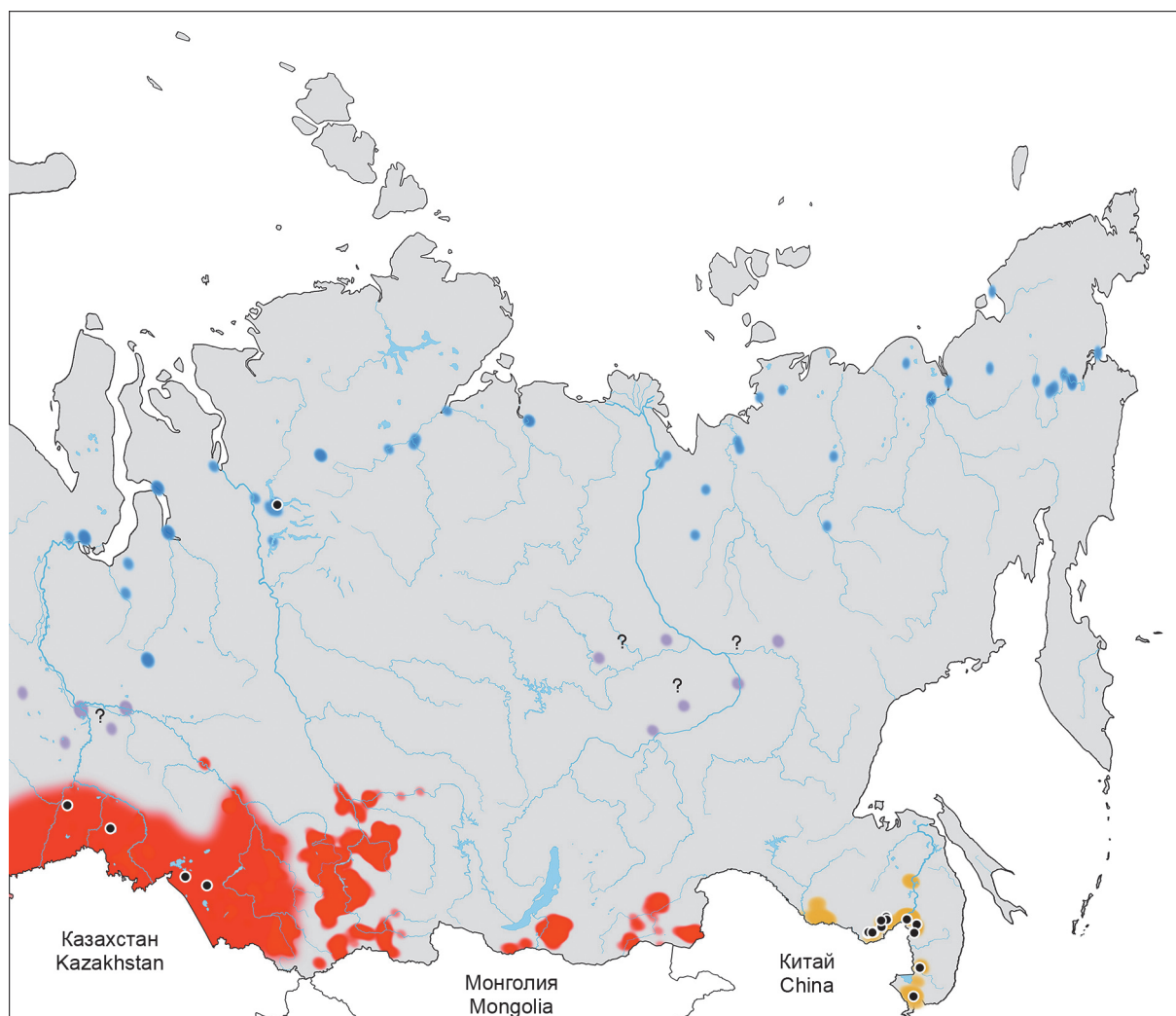


Рис. 2. Картографический анализ распространения бешенства в Сибири и на Дальнем Востоке (1985–2019 гг.):

● – случаи заболевания людей; *цветная заливка* – распространение бешенства среди животных, связанного с разными вариантами вируса бешенства (красная – «steppe», желтая – «Arctic-like», голубая – «Arctic»; фиолетовая – противоречивые данные; «?» – сведения о варианте вируса отсутствуют)

Fig. 2. Cartographic analysis of the spread of rabies in Siberia and Far East (1985–2019):

● – cases of human rabies; *color shading* – the spread of animal rabies associated with different variants of the rabies virus (red – “steppe”, yellow – “Arctic-like”, blue – “Arctic”; violet – contradictory data; «?» – there are no information about the variant of the virus)

Сибири. Это наиболее существенное отклонение от прогноза, так как Восточное Забайкалье фигурировало как район высокой эпидемиологической опасности [10]. Последние случаи заболевания людей в Забайкалье зарегистрированы в 1981–1983 гг. В пределах этого очагового региона заболевания людей еще раньше (в 1966 г.) прекратились в Красноярском крае и Иркутской области. За последние три десятилетия ключевая роль в заболеваемости принадлежала Южно-Дальневосточному очаговому региону, где основным источником инфекции для человека оставалась собака [21, 22, 25–27]. В Западной Сибири в половине случаев источником заражения были лисицы [5, 25–27]. В таежной зоне за пределами выделенных очаговых регионов заболевания людей не зарегистрированы.

Заболевания животных бешенством. За 1985–2019 гг. имеется информация о 9,0 тыс. случаев бешенства среди диких и домашних животных (в среднем около 250 случаев в год) [25–27]. Регистрируемая заболеваемость распределена следующим образом: юг Западной Сибири – 64,0 %, юг Восточной Сибири – 18,0 %, юг Дальнего Востока – 5,0 %, Субарктика – 12,0 %, за пределами очаговых регионов – 1,0 %. Бешенство регистрировалось ежегодно на большей части территорий, обозначенных как «стойкие природные очаги». Эпизоотии не прекращались в степных и лесостепных районах Западной Сибири – от Тюменской области до Алтайского края и Новосибирской области. С перерывами от 1 до 10 лет бешенство регистрировалось в Еврейской автономной области, Хабаровском и Приморском краях. Исключением оказался Забайкальский край, где циркуляция вируса бешенства прекратилась в начале 80-х годов XX в. на многие годы и возобновилась только в 2014–2018 гг. [21, 22, 25–27]. Никаких предпосылок к такому повороту событий в период разработки прогноза не выявлено.

Прогноз оправдался для большинства территорий, обозначенных как «районы наиболее вероятного выноса инфекции» (рис. 1). С 1989 г., после продолжительного перерыва, возобновилась циркуляция вируса бешенства в Кемеровской области на правом берегу р. Обь. В дальнейшем эпизоотии бешенства продолжались здесь практически непрерывно до 2015 г. [27]. Незадолго до публикации прогноза, в 1979–1980 гг., в Республике Тыва зарегистрировали вспышку бешенства среди животных и два случая заболевания людей. Повторные вспышки среди животных отмечены в Тувинской котловине и в горной степи на границе с Монголией в 1989 и 1996 гг., а с 2007 г. заболевания регистрировались практически ежегодно [28]. В 2007 г. бешенство впервые лабораторно подтверждено в Чуйской и Курайской степи на соседней территории – в Республике Алтай и в последующем неоднократно регистрировалось у собак и волков [25]. В 2002–2003 гг. бешенство впервые выявлено после многолетнего благополучия в Минусинской котловине на юге Красноярского

края и в Хакасии. В дальнейшем бешенство распространилось на Канскую и Ачинскую лесостепь в полном соответствии с прогнозом. Здесь сформировался природный очаг, поддерживаемый лисицами, который функционирует и в настоящее время [2, 14, 15, 27]. В 2011–2013 г. возникла локальная вспышка в Республике Бурятия в непосредственной близости от границы с Монголией [24]. Через несколько лет (2017–2019 гг.) эпизоотия распространилась на значительную часть территории Бурятии (до Улан-Удэ). В 2018 г. бешенство подтверждено на Зейско-Буреинской равнине в Амурской области. Первые случаи зарегистрированы в непосредственной близости от границы с Китаем; эпизоотия продолжалась и в 2019 г. Территория Амурской области оставалась благополучной по бешенству с 70-х годов XX в. [27].

Из всех районов, куда занос инфекции прогнозировался с высокой вероятностью, благополучие по бешенству сохраняется лишь в лесостепном Приангарье (Иркутская область). В прошлом, до начала 70-х годов XX в., на этой территории регистрировались активные эпизоотии городского типа, сопровождавшиеся заболеванием людей [10, 27].

В нескольких случаях отмечен вынос инфекции за пределы очаговых регионов. В Западной Сибири бешенство распространилось примерно на 100–200 км севернее ожидаемой границы – до Томска и ниже по долинам рек Томь и Обь (2013–2018 гг.) [27]. В Восточной Сибири отдельные случаи отмечены в долине р. Енисей до места впадения р. Ангара и далее по Ангаре почти до границ с Иркутской областью [14]. На Дальнем Востоке в 2011–2019 гг. случаи бешенства среди диких и домашних животных зарегистрированы в долине р. Амур до Комсомольска-на-Амуре [27].

На Крайнем Севере эпизоотии периодически выявлялись в разных районах от Ямала до Чукотки. Бешенство среди животных систематически подтверждалось значительно южнее обозначенной границы арктического очагового региона, преимущественно в долинах крупных северных рек. В Западной Сибири наиболее удаленные точки расположены в районе Ханты-Мансийска [25–27]. По долине Енисея бешенство распространялось на юг до устья Нижней Тунгуски [14]. Наиболее полная информация имеется по Республике Саха (Якутия), где бешенство у животных спорадически выявлялось до среднего течения рек Лена и Вилюй [20].

Таким образом, наиболее характерной особенностью южной группы очаговых регионов являлось продвижение бешенства в северо-восточном направлении на территории, ранее обозначенные как «районы наиболее вероятного выноса инфекции», а на некоторых участках и далее. При этом основным резервуаром инфекции служили лисицы.

Для северных территорий прогноз оказался менее точным – бешенство нередко обнаруживалось на сотни километров южнее области постоянного

обитания песка, для которого характерны дальние миграции в южном направлении в холодное время года. Несмотря на «встречное движение» границ, сохраняется разрыв между северными и южными очаговыми регионами. В Западной Сибири он сократился до 200–250 км (участок от Тобольска до Ханты-Мансийска). Основными экологическими руслами для продвижения вируса бешенства в таежную зону за пределы очаговых регионов служили интразональные ландшафты естественного и антропогенного происхождения в долинах крупных рек. Роль основных естественных барьеров выполняли горные хребты и тайга. Бешенство в рассматриваемый период не регистрировалось на большей части подзон средней и северной тайги, а также на Камчатке и Сахалине.

Современные тенденции в изучении пространственно-временной динамики эпизоотий бешенства. После публикации первых обобщающих работ по природной очаговости бешенства в Сибири и на Дальнем Востоке методология эпидемиологического районирования совершенствовалась [2, 27]. Проводилось эпидемиологическое районирование территорий СССР, а позже и Российской Федерации, включая азиатскую часть [2, 4, 6, 7, 10]. Систематически публиковались информационные бюллетени с картограммами распространения бешенства [25–27]. Однако анализ проводился преимущественно на основе административного деления территории. Рассчитанные показатели экстраполировались на всю площадь субъектов с однотонной заливкой на картах. Для Сибири и Дальнего Востока, где площади административных территорий огромны, такой формализованный подход можно рассматривать лишь в качестве первого этапа исследований.

ГИС-технологии и данные дистанционного зондирования Земли существенно повысили точность и оперативность картографирования биомедицинской информации [1, 7, 30]. Аналогичные данные пока имеются лишь для некоторых территорий Сибири и Дальнего Востока, что дает возможность проследить поэтапное распространение бешенства в динамике за многолетний период с учетом ландшафтных особенностей территории [14]. Нозоэкологические карты, разработанные для азиатской части России, демонстрировали общие закономерности ландшафтного распределения различных зоонозных инфекций, включая бешенство, однако требовалась их актуализация с учетом регистрируемой заболеваемости [13].

Важнейшее значение для анализа пространственной структуры природных очагов зоонозов имеют результаты внутривидового типирования возбудителя. Генетический анализ изолятов вируса бешенства указывает на наличие в Сибири и на Дальнем Востоке трех филогенетических групп (клад) вируса бешенства [11, 12], что во многом согласуется со схемой очаговых регионов Г.Б. Малькова [8]. На юге Западной Сибири, в Казахстане и Монголии широко распространен вариант вируса бешенства, адаптиро-

ванный к лисице, получивший название «степной» («steppe»); изоляты с юга Дальнего Востока и сопредельных территорий Китая принадлежат к группе «подобный арктическому» («Arctic-like»); для сибирской Субарктики характерен арктический вариант вируса («Arctic»), распространенный циркумполярно [12, 24]. В дальнейшем установлено, что природные очаги в островных лесостепях Приенисейской Сибири, в Республике Тыва и Забайкалье сформировались в конце прошлого – начале текущего столетий в результате экспансии «степного» варианта вируса [11, 15, 23, 27]. В Забайкалье, по-видимому, произошла смена доминирующего варианта возбудителя, так как штаммы, выделенные в Читинской области в 1977 г., принадлежали к группе «Arctic-like» [12]. Судя по этим данным и информации с сопредельных территорий Китая и Монголии [31–35], границы распространения генетических вариантов вируса бешенства подвижны. Настораживает, что вирусы филогруппы «Arctic-like» активно распространяются среди собак в густонаселенных районах Китая и Непала с высокой заболеваемостью людей [34]. Кроме того, китайские исследователи отмечают тенденцию распространения другого адаптированного к собакам варианта вируса (China I) из южных провинций на север. Известны находки этого варианта вируса во Внутренней Монголии недалеко от границы с Забайкальем [33, 35]. Изученные изоляты вируса бешенства из таежных районов азиатской части России севернее 60° с.ш. принадлежали, в основном, к группе «Arctic», что подтверждает их связь с арктическим очаговым регионом [11, 12, 24, 27]. К сожалению, по некоторым регионам данные по типированию вируса отсутствуют или недостаточны для однозначных выводов – лишь в единичных случаях секвенированы изоляты вируса от заболевших людей. Эта информация чрезвычайно важна для оценки пространственно-временной динамики эпизоотий и эпидемического потенциала очагов в разных частях нозоареала. Например, деление арктического очагового региона в пределах России на «европейскую» и «азиатскую» и более дробные части проведено с учетом зоогеографических данных [9, 10]. Генетический анализ изолятов вируса бешенства с севера Евразии, Аляски и Гренландии пока не дает оснований для такой дифференциации [11, 12, 36, 37]. Данные о циркуляции на Дальнем Востоке вирусов группы «Arctic-like», очевидно, следует принимать во внимание при выяснении причин более высокой заболеваемости людей в этом регионе.

Наиболее информативны результаты комплексного применения молекулярно-генетических методов, ГИС-технологий и компьютерного моделирования, позволяющие более точно оценивать скорость и направление движения фронта эпизоотий, связанных с конкретными вариантами вируса бешенства [38–40]. В Западной Сибири в условиях низкой экологической емкости степных биотопов скорость распространения «лисий» бешенства значительно

выше, чем в Европе, и может превышать 100 км в год [41]. Аналогичные данные получены для степных и лесостепных районов Восточной Сибири [14].

Важным аспектом прогнозирования остается оценка возможности трансграничного заноса бешенства из Китая, Монголии и Казахстана. Сопредельные территории названных выше стран энзоотичны по бешенству [31–35, 42]. В Сибири и на Дальнем Востоке практически нет естественных барьеров для трансграничных миграций хищных млекопитающих. Эпидемиологические и молекулярно-генетические данные подтверждают заносное происхождение вспышек в Забайкалье, Республике Тыва и Амурской области, возникших после длительного отсутствия заболеваемости [7, 11, 23, 27]. Это определяет актуальность международного сотрудничества для организации профилактики бешенства в приграничных районах.

Прогноз пространственного распространения бешенства в Сибири и на Дальнем Востоке, подготовленный в начале 80-х годов XX в., в значительной мере оправдался. Заболеваемость животных регистрировалась, в основном, в пределах ранее обозначенных очаговых регионов. Обоснованность выделения очаговых регионов подтверждена результатами генотипирования изолятов вируса. Отмечено продвижение «степного» варианта вируса бешенства в северо-восточном направлении и в целом расширение нозоареала преимущественно на прогнозируемые участки территории. Однако характер эпидемиологических проявлений очагов не всегда соответствовал интенсивности эпизоотий и прогнозируемому риску. Заболевания людей за последние 35 лет не регистрировались в Восточной Сибири. Больше всего случаев заболевания людей отмечено на юге Дальнего Востока, где бешенство животных выявлялось значительно реже, чем на юге Западной Сибири. Современные подходы и задачи пространственного прогнозирования включают в себя переход от анализа в рамках административных границ к оценке пространственно-временной динамики и структуры очагов бешенства, более широкое использование генотипирования вируса и ГИС-технологий для повышения точности прогнозов и планирования мероприятий по борьбе с бешенством, включая барьерную оральную вакцинацию животных в приграничных районах.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект 19-315-90004/19.

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта финансовых/нефинансовых интересов, связанных с написанием статьи.

Посвящается памяти к.м.н. Владимира Петровича Савицкого – эпидемиолога лаборатории профилактики бешенства Омского НИИ природно-очаговых инфекций, инициатора подготовки анализируемого прогноза.

Список литературы

1. Попов Н.В., Куклев Е.В., Кутырев В.В. Актуальные вопросы геоинформационного обеспечения мониторинга и прогнозирования эпизоотической активности природных очагов чумы и других зоонозных инфекций на территории Российской Федерации. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2006; 2:28–30.
2. Сидоров Г.Н., Сидорова Д.Г., Колычев Н.М., Полещук Е.М. К вопросу о прогнозировании эпизоотического процесса при бешенстве на территории России. *Ветеринарная патология*. 2007; 3:17–23.
3. Hanlon C.F. Rabies in terrestrial animals. In: Jackson A.C., editors. *Rabies Scientific Basis of the Disease and its Management*. Oxford: Academic Press; 2013. P. 179–214.
4. Бельчихина А.В., Караулов А.К. Ретроспективный анализ эпизоотической ситуации по бешенству животных на территории Российской Федерации. *Ветеринария сегодня*. 2016; 1:64–70.
5. Сидоров Г.Н., Полещук Е.М., Сидорова Д.Г. Изменение роли млекопитающих в заражении людей бешенством в России за исторически обозримый период в 16–21 веках. *Зоологический журнал*. 2019; 98(4):437–52. DOI: 10.1134/S0044513419040159.
6. Шабейкин А.А., Гулюкин А.М., Зайкова О.Н. Обзор эпизоотической ситуации по бешенству в Российской Федерации за период с 1991 по 2015 годы. *Ветеринария Кубани*. 2016; 4:4–6.
7. Shulpin M.I., Nazarov N.A., Chupin S.A., Korennoy F.I., Metlin A.E., Mischenko A.V. Rabies surveillance in the Russian Federation. *Rev. Sci. Tech.* 2018; 37(2):483–95. DOI: 10.20506/rst.37.2.2817.
8. Мальков Г.Б. Концепция о популяционно-биологических аспектах природной очаговости бешенства. В кн.: *Природно-очаговые болезни человека (вопросы эпидемиологии и профилактики)*. Омск; 1981. С. 105–14.
9. Сидоров Г.Н., Савицкий В.П., Ботвинкин А.Д. Ландшафтное распределение хищных млекопитающих семейства собачьих (*Canidae*) как фактор формирования нозоареала бешенства на юго-востоке СССР. *Зоологический журнал*. 1983; 62(5):761–70.
10. Савицкий В.П., Ботвинкин А.Д. Эпидемиологическое районирование и долгосрочное прогнозирование заболеваемости бешенством по Восточной Сибири и Дальнему Востоку. В кн.: *Современные методы изучения природно-очаговых инфекций*. Л.; 1980. С. 41–52.
11. Deviatkin A.A., Lukashev N.L., Poleshchuk E.M., Dedkov V.G., Tkachev S.E., Sidorov G.N., Karganova G.G., Galkina I.V., Shchelkanov M.Yu., Shipulin G.A. The phylodynamics of the rabies virus in the Russian Federation. *PLoS One*. 2017; 12(2):e0171855. DOI: 10.1371/journal.pone.0171855.
12. Kuzmin I.V., Botvinkin A.D., McElhinney L.M., Smith J.S., Orciari L.A., Hughes G.J., Fooks A.R., Rupprecht C.E. Molecular epidemiology of terrestrial rabies in the former Soviet Union. *J. Wildl. Dis.* 2004; 40(4):17–631. DOI: 10.7589/0090-3558-40.4.617.
13. Конева И.В., Батуев А.Р., Лопаткин Д.А. Карта «Нозо-экосистемы Азиатской части России». *Известия Иркутского государственного университета. Серия: науки о земле*. 2011; 4(1):119–34.
14. Зарва И.Д., Ботвинкин А.Д., Горяев Д.В., Демчин П.М., Дмитриева Г.М., Зайкова Т.А., Луценко Г.В., Романова Т.Г., Русин М.В., Сорокина О.В., Сутурина Ю.Э., Шалгинова Е.Ю., Шматова Л.В. Анализ распространенности бешенства в островных лесостепях Восточной Сибири на основе ГИС-технологий. *Фундаментальная и клиническая медицина*. 2019; 4(2):48–57. DOI: 10.23946/2500-0764-2019-4-2-48-57.
15. Якович Н.В., Бондарюк А.Н., Адельшин Р.В., Носков А.К., Андаев Е.И., Ботвинкин А.Д. Вирус бешенства в Красноярском крае: две независимые филогруппы. *Дальневосточный журнал инфекционной патологии*. 2019; 37:38–40.
16. Метлин А.Е., Рыбаков С.С., Михалишин В.В., Muller Th. Оральная вакцинация диких плотоядных животных против бешенства. *Ветеринария*. 2009; 8:18–25.
17. Сливко И.А., Сафонов Г.А., Хрипунов Е.М., Гогин А.Е., Жестерев В.И., Баньковский Д.О. Возможные причины неудачи оральной антирабической иммунизации диких плотоядных животных в Российской Федерации. *Ветеринария*. 2013; 10:27–31.
18. Freuling C.M., Hampson K., Selhorst T., Schröder R., Meslin F.X., Mettenleiter T.C., Müller T. The elimination of fox rabies from Europe: determinants of success and lessons for the future. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 2013; 368(1623):20120142. DOI: 10.1098/rstb.2012.0142.
19. Müller T.F., Freuling C.M. Rabies control in Europe: an overview of past, urgent and future strategies. *Rev. Sci. Tech.* 2018; 37(2):409–419. DOI: 10.20506/rst.37.2.2811.
20. Карпов В.С., Чернявский В.Ф., Каратаева Т.Д. Основные зооантропонозы в Якутии (Эпизоотология и эпидемиология). Якутск: РПО СЦ РАСХН; 1997. 154 с.
21. Нестерова Ю.В., Деятелилова С.В., Хомичук Т.Ф., Семейкина Л.М. Бешенство – актуальная проблема Приморского края. *Здоровье. Медицинская экология. Наука*. 2016; 3:112–5.

DOI: 10.18411/hmes.d-2016-124.

22. Янович В.А. Эпидемиологическая и эпизоотологическая ситуация по бешенству в Еврейской автономной области. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 1999; 4:119–120. PMID: 10852077.

23. Adelshin R.V., Melnikova O.V., Trushina Y.N., Botvinkin A.D., Borisova T.I., Andaev E.I., Verzhutsky D.B., Khangazhinov A.S., Balakhonov S.V. A new outbreak of fox rabies at the Russian-Mongolian border. *Virologica Sinica*. 2015; 30(4):313–5. DOI: 10.1007/s12250-015-3609-0.

24. Kuzmin I.V. An arctic fox rabies virus strain as a cause of human rabies in Russian Siberia. *Arch. Virol.* 1999; 144:627–9. DOI: 10.1007/s007050050531.

25. Бешенство в Российской Федерации. Информационно-аналитический бюллетень. Сост.: Полещук Е.М., Сидоров Г.Н., Березина Е.С. Омск: Полиграфический центр КАН; 2009. 65 с.

26. Бешенство в Российской Федерации. Информационно-аналитический бюллетень. Сост.: Полещук Е.М., Сидоров Г.Н., Сидорова Д.Г., Колычев Н.М. Омск: Полиграфический центр КАН; 2013. 49 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://oniipi.org/author/admin> (дата обращения 12.03.2019).

27. Бешенство в Российской Федерации: информационно-аналитический бюллетень. Сост. Полещук Е.М., Сидоров Г.Н., Нашатyreva Д.Н., Градобоева Е.А., Пакскина Н.Д., Попова И.В. Омск: Издательский центр КАН; 2019. 110 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://oniipi.org/author/admin> (дата обращения 12.03.2019).

28. Профилактика бешенства в условиях отгонно-пастбищного животноводства (на примере Республики Тыва): Методические рекомендации. Сост.: Полещук Е.М., Сидоров Г.Н., Сарыглар Л.К. и др. Омск; 2016. 99 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01008950007> (дата обращения 12.03.2019).

29. Rabies Bulletin Europe. [Электронный ресурс]. URL: <https://rbe.fli.de/resource/journal> (дата обращения 12.03.2019).

30. Giannakopoulos A., Valiakos G., Papaspyropoulos K., Dougas G., Korou L.M., Tasioudi K.E., Fthenakis G.C., Hutchings M.R., Kaimaras D., Tsokana C.N., Iliadou P., Spyrou V., Tzani M., Birtsas P., Kostoglou P., Sokos C., Doudounakis S., Yon L., Hannant D., Artois M., Tsioudras S., Hadjichristodoulou C., Billinis C. Rabies outbreak in Greece during 2012–2014: use of geographical information system for analysis, risk assessment and control. *Epidemiol. Infect.* 2016; 144(14):3068–79. DOI: 10.1017/S09502688160001527.

31. Boldbaatar B., Inoue S., Tuya N., Dulam P., Batchuluun D., Sugiura N., Okutani A., Kaku Y., Noguchi A., Kotaki A., Yamada A. Molecular epidemiology of rabies virus in Mongolia, 2005–2008. *Jpn. J. Infect. Dis.* 2010; 63(5):358–63. PMID: 20859006.

32. Feng Y., Wang W., Guo J., Alatangheli, Li Y., Yang G., Su N., Zhang L., Xu W., Sheng Z., Ma L., Gui J., Dejde, Lin H., Tu C. Disease outbreaks caused by steppe-type rabies viruses in China. *Epidemiol. Infect.* 2015; 143(6):1287–91. DOI: 10.1017/S0950268814001952.

33. Yao H.-W., Yang Y., Liu K., Li X.-L., Zuo S.-Q., Sun R.-X., Fang L.-Q., Cao W.-C. The spatiotemporal expansion of human rabies and its probable explanation in mainland China, 2004–2013. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 2015; 9(2):e0003502. DOI: 10.1371/journal.pntd.0003502.

34. Pant G.R., Lavenir R., Wong F.Y.K., Certoma A., Larrous F., Bhatta D.R., Bourhy H., Stevens V., Dacheux L. Recent emergence and spread of an Arctic-related phylogenetic lineage of rabies virus in Nepal. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 2013; 7(11):e2560. DOI: 10.1371/journal.pntd.0002560.

35. Zhu H., Chen X., Shao X., Ba H., Wang F., Wang H., Yang Y., Sun N., Ren J., Cheng S., Wen Y. Characterization of a virulent dog-originated rabies virus affecting more than twenty fallow deer (*Dama dama*) in Inner Mongolia, China. *Infect. Genet. Evol.* 2015; 31:127–34. DOI: 10.1016/j.meegid.2014.12.024.

36. Hanke D., Freuling C.M., Fischer S., Hueffer K., Hundertmark K., Nadin-Davis S., Marston D., Fooks A.R., Botner A., Mettenleiter T.C., Beer M., Rasmussen T.B., Müller T.F., Höper D. Spatio-temporal analysis of the genetic diversity of arctic rabies viruses and their reservoir hosts in Greenland. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 2016; 10(7):e0004779. DOI: 10.1371/journal.pntd.0004779.

37. Huefferand K., Murphy M. Rabies in Alaska, from the past to an uncertain future. *Int. J. Circumpolar Health.* 2018; 77(1):1475185. DOI: 10.1080/22423982.2018.1475185.

38. Biek R., Henderson J.C., Waller L.A., Rupprecht C.E., Real L.A. A high-resolution genetic signature of demographic and spatial expansion in epizootic rabies virus. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2007; 104(19):7993–8. DOI: 10.1073/pnas.0700741104.

39. Kuzmina N.A., Lemey P., Kuzmin I.V., Mayes B.C., Ellison J.A., Orciari L.A., Hightower D., Taylor S.T., Rupprecht C.E. The phylogeography and spatiotemporal spread of south-central skunk rabies virus. *PLoS ONE.* 2013; 8(12):e82348. DOI: 10.1371/journal.pone.0082348.

40. Ruan S. Modeling the transmission dynamics and control of rabies in China. *Math. Biosci.* 2017; 286:65–93. DOI: 10.1016/j.mbs.2017.02.005.

41. Тюлько Ж.С., Кузьмин И.В. Моделирование эпизоотии бешенства в популяциях лисиц при ограниченной экологической емкости биотопов. *Экология.* 2002; 5:351–7.

42. Sultanov A.A., Abdrakhmanov S.K., Abdybekova A.M., Karatayev B.S., Torgerson P.R. Rabies in Kazakhstan. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 2016; 10(8):e0004889. DOI: 10.1371/journal.pntd.0004889.

References

1. Popov N.V., Kouklev E.V., Kutuyev V.V. [Relevant issues of geo-informational support to provide for monitoring and prognostication of epizootic activity in natural foci of plague and other zoonotic infections in the territory of the Russian Federation]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2006; 2:28–30.

2. Sidorov G.N., Sidorova D.G., Kolychev N.M., Poleshchuk E.M. [On the question of predicting the epizootic process for rabies in Russia]. *Veterinarnaya Patologiya [Veterinary pathology]*. 2007; 3:17–23.

3. Hanlon C.F. Rabies in terrestrial animals. In: Jackson A.C., editors. *Rabies Scientific Basis of the Disease and its Management*. Oxford: Academic Press; 2013. P. 179–214.

4. Belchikhina A.V., Karaulov A.K. [A retrospective analysis of the epizootic situation on rabies in the territory of the Russian Federation]. *Veterinariya Segodnya [Veterinary Medicine Today]*. 2016; 1:64–70.

5. Sidorov G.N., Poleshchuk E.M., Sidorova D.G. [Changes in the role of mammals in human rabies infection in Russia for a historically graspable period of the 16th to 21st centuries]. *Zoologicheskii Zhurnal [Zoological Journal]*. 2019; 98(4):437–52. DOI: 10.1134/S0044513419040159.

6. Shabeykin A.A., Gulyukin A.M., Zajkova O.N. [Overview of the epizootic situation on rabies for 2015 in the Russian Federation]. *Veterinariya Kubani [Veterinary of Kuban]*. 2016; (4):4–6.

7. Shulpin M.I., Nazarov N.A., Chupin S.A., Korennoy F.I., Metlin A.E., Mischenko A.V. Rabies surveillance in the Russian Federation. *Rev. Sci. Tech.* 2018; 37(2):483–95. DOI: 10.20506/rst.37.2.2817.

8. Mal'kov G.B. [The concept of population-biological aspects of the natural foci of rabies]. In: [Natural Focal Human Diseases (Epidemiology and Prevention)]. Омск; 1981. P. 105–14.

9. Sidorov G.N., Savitsky V.P., Botvinkin A.D. [Landscape distribution of carnivorous canine mammals (*Canidae*) as a factor in the formation of rabies nosoarea in the southeast of the USSR]. *Zoologicheskii Zhurnal [Zoological Journal]*. 1983; 62 (5):761–70.

10. Savitsky V.P., Botvinkin A.D. [Epidemiological zoning and long-term prognosis of rabies incidence in Eastern Siberia and Far East]. In: [Modern Methods of Studying Natural-Focal Infections]. Leningrad; 1980. P. 41–52.

11. Deviatkin A.A., Lukashev N.L., Poleshchuk E.M., Dedkov V.G., Tkachev S.E., Sidorov G.N., Karganova G.G., Galkina I.V., Shchelkanov M.Yu., Shipulin G.A. The phylodynamics of the rabies virus in the Russian Federation. *PLoS One.* 2017; 12(2):e0171855. DOI: 10.1371/journal.pone.0171855.

12. Kuzmin I.V., Botvinkin A.D., McElhinney L.M., Smith J.S., Orciari L.A., Hughes G.J., Fooks A.R., Rupprecht C.E. Molecular epidemiology of terrestrial rabies in the former Soviet Union. *J. Wildl. Dis.* 2004; 40(4):17–631. DOI: 10.7589/0090-3558-40.4.617.

13. Koneva I.V., Batuev A.R., Lopatkin D.A. [The map «Nozoeosystems of the Asian Russia»]. *Izvestiya Irkutskogo Gosudarstvennogo Universiteta [News of Irkutsk State University]*. 2011; 4 (1):119–34.

14. Zarva I.D., Botvinkin A.D., Goryaev D.V., Demchin P.M., Dmitrieva G.M., Zaykova T.A., Lutsenko G.V., Romanova T.G., Rusin M.V., Sorokina O.V., Sutura Yu.E., Shalginova E.Yu., Shmatova L.V. [Geographic information system analysis of rabies spread in island forest-steppe of East Siberia]. *Fundamental'naya i Klinicheskaya Meditsina [Fundamental and Clinical Medicine]*. 2019; 4 (2):48–57. DOI: 10.23946/2500-0764-2019-4-2-48-57.

15. Yakovchits N.V., Bondaryuk A.N., Adel'shin R.V., Noskov A.K., Andaev E.I., Botvinkin A.D. Rabies virus in the Krasnoyarsk Territory: two independent phylogroups. *Dal'nevostochnyy Zhurnal Infektsionnoy Patologii [Far Eastern Journal of Infectious Pathology]*. 2019; (37):38–9.

16. Metlin A.E., Rybakov S.S., Mikhailishin V.V., Muller Th. [Oral vaccination of wild carnivores against rabies]. *Veterinariya [Veterinary Medicine]*. 2009; 8:18–25.

17. Slivko I.A., Safonov G.A., Khripunov E.M., Gogin A.E., Zhesterev V.I., Ban'kovsky D.O. [Probable causes of failure of oral anti-rabies immunization of wild carnivores in the Russian Federation]. *Veterinariya [Veterinary Medicine]*. 2013; 10:27–31.

18. Freuling C.M., Hampson K., Selhorst T., Schröder R., Meslin F.X., Mettenleiter T.C., Müller T. The elimination of fox rabies from Europe: determinants of success and lessons for the future. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 2013; 368(1623):20120142. DOI: 10.1098/rstb.2012.0142.

19. Müller T.F., Freuling C.M. Rabies control in Europe: an overview of past, urgent and future strategies. *Rev. Sci. Tech.* 2018; 37(2):409–419. DOI: 10.20506/rst.37.2.2811.
20. Karpov V.S., Chernyavsky V.F., Karataeva T.D. The Main Zoonothroposes in Yakutia (Epizootology and epidemiology). Yakutsk; 1997. 154 p.
21. Nesterova Yu.V., Devyatilova S.V., Homichuk T.F., Semykina L.M. Rabies as a relevant problem of the Primorsky Territory of Russia. *Zdorov'e. Meditsinskaya Ekologiya. Nauka [Health. Medical Ecology. Science]*. 2015; 3(66):112–5. DOI: 10.18411/hmes.d-2016-124
22. Yanovich V.A. [The epidemiological and epizootiological situation on rabies in the Jewish Autonomous Region]. *Zhurnal Mikrobiologii, Epidemiologii i Immunobiologii [Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology]*. 1999; (4):119–20.
23. Adelshin R.V., Melnikova O.V., Trushina Y.N., Botvinkin A.D., Borisova T.I., Andaev E.I., Verzhutsky D.B., Khangazhinov A.S., Balakhonov S.V. A new outbreak of fox rabies at the Russian-Mongolian border. *Virologica Sinica*. 2015; 30(4):313–5. DOI: 10.1007/s12250-015-3609-0.
24. Kuzmin I.V. An arctic fox rabies virus strain as a cause of human rabies in Russian Siberia. *Arch. Virol.* 1999; 144:627–9. DOI: 10.1007/s007050050531.
25. Rabies in the Russian Federation. Information and Analytical Bulletin. Compiled by: Poleshchuk E.M., Sidorov G.N., Berezina E.S.. Omsk: KAN Publishing House; 2009. 65 p.
26. Rabies in the Russian Federation. Information and analytical bulletin. Compiled by: E.M.Poleshchuk, G.N.Sidorov, D.G.Sidorova, N.M.Kolychev. Omsk: KAN Publishing House, 2019. 49 p. (Cited 12 Mar 2019). [Internet]. Available from: <http://oniipi.org/author/admin>.
27. Rabies in the Russian Federation. Information and analytical bulletin. Compiled by: E.M. Poleshchuk, G.N.Sidorov, D.N.Nashatyreva, E.A.Gradoboeva, N.D.Pakskina, I.V.Popova. Omsk: KAN Publishing House, 2019. 110 p. (Cited 12 Mar 2019). [Internet]. Available from: <http://oniipi.org/author/admin>.
28. Prevention of rabies in the conditions of cattle-breeding (by the example of the Republic of Tuva): Methodological recommendations. Compiled by: E.M.Poleshchuk, G.N.Sidorov, L.K.Saryglar, et al. Omsk, 2016. 99 p. (Cited 12 Mar 2019). [Internet]. Available from: <https://search.rsl.ru/record/01008950007>.
29. Rabies Bulletin Europe. (Cited 12 Mar 2019). [Internet]. Available from: <https://rbe.fli.de/resource/journal>.
30. Giannakopoulos A., Valiakos G., Papaspyropoulos K., Dougas G., Korou L.M., Tasioudi K.E., Fthenakis G.C., Hutchings M.R., Kaimaras D., Tsokana C.N., Iliadou P., Spyrou V., Tzani M., Birtsas P., Kostoglou P., Sokos C., Doudounakis S., Yon L., Hannant D., Artois M., Tsiodras S., Hadjichristodoulou C., Billinis C. Rabies outbreak in Greece during 2012–2014: use of geographical information system for analysis, risk assessment and control. *Epidemiol. Infect.* 2016; 144(14):3068–79. DOI: 10.1017/S0950268816001527.
31. Boldbaatar B., Inoue S., Tuya N., Dulam P., Batchuluun D., Sugiura N., Okutani A., Kaku Y., Noguchi A., Kotaki A., Yamada A. Molecular epidemiology of rabies virus in Mongolia, 2005–2008. *Jpn. J. Infect. Dis.* 2010; 63(5):358–63. PMID: 20859006.
32. Feng Y., Wang W., Guo J., Alategheli, Li Y., Yang G., Su N., Zhang L., Xu W., Sheng Z., Ma L., Gui J., Dejide, Lin H., Tu C. Disease outbreaks caused by steppe-type rabies viruses in China. *Epidemiol. Infect.* 2015; 143(6):1287–91. DOI: 10.1017/S0950268814001952.
33. Yao H-W., Yang Y., Liu K., Li X-L., Zuo S-Q., Sun R-X., Fang L.Q., Cao W.C. The spatiotemporal expansion of human rabies and its probable explanation in mainland China, 2004–2013. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 2015; 9(2):e0003502. DOI: 10.1371/journal.pntd.0003502.
34. Pant G.R., Lavenir R., Wong F.Y.K., Certoma A., Larrous F., Bhatta D.R., Bourhy H., Stevens V., Dacheux L. Recent emergence and spread of an Arctic-related phylogenetic lineage of rabies virus in Nepal. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 2013; 7(11):e2560. DOI: 10.1371/journal.pntd.0002560.
35. Zhu H., Chen X., Shao X., Ba H., Wang F., Wang H., Yang Y., Sun N., Ren J., Cheng S., Wen Y. Characterization of a virulent dog-originated rabies virus affecting more than twenty fallow deer (Dama dama) in Inner Mongolia, China. *Infect. Genet. Evol.* 2015; 31:127–34. DOI: 10.1016/j.meegid.2014.12.024.
36. Hanke D., Freuling C.M., Fischer S., Hueffer K., Hundertmark K., Nadin-Davis S., Marston D., Fooks A.R., Bötner A., Mettenleiter T.C., Beer M., Rasmussen T.B., Müller T.F., Höper D. Spatio-temporal analysis of the genetic diversity of arctic rabies viruses and their reservoir hosts in Greenland. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 2016; 10(7):e0004779. DOI: 10.1371/journal.pntd.0004779.
37. Huefferand K., Murphy M. Rabies in Alaska, from the past to an uncertain future. *Int. J. Circumpolar Health.* 2018; 77(1):1475185. DOI: 10.1080/22423982.2018.1475185.
38. Biek R., Henderson J.C., Waller L.A., Rupprecht C.E., Real L.A. A high-resolution genetic signature of demographic and spatial expansion in epizootic rabies virus. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2007; 104(19):7993–8. DOI: 10.1073/pnas.0700741104.
39. Kuzmina N.A., Lemey P., Kuzmin I.V., Mayes B.C., Ellison J.A., Orciari L.A., Hightower D., Taylor S.T., Rupprecht C.E. The phylogeography and spatiotemporal spread of south-central skunk rabies virus. *PLoS ONE*. 2013; 8(12):e82348. DOI: 10.1371/journal.pone.0082348.
40. Ruan S. Modeling the transmission dynamics and control of rabies in China. *Math. Biosci.* 2017; 286:65–93. DOI: 10.1016/j.mbs.2017.02.005.
41. Tyul'ko Zh.S., Kuzmin I.V. [Modeling of rabies epizootics in fox populations with limited ecological capacity of biotopes]. *Ekologiya [Ecology]*. 2002; (5): 351–357.
42. Sultanov A.A., Abdrakhmanov S.K., Abdybekova A.M., Karatayev B.S., Torgerson P.R. Rabies in Kazakhstan. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 2016; 10(8):e0004889. DOI: 10.1371/journal.pntd.0004889.

Authors:

Botvinkin A.D., Zarva I.D. Irkutsk State Medical University. 1, Krasnogo Vosstaniya St., Irkutsk, 664003, Russian Federation. E-mail: botvinkin_ismu@mail.ru.

Sidorov G.N. Omsk Research Institute of Natural-Focal Infections; 7, Mira Avenue, Omsk, 644050, Russian Federation; e-mail: mail@oniipi.org. Omsk State Pedagogical University; 14, Tuhachevskogo Promenade, Omsk, 644099, Russian Federation; e-mail g.n.sidorov@mail.ru..

Poleshchuk E.M. Omsk Research Institute of Natural-Focal Infections. 7, Mira Avenue, Omsk, 644050, Russian Federation; e-mail: mail@oniipi.org.

Nashatyreva D.N., Rudakov N.V. Omsk Research Institute of Natural-Focal Infections; 7, Mira Avenue, Omsk, 644050, Russian Federation; e-mail: mail@oniipi.org. Omsk State Medical University; 9, Mira Avenue, Omsk, 644080, Russian Federation.

Yakovchits N.V., Andaev E.I., Balakhonov S.V. Irkutsk Research Anti-Plague Institute of Siberia and Far East. 78, Trilissera St., Irkutsk, 664047, Russian Federation. E-mail: adm@chumin.irkutsk.ru.

Об авторах:

Ботвинкин А.Д., Зарва И.Д. Иркутский государственный медицинский университет. Российская Федерация. 664003, Иркутск, ул. Красного Восстания, 1. E-mail: botvinkin_ismu@mail.ru.

Сидоров Г.Н. Омский научно-исследовательский институт природно-очаговых инфекций; Российская Федерация, 644050, Омск, проспект Мира, 7. Омский государственный педагогический университет. Российская Федерация, 644099, Омск, Набережная Тухачевского, 14. E-mail g.n.sidorov@mail.ru.

Полещук Е.М. Омский научно-исследовательский институт природно-очаговых инфекций. Российская Федерация, 644050, Омск, проспект Мира, 7. E-mail: mail@oniipi.org.

Нашатырева Д.Н., Рудаков Н.В. Омский научно-исследовательский институт природно-очаговых инфекций; Российская Федерация, 644050, Омск, проспект Мира, 7; e-mail: mail@oniipi.org. Омский государственный медицинский университет; Российская Федерация, 644080, Омск, проспект Мира, 9.

Яковчиц Н.В., Andaev E.I., Балахонов С.В. Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока. Российская Федерация, 664047, Иркутск, ул. Трилиссера, 78. E-mail: adm@chumin.irkutsk.ru.