

УДК 619:616.98:578.842.1:616-036.22(470)

С.М. Малхазова¹, Ф.И. Коренной², О.Н. Петрова³, В.М. Гуленкин⁴, А.К. Караулов⁵

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ЛОКАЛЬНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ АФРИКАНСКОЙ ЧУМЫ СВИНЕЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В 2007–2015 гг.

Африканская чума свиней (АЧС) – вирусное заболевание домашних и диких свиней, появившееся на территории Российской Федерации в 2007 г. и поражающее как домашних свиней в личных подсобных хозяйствах и на крупных свинофермах, так и диких кабанов. Заболевание вызывает практически 100% смертность среди инфицированных животных и причиняет существенный экономический ущерб свиноводству страны. Целью данной работы явилось изучение особенностей распространения АЧС на территории РФ и определение пространственно-временных закономерностей развития локальных эпизоотий. Для их выявления использован метод кластерного анализа с применением пространственно-временной сканирующей статистики Куллдорффа. Получены кластеры вспышек АЧС как в популяциях домашних свиней и диких кабанов в отдельности, так и в их совокупной популяции. Определены основные количественные характеристики выявленных кластеров – пространственный охват, продолжительность и количество вспышек. Проанализирована корреляция количества вспышек АЧС внутри каждого кластера с географическими факторами, предположительно способствующими распространению инфекции. Всего выявлено 17 статистически значимых кластеров вспышек среди домашних свиней, девять кластеров вспышек среди диких кабанов и 17 кластеров в совокупной популяции. Используемый метод не выявил непосредственных связей эпизоотий в популяции дикого кабана с неблагополучием среди домашних свиней. Показана существенная положительная корреляция количества вспышек среди домашних свиней с протяженностью автомобильных дорог, суммарным свинопоголовьем и количеством населенных пунктов сельского типа внутри кластера. Количество вспышек среди диких кабанов обнаруживает очень сильную корреляцию с площадью лесного покрытия внутри кластера. Полученные результаты делают возможным создание геопространственной модели для прогнозирования локального распространения АЧС в случае заноса инфекции в ранее благополучные регионы.

Ключевые слова: африканская чума свиней, кластерный анализ, локальная эпизоотия, геопространственные факторы.

Введение. Африканская чума свиней (АЧС) – вирусное заболевание домашних и диких свиней, появившееся в Российской Федерации (РФ) в 2007 г. и получившее с тех пор широкое распространение на европейской территории России (ЕТР). Заболевание вызывает почти 100% смертность среди инфицированных животных. Медикаментозных средств лечения и профилактики заболевания на данный момент не существует, поэтому меры борьбы с заболеванием заключаются в депопуляции (отчуждении и уничтожении) заболевших свиней и всего восприимчивого поголовья в очаге инфекции и в первой угрожаемой зоне радиусом от 5 км вокруг очага [Правила, 2016]. Кроме того, предусматриваются карантинные меры, включающие усиленный надзор и ограничения на торговлю и перемещение

животных и продукции животноводства внутри карантинной зоны радиусом от 100 км вокруг очага инфекции. Применение подобных мер, безусловно, наносит существенный экономический ущерб. Так, в период с 2008 по 2015 годы, прямые и косвенные потери, вызванные эпизоотией АЧС в РФ, составили более 25,2 млрд руб. [Клиновицкая с соавт., 2016].

Изучению особенностей развития эпизоотии АЧС посвящен ряд публикаций как в отечественной, так и в зарубежной печати. Результаты исследований [Korennoy et al., 2014; Vergne et al., 2016] показывают, что интенсивность распространения вспышек АЧС на определенной территории связана с наличием и концентрацией свиноводства, в первую очередь – личных подсобных хозяйств (ЛПХ), которые можно рассматривать как хозяйства с

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра биогеографии, зав. кафедрой, профессор, докт. геогр. н.; *email:* sveta_geo@mail.ru;

² ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ФГБУ ВНИИЗЖ), Информационно-аналитический центр, науч. с.; *email:* korennoy@arriah.ru;

³ ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ФГБУ ВНИИЗЖ), Информационно-аналитический центр, заведующий сектором ветеринарной эпидемиологии РФ, канд. биол. н.; *email:* petrova@arriah.ru;

⁴ ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ФГБУ ВНИИЗЖ), Информационно-аналитический центр, заведующий сектором картографирования, моделирования и прогнозирования, канд. биол. н.; *email:* gulenkin@arriah.ru;

⁵ ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ФГБУ ВНИИЗЖ), Информационно-аналитический центр, руководитель центра, канд. вет. н.; *email:* karaulov@arriah.ru.

низким уровнем биобезопасности. Кроме того, на масштаб распространения эпизоотии влияет густота автодорожной сети, косвенно характеризующая интенсивность хозяйственно-экономических связей. Были сделаны выводы, что основным фактором распространения заболевания в популяции домашних свиней является антропогенная деятельность, то есть экономическая активность человека. Заболевание чаще всего переносилось в благополучные хозяйства при торговле живыми животными, транспортировке контаминированных вирусом АЧС кормов, продукции свиноводства и т. п. Существенную роль играло недостаточное соблюдение профилактических мер, неготовность хозяйств и ветеринарных служб к противодействию эпизоотии (особенно на начальном этапе ее развития) [Oganessian et al., 2013; FAO, 2013, 2014; Малоголовкин с соавт., 2015].

Существует также точка зрения, что популяция дикого кабана является существенным источником поддержания неблагополучной ситуации по АЧС. При этом предполагается, что уменьшение численности кабанов могло бы приостановить распространение заболевания как в пределах региона, так и на больших расстояниях, и, таким образом, привести к постепенному улучшению эпизоотической ситуации [http://socialvet.ru/blog/Pestis_africana_suum/4586.html; <https://lenta.ru/articles/2016/09/23/kaban/>; <http://greenfront.su/post/2000>].

Таким образом, существует неопределенность в отношении того, какая из популяций (домашние свиньи или дикие кабаны) вносит наиболее существенный вклад в распространение инфекции на территории РФ, и, следовательно, в каком направлении должны быть сосредоточены усилия ветеринарной службы и специализированных надзорных органов по контролю и профилактике заболевания. Очевидна необходимость дополнительных исследований, направленных на выявление роли каждой из популяций в распространении вируса АЧС.

Цель данной работы – выявить локальные эпизоотии АЧС в РФ и оценить особенности их формирования с точки зрения взаимодействия между популяциями домашних свиней и диких кабанов.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- составить карту распространения вспышек АЧС в РФ за период 2007–2015 гг;
- с помощью метода пространственно-временного кластерного анализа выявить совокупности вспышек АЧС, наиболее вероятно образующих локальные эпизоотии;
- исследовать взаимосвязь между интенсивностью эпизоотий внутри кластеров и географическими факторами, предположительно влияющими на причины и скорость распространения заболевания.

Материалы и методы. Материалы. В работе использована база данных вспышек АЧС среди домашних свиней и диких кабанов на территории РФ в период 2007–2015 гг., составленная на основании сообщений Россельхознадзора [<http://fsvps.ru/>

fsvps/asf], а также международной базы данных WAHIS [http://www.oie.int/wahis_2/public/wahid.php/Diseaseinformation/Immsummary]. Здесь и далее понятие «вспышка» означает случай выявления заболевания в восприимчивой популяции (домашних свиней либо диких кабанов), приуроченный к определенной территории, идентифицируемой географическими координатами (деревня, поселок, отдельно расположенная ферма, урочище, лесной массив и т. д.). База насчитывает 773 вспышки АЧС, из них 407 – в популяции домашних свиней и 366 – в популяции диких кабанов. Информация представлена в формате базы геоданных ArcGIS. Атрибуты для каждой вспышки, необходимые для дальнейшего анализа, включают название инфицированного хозяйства, месторасположение (населенный пункт, район, область), дату возникновения вспышки, географические координаты.

В работе использованы базы данных автодорог и населенных пунктов, а также лесного покрытия на территории РФ, выделенные из набора материалов «Территория Российской Федерации в масштабе 1:500 000» [https://www.dataplus.ru/products/map_and_services_date/detail/review/]. Информация представлена в формате шейп-файлов.

Данные о свинопоголовье в ЛПХ и фермерских хозяйствах на уровне регионов взяты с официального сайта Росстата [<http://www.gks.ru/>] за период 2007–2015 гг. Поскольку детальные сведения о расположении свинопоголовья на территории регионов недоступны, была выполнена аппроксимация путем его равномерного распределения между населенными пунктами сельского типа внутри субъектов ЕТР за каждый год из рассматриваемого периода.

Метод кластерного анализа. Для выявления совокупностей вспышек, близких как в пространстве, так и во времени (пространственно-временных кластеров), был применен метод пространственно-временной сканирующей статистики Кулльдорфа [Kulldorff et al., 2005]. Сущность данного метода состоит в выявлении областей внутри исследуемого пространства, в которых исследуемые точечные события (в нашем случае – вспышки АЧС) сгруппированы существенно более плотно по сравнению с общим их распределением во всем пространстве. Выявленные статистически значимые кластеры представляют собой кольцевые зоны, вспышки внутри которых могут рассматриваться как локальные эпизоотии, то есть являться следствием одного эпизоотического процесса. Для выполнения кластерного анализа по описанной методике необходимо задать предельные значения радиуса и времени поиска, то есть максимальный предполагаемый радиус кластера R_{max} и максимальную его продолжительность T_{max} . На основании результатов предыдущих исследований [Korennoy et al., 2014; Iglesias et al., 2015] выбраны: $R_{max} = 160$ км, $T_{max} = 1$ год.

Был произведен поиск кластеров для трех категорий данных: 1) только для вспышек среди домашних свиней; 2) только для вспышек среди ди-

ких кабанов; 3) в совокупной популяции, то есть для всех вспышек как среди домашних свиней, так и среди диких кабанов. В каждой из категорий для дальнейшего анализа отбирались только статистически значимые кластеры, для которых значение p не превосходит 0,05.

Для каждого выявленного кластера определялись следующие характеристики: наблюдаемое количество вспышек, составляющих кластер N ; радиус кластера R ; продолжительность кластера T . Кроме того, для каждого кластера было подсчитано количество вспышек АЧС в другой популяции (для

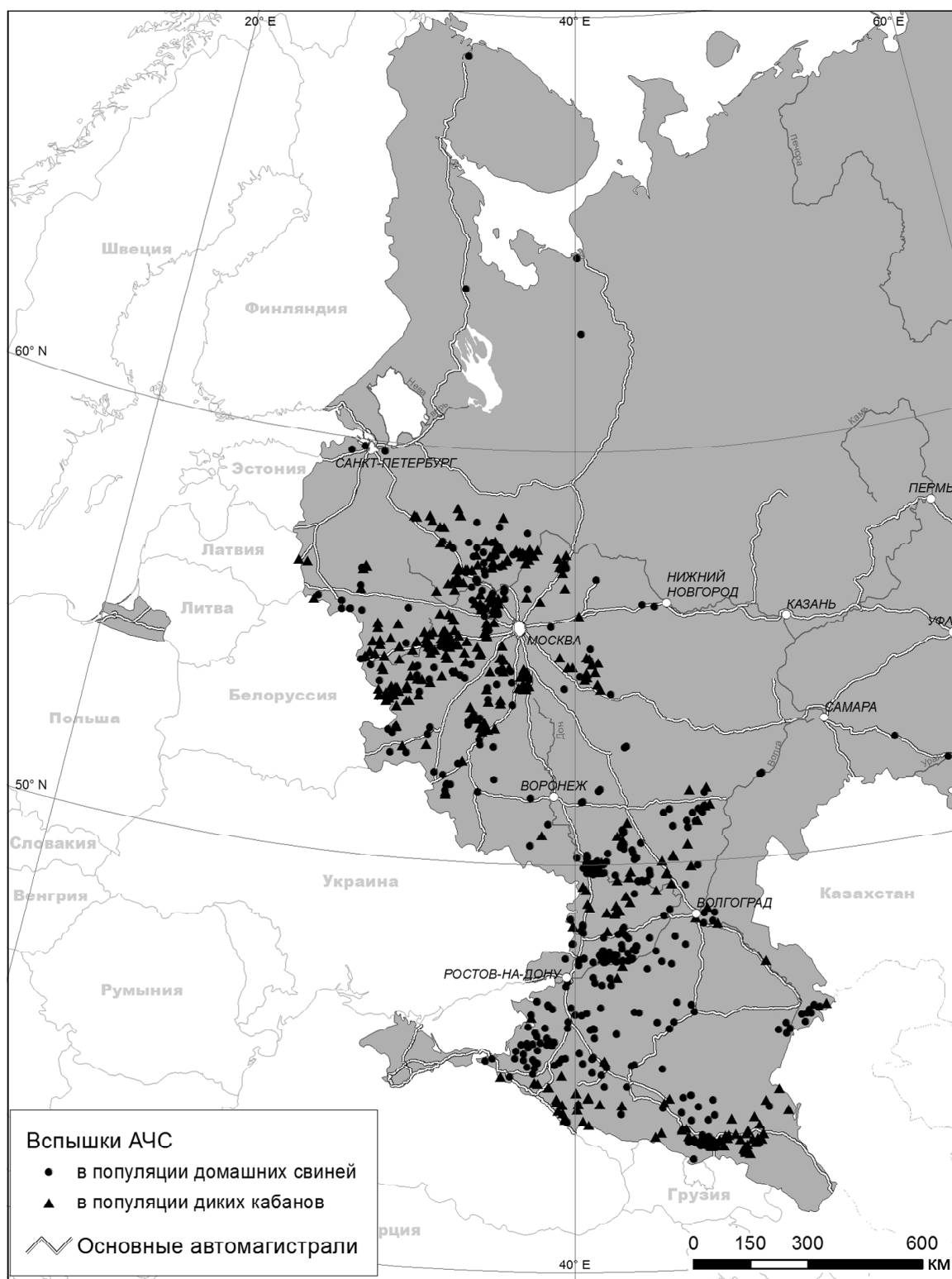


Рис. 1. Эпизоотическая ситуация по АЧС в РФ за период 2007–2015 гг.

Fig. 1. ASF epizootic situation in the RF during 2007–2015

кластеров вспышек у домашних свиней – среди диких кабанов, и наоборот), зарегистрированное внутри данного кластера в течение того же промежутка времени. В кластерах в совокупной популяции была проанализирована временная последовательность регистрации вспышек и сделан предположительный вывод о первично инфицированной популяции внутри каждого такого кластера.

Корреляционный анализ. Для проверки гипотезы, отражающей зависимость интенсивности возникновения вспышек АЧС от наличия геопространственных факторов, способствующих трансмиссии вируса между хозяйствами, а также внутри популяции диких кабанов, был выполнен корреляционный анализ между количеством вспышек и рядом географических факторов внутри выявленных кластеров. Влияние этих факторов на интенсивность развития эпизоотии АЧС было показано в ряде предыдущих исследований: [Oganessian et al., 2013; Korennoy et al., 2014; Vergne et al., 2016].

Были определены значения соответствующих географических факторов (или геопространственных переменных), которые предположительно могут способствовать передаче инфекции (для кластеров вспышек у домашних свиней – суммарная протяженность автодорог внутри кластера L_{rd} ; суммарное поголовье домашних свиней внутри кластера N_p и количество населенных пунктов сельского типа внутри кластера N_{vil} ; для кластеров вспышек у диких кабанов – площадь лесов внутри кластера S_{for}); для вычисления данных переменных применялся метод «вырезания» с помощью стандартных процедур ГИС.

Для каждого кластера с помощью коэффициента корреляции Пирсона r была вычислена корреляция количества вспышек N со значениями геопространственных переменных в данном кластере. Степень корреляции оценивалась согласно следующим категориям: $0,1 < r < 0,3$ – слабая; $0,3 \leq r < 0,5$ – умеренная; $0,5 \leq r < 0,7$ – заметная; $0,7 \leq r < 0,9$ – сильная; $0,9 \leq r < 0,99$ – очень сильная.

Программное обеспечение. Для выявления пространственно-временных кластеров использовалось программное обеспечение SatScan [Kulldorff, 2009]. Обработка данных, а также визуализация результатов анализа проводилась с помощью ArcGIS 10.4 [<http://www.esri.com/>]. Корреляционный анализ выполнен с использованием пакета «Анализ данных» в стандартном приложении Microsoft Office Excel [https://products.office.com/ru-ru/home?WT.mc_id=oaan_winnav_office].

Результаты. На рис. 1 представлена карта вспышек АЧС в РФ в период с 2007 по 2015 гг. С помощью метода пространственно-временного кластерного анализа было выявлено 17 статистически значимых кластеров в популяции домашних свиней (рис. 2, А). Обращает на себя внимание, что в семи кластерах из 17 не отмечено ни одной вспышки у диких кабанов в течение того же временного периода. В популяции диких кабанов было выявлено девять статистически значимых кластеров (рис. 2, Б). При этом в каждом из выявленных кластеров была

зарегистрирована, по меньшей мере, одна вспышка у домашних свиней, то есть все выявленные локальные эпизоотии в популяции диких кабанов сопровождалась вспышками среди домашнего свиноголовья в этот же временной период. Количественные характеристики полученных кластеров приведены в табл. 1 и 2. В совокупной популяции выявлено 17 статистически значимых кластеров, при этом в восьми из них первыми зарегистрированы вспышки у домашних свиней, а в оставшихся девяти первыми были вспышки у диких кабанов (рис. 3).

Результаты корреляционного анализа показывают наличие сильной положительной корреляции количества вспышек внутри кластеров у домашних свиней с протяженностью автодорог L_{rd} ($r = 0,83$), суммарным свиноголовьем внутри кластера N_p ($r = 0,80$) и количеством населенных пунктов сельского типа N_{vil} ($r = 0,89$). Очень сильная положительная корреляция выявлена между количеством вспышек среди диких кабанов и площадью лесного покрытия внутри кластера S_{for} ($r = 0,96$).

Обсуждение. Анализ путей и способов распространения болезни для всех 773 очагов (на 31.12.2015) позволяет утверждать, что основной источник инфекции – нелегальная торговля живыми животными, продукцией свиноводства и транспортировка контаминированных кормов и отходов [Oganessian et al., 2013; ФАО, 2014; Малоголовкин с соавт., 2015]. В развитии эпизоотии АЧС в РФ отмечается как местная (локальная) передача инфекции в результате, например, торгово-хозяйственных отношений между близлежащими фермами, так и дальние выносы вируса за пределы региона, приводящие к расширению инфицированной территории и вовлечению новых регионов в эпизоотический процесс. Характерным примером дистанционных выносов является образование очага АЧС в Тверской области в 2011 г. и последующее развитие эпизоотии в центральных регионах РФ.

Проведенное исследование с применением относительно простой методики пространственно-временного анализа позволяет сделать вывод, что дикий кабан не может рассматриваться как единственный и основной источник развития эпизоотии по АЧС. Так, в 7 из 17 локальных эпизоотий у домашних свиней не было зарегистрировано ни одной вспышки среди кабанов в тот же временной период. Очевидно, такое было бы невозможно в случае, если источником инфекции являлась бы популяция дикого кабана. В то же время все эпизоотии у диких кабанов заключают в тот же временной период по меньшей мере одну вспышку среди домашних свиней. Иными словами, можно говорить скорее о тяготении вспышек у диких кабанов – к домашним свиньям, чем наоборот. Этот вывод хорошо согласуется с результатами исследования [Vergne et al., 2017], которое не обнаруживает статистически значимой группировки вспышек у домашних свиней вокруг вспышек у диких кабанов.

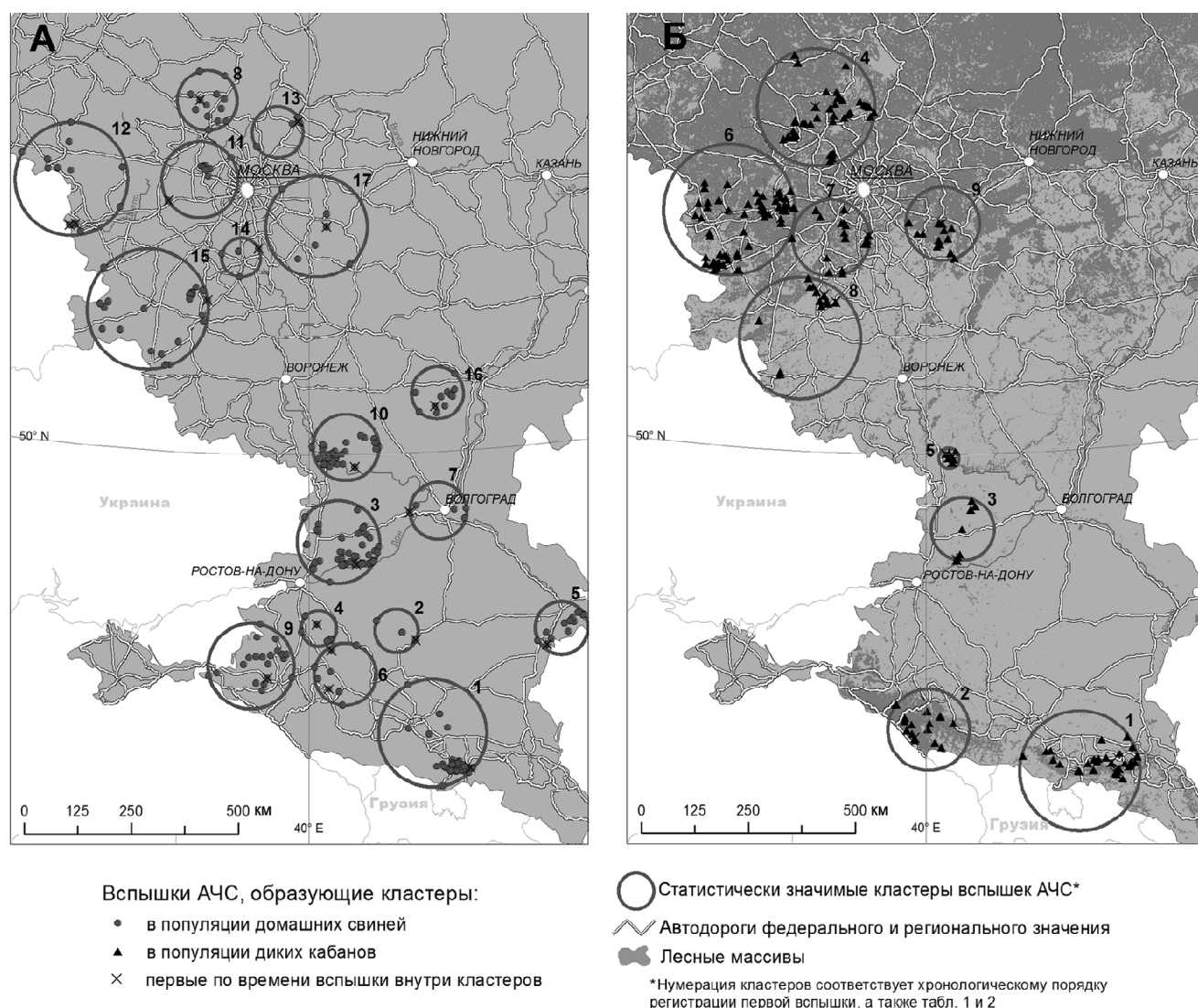


Рис. 2. Статистически значимые кластеры вспышек в популяции домашних свиней (А) и популяции диких кабанов (Б)

Fig. 2. Statistically significant clusters of the ASF outbreaks for domestic pigs (A) and wild boars (B) populations

Что касается анализа временной последовательности вспышек внутри кластеров на уровне совокупных популяций, то прослеживается следующая тенденция: в большинстве случаев первыми были зарегистрированы вспышки у домашних свиней, в то время как в центральной зоне, в основном, локальные эпизоотии начинаются со вспышек у диких кабанов.

С учетом описанных выше закономерностей можно сделать следующий вывод: в начальный период распространения АЧС на территории РФ основным движущим фактором эпизоотии явился антропогенный фактор, что обусловило быстрое распространение заболевания в свиноводческих хозяйствах на территориях Северо-Кавказского и Южного Федеральных округов («южная зона»), а также занос заболевания в центральные и северные регионы ЕТР («северная зона»). При дальнейшем распространении заболевания по территории север-

ной зоны, характеризующейся значительно более высокой плотностью поголовья диких кабанов, кабаны стали играть более существенную роль в передаче заболевания. Тем не менее, проведенный анализ не выявил ни одной локальной эпизоотии, развивавшейся изолированно в популяции дикого кабана: во всех случаях вспышки у кабанов перемежались вспышками у домашних свиней.

По-видимому, на территории РФ распространение заболевания в популяции дикого кабана является вторичным процессом. В то же время, в регионах с высокой плотностью кабана отмечено достаточно быстрое формирование обширных очагов, обусловленное беспрепятственной передачей вируса внутри данной популяции [Дудников с соавт., 2013]. Попадание возбудителя из подсобных хозяйств в дикую природу и последующее инфицирование кабана может происходить при поедании загрязненных отходов и кормов. Обрат-

Таблица 1

Количественные характеристики выявленных кластеров в популяции домашних свиней

№ кластера	Радиус R , км	Количество вспышек в кластере, N	Дата начала	Дата окончания	Продолжительность, T , дни	Количество вспышек среди диких кабанов внутри кластера
1	143	42	27.06.2008	05.03.2009	251	14
2	119	5	06.03.2009	02.04.2009	27	0
3	112	44	04.09.2009	22.07.2010	321	7
4	52	6	29.01.2010	25.03.2010	55	0
5	115	12	30.07.2010	02.09.2010	34	0
6	88	8	29.10.2010	16.06.2011	230	0
7	110	5	02.03.2012	28.06.2012	118	0
8	88	13	29.06.2012	19.07.2012	20	9
9	126	20	27.07.2012	04.10.2012	69	0
10	117	34	31.05.2013	27.06.2013	27	7
11	108	9	12.07.2013	25.07.2013	13	4
12	149	14	12.07.2013	07.08.2014	391	14
13	101	5	26.07.2013	22.08.2013	27	2
14	89	4	23.08.2013	30.01.2014	160	0
15	154	24	19.12.2014	17.12.2015	363	8
16	82	11	27.02.2015	29.10.2015	244	3
17	140	6	31.07.2015	26.11.2015	118	12
Среднее	83±30	15±13	—	—	145±126	—

Таблица 2

Количественные характеристики выявленных кластеров в популяции диких кабанов

№ кластера	Радиус R , км	Количество вспышек в кластере, N	Дата начала	Дата окончания	Продолжительность, T , дней	Количество вспышек среди домашних свиней внутри кластера
1	134	32	06.06.2008	25.06.2009	384	37
2	74	18	13.11.2009	26.08.2010	286	1
3	72	8	12.03.2010	10.02.2011	335	10
4	131	45	08.06.2012	11.04.2013	307	20
5	15	7	07.06.2013	20.06.2013	13	10
6	131	66	16.08.2013	02.01.2014	139	2
7	89	17	07.02.2014	04.12.2014	300	6
8	118	13	19.12.2014	16.07.2015	209	17
9	68	13	31.07.2015	24.12.2015	146	3
Среднее	108±41	24±19	—	—	235±111	—

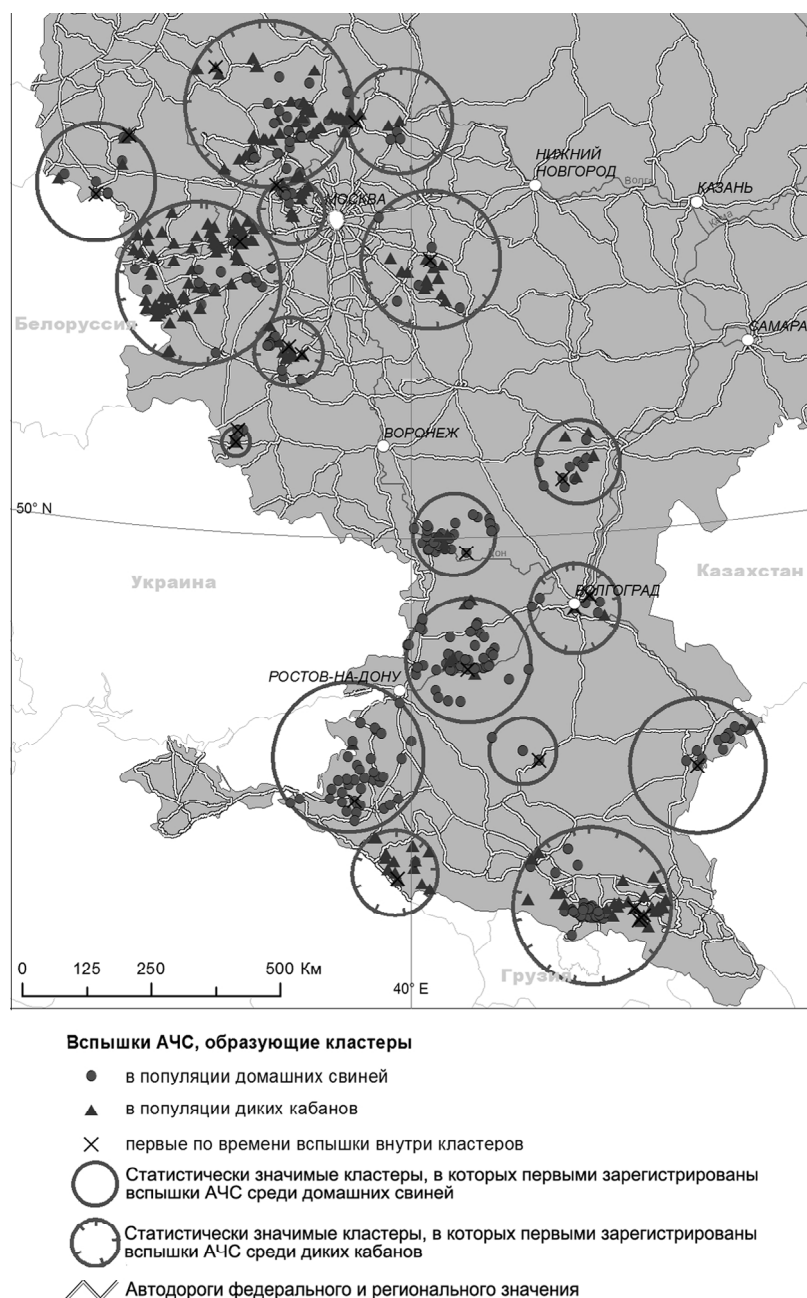


Рис. 3. Статистически значимые кластеры вспышек на уровне совокупной популяции: сплошной линией выделены кластеры, в которых первыми зарегистрированы вспышки у домашних свиней, пунктирной – у диких кабанов

Fig. 3. Statistically significant clusters of the ASF outbreaks within the cumulative population: solid lines indicate those clusters where domestic pigs outbreaks were first recorded; dashed lines – clusters where wild boars outbreaks were first recorded

ная передача вируса от кабанов к домашним свиньям менее вероятна из-за ограниченности их непосредственных контактов [FAO, 2014; Iglesias et al., 2017].

Проведенное исследование позволило также подтвердить гипотезу [Korennoy et al., 2014; Vergne et al., 2016], что число вспышек у домашних свиней в локальных эпизоотиях сильно коррелирует с плотностью автодорожной сети, численностью домашнего свиноголовья и сельских населенных пунктов (в которых зарегистрировано подавляющее большинство вспышек АЧС). Последние два фак-

тора, впрочем, не могут рассматриваться изолированно, поскольку очевидно, что распределение свиноголовья имеет тесную связь с расположением сельских населенных пунктов, что объясняется преимущественным расположением ЛПХ и крупных свиноферм в деревнях и селах. Поэтому полученную корреляцию можно интерпретировать как возможность выбора одного из факторов в случае недоступности другого (как правило, невозможно получить непосредственные данные о распределении свиноголовья, и поэтому при моделировании и прогнозировании вместо них можно

использовать местоположение сельских населенных пунктов).

Знание полученных закономерностей дает возможность улучшить качество прогнозов, а также сузить зоны риска, обеспечив более экономное использование ресурсов по противодействию эпизоотической ситуации.

Выводы:

– в результате проведенного исследования составлена карта распространения АЧС в РФ за период 2007–2015 гг;

– с помощью метода пространственно-временного кластерного анализа выявлены локальные эпизоотии и оценены особенности их формирования с точки зрения взаимодействия между популяциями домашних свиней и диких кабанов; всего выявлено 17 статистически значимых кластеров вспышек среди домашних свиней, девять кластеров вспышек среди диких кабанов и 17 кластеров в совокупной популяции;

– показано, что в начальный период распространения АЧС на территории РФ основным дви-

жущим фактором эпизоотии явился антропогенный фактор; популяция дикого кабана не может рассматриваться как основной источник распространения заболевания;

– выявлена существенная положительная корреляция количества вспышек среди домашних свиней с протяженностью автомобильных дорог, суммарным свинопоголовьем и количеством населенных пунктов сельского типа внутри кластера; количество вспышек среди диких кабанов обнаруживает очень сильную корреляцию с площадью лесного покрытия внутри кластера.

В дальнейшем предполагается построение математической регрессионной модели, позволяющей описать полученные зависимости с достаточной точностью. Такая модель могла бы быть использована для прогнозирования возможного количества вспышек заболевания в случае его заноса в новые регионы, а также для моделирования влияния принимаемых мер контроля заболевания на эпизоотическую ситуацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Дудников С.А., Саввин А.В., Петрова О.Н., Бардина Н.С., Коренной Ф.И., Азаев Г.Х., Оздемиров Р.А. Обеспечение благополучия популяции дикого кабана по африканской чуме свиней. Наглядное пособие // 2013. Владимир, ФГБУ «ВНИИЗЖ». Доступна на сайте: http://www.arriah.ru/sites/default/files/private/books/obespechenie-blagopoluchiya-populyatsii-dikikh-kabanov-po-afrikanskoi-chume-svinei-2013/obespechenie_blagopoluchiya_populyatsii_dikih_kabanov_po_afrikanskoy_chume_sviney.pdf
- Клиновицкая И.М., Гуленкин В.М., Караулов А.К. Оценка экономических потерь при ликвидации африканской чумы свиней в регионах РФ в 2015 г. // БИО. 2016. Т. 10(193). С. 24–30.
- Малоголовкин А.С., Гогин А.Е., Колбасов Д.В. Российский сценарий африканской чумы свиней // Farm Animals. 2015. № 2. С. 56–63.
- Правила по борьбе с африканской чумой свиней. Утверждены приказом МСХ РФ № 213, 2016. Доступны на сайте: <http://mcx.ru/ministry/departments/departament-veterinari/industry-information/pravila-po-borbe-s-afrikanskoy-chumoy-sviny/>
- ФАО. Африканская чума свиней в Российской Федерации (2007–2012 гг.) // ФАО Животноводство и охрана здоровья животных. 2014. Документ № 178. Рим. Доступно на сайте: <http://www.fao.org/3/a-i3748r.pdf>
- FAO. African swine fever in the Russian Federation: risk factors for Europe and beyond // 2013. Vol. 28. Доступна на сайте: <http://www.fao.org/docrep/018/aq240e/aq240e.pdf>
- Iglesias I., Munoz M.J., Montes F., Perez A., Gogin A., Kolbasov D., de la Torre A. Reproductive ratio for the local spread of African swine fever in wild boars in the Russian Federation // Transboundary and Emerging Diseases. 2016. V. 63(6). P. e237–e245.
- Iglesias I., Rodriguez A., Feliziani F., Rolesu S., de la Torre A. Spatio-temporal analysis of african swine fever in Sardinia (2012–2014): Trends in Domestic Pigs and Wild Boar // Transboundary and Emerging Diseases. 2017. V. 64. P. 656–662.
- Korennoy F.I., Gulenkin V.M., Malone J.B., Mores C.N., Dudnikov S.A., Stevenson M.A. Spatio-temporal modeling of the African swine fever epidemic in the Russian Federation, 2007–2012 // Spatial and Spatio-temporal Epidemiology. 2014. V. 11. P. 135–141.
- Kulldorff M., Heffernan R., Hartman J., Assuncao R.M., Mostashari F. A space-time permutation scan statistic for the early detection of disease outbreaks // PLoS Medicine. 2005. V. 2. P. 216–224.
- Kulldorff M. Information Management Services, Inc. SaTScan™ v8.0: Software for the spatial and space-time scan statistics. [www.satscan.org], 2009.
- Oganessian A.S., Petrova O.N., Korennoy F.I., Bardina N.S., Gogin A.E., Dudnikov S.A. African swine fever in the Russian Federation: spatio-temporal analysis and epidemiological overview // Virus Research. 2013. V. 173(1). P. 204–211.
- Vergne T., Gogin A., Pfeiffer D.U. Statistical Exploration of Local Transmission Routes for African Swine Fever in Pigs in the Russian Federation, 2007–2014 // Transboundary and Emerging Diseases. 2017. V. 64(2). P. 504–512.
- Vergne T., Korennoy F., Combelles L., Gogin A., Pfeiffer D.U. Modelling African swine fever presence and reported abundance in the Russian Federation using national surveillance data from 2007 to 2014 // Spatial and Spatio-temporal Epidemiology. 2016. V. 19. P. 70–77.

Поступила в редакцию 28.03.2017
Принята к публикации 04.05.2017

S.M. Malkhazova¹, F.I. Korennoy², O.N. Petrova³,
V.M. Gulenkin⁴, A.K. Karaulov⁵

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF THE LOCAL AFRICAN SWINE FEVER SPREAD IN THE RUSSIAN FEDERATION IN 2007–2015

African swine fever (ASF) is a viral disease of domestic and wild pigs, which since its first recording in 2007 has been spreading over the territory of the Russian Federation (RF) affecting both pigs at private and large commercial farms, and wild boars. The disease leads to nearly 100% mortality of infected animals and causes huge economic losses to the national pig industry. The study deals with characteristic features of the ASF spread in the RF and the spatio-temporal patterns of local epizootic development. The Kulldorff space-time scan statistics was used as a cluster analysis method. The ASF outbreak spatio-temporal clusters were identified in: 1) domestic pig populations, 2) wild boar populations and 3) the cumulative populations of both. The main quantitative parameters of clusters including the radius, duration and the observed number of outbreaks were obtained. The correlation between the number of outbreaks within each cluster and the geographical factors which supposedly facilitated the disease spread were analyzed.

A total of 17, 9 and 17 statistically significant ASF outbreak clusters were identified in domestic pig, wild boar and cumulative populations respectively. It was concluded that the wild boar population should not be viewed as a primary source of the disease spread in the RF. A strong positive correlation between the observed number of outbreaks in domestic pigs and the total motorway length, total pig population and the number of rural settlements within the clusters was revealed. The number of outbreaks in wild boars and the forest-covered area within the clusters were also found to correlate significantly. The results make it possible to develop a geospatial model for predicting local ASF spread in case of the ASF introduction into disease-free regions.

Key words: African swine fever, cluster analysis, local epizooties, geospatial factors.

REFERENCES

- Dudnikov S.A., Savvin A.V., Petrova O.N., Bardina N.S., Korennoy F.I., Azaev G.H., Ozdemirov R.A. Obespechenie blagopoluchiya populyacii dikogo kabana po afrikanskoj chume svinej. Naglyadnoe posobie [Providing wellbeing of the wild boars population with regard to African swine fever] // 2013. Vladimir, FGBI «ARRIAH». Available at: http://www.arriah.ru/sites/default/files/private/books/obespechenie-blagopoluchiya-populyatsii-dikikh-kabanov-po-afrikanskoi-chume-svinei-2013/obespechenie_blagopoluchiya_populyacii_dikih_kabanov_po_afrikanskoy_chume_sviney.pdf (in Russian).
- Klinovickaya I.M., Gulenkin V.M., Karaulov A.K. Ocenka ekonomicheskikh poter' pri likvidacii afrikanskoj chumy svinej v regionah RF v 2015 [Estimation of economic losses associated with the eradication of African swine fever in the regions of the RF] // BIO. 2016. V. 10(193). P. 24–30 (in Russian).
- Malogolovkin A.S., Gogin A.E., Kolbasov D.V. Rossijskij scenarij afrikanskoj chumy svinej [Russian scenario of the African swine fever] // Farm Animals. 2015. V. 2. P. 56–63.
- FAO. Afrikanskaya chuma svinej v Rossijskoj Federacii (2007–2012) [African swine fever in the Russian Federation (2007–2012)] // FAO Animal husbandry and animal health. 2014. Document № 178. Rome. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i3748r.pdf> (in Russian).
- FAO. African swine fever in the Russian Federation: risk factors for Europe and beyond // 2013. V. 28. Available at: <http://www.fao.org/docrep/018/aq240e/aq240e.pdf>
- Iglesias I., Munoz M.J., Montes F., Perez A., Gogin A., Kolbasov D., de la Torre A. Reproductive ratio for the local spread of African swine fever in wild boars in the Russian Federation // Transboundary and Emerging Diseases. 2016. Vol. 63(6). P. e237–e245.
- Iglesias I., Rodriguez A., Feliziani F., Rolesu S., de la Torre A. Spatio-temporal analysis of african swine fever in Sardinia (2012–2014): Trends in Domestic Pigs and Wild Boar // Transboundary and Emerging Diseases. 2017. V. 64. P. 656–662.
- Korennoy F.I., Gulenkin V.M., Malone J.B., Mores C.N., Dudnikov S.A., Stevenson M.A. Spatio-temporal modeling of the African swine fever epidemic in the Russian Federation, 2007–2012 // Spatial and Spatio-temporal Epidemiology. 2014. V. 11. P. 135–141.
- ¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Head of the Department of Biogeography, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: sveta_geo@mail.ru
- ² FGBI Federal Center for Animal Health (FGBI ARRIAH), Information Analysis Center, Scientific Researcher; e-mail: korennoy@arriah.ru
- ³ FGBI Federal Center for Animal Health (FGBI ARRIAH), Information Analysis Center, Head of the Group for Veterinary Epidemiology of Russia, PhD in Biology; e-mail: petrova@arriah.ru
- ⁴ FGBI Federal Center for Animal Health (FGBI ARRIAH), Information Analysis Center, Head of the Group for Mapping and Forecasting, PhD in Biology; e-mail: gulenkin@arriah.ru
- ⁵ FGBI Federal Center for Animal Health (FGBI ARRIAH), Head of the Information Analysis Center, PhD in Veterinary; e-mail: karaulov@arriah.ru

Kulldorff M., Heffernan R., Hartman J., Assuncao R.M., Mostashari F. A space-time permutation scan statistic for the early detection of disease outbreaks // *PLoS Medicine*. 2005. Vol. 2. P. 216–224.

Kulldorff M. Information Management Services, Inc. SaTScan™ v 8.0: Software for the spatial and space-time scan statistics [www.satscan.org], 2009.

Oganesyan A.S., Petrova O.N., Korennoy F.I., Bardina N.S., Gogin A.E., Dudnikov S.A. African swine fever in the Russian Federation: spatio-temporal analysis and epidemiological overview // *Virus Research*. 2013. V. 173(1). P. 204–211.

Pravila po bor'be s afrikanskoj chumoj svinej [Regulations to combat Guidelines African swine fever]. Adopted by the Ministry

Agriculture of the RF, № 213. 2016 // Available at: <http://mcx.ru/ministry/departments/departament-veterinarij/industry-information/pravila-po-borbe-s-afrikanskoy-chumoy-sviny/> (in Russian).

Vergne T., Gogin A., Pfeiffer D.U. Statistical Exploration of Local Transmission Routes for African Swine Fever in Pigs in the Russian Federation, 2007–2014 // *Transboundary and Emerging Diseases*. 2017. V. 64(2). P. 504–512.

Vergne T., Korennoy F., Combelles L., Gogin A., Pfeiffer D.U. Modelling African swine fever presence and reported abundance in the Russian Federation using national surveillance data from 2007 to 2014 // *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*. 2016. V. 19. P. 70–77.

Поступила в редакцию 28.03.2017

Принята к публикации 04.05.2017