

для разработки лечебно-профилактических мероприятий в молочном скотоводстве.

**Литература.** 1. Белоглазова, Н. Ю. Постановка диагноза методом проведения гистологического исследования / Н. Ю. Белоглазова, Е. Ю. Меркулова // Научный журнал молодых ученых. – 2015. – № 1 (4). – С. 15-18. 2. Морфологические изменения печени при жировой дистрофии различной этиологии / Т. В. Брус, С. С. Пюрвеев, А. В. Васильева [и др.] // Российские биомедицинские исследования. – 2021. – № 3. – С. 22-28. 3. Гистология. Клиническая и экспериментальная морфология: сборник трудов восьмой научно-практической конференции студентов и молодых ученых с международным участием, посвященной памяти доктора медицинских наук, профессора кафедры гистологии, эмбриологии и цитологии Абдуллина Тимерьяна Габдрахмановича, Киров, 15–18 ноября 2022 года / под ред. М. П. Разина. – Киров : Кировский государственный медицинский университет, 2023. – 101 с. 4. Грицын, А. А. Жировая дистрофия печени у молочных коров : учебное пособие / А. А. Грицын. – Персиановский : Донской государственный аграрный университет, 2017. – 26 с. 5. Предродовая и послеродовая дистрофия печени у высокопродуктивных молочных коров / Е. В. Душкин, Т. Н. Дерезина, Н. Ф. Фирсов, А. П. Зеленков // Ветеринарная патология. – 2014. – № 3–4. – С. 44–48. 6. Лукашик, Г. В. Клинико-патоморфологические изменения при гепатозе у высокопродуктивных коров / Г. В. Лукашик // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2015. – № 2 (165). – С. 156-162. 7. Антиоксидантный статус при жировой дистрофии печени у бычков / М. И. Рецкий, А. М. Самотин, Г. Н. Блинецова [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2008. – Т. 43, № 4. – С. 106-109. 8. Серова, Е. А. Диагностика заболеваний печени у коров / Е. А. Серова, А. А. Логинова // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам : материалы конференции, Вологда, 03 апреля 2025 года. – Вологда : Вологодская ГМХА, 2025. – С. 128-133. 9. Султанова, Э. Э. Биопсия как прижизненный метод исследования печени с диагностической целью в ветеринарной практике / Э. Э. Султанова, Э. Р. Исмаилова // Студенческий научный форум : материалы VII Международной студенческой научной конференции. – Москва : РАЕ, 2015. – С. 245-248. 10. Хорьков, С. С. Профилактика нарушения обмена веществ у крупного рогатого скота / С. С. Хорьков, Е. Н. Балдина // Ветеринарный врач. – 2003. – № 1 (13). – С. 32-33.

УДК 619:616-036.22:001.891.57:616.98:578.832.1:598.2

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВСПЫШЕК ЭМЕРДЖЕНТНЫХ БОЛЕЗНЕЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНТРОПИИ НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИТУАЦИИ С ГРИППОМ ПТИЦ ПОДТИПОВ H5 И H7**

**Щербинин С.В., Варвашенко Д.В.**

ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных»,  
г. Владимир, Российская Федерация

*Метод прогнозирования эпизоотической ситуации по эмерджентным болезням животных реализуется с помощью моделирования точек*

присутствия болезни на определенной территории с известными факторами окружающей среды. Обучившись на известных данных, модель воспроизводит алгоритм, сравнивая факторы, на которых произошло обучение с факторами исследуемой территории. Данный подход с высокими показателями достоверности позволил определить зоны с высоким риском возникновения вспышек гриппа птиц подтипов H5 и H7 на территории России. **Ключевые слова:** прогнозирование, моделирование, максимум энтропии, грипп птиц.

## **FORECASTING OF EMERGENT DISEASE OUTBREAKS USING THE MAXIMUM ENTROPY METHOD ON THE EXAMPLE OF MODELING THE SITUATION OF THE AVIAN INFLUENZA OF SUBTYPES H5 AND H7**

**Shcherbinin S.V., Varvashenko D.V.**

Federal Centre for Animal Health, Vladimir, Russian Federation

*The method of forecasting the epizootic situation for emerging animal diseases is implemented by modeling the points of disease presence in a certain territory with known environmental factors. Having trained on known data, the model reproduces the algorithm, comparing the factors on which the training took place with the factors of the studied territory. This approach with high reliability indicators made it possible to determine zones with a high risk of outbreaks of avian influenza of subtypes H5 and H7 in Russia. **Keywords:** forecasting, modeling, maximum entropy, avian influenza.*

**Введение.** Прогнозирование неблагоприятных событий интересовало человечество еще с древнейших времен. В донаучный период возникали приметы, суеверия, а с развитием промышленности и науки прогнозирование стало неотъемлемой частью отраслей науки и технологий, где необходима точность. Также с ростом населения и городов, в разы повысилась потребность в производстве качественного белка животного и растительного происхождения. Эти изменения потребовали от ветеринарной науки развития технической ее стороны. Ветеринарная эпизоотология, получив новые данные и сформировав новые постулаты стала подразделяться на количественную, аналитическую, доказательную и т. д. Открытие и внедрение новых методов исследования в эпизоотологии и обусловили нынешнее состояние науки, отличающееся более точными и научно-обоснованными результатами и подходами. Точные прогнозные данные по особо опасным и эмерджентным болезням позволяют сформировать набор мероприятий, способствующих быстрому и эффективному предупреждению заноса и распространения инфекционных агентов в популяции животных. В ином случае, прогноз способен указать на ключевые факторы развивающейся эпизоотии, для эффективного купирования очагов и предотвращения колоссальных экономического и биологического ущерба. На сегодняшний день разработано несколько методов, способных смоделировать эпизоотическую ситуацию и предсказать вероятность новых вспышек и/или указать регионы риска обнаружения новых вспышек. Одним из перспективных методов является моделирование экологической ниши с помощью максимума энтропии, которое может быть адаптировано для решения задач прогнозирования [1].

**Материалы и методы исследований.** Прогнозирование строится на количественных данных по вспышкам или случаям инфекционных болезней

животных. Одной из наиболее актуальных для России болезней является грипп птиц (ГП) [2]. Исследование основано на эпизоотической ситуации по ГП подтипов H5 и H7. Метод максимальной энтропии реализуется на сопоставлении точек присутствия («presence»), выраженных в географических координатах вспышек или случаев изучаемой болезни, и факторов окружающей среды (климат, география, население), выраженных в цифровых данных растровых слоев, отображающих распределение фактора на исследуемой территории [5-8]. Сопоставленные точки и факторы подаются в программу MaxEnt, где модель (алгоритмы машинного обучения) выявляет зависимость расположения точек присутствия от представленных факторов окружающей среды, тем самым происходит обучение модели. Чтобы модель была способна лучше различать подходящие факторы от неподходящих и прогнозировать новые точки присутствия (искомые в нашем исследовании), создаются «фоновые точки», которые выступают в роли точек «отсутствия» вспышек или случаев. Обучившись, модель применяет полученные данные на изучаемой территории, но уже без точек присутствия [1, 3]. Прогностическая точность выходных данных модели оценивалась с использованием показателя площади под ROC-кривой (AUC). Значения AUC, превышающие 0.8, считались «отличным показателем», значения  $0.7 < AUC < 0.8$  считались «умеренным показателем», а  $AUC < 0.7$  указывал на отсутствие прогностической способности модели [4]. Далее получали растровый файл со смоделированными данными и визуализировали его с помощью GIS-программ. В первой части исследования нами апробировано применение модели MaxEnt на данных вспышек ГП подтипа H5, поскольку в России регистрировались вспышки данной болезни с 2005 по 2024 год [2]. Во второй части исследования нами применен метод максимальной энтропии на вспышках ГП подтипа H7, которые никогда не регистрировались в России, но регистрировались в приграничных странах [2]. Дикие птицы являются основными резервуарами и переносчиками ГП всех подтипов, поэтому в моделировании рассматривалась вероятность заноса вируса ГП с дикими птицами на территорию России [9, 10]. Значения вероятности были ранжированы от незначительного риска до очень высокого (0-1), где «очень высокий» уровень риска демонстрировал 90-100 % вероятность возникновения вспышек. Также проведено попиксельное сравнение данных прогноза ситуации по ГП подтипа H7 и координат вспышек ГП подтипа H5.

**Результаты исследований.** Модель MaxEnt, обученная на 102 случаях ГП подтипа H5 в дикой фауне, зарегистрированных за указанный период в России [2], и климатогеографических факторах [5, 6, 7], в ходе исследования определила зоны с высоким риском возникновения очагов ГП подтипа H5 ( $p > 0.7$ ). При этом, в эту область попали 94 случая (92%), а в область значения очень высокого риска возникновения очагов ГП ( $p = 0.9-1.0$ ) попали 20 случаев (19%) ГП подтипа H5. Моделирование показало, что значимыми факторами в распространении гриппа птиц являются плотность диких водоплавающих птиц [8], близость к водоемам и высота над уровнем моря [7]. Прогностическая точность данной модели составила  $AUC = 0,85$ , что демонстрирует отличную способность модели предсказывать искомый параметр (новые очаги). Модель, обученная на 161 случае ГП подтипа H7, зарегистрированных среди диких птиц в указанный период за пределами Российской Федерации [2], и климатогеографических факторах [5, 6, 7], в ходе исследования позволила определить зоны с высоким риском возникновения очагов ГП подтипа H7 в России. Моделирование показало, что значимыми

факторами в распространении гриппа птиц являются плотность диких водоплавающих птиц [8] и коэффициент человеческого вклада в природу [6]. Прогностическая точность данной модели составила  $AUC = 0,882$ , что демонстрирует отличную способность модели предсказывать возникновение и распространение гриппа птиц на благополучной территории. При попиксельном сравнении координат случаев ГП подтипа H5 в России и данных прогноза по ситуации с ГП подтипа H7 определено, что в зоны с высоким и очень высоким уровнем риска ( $p=0.7-1.0$ ) попали 5 случаев (4,9%), 7 случаев (6,8%) – попали в зону без значений прогноза, а 90 случаев попали в зоны с низким и незначительным уровнем риска ( $p=0.1-0.5$ ).

**Заключение.** Моделирование экологических ниш методом максимальной энтропии показало высокую степень достоверности для применения метода в прогнозировании эпизоотической ситуации. При этом самыми значимыми факторами в распространении гриппа птиц явились плотность диких мигрирующих птиц, коэффициент человеческого влияния на природу, а также близость к водным объектам.

Исследование показало неприемлемость использования данных о вспышках одного подтипа вируса ГП для прогнозирования ситуации по другому подтипу.

**Литература.** 1. Как работает прогнозирование MaxEnt : [сайт]. – URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/how-presence-only-prediction-works.htm> - (дата обращения: 17.08.2025). 2. World Animal Health Information System (WAHIS Interface) : [сайт]. – URL: <https://wahis.oie.int/> (дата обращения 21.08.2025). 3. Phillips, S. J. Maximum Entropy Modeling of Species Geographic Distributions / S. J. Phillips // Ecol. Modell. - 2006. – P. 231–259. 4. Environmental Suitability of Kazakhstan to Highly Pathogenic Avian Influenza Using Data on Eurasian Outbreaks 2020-2024 / A. Z. Abenova, Y. Y. Mukhanbetkaliyev, A. S. Kadyrov [et al.] // Viruses. - 2025. – P. 574. 5. Fick, S. E. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas / S. E. Fick // International Journal of Climatology. - 2017. – P. 4302-4315. 6. Managing the middle: A shift in conservation priorities based on the global human modification gradient / C. M. Kennedy, J. R. Oakleaf, D. M. Theobald [et al.] // Glob Change Biol. - 2019. - P. 811–826. 7. Mapping the world's inland waters: an update to the Global Lakes and Wetlands Database (GLWD v2) / B. Lehner, M. Anand, E. Fluet-Chouinard [et al.]. : [сайт]. – URL: <https://www.hydrosheds.org/products/glwd> (дата обращения 21.08.2025). 8. eBird – глобальный фонд биоразнообразия птиц : [сайт]. – URL: <https://ebird.org/> (дата обращения 19.08.2025). 9. Львов, Д. К. Миграции птиц и перенос возбудителей инфекций / Д. К. Львов. – Москва : Наука, 1979. - 270 с. 10. Пугачев, О. Н. Природный резервуар вирусов гриппа А / О. Н. Пугачев // Междунар. вестник ветеринарии. - 2008. - № 2. - С. 12-17.