

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований № 20-04-00587.

Керчев И. А., Кривец С. А., Бусирова Э. М., Смирнов Н. А. Распространение союзного короеда *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872) в Западной Сибири // Российский журнал биологических инвазий. 2021. № 4. С. 77–84.

Linnakoski R., Jankowiak R., Villari C., Kirisits T., Solheim H., de Beer Z. W., Wingfield M. J. The *Ophiostoma clavatum* species complex: a newly defined group in the *Ophiostomatales* including three novel taxa // Antonie van Leeuwenhoek. 2016. N. 109. P. 987–1018.

Økland B., Flø D., Schroeder M., Zach P., Cocos D., Martikainen P., Siitonen J., Mandelshtam M. Y., Musolin D. L., Neuvonen S., Vakula J., Nikolov C., Lindelöw Å., Voolma K. Range expansion of the small spruce bark beetle *Ips amitinus*: a newcomer in northern Europe // Agricultural and Forest Entomology. 2019. V. 21, N. 3. P. 286–298.

Repe A., de Groot M., Jurc M. Assemblages of ophiostomatoid fungi vectored by *Ips amitinus* (Coleoptera: Scolytinae) on Norway spruce depend on colonization time, position on the host tree and development stage // Šumarski list. 2018. N. 3–4. P. 171–178.

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ГРАНИЦ НЕОАРЕАЛОВ ИНВАЗИВНЫХ ФИТОПАТОГЕНОВ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Пинчук А. Г., Звягинцев В. Б.

Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Беларусь,
anna.pinchuk.99@mail.ru, mycolog@tut.by

В последние десятилетия на территорию Беларуси проникло значительное количество ранее не встречающихся в республике фитопатогенных организмов, ставших причиной распространения опасных заболеваний древесных пород, например, суховершинности ясеня, шютте хвойных, ржавчины и фитофтороза ольхи (Звягинцев, 2015; Звягинцев и др., 2017).

Проблема расширения ареалов инвайдеров имеет целый ряд негативных последствий экологического, экономического и социального характера. По заключениям международных экспертов, ускоряющееся перемещение чужеродных видов в глобальном масштабе являются второй по значимости (после антропогенного загрязнения среды) причиной вымирания аборигенных видов (Семенченко, Пугачевский, 2006).

Изучение инвазий позволяет определить механизм распространения живых организмов за пределами естественных ареалов, оценить скорость, направление и границы их распространения. Поскольку риск появления инвазивного организма связан с размером ареала, важным вопросом экологии и природоохранной биологии является разработка методики прогнозирования и управление инвазивными видами, что относится к приоритетным направлениям современных биологических исследований (Dalke et al., 2015).

Таким образом, целью работы является моделирование потенциального географического ареала видов фитопатогенных организмов на основе геоинформационных данных о известных местонахождениях вида с экологическими характеристиками этих местоположений.

Для достижения цели мы использовали моделирование, основанное на принципе максимальной энтропии (MaxEnt). Среди моделей экологических ниш (ENM) алгоритм машинного обучения MaxEnt широко распространен, используется в моделировании пригодности местообитаний из-за его точных возможностей прогнозирования и дополнительных описательных свойств (Steven et al., 2006). С целью отработки параметров модели были отобраны 2 группы видов фитопатогенов из карантинного списка ЕАЭС – виды уже выявленные на территории Беларуси (*Hymenoscyphus fraxineus* Baral et al., *Phytophthora alni* Brasier, Kirk) и виды потенциально способные к проникновению (*Bursaphelenchus xylophilus* Steiner, Buhner, *Phytophthora ramorum* Werres et al., *Melampsora medusae* Thüm.).

Модели вероятностного ареала строились на основании данных о распространении наиболее важных инвазивных фитопатогенов, места находок которых были взяты с интернет-ресурсов: Глобальная информационная система о биоразнообразии (GBIF), а также Европейско-средиземноморская организация по защите растений (EPPO) (Global Biodiversity, 2021; European and Mediterranean, 2022) и, по некоторым видам, дополнены нашими собственными наблюдениями. Помимо координат точек присутствия вида, для анализа распределения были использованы климатические данные и данные о рельефе из открытого ресурса глобальной климатической базы (WorldClim), почвенные факторы (ISRIC SoilGrids), а также информация о растительном покрове региона с использованием данных Европейского космического агентства (GlobCover) (Global Climate Data, 2021; ISRIC SoilGrids, 2022; GlobCover land Cover Maps, 2022).

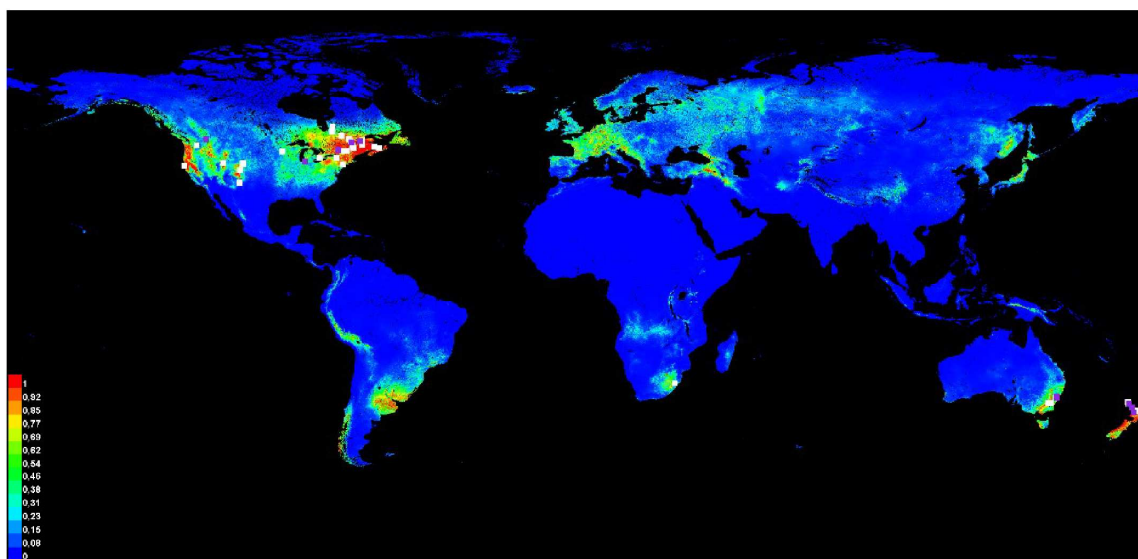


Рисунок – Пример потенциального неоареала фитопатогенного гриба *Melampsora medusae*, смоделированный в среде MaxEnt

Все слои окружающей среды были преобразованы к одному размеру и разрешению. Чтобы удалить сильно коррелированные переменные из анализа, мы использовали коэффициент корреляции Пирсона в программе QGIS Desktop (версия 3.18.0) с пересчетом в Excel. Используя MaxEnt, мы определили приоритетные ландшафты для изучаемых видов в районе исследования. Пример карты потенциального распространения для возбудителя ржавчины листьев тополя *M. medusae* (рисунок) довольно точно показывает распространённость инвайдера в нативном (Северная Америка) и вторичных ареалах. Модель допускает вероятность проникновения вида в Восточную Европу включая территорию Беларуси. Используя различные сценарии изменения климата с помощью среды MaxEnt можно выяснить, каким образом будет трансформироваться во времени вероятность изменения ареала вида в определенных регионах.

На основе проведённых математических проверок и визуальной оценки полученного картографического материала сделан вывод, что используемый метод компьютерного моделирования имеет хорошую точность, что также подтверждается литературными данными и нашими собственными исследованиями распространённости изучаемых инвайдеров, перспективен для решения задач в области отслеживания ареалов инвазивных фитопатогенов. Модель с предлагаемыми предикторами может быть использована государственными органами и лесопользователями для конкретизации объектов фитопатологического мониторинга и карантина растений.

Звягинцев В. Б. Глобализация проблем лесной фитопатологии // Проблемы лесной фитопатологии и микологии: материалы 9-й Международной конференции / под ред. В. Г. Стороженко, В. Б. Звягинцева. Минск: БГТУ, 2015. С. 89–90.

Звягинцев В. Б., Беломесяцева Д. Б., Шабашова Т. Г., Марковская С. И. *Melampsorium hiratsukanum* – новый инвазивный возбудитель ржавчины ольхи и лиственницы в Беларуси // Ботаника (исследования). Вып. 46. Минск, 2017. С. 169–173.

Семенченко В., Пугачевский А. Проблема чужеродных видов в фауне и флоре Беларуси // Наука и инновации. 2006. № 10 (44).

Dalke I. V., Chadin I. F., Zakhochiy I. G., Malyshev R. V., Maslova S. P., Tabalenkova G. N., Golovko T. K. Traits of *Heraclium sosnowskyi* plants in monostand on invaded area // PLoS ONE. 2015. Vol. 10 (11): e0142833.

Phillips S. J., Anderson R. P., Schapire R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions // Ecological Modelling. 2006. Vol. 190. P. 231–259.

Global Biodiversity Information Facility – URL: <https://www.gbif.org/ru/occurrence/search> (дата обращения 2021-11-03).

European and Mediterranean Plant Protection Organization – URL: <https://gd.eppo.int/taxon/PHYTRA/distribution> (дата обращения 2022-01-21).

Global Climate Data – URL: <http://worldclim.org/> (дата обращения 2021-11-04).

ISRIC SoilGrids – URL: <https://data.isric.org/geonetwork/srv/rus/catalog.search#/metadata/20f6245e-40bc-4ade-aff3-a87d3e4fcc26> (дата обращения 2022-01-21).

GlobCover land Cover Maps – URL: http://due.esrin.esa.int/page_globcover.php (дата обращения 2022-01-21).