

Для стабилизации лесопатологического состояния еловых насаждений и удержания численности короеда на контролируемом уровне в 2023 году в рамках плана основных лесозащитных работ на 2023 год и поэтапного алгоритма, разработанного Учреждением «БЕЛЛЕСОЗАЩИТА» в еловых насаждениях запланированы и реализовываются следующие лесозащитные мероприятия:

- феромонный надзор за короедом-типографом на площади 38 500 га;
- борьба с короедом-типографом методом отлова с применением 1330 ловушек;
- выкладка ловчей древесины в объеме 693,5 м³;
- техническая учеба (на конкретных объектах в лесу) с должностными лицами государственной лесной охраны лесничеств по выявлению деревьев ели, заселенных стволовыми вредителями;
- еженедельное текущее лесопатологическое обследование еловых насаждений;
- экспедиционное лесопатологическое обследование в Верхнедвинском, Глубокском опытном, Дисненском, Полоцком, Поставском, Новогрудском, Сморгонском опытном лесхозах;
- сплошные и выборочные санитарные рубки с акцентом на выборку заселенных стволовыми вредителями деревьев, уборка захламленности;
- для предотвращения нарушения ослабленных еловых насаждений рубками леса и привлечения в них стволовых вредителей введен запрет на проведение проходных рубок в еловых насаждениях до стабилизации их лесопатологического состояния.

Реализация указанного комплекса мероприятий позволит минимизировать последствия неблагоприятных погодных условий и связанного с ними формирования очагов стволовых вредителей в еловых насаждениях.

Звягинцев В.Б.¹, Беломесяцева Д.Б.², Волошина Е.Р.³, Пинчук А.Г.¹, Телеш А.Д.¹

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ НЕОАРЕАЛОВ ФИТОПАТОГЕНОВ КАК СОВРЕМЕННАЯ ОСНОВА ПРОГНОЗА И СДЕРЖИВАНИЯ ИНВАЗИЙ

¹ УО «Белорусский государственный технологический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь, tusolog@tut.by;

² ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича Национальной академии наук
Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь, dasha_belom@yahoo.com;

³ ГПУ «Национальный парк «Браславские озера», г. Браслав, Республика Беларусь, voloshinaer@tut.by

*Modeling in Maxent showed the possibility of predicting the development of secondary habitats of harmful organisms in the example of *Phytophthora alni*, a phytopathogenic oomycete quarantined for the countries of the EEU. The suitability of the conditions of Belarus for the development of the pathogen was revealed, which made it possible to conduct local forest pathological examinations and identify symptoms of alder late blight in various forest conditions of the country.*

Ускоряющиеся изменения климата и антропогенная трансформация природной среды открывают все больше возможностей для перемещения чужеродных патогенных организмов на новые территории. Сейчас известны примеры многих разрушительных инвазий, негативные последствия которых можно было минимизировать или даже предотвратить, располагая точными прогнозными данными. Целью настоящей работы является оценка возможности использования компьютерного моделирования,

основанного на принципе максимальной энтропии для прогнозирования потенциального географического ареала видов фитопатогенов в текущих условиях и в будущем при различных сценариях изменения климата.

В качестве объекта моделирования был выбран опасный возбудитель фитофтороза ольхи оомицет *Phytophthora alni* Brasier et S.A. Kirk, внесенный в Единый перечень карантинных объектов Евразийского экономического союза (в ред. от 25.01.2023) как вредный организм, отсутствующий на территории Евразийского экономического союза.

Для моделирования использовался программный пакет Maxent, набирающий все большую популярность при проведении экологических исследований благодаря хорошему прогностическому эффекту, стабильности, простоте использования и скорости работы. Алгоритмы программы с использованием ГИС-технологий позволяют строить модель прогнозирования на основе переменных окружающей среды фактических точек распространения. Результатами прогнозирования является тематическая карта, отражающая пригодность территорий для распространения видов, и оценка значимости каждой климатической переменной для распространения видов.

Точки встречаемости *P. alni* были взяты с интернет-ресурсов GBIF, EPPO и дополнены нашими собственными наблюдениями. Для анализа были использованы климатические данные и данные о рельефе (WorldClim), почвенные факторы (ISRIC SoilGrids), а также информация о растительном покрове региона (GlobCover). Корреляционный анализ 19 биоклиматических переменных был выполнен с использованием QGIS и MS Excel для устранения многомерной коллинеарности. Для анализа были отобраны биоклиматические переменные, показавшие в расчетах Maxent коэффициент вклада больше нуля. Наиболее значимые переменные среды были использованы для дальнейшего моделирования.

Путем подбора предикторов и оптимальных настроек программы, удалось получить достаточно точную прорисовку ареала *P. alni* для конкретного региона в виде карты заданного масштаба с потенциальным ареалом исследуемого вида. Карта раскрашена по шкале вероятности развития вида в конкретных условиях, выраженной от 0 до 1 (рисунок). В текущих климатических условиях модель MaxEnt допускает возможность проникновения *P. alni* в Восточную Европу, включая территорию Беларуси, и далее в азиатские регионы континента.

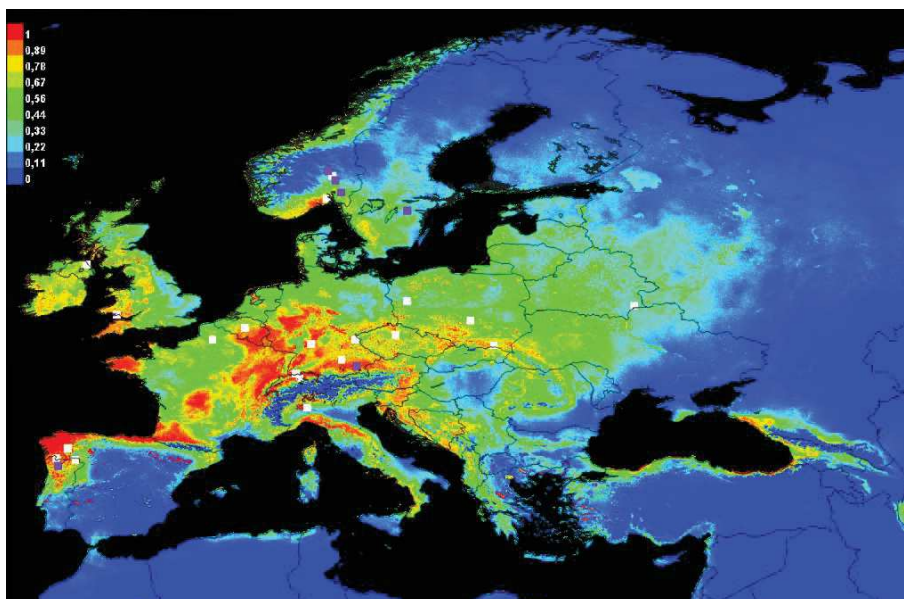


Рисунок – Прогнозируемый ареал *Phytophthora alni*, построенный в среде Maxent

Пространственное моделирование ареала *P. alni*, показывает пригодность условий Беларуси для развития вредного организма с коэффициентами вероятности от 0,22 до 0,78. Моделирование потенциального распространения *P. alni* в изменяющихся условиях окружающей среды показало, что при различных климатических сценариях рассматриваемый вид будет мигрировать в сторону больших высот и широт. В целом для Европы территория пригодная для натурализации и потенциального распространения инвайдера будет сокращаться. Это можно связать с продолжающимся увеличением аридности климата и опустыниванием южных регионов субконтинента. В то же время на территории Беларуси при «оптимистичном» и «пессимистичном» сценариях изменения климата среда обитания будет изменяться в направлении большей пригодности для *P. alni*.

В насаждениях Беларуси естественным образом произрастают две породы-хозяина *P. alni*: ольха черная (*Alnus glutinosa*) и ольха серая (*Alnus incana*), насаждения которых занимают соответственно около 9% и 2% лесопокрытой площади. Площадь ольшаников составляет более 900 тыс. га с запасом древесины 180 млн м³. Ольховые леса занимают в основном пониженные элементы рельефа, часто вдоль водоемов и водотоков, где высока вероятность распространения оомицета *P. alni*. Выборочные лесопатологические обследования ольховых насаждений позволили выявить симптомы фитофтороза на территории охранной зоны Национального парка «Браславские озера», Осиповичского опытного лесхоза, Столинского лесхоза. В большинстве очагов болезнь проявлялась на отдельных деревьях 2–5 категорий санитарного состояния. В локалитетах на юге и в центральной части республики встречаемость можно охарактеризовать как единичную. Находки располагались в различной удаленности от водоемов и водотоков, что ставит под сомнение исключительно гидрохорный способ распространения возбудителя болезни. У пораженных растений ольхи наблюдается дефолиация, листья становятся мелкими и преждевременно опадают. Часто отмечается суховершинность. В нижней части стволов (до высоты 2–3 метров) образуются черные или темно-рыжие мокрые пятна (водянка). На поверхности некротизированной коры периодически отмечается выделение темного экссудата.

По данным ЕРРО *P. alni* выявлена в странах, граничащих с Республикой Беларусь. В Польше данный карантинный патоген фиксируется с 2002 г., в Литве с 2008 г., в Латвии с 2015 г., поэтому возможны множественные пути трансграничного проникновения патогена на территорию Беларуси, как с юго-запада, так и с севера страны.

В соответствии с положениями ратифицированной Республикой Беларусь Международной конвенции по карантину и защите растений в связи с выявлением вредного организма требуется проведение анализа фитосанитарного риска и разработка мер ликвидации очагов. Предварительная оценка позволяет прогнозировать значительный потенциальный ущерб лесному хозяйству страны и существенные экологические последствия при дальнейшем распространении.

Таким образом, на примере *P. alni* показано, что компьютерное моделирование в среде Maxent является удобным и перспективным инструментом для решения задач прогнозирования развития вторичных ареалов карантинных вредных организмов в существующих условиях окружающей среды и при различных сценариях климатических изменений. Построенные прогнозы необходимы для качественного проведения анализа фитосанитарных рисков, разработки комплекса эффективных карантинных мер, организации оперативного мониторинга очагов карантинных объектов в лесном фонде страны.