

Особенности географического распространения редкого вида грибов *Picipes rhizophilus* (Basidiomycota) в условиях меняющегося климата

В. А. ВЛАСЕНКО

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН
630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101
E-mail: vlasenkomyces@mail.ru

Статья поступила 18.01.2023

После доработки 01.02.2023

Принята к печати 15.02.2023

АННОТАЦИЯ

Способность определять пространственное распределение редких видов грибов имеет решающее значение для понимания факторов окружающей среды, влияющих на них. Моделирование пространственного распределения методом максимальной энтропии (MaxEnt) решает эту проблему, позволяя сделать выводы о распределении видов в градиенте факторов окружающей среды на основе данных о встречаемости. Для выявления закономерностей пространственного распределения на основе объективных данных созданы модели потенциального географического распространения редкого вида полипороидных грибов *Picipes rhizophilus* в текущих условиях (~1950–2000 гг.) и при прогнозируемых изменениях будущего климата (2100 г. н. э.) в мировом масштабе. Вид *Picipes rhizophilus* может развиваться в степных местообитаниях как равнинных, так и горных территорий. Большинство известных местообитаний вида представлено в экорегионах, входящих в состав следующих биомов: Луга, саванны и кустарники умеренного пояса, Средиземноморские леса, редколесья и кустарники, Пустыни и ксерические кустарники. С лесными биомами вид не ассоциирован, но он может быть представлен в находящихся на их территории местообитаниях, подверженных процессам аридизации климата и опустынивания. Моделирование потенциального распространения вида при выбранном климатическом сценарии показало динамику изменения его ареала. Область благоприятного для вида климата увеличится на Североамериканском континенте, в то время как в Европе и на прилегающих к ней территориях Африки существенных изменений не произойдет. В наиболее благоприятной для вида территории, находящейся в бассейне реки Западный Маньчжун, условия станут менее благоприятными. В Азии произойдет локальное смещение областей потенциального распространения.

Ключевые слова: аридные регионы, биогеография, биоклиматическое моделирование, грибы, закономерности распространения, экология, MAXENT, редкие виды, SDM.

ВВЕДЕНИЕ

Распространение грибов, растений и других видов претерпевает быстрые изменения в связи с модификацией среды обитания и изменением климата. Это приводит к озабоченности по поводу сохранения исчезающих

видов и поднимает экологические вопросы о процессах, которые оказывают влияние на ареалы и ниши видов. Следовательно, модели потенциального распределения, которые сопоставляют данные о видах с образцами абиотических переменных окружающей среды, ста-

ли общепризнанным инструментом в экологии и охране природы [Segurado, Araújo, 2004; Guisan, Thuiller, 2005; Chapman, Purse, 2011].

Модели распространения видов (SDM) составляют наиболее распространенный класс моделей экологии и сохранения биоразнообразия. Новые пакеты программного обеспечения и растущая доступность цифровых ГИС значительно облегчили использование SDM [Zurell et al., 2020]. SDM представляют собой эмпирические модели, связывающие полевые наблюдения с предикторами окружающей среды на основе статистически или теоретически полученных поверхностей отклика [Guisan, Zimmermann, 2000].

MaxEnt – один из наиболее часто используемых методов для определения распределения видов и экологических допусков на основе данных о встречаемости [Phillips, Dudík, 2008]. MaxEnt использует принцип максимальной энтропии, основанный на данных только о присутствии, для оценки набора функций, которые связывают переменные окружающей среды и пригодность среды обитания для аппроксимации видовой ниши и потенциального географического распространения [Phillips et al., 2006]. Моделирование MaxEnt в последнее время стало активно использоваться для грибов. Например, он используется для определения пространственного распределения экономически значимых видов грибов, чтобы понять факторы окружающей среды, которые на них влияют, а также для редких видов для управления их сохранением [Yuan et al., 2015; Guo et al., 2017; Pietras et al., 2018].

В России моделирование потенциального распространения грибов методом MaxEnt, за исключением наших работ, ранее не проводилось, при этом широко представлены работы по растениям [Санданов, Найданов, 2015; Sandanov, Pisarenko, 2018].

Вид полипороидных базидиальных грибов *Picipes rhizophilus* (Pat.) J. L. Zhou & B. K. Cui описан из Алжира в 1894 г. В России вид встречается в степных сообществах субаридных регионов на корнях растений из семейства злаковых, в основном на *Stipa* spp. В связи с экологическими особенностями вида, разрушением природных местообитаний, распашкой степей и выпасом скота этот вид находится под угрозой исчезновения. Вид *Picipes rhizophilus* включен в список таксонов Крас-

ной книги Российской Федерации как нуждающийся в особом внимании к состоянию в природной среде и мониторингу. Он также включен в ряд региональных Красных книг. Также *Picipes rhizophilus* включен в список The IUCN Red List of Threatened Species как вид, имеющий статус VU – уязвимый.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Изучены материалы Гербария им. М. Г. Попова (NSK), Новосибирск, и Гербария Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН (LE). Также были использованы локалитеты из Глобальной базы данных о биоразнообразии [GBIF, 2023]. Мы использовали записи, поддерживаемые только конкретными географическими координатами. Всего включено данных о 43 местонахождениях *Picipes rhizophilus* в мировом масштабе.

Для картографирования и анализа географических данных (интернет-источник 1) использовалась компьютерная программа DIVA-GIS [Hijmans et al., 2023]. Загружались данные о рельефе и высотах, а также глобальные данные о текущем (~1950–2000 лет) и будущем (климатические условия 2×CO₂, модель CCSM3, 2100 г. н. э.) климате (интернет-источник 2 и 3), источник Worldclim, версия 1.3, использовались глобальные границы страны WGS84 (интернет-источник 4), а также данные о наземных экорегионах мира [Olson et al., 2001], из интернет-источников 5 и 6. Границы биомов уточнены с использованием интернет-источника 7. Разрешение всех 19 экологических слоев Bioclim (BIO1–BIO19) максимальное [Hijmans et al., 2005].

Для моделирования пригодности местообитаний видов использовали MaxEnt [Phillips, Dudík, 2008], программы DIVA-GIS и MaxEnt в соответствии с рекомендациями руководства по пространственному анализу разнообразия и распространения растений [Scheldeman, Zonneveld, 2010]. Методика работы подробно описана в нашей недавней публикации [Vlasenko et al., 2021].

Статистически модели MaxEnt для текущего и будущего климата, которые мы получили, имеют высокий уровень достоверности – AUC = 0,974 и 0,970 соответственно. Для оценки моделей применялась тестовая выборка, включающая 25 % всех точек при-

сутствия. Значения AUC для тестовых данных составили 0,967 и 0,962 соответственно. Все значения AUC попадают в диапазон 0,9–1,0, что соответствует отличной дискриминации [Scheldeman, Zonneveld, 2010]. Пороговые значения для вида, сгенерированные MaxEnt при 10%-м обучающем пороге присутствия, составляют 0,071 и 0,074 для текущего и будущего климата соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Область распространения *Picipes rhizophilus* проходит в широтном направлении через Северную Америку, север Африки и Евразию. Большинство известных точек присутствия расположено между 37-й и 49-й параллелями в Северной Америке и между 45-й и 55-й параллелями в Евразии.

Анализ распространения вида по отношению к формам рельефа не показал какой-либо связи географического распределения и высоты над уровнем моря. В Северной Америке вид встречается как на возвышенностях, так и в низко- и среднегорье, одна точка отмечена в высокогорье. В Европе, Азии и Африке вид встречается как в низменностях и на возвышенностях на равнине, так и в низко- и среднегорьях в горах.

Вклад биоклиматических переменных с помощью MaxEnt для современного климата для видов BIO 1 (36,7), BIO 10 (16,9), BIO 5 (10,3) в процентном отношении имеет наибольшее значение при прямой оценке, а для видов BIO 1 (47,6), BIO 6 (14,1), BIO 5 (12,7) – при перестановке. Для будущего климата для видов BIO 11 (25,4), BIO 5 (16,8), BIO 10 (15,4) наибольшее значение имеют при прямой оценке вклада и BIO 1 (46,8), BIO 5 (18,4), BIO 6 (11,79) – при перестановке. Остальные переменные вносили небольшой вклад (менее 10 %) либо не вносили его вовсе.

Мы смоделировали распространение *Picipes rhizophilus* в условиях текущего климата (рис. 1), в том числе в границах наземных экорегионов (рис. 2).

Моделирование потенциального распространения показало, что области, наиболее благоприятные для вида, расположены вблизи выявленных точек присутствия.

В Северной Америке очень мало областей, пригодных для вида, они расположе-

ны в пределах Великих равнин к востоку от Североамериканских Кордильер. Вероятность присутствия вида здесь составляет от 50–70 до 70–90 %, территорий с вероятностью присутствия вида 90–100 % – незначительно. Несколько локалитетов отмечено в горных регионах в пределах Кордильер. В Африке, Алжире существует лишь узкая полоса подходящих для вида территорий с вероятностью присутствия вида от 50 до 90 %, протянувшаяся вдоль морского побережья на северо-западе континента. Наиболее южная точка присутствия находится на северо-западе Африки (35-я и 36-я параллели), в зоне контакта континента с Европейским материком. В Европе, в зоне контакта с Африкой, на Пиренейском полуострове отмечена довольно большая по площади область, благоприятная для вида, с вероятностью присутствия до 90 %. В Европе локалитеты присутствия вида расположены между 40-й и 55-й параллелями. В Восточной Европе встречаются лишь небольшие беспорядочно разбросанные участки с вероятностью присутствия вида 50–70 %, находящиеся на территориях, подвергшихся антропогенному воздействию и остепнению, на участках вокруг полей и городов. В европейской части России вид встречается в лесостепной и степной зонах на западе – северо-западе от Волго-Ахтубинской поймы. Точки присутствия вида в северной части локального ареала расположены в зоне с вероятностью присутствия вида 50–70 %. Южные точки расположены в зоне с вероятностью присутствия вида 80–90 %. Здесь, на стыке Ставропольского края и Республики Калмыкия, в степях находится наиболее благоприятная область в мире для развития вида с вероятностью присутствия 90–100 % вдоль р. Западный Маныч и сети созданных на ней водохранилищ. От Европы область распространения вида проходит через Азию, где большинство локалитетов присутствия вида расположено между 45-й и 55-й параллелями. От степей Калмыкии до степей Алтайского края наблюдается большая дизъюнкция ареала. При этом проведенный анализ показал, что есть область с вероятностью присутствия вида 50–70 %, которая тянется узкой полосой посреди степной зоны. В степной зоне Алтайского края в районе установленных точек присутствия находится зона с вероятностью присутствия вида 60–70 %. В лесостепной

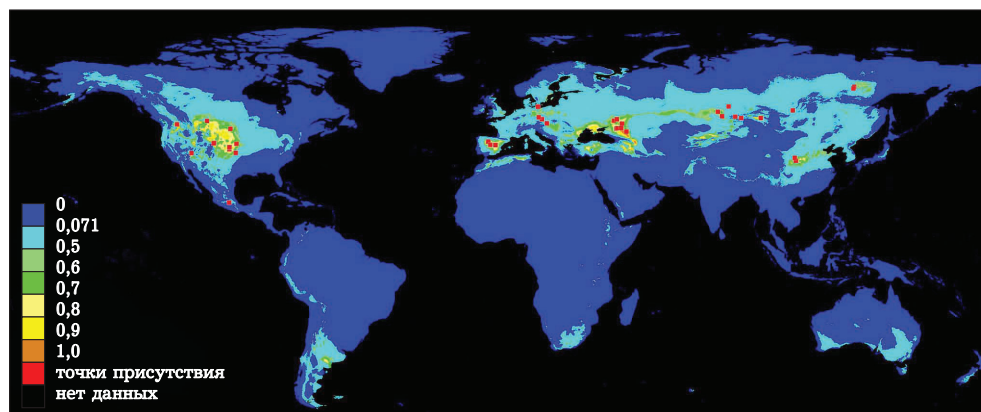


Рис. 1. Потенциальное распространение *Picipes rhizophilus* в современных климатических условиях (~1950–2000 гг.). Результаты MaxEnt представлены в логистическом формате (значения в легенде от 0 до 1). Красными квадратами обозначены наблюдаемые точки присутствия

зоне Новосибирской области условия для вида неблагоприятные, в районах, окружающих точку присутствия, вероятность присутствия вида составляет менее 50 %. Такие же условия и вероятность присутствия вида наблюдаются в Республике Алтай. Более благоприятными являются территории, прилегающие к оз. Торе-Холь в Республике Тыва, где вероятность присутствия вида составляет 70–90 %. Точки

присутствия на побережье оз. Байкал расположены в районах с вероятностью присутствия вида менее 50 %. На востоке Азии ареал вида расширяется в широтном направлении к северу (между 61-й и 62-й параллелями), заходя в Якутию, и к югу (между 34-й и 36-й параллелями) – в Китае. Точки присутствия в Якутии расположены в районах с вероятностью присутствия вида не более 60 %. Районы при-

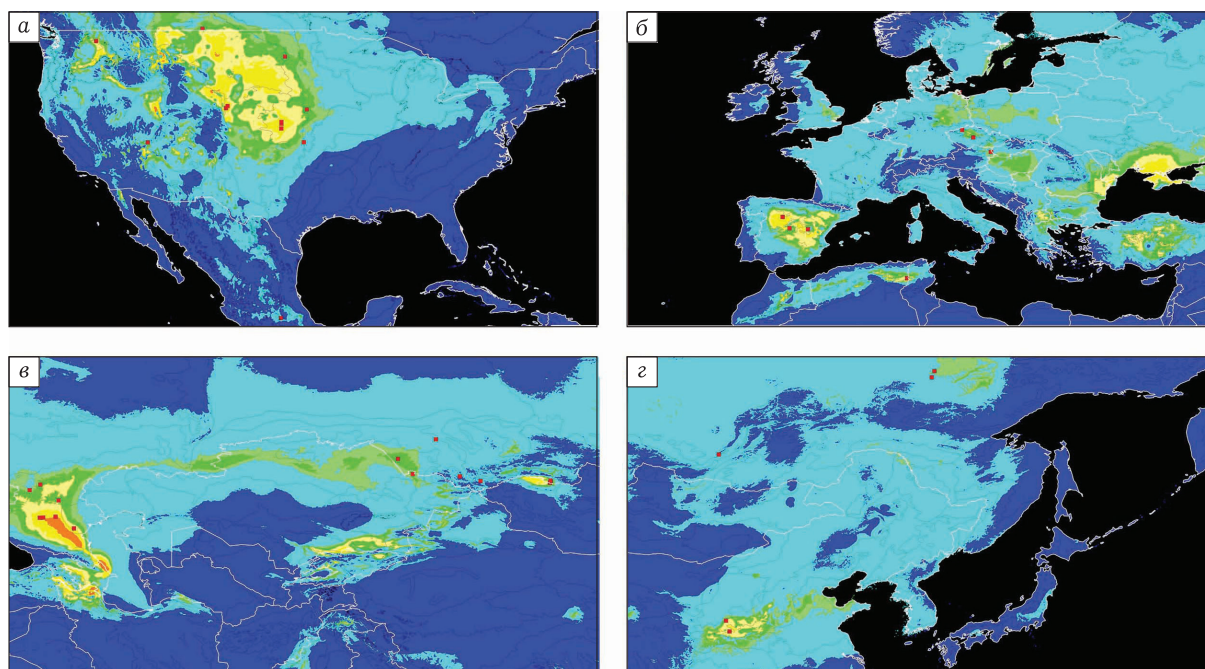


Рис. 2. Распространение *Picipes rhizophilus* в границах экорегионов в условиях современного климата (~1950–2000 гг.). а – Северная Америка; б – Европа; в – Европейская часть России, Урал, Западная Сибирь; г – Восточная Сибирь, Дальний Восток, Китай. Красными квадратами обозначены наблюдаемые точки присутствия. Белая линия – границы государств. Черная линия – границы экорегионов

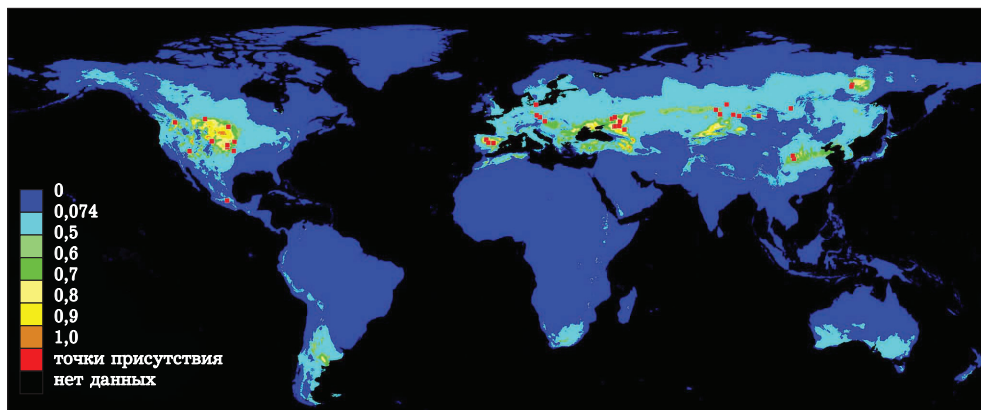


Рис. 3. Потенциальное распространение *Picipes rhizophilus* в будущих климатических условиях (2100 г. н. э.). Результаты MaxEnt представлены в логистическом формате (значения в легенде от 0 до 1). Красными квадратами обозначены наблюдаемые точки присутствия

сутствия вида в Китае более благоприятны для вида. Его вероятность присутствия составляет 50–70 %, а в районах, находящихся поблизости от установленных точек присутствия, достигает 70–90 %.

Мы смоделировали будущее распространение *Picipes rhizophilus* в 2100 г. н. э. (рис. 3), в том числе в границах экорегионов (рис. 4).

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ распределения вида в границах наземных экорегионов показал, что *Picipes rhizophilus* в равнинной части Северной Америки ассоциирован с экорегионами, входящими в состав биома категории 8 – Луга, саванны и кустарники умеренного пояса (Северные низкие луга, Западные низкие луга,

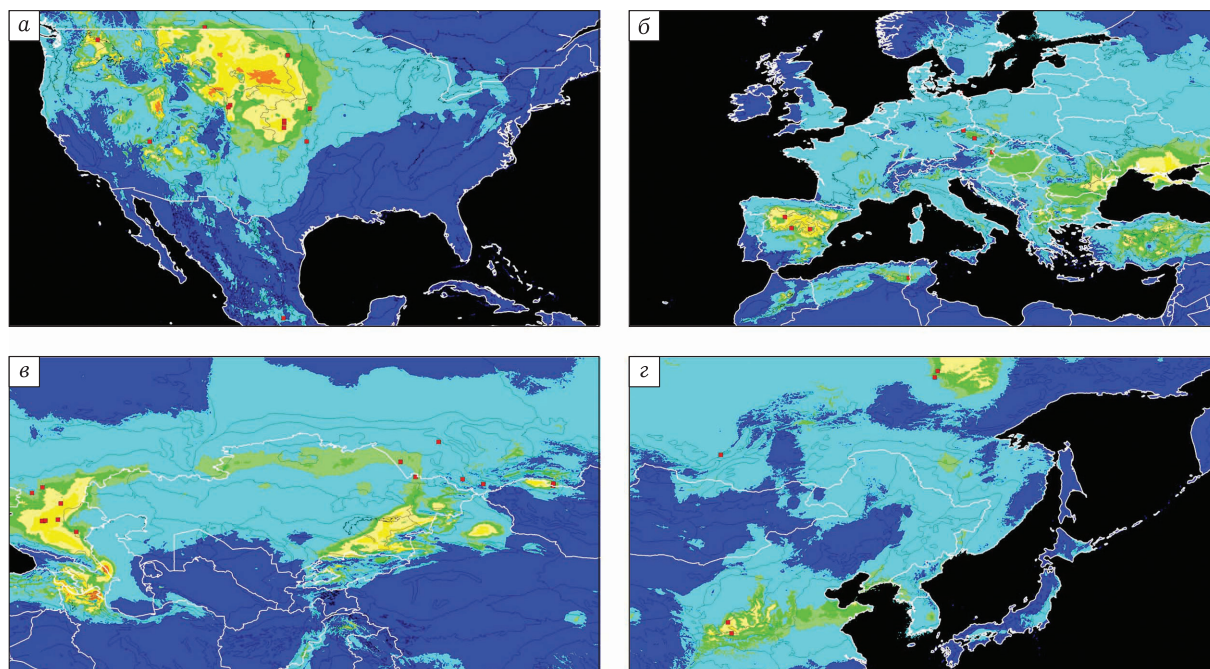


Рис. 4. Распространение *Picipes rhizophilus* в границах экорегионов в условиях будущего климата (2100 г. н. э.). а – Северная Америка; б – Европа; в – европейская часть России, Урал, Западная Сибирь; г – Восточная Сибирь, Дальний Восток, Китай. Красными квадратами обозначены наблюдаемые точки присутствия. Белая линия – границы государств. Черная линия – границы экорегионов

Центральные и Южные смешанные луга, Центральные высокие луга и Высокие луга Флинт-Хиллз). Точки в горных регионах расположены в экорегионе Сухие леса Оканегана, относящиеся к категории биомов 5 – Хвойный лес умеренного пояса, но точка расположена на границе с экорегионом Луга Палауза (относящимся к предыдущему биому), где моделирование показало более благоприятные для вида условия. Другие точки относятся к экорегиону Кустарники плато Колорадо (категория биомов 13 – Пустыни и ксерические кустарники). Наиболее южная точка относится к экорегиону Сосново-дубовые леса Трансмексиканского вулканического пояса (категория биомов 3 – Тропические и субтропические хвойные леса). Моделирование распределения вида на территории Северной Америки показало, что районы с наиболее высокой вероятностью присутствия вида в 90–100 % находятся не только на Великих равнинах, но есть также отдельные локальные участки в пределах экорегиона Долина Монтаны и луга Предгорий, входящие в состав биома категории 8, а также в пределах экорегионов Кустарниковая степь Большого бассейна и Кустарниковая степь бассейна Вайоминг, которые входят в биом категории 13. Экорегионы с точками присутствия вида в Южной Европе на Пиренейском полуострове (Иберийские склерофильные и полулиственные леса) и в Африке (Средиземноморские сухие леса и степи) входят в состав биома категории 12 – Средиземноморские леса, редколесья и кустарники. Точки присутствия вида в Восточной Европе и на ее западной границе в Германии находятся в пределах экорегионов Западноевропейские широколиственные леса, Смешанные леса Центральной Европы, Паннонские смешанные леса и Балтийские смешанные леса, являющиеся частью биома категории 4 – Широколиственные и смешанные леса умеренного пояса. Необходимо заметить, что собственно с лесами вид никак не ассоциирован и в своем распространении здесь связан с остепненными растительными сообществами, находящимися здесь в виде локальных местообитаний. Точки присутствия в районах, с наиболее оптимальными для вида биоклиматическими характеристиками в мировом масштабе, находятся в европейской части России в пределах экорегиона Понтийская степь (часть биома категории

8), одна крайняя точка относится к экорегиону Прикаспийская низменная пустыня (часть биома категории 13). В Азии, Алтайском крае точки присутствия вида находятся в пределах экорегионов Казахская степь (часть биома категории 8) и Казахская лесостепь (часть биома категории 13). В Горном Алтае, где большая часть территории не имеет подходящих условий для развития вида, *Picipes rhizophilus* отмечен в экорегионе Алтайский горный лес и лесостепь (часть биома категории 5 – Умеренный хвойный лес), а также в экорегионе Алтайский альпийский луг и тундра (часть биома категории 10 – Горные луга и кустарники). Необходимо заметить, что вид не ассоциирован с горными лесами, альпийскими лугами и тундрой, но связан с горными степями Юго-Восточного Алтая, а также с горной лесостепью, которую можно встретить на нижней границе леса горных хребтов, как элемент высотной поясности. В более благоприятных условиях для вида, на юге Республики Тыва, точки присутствия вида находятся в пределах экорегиона Пустынная степь бассейна Великих озер (часть биома категории 13). Территория побережья озера Байкал и в Якутии не является для вида благоприятной. Точки присутствия вида здесь находятся в пределах экорегиона Восточно-Сибирская тайга (относится к категории биомов 6 – Бореальные леса/Тайга). Вид здесь не ассоциирован с лесами, а связан с антропогенно нарушенными остепненными местообитаниями. Точки присутствия вида в Китае относятся к экорегионам Смешанные леса лёссового плато Центрального Китая и Смешанные леса равнины Хуанхэ (часть биома категории 4 – Широколиственные и смешанные леса умеренного пояса).

Анализ пространственного распределения вида при прогнозируемых изменениях будущего климата (2100 г. н. э.) в мировом масштабе показал, что в пределах Североамериканского континента модель потенциального географического распространения *Picipes rhizophilus* не претерпит существенных изменений. Но на территории Великих равнин область с вероятностью присутствия вида от 90 до 100 % значительно увеличится. Отдельные локальные участки с вероятностью присутствия вида в 90–100 %, находящиеся в предгорных и горных территориях в пре-

делах экорегионов Долина Монтаны и луга Предгорий, Кустарниковая степь Большого бассейна и Кустарниковая степь бассейна Вайоминг, также расширят свои границы. Территории Южной Европы и Севера-Запада Африки не претерпят существенных изменений, но территории более благоприятного для вида климата здесь не появятся. Территории Восточной Европы также не станут для вида более благоприятными. В то же время территории, наиболее благоприятные для вида в настоящее время, в России в лесостепной и степной зонах на западе – северо-западе от Волго-Ахтубинской поймы станут для вида менее благоприятными. Область с вероятностью присутствия вида в 90–100 % полностью исчезнет, а вероятность присутствия вида здесь снизится до 80–90 %. При этом две локальные области с вероятностью присутствия вида в 90–100 % в районе западного побережья Каспийского моря сохранятся, районы к югу от гор Кавказа станут для вида более благоприятными, появятся участки с высокой вероятностью присутствия в 90–100 % в экорегионе Горная степь Восточной Анатолии (часть биома категории 8). В Азии, в Алтайском крае и Казахстане, произойдут незначительные локальные изменения границ областей присутствия вида в 50–70 % к югу, при этом области с вероятностью присутствия вида в 60–70 % практически полностью исчезнут. На юге область с вероятностью присутствия вида ниже порогового значения претерпит значительные изменения и сместится в сторону юга. К юго-востоку от оз. Балхаш появится довольно большая область с вероятностью присутствия вида 70–80 и 80–90 %, экорегион Центрально-Азиатская Северная пустыня, а также в районе Джунгарской котловины, экорегион Полупустыня Джунгарской котловины, входящие в биом категории 13. В Республике Тыва, в границах экорегиона Пустынная степь бассейна Великих озер, биоклиматические условия останутся для вида благоприятными, как и в условиях текущего климата. В Новосибирской области, Республике Алтай и Прибайкалье вероятность присутствия вида не изменится, условия, как и в текущем климате, останутся для вида неблагоприятными. В Якутии, к востоку от г. Якутска, появится довольно большая по площади область, на которой вероят-

ность присутствия вида увеличится с 50–60 до 70–80 % и в некоторых участках до 80–90 %. В Китае области благоприятного для вида климата существенно не изменятся, но зона с областью присутствия вида в 50–70 % расширит свои границы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты моделирования объективно характеризуют географическое распространение *Picipes rhizophilus*, связанное с его экологической спецификой, трофической связью с субстратообразующими растениями из семейства злаковых и приуроченностью вследствие этого к степным местообитаниям. Но вид не способен развиваться на всех злаковых, он не встречается на лугах, в лесах, пойменных местообитаниях.

Большинство известных местообитаний вида представлено в экорегионах, входящих в состав биомов категории 8 – Луга, саванны и кустарники умеренного пояса, 12 – Средиземноморские леса, редколесья и кустарники и 13 – Пустыни и ксерические кустарники. С лесными биомами вид не ассоциирован, но он может быть представлен в находящихся на их территории местообитаниях, подверженных процессам аридизации климата и опустынивания. Вид *Picipes rhizophilus* может развиваться в степных местообитаниях как равнинных, так и горных территорий, находящихся в границах экорегионов аридных биомов.

Моделирование потенциального распространения вида при выбранном климатическом сценарии показало динамику изменения его ареала.

Анализ пространственного распределения вида при прогнозируемых изменениях будущего климата (2100 г. н. э.) в мировом масштабе показал, что географическое распространение *Picipes rhizophilus* может претерпеть изменения. В пределах Североамериканского континента область благоприятного для вида климата увеличится. В Европе и на прилегающих территориях Африки существенных изменений не произойдет. Наиболее существенные изменения произойдут в России в бассейне р. Западный Маньч, где условия станут для вида менее благоприятными. В Азиатской части произойдут локальные

изменения, связанные со смещением областей потенциального распространения.

Таким образом, область распространения вида может сокращаться из-за антропогенной трансформации степных местообитаний и их исчезновения. Но вид также может расширять экологическую нишу и развиваться в местообитаниях, подвергшихся остепнению вследствие процессов изменения климата и аридизации естественного или антропогенного характера. Появление на остепненных территориях субстратообразующих растений может привести к появлению на них *Picipes rhizophilus*. Это необходимо учитывать при оценке статуса редкости вида и необходимости его охраны и включения в охранные списки конкретных территорий.

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием ЦСБС СО РАН АААА-А21-121011290024-5.

ЛИТЕРАТУРА

- Санданов Д. В., Найданов Б. Б. Пространственное моделирование ареалов восточно-азиатских видов растений: современное состояние и динамика под влиянием климатических изменений // Раст. мир Азиат. Росии. 2015. № 3 (19). С. 30–35.
- Chapman D. S., Purse B. V. Community versus single-species distribution models for British plants // J. Biogeogr. 2011. Vol. 38 (8). С. 1524–1535.
- GBIF. The Global Biodiversity Information Facility. 2023. <https://www.gbif.org>. (accessed 15th of January 2023).
- Guisan A., Thuiller W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models // Ecol. Lett. 2005. Vol. 8 (9). P. 993–1009.
- Guisan A., Zimmermann N. E. Predictive habitat distribution models in ecology // Ecol. Modell. 2000. Vol. 135 (2-3). P. 147–186.
- Guo Y., Li X., Zhao Z., Wei H., Gao B., Gu W. Prediction of the potential geographic distribution of the ectomycorrhizal mushroom *Tricholoma matsutake* under multiple climate change scenarios // Sci. Rep. 2017. Vol. 7. e. 46221.
- Hijmans R. J., Cameron S. E., Parra J. L., Jones P. G., Jarvis A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // Int. J. Climatol. 2005. Vol. 25. P. 1965–1978.
- Hijmans R. J., Guarino L., Mathur P. DIVA-GIS Version 7.5 Manual. Available from Available from: http://diva-gis.org/docs/DIVA-GIS_manual_7.pdf (accessed 15th of January 2023)
- Internet source 1. <https://www.diva-gis.org/> (accessed 15th of January 2023)
- Internet source 2. <https://www.diva-gis.org/Data> (accessed 15th of January 2023)
- Internet source 3. <https://www.diva-gis.org/climate> (accessed 15th of January 2023)
- Internet source 4. https://hub.arcgis.com/datasets/a21fdb-46d23e4ef896f31475217cbb08_1/data?geometry=-99.844%2C-89.998%2C99.844%2C-79.394 (accessed 15th of January 2023)
- Internet source 5. <https://www.worldwildlife.org/publications/terrestrial-ecoregions-of-the-world> (accessed 15th of January 2023)
- Internet source 6. <https://www.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=d60ec415febb4874ac5e0960a6a2e448> (accessed 15th of January 2023)
- Internet source 7. <https://www.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=d60ec415febb4874ac5e0960a6a2e448> (accessed 15th of January 2023)
- Olson D. M., Dinerstein E., Wikramanayake E. D., Burgess N. D., Powell G. V. N., Underwood E. C., D'amico J. A., Itoua I., Strand H. E., Morrison J. C., Loucks C. J., Allnutt T. F., Ricketts T. H., Kura Y., Lamoreux J. F., Wettengel W. W., Hedao P., Kassem K. R. Terrestrial Ecoregions of the World: A new map of life on Earth: A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity // BioScience. 2001. Vol. 51 (11). P. 933–938.
- Phillips S. J., Dudik M. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation // Ecography. 2008. Vol. 190. P. 231–259.
- Phillips S. J., Anderson R. P., Schapire R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions // Ecol. Modell. 2006. Vol. 190. P. 231–259.
- Pietras M., Litkowiec M., Gołbiewska J. Current and potential distribution of the ectomycorrhizal fungus *Suillus lakei* (Murrill) A. H. Sm. et Thiers in its invasion range // Mycorrhiza. 2018. Vol. 28. P. 467–475.
- Sandanov D. V., Pisarenko O. Yu. Bioclimatic modeling of *Crossidium squamiferum* (Viv.) Jur. (Pottiaceae, Bryophyta) distribution // Arctoa. 2018. Vol. 27. P. 29–34.
- Scheldeman X., van Zonneveld M. Training manual on spatial analysis of plant diversity and distribution. Rome: Biodiversity International, 2010. P. 1–179. Available from: https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Training_manual_on_spatial_analysis_of_plant_diversity_and_distribution_1431_07.pdf (accessed 15 January 2023).
- Segurado P., Araújo M. B. An evaluation of methods for modelling species distributions // J. Biogeogr. 2004. Vol. 31. P. 1555–1568.
- Yuan H.-Sh., Wei Yu- L., Wang X.-G. MaxEnt modeling for predicting the potential distribution of Sanghuang, an important group of medicinal fungi in China // Fung. Ecol. 2015. Vol. 17. P. 140–145.
- Vlasenko V. A., Dejidmaa T., Dondov B., Ochirbat E., Kherlenchimeg N., Javkhlan S., Burenbaatar G., Uranchimeg A., Asbaganov S. V., Vlasenko A. V. Distribution and ecological niche modeling of a rare species *Poronia punctata* in Asia // Cur. Res. Environ. & Appl. Mycol. (J. Fungal Biol.). 2021. Vol. 11 (1). P. 468–484.
- Zurell D., Franklin J., König C., Bouchet P. J., Dormann C. F., Elith J., Fandos G., Feng X., Guilleri-Arroita G., Guisan A., Lahoz-Monfort J. J., Leitão P. J., Park D. S., Townsend Peterson A., Rapacciolo G., Schmatz D. R., Schröder B., Serra-Diaz J. M., Thuiller W., Yates K. L., Zimmermann N. E., Merow C. A. Standard protocol for reporting species distribution models // Ecography. A Journal of Space and Time in Ecology. 2020. Vol. 43 (9). P. 1261–1277.

Features of the geographical distribution of the rare species of fungi *Picipes rhizophilus* (Basidiomycota) in a changing climate

V. A. VLASENKO

*Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the RAS
630090, Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., 101
E-mail: vlasenkomyces@mail.ru*

The ability to determine the spatial distribution of rare fungal species is critical to understanding the environmental factors that affect them. Maximum entropy (MaxEnt) spatial distribution modeling solves this problem by allowing inferences about the distribution of species in a gradient of environmental factors based on occurrence data. To identify patterns of spatial distribution based on objective data, models of the potential geographical distribution of the rare polyporoid fungus of *Picipes rhizophilus* under current conditions (~1950–2000) and with predicted future climate changes (2100 AD) on a global scale were created. The species *Picipes rhizophilus* can develop in steppe habitats of both plains and mountains. Most of the known habitats of the species are found in the ecoregions that make up the Temperate grasslands, savannas and shrublands, Mediterranean Forests, woodlands and scrubs, and Deserts and xeric shrublands biomes. The species is not associated with forest biomes, but it can be represented in habitats located on their territory, subject to the processes of climate aridization and desertification. The species *Picipes rhizophilus* can develop in steppe habitats of both plains and mountains. Modeling the potential distribution of the species under the selected climatic scenario showed the dynamics of changes in its range. The species-friendly climate area will increase in the North American continent, while there will be no significant changes in Europe and adjacent areas of Africa. In the most favorable territory for the species, located in the basin of the Western Manych River, conditions will become less favorable. In the Asian part, there will be a local shift in the areas of potential distribution.

Key words: arid regions, biogeography, bioclimatic modeling, fungi, patterns of distribution, ecology, MAXENT, rare species, SDM.