

вовлекать обучающихся в события по самоопределению, предоставляя им предложения по дальнейшему развитию в выбранной сфере деятельности. Кроме того, разработка уникальной системы на основе базы данных позволит предоставлять дополнительные возможности для обучения детей с ограниченными возможностями здоровья: осваивают дополнительные общеобразовательные программы, в том числе с использованием дистанционных технологий.

УДК 58(571.151):551.586

**Возможности метода биоклиматического
моделирования фиторазнообразия
Алтайской горной страны**

А.В. Ваганов, В.Ф. Зайков

АлтГУ, г. Барнаул

Выявление закономерностей формирования ареалов растений – фундаментальная проблема, которая тесно связана с историей видов в контексте глобальной и локальной эволюции природной среды. Познание этих закономерностей предоставляет возможности оценки перспектив дальнейшего существования видов и характера их ареалов под влиянием различных факторов [1, с. 30]. Климат – важнейший фактор, влияющий на формирование и распространение наземных экосистем [2, с. 131].

Потенциальный ареал опирается на климатические показатели и может быть определен с помощью биоклиматического моделирования, основанного на использовании ГИС-технологий. Дудов С.В. в своей работе [3, с. 16] напоминает о более конкретном термине, который характеризует потенциальный ареал таксона – «экологическая ниша». В условиях потепления климата общий характер трансформации растительного покрова связан с исчезновением холодостойких видов в более низких широтах и смещением ареалов теплолюбивых видов в высокие широты. Аналогичные изменения происходят в высотных поясах горных районов [4, с. 1024].

Из континентальных горных стран Сибири, Алтайская горная страна (АГС) не только высочайшее современное поднятие, но и одновременно — это наиболее благоприятное для развития органической жизни пространство в Сибири (и в целом – в Северной и Центральной Азии). Рельеф горной страны исключительно сложен, так как здесь сочетаются широтно и меридианно простирающиеся хребты, районы типичных

мелкосопочников, межгорные котловины, высокогорные плато и обширные нагорья [5, с. 3]. Биоразнообразии территории АГС исследуется на протяжении более 200 лет. На территории Алтайской горной страны произрастает более 2700 растений. Гербарий ALTB (Барнаул) является одним из самых динамично-пополняемых в России и насчитывает более 450 тыс. листов.

Данные о биоразнообразии либо разбросаны по многим базам данных, либо хранятся на бумаге или других носителях, недоступных для интерактивного поиска. Глобальный информационный фонд по биоразнообразию (GBIF) является основой для облегчения оцифровки научных коллекций и для обеспечения совместимости пока еще неизвестного числа биологических баз данных, которые распространены по всему миру [6, с. 2312]. Накопление, хранение и обмен данными по биоразнообразию в GBIF производится в спецификации Darwin Core. Спецификация Darwin Core специально разработана международной группой «International Working Group on Taxonomic Databases For Plant Sciences (TDWG)» и представляет собой набор терминов, среди которых есть два ключевых для метода биомоделирования – *decimalLatitude* (широта) и *decimalLongitude* (долгота). За почти 20 лет работы научных депозитариев к началу 2020 года в едином агрегаторе данных о биоразнообразии GBIF накопилось 667 973 854 наблюдений с точными геопривязками из общего числа 1 390 198 458 записей (по состоянию на 02.02.2020).

Научные депозитарии GBIF, в число которых входят Гербарии, как правило, публикуют тип данных «OccurrenceData», которые содержат этикеточную информацию о нахождении того или иного вида в определенном месте в определенное время, то есть предполагают наличие сведений о дате находки и географической привязке (координатах) места нахождения вида (или сбора образца) [7, с. 224].

В последние годы в зарубежной и отечественной периодике наиболее широкое применение для моделирования пространственного распространения видов (*species distribution modeling*) находит метод максимальной энтропии [8, 9, 10, 11, 12, 13, 1, 3, 14], реализованный в программе MaxEnt (*Maximum Entropy Species Distribution Modelling*). Программный пакет Maxent позволяет строить вероятностную модель распространения анализируемого вида на основе данных о его присутствии в серии конкретных точек, не обязательно представляющих весь ареал вида. С помощью его можно оценивать комплексные взаимоотношения между видами и различными экологическими факторами, как непрерывными, так и категориальными. При биоклиматическом моделировании используются 19 биоклиматических

параметров (Bioclimatic variables), доступные в «WorldClim 1.4» (www.worldclim.org). Временной интервал биоклиматических параметров можно выбрать с 1950 по 2000 гг., а также прогнозные параметры к 2050 и 2080 гг.

Качество прогнозной модели определяют по индексу AUC тестовой выборки, которая имеет шкалу от 0 до 1: 0.9–1 = «отлично», 0.8–0.9 = «хорошо», 0.7–0.8 = «удовлетворительно», 0.6–0.7 = «плохо», < 0.6 – «очень плохо» (Swets, 1988; Phillips, Dudik, 2008). Итоговую прогнозную модель, получаемую в MaxEnt можно спроецировать в среду DIVA-GIS и дополнить данными о точном современном распространении вида.

Произведя выгрузку данных по растениям «Plantae» в разделе «search/occurrences» из базы данных GBIF.org по полигону GeoJSON Алтайской горной страны в подпункте «Metrics», получен список из 89 мировых научных депозитариев, содержащих в гербарном фонде общим числом 53 179 находок с точными координатами (по состоянию на 02.02.2020). Данные о находках растений являются эмперической базой для возможного применения метода биоклиматического моделирования фиторазнообразия Алтайской горной страны. При этом, в случае возникновения задачи сравнения особенностей нескольких флор высокогорных территорий мира, то данные по Алтайской горной страны способны дать достаточно высокий объем для моделирования по различным группам растений. Наибольший вклад в число находок с точными координатами по Алтайской горной стране дают следующие депозитарии (в порядке убывания): Moscow University Herbarium (MW); Virtual Herbarium ALTB (South-Siberian Botanical Garden); Masaryk University – Herbarium BRNU; iNaturalist Research-grade Observations; 500.000 plant Specimens from PE Herbarium in China и др.

Следует отметить, что в результатах прогнозного моделирования учитываются только климатические факторы, в анализ модели не включены данные о вероятностном нахождении с учетом конкурентных способностей вида, взаимосвязей компонентов сообщества, особенностей рельефа и показателей почвы.

Библиографический список

1. Санданов Д.В., Найданов Б.Б. Пространственное моделирование ареалов Восточно-азиатских видов растений: современное состояние и динамика под влиянием климатических изменений // Растительный мир Азиатской России. – 2015. – № 3 (19). С. 30–35.
2. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. – М.: Прогресс, 1980. – 327 с.

3. Дудов С.В. Моделирование распространения видов по данным рельефа и дистанционного зондирования на примере сосудистых растений нижнего горного пояса хр. Тукурингра (Зейский заповедник, Амурская область) // Журнал общей биологии. – 2016. – Т. 77, № 1. С. 16–28.
4. Chen I.-C., Hill J.K., Ohlemüller R., Roy D.B., Thomas C.D. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming // Science. – 2011. – V. 333. – P. 1024–1026.
5. Камелин Р.В. Материалы по истории флоры Азии (Алтайская горная страна). – Барнаул. Изд-во Алт. ун-та. – 1998. – 240 с.
6. Edwards J.L., Lane M.A., Nielsen E.S. Interoperability of Biodiversity Databases: Biodiversity Information on Every Desktop // Science. – 2000. – V. 289. – P. 2312–2314. DOI: 10.1126/science.289.5488.2312
7. Ваганов А.В., Шмаков А.И., Гудкова П.Д. Глобальные данные о флоразнообразии Алтайской горной страны, представленные в мировых научных депозитариях // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: сборник научных статей по материалам XVIII международной научно-практической конференции (20–23 мая 2019 г., Барнаул). – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2019. – С. 222–227.
8. Guisan A., Zimmermann N.E. Predictive habitat distribution models in ecology // Ecol. Model. – 2000. – V. 135. P. 147–186.
9. Anderson R.P., Lew D., Peterson A.T. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting models // Ecological Modelling. – 2003. – Vol. 162. – P. 211–232.
10. Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions // Ecol. Model. – 2006. – V. 190. – P. 231–259.
11. Phillips S.J., Dudik M. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation // Ecography. – 2008. – V. 31. – P. 161–175.
12. Elith J., Phillips S.J., Hastie T., Dudik M., Chee Y.E., Yates C.J. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists // Divers. Distrib. – 2011. – V. 17. – P. 43–57.
13. Олонова М.В., Gao X. Потенциальные возможности распространения адвентивного растения *Poa compressa* L. в Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2014. – № 4 (28). – С. 56–69.
14. Корзников К.А. Климатическое моделирование местообитания *Kalopanax septemlobus* и *Phellodendron amurense* var. *sachalinense* в

островном секторе Дальнего Востока России // Известия РАН. Серия биологическая. – 2019. – № 6. – С. 648–657.

УДК 004.42

Разработка программного модуля для анализа изображений биологических микро- и макрообъектов

А.В. Ваганов, О.В. Фаст, Л.А. Хворова

АлтГУ, г. Барнаул

В ходе сбора данных биолог при изучении ботанических и зоологических объектов сталкивается с проблемой отсутствия инструмента для выполнения замеров по изображениям, получаемых путем использования микроскопов, а также по изображениям виртуальных гербариев. Как правило, программы для измерения биологических объектов идут с научным оборудованием в комплекте. При этом данные программы имеют ряд ограничений и неудобств, которые невозможно устранить.

При использовании математических методов в биологии и вариационной (биологической) статистике при исследовании биологических объектов существует потребность в наличии универсального (для объектов макро- и микромира) инструмента для сбора данных в электронном виде в полуавтоматическом режиме (совмещенных с ручной работой). Такая разработка необходима и востребована биологами и экологами, которые специализируются на сборе биометрических данных с последующей статистической обработкой.

Объектом исследования являются изображениями спор папоротников разных видов.

На данный момент существуют следующие программы, обладающие схожим функционалом: PhotoM; Altami Studio; Image Proc. Программа Altami Studio разработана для захвата, исследования и обработки изображений, а также для проведения измерений. Имэдж Прос – предназначена для обработки и анализа потоковых и статических цифровых изображений, PhotoM – для цитофотометрии.

Для разработки программного модуля использован язык Python 3 и интегрированная среда разработки для этого языка PyCharm. Графический интерфейс программы разработан с помощью набора Python-библиотек PyQt5 и инструмента для проектирования и создания графических интерфейсов Qt Designer.