

ПРИМЕНЕНИЕ В БИОГЕОГРАФИИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РАСПРОСТРАНЕНИЯ БИООБЪЕКТОВ

Егоров А.А., Афонин А.Н.

*Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, a.a.egorov@spbu.ru*

Одной из важных задач в биогеографии, трудно решаемой традиционными методами, является выявление закономерностей распределения по земной поверхности биологических объектов в связи с распределением экологических факторов среды. Применение современных спутниковых и компьютерных технологий при проведении эколого-географического анализа и моделирования, позволяет оперативно и точно решать подобные задачи. Использование ГИС-технологий при эколого-географическом анализе и моделировании является новым направлением в российской науке, хотя активно развивается за рубежом с конца прошлого века под названием *environmental niche modeling* или *species distribution modeling*. В основу моделирования положен принцип, что каждый биообъект характеризуется некоторыми экологическими потребностями к экологическим факторам среды, и его нахождение на площади ареала связано с присутствием на этой территории необходимой экологической ниши. В статье приведены некоторые примеры использования авторами эколого-географического анализа и моделирования распространения различных биологических объектах при решении ряда научных и практических задач.

Ключевые слова: эколого-географический анализ и моделирование; биологические объекты; лимитирующие факторы; граница видов; хозяйственно-полезные виды; вредоносные виды.

APPLICATION IN BIOGEOGRAPHY OF MODERN TECHNOLOGIES OF ECOGEOGRAPHICAL ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION OF BIOLOGICAL OBJECTS

Egorov A. A., Afonin A. N.

*Saint-Petersburg State University
Saint-Petersburg, Russian Federation, a.a.egorov@spbu.ru*

One of the important tasks in biogeography, which is difficult to solve by traditional methods, is to identify patterns of distribution of biological objects on the earth's surface in connection with the distribution of environmental factors. The use of modern satellite and computer technologies in conducting-geographical analysis and modeling, gives possibility to quickly and accurately solve such problems. The use of GIS technologies in geographical analysis and modeling is a new in Russian science, although it has been actively developing since the end of the last century, called *environmental niche modeling* or *species distribution modeling*. The principle of modeling is based on the principle that each biological object is characterized by certain environmental needs for environmental factors, and its presence in the area of the range is associated with the presence of the necessary ecological niche in this area. The article presents some examples of the use of-geographical analysis and modeling of the distribution of various biological objects by the authors in solving a number of scientific and practical problems.

Key words: environmental niche modeling; species distribution modeling; biological objects; ecological limits; plant distribution area; useful species; harmful species.

Биогеография – наука, изучающая закономерности распространения живых организмов по земной поверхности. Одним из ключевых понятий биогеографии является термин «ареал», практическое познание которого относительно отдельных биологических объектов (таксонов и экосистем), требует достаточно больших усилий по сбору данных об их распространении, пространственном представлении, анализу связей распространения биообъектов с распространением природных и антропогенных факторов и поиск закономерностей распределения биообъектов на Земле. Здесь задействованы такие направления науки как систематика, экология, картография, биологическое ресурсоведение. Современное развитие компьютерных и спутниковых технологий, объединяемых в системе ГИС, позволяет оперативно и точно решать комплекс подобных задач биогеографии. Системы дистанционного зондирования позволяют собирать данные

и проводить мониторинг пространственного распределения биообъектов, создавать уточненные карты экологических факторов среды, тогда как ГИС служат мощными инструментами для анализа информации о распространении биообъектов и экологических факторов по земной поверхности, поиска связей и закономерностей. На основании выявленных закономерностей создаются модели и делаются прогнозы.

Основу эколого-географического анализа (ЭГА) составляет положение о закономерном распределении биологических объектов в географической среде, в связи с особенностями распространения экологических факторов среды по земной поверхности. Каждый биообъект характеризуется некоторыми экологическими потребностями и диапазоном устойчивости к экологическим факторам среды, и его нахождение на площади ареала связано с присутствием на этой территории необходимой экологической ниши [1]. ЭГА и моделирование в данном понимании соответствует широко распространившимся на западе в последние десятилетия направлению *environmental niche modeling* или *species distribution modeling*.

ЭГА используется в таких направлениях биогеографии, как:

1. интродукция растений и акклиматизация животных,
2. выявление потенциала распространения хозяйственно-опасных растений и животных,
3. уточнение естественного распространения таксонов растений и животных,
4. выявление «скрытых» лимитирующих факторов при анализе потенциального распространения таксона за пределами его естественного ареала,
5. выявление экологических особенностей расселения близкородственных видов.

Ниже приведем примеры подобных исследований.

ЭГА и моделирование потенциального ареала ели сизой *Picea glauca* (Moench) Voss [2-4] позволил выявить экологические факторы, лимитирующие распространение этого вида – недостаточная тепло- и влагообеспеченность – и определить экологические амплитуды вида по отношению к этим факторам. В качестве показателя теплообеспеченности использовали сумму активных температур, влагообеспеченности – гидротермический коэффициент (ГТК). При моделировании потенциального ареала *P. glauca* в Северной Евразии в её северо-восточной части был выявлен дополнительный лимитирующий фактор – влияние низких зимних температур и многолетнемерзлых пород. Эти факторы не могли быть выявлены по результатам ЭГА для территории Северной Америки, т.к. там распространение этого вида на северной границе лимитировалось недостаточной теплообеспеченностью периода вегетации.

Анализ распространения *P. glauca* в Северной Америки показал, что расхождение фактического ареала, построенного на 1971 г. по [5], и модельного ареала варьирует в пределах $\pm 50-100$ км. Однако, как показали более поздние исследования на территории Национального парка Ноатак (Аляска) [6] в зоне расхождения потенциального и установленного ареала были выявлены популяции *P. glauca* [2, 3, 9].

Сравнение построенной эколого-географической модели *P. glauca* с естественными ареалами других видов *Picea* на территории Евразии показало, что они в значительной степени совпадают. Это свидетельствует о том, что североамериканские и евроазиатские ели не сильно экологически дивергировали [2, 3, 9].

Технология эколого-географического анализа и моделирование является мощным инструментом при составлении прогнозов развития и распространения вредоносных организмов и оценке фитосанитарного риска [10]. В ходе исследования потенциала распространения амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.) на территории нашей страны был выявлен комплекс факторов, лимитирующих распространение этого вредоносного вида. Основными лимитирующими факторами являются аридность территорий и недостаточная теплообеспеченность периода созревания семян [11]. Амброзия – однолетнее анемофильное растение короткого дня, зацветание и пыление которого происходит в конце периода вегетации, когда длина дня уменьшается ниже

порогового значения – 14-14.5 часов. Именно теплообеспеченность периода от порогового значения фотопериода до первых осенних заморозков, а не всего периода вегетации, определяет возможность натурализации амброзии в том или ином регионе. Были составлены карты сумм температур за период от порогового значения фотопериода до окончания вегетации и по ним проведен анализ потенциала распространения амброзии и выявлены зоны фитосанитарного риска [12].

Литературные источники и базы данных распространения биообъектов редко представляют информацию о частоте их встречаемости и возможности натурализации в точках нахождения. Поэтому непременным условием проведения ЭГА служит тщательное и подробное изучение экологии и географии изучаемого объекта в натурных условиях и, при необходимости, проведение специальных экспедиционных обследований. Такие обследования проводились нами при оценке потенциала распространения и других вредоносных объектов: борщевика сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) [13], изумрудной златки (*Agrilus planipennis* Fairmaire) – частично в [14].

Однако не всегда ЭГА может дать однозначный ответ на то, какой фактор лимитирует распространение вредителей. ЭГА и моделирование потенциального распространения ясеневой изумрудной златки *Agrilus planipennis* на Северо-Западе России [14] показало, что лимитировать ее распространение могут 2 фактора: теплообеспеченность или наличие растения хозяина – ясеня (*Fraxinus*). Для выявления значимости этих факторов необходимо проводить дополнительные исследования.

Точность пространственно-экологических данных для разных типов ландшафтов при ЭГА различается. При попытке моделировать экологические ареалы горных видов хвойных в Восточной Азии мы столкнулись с тем, что имеющиеся экологические карты для горных территорий имели недостаточное пространственное разрешение. Поэтому ЭГА свелся к условному приравниванию климата территории Санкт-Петербурга к высотам выше 3000 м н.у.м. в горах Восточной Азии [15]. Для проведения дальнейших уточненных работ будут использованы карты более высокого разрешения, создаваемые нами на основе материалов дистанционного зондирования.

Особое значение имеют технологии ЭГА при оценке эпидемических рисков. Ряд заболеваний является экологически зависимым и при оценке риска их возникновения на разных территориях и в разные моменты времени широко используются технологии ЭГА. Нами совместно с исследователями из других научных организаций были проведены работы по оценке риска распространения дирофиляриоза в России и Испании. Дирофилярии не зависят от экологических факторов среды в момент их нахождения в организме животных и человека, но вектором их передачи служит пойкилотермный организм – комар. Возможность развития микрофилярий в организме комара до стадии, в которой микрофилярия сможет покинуть комара и перейти в организм теплокровного животного связано с накоплением необходимых сумм эффективных температур, а именно 130°C при температурном пороге +14°C. Поэтому распространение заболевания на север зависит от теплообеспеченности периода передачи. Нами были составлены карты сумм эффективных температур выше +14°C на территорию России и зарубежных стран, определен риск развития дирофиляриоза в разных регионах и возможность динамики зоны риска в связи с глобальным потеплением климата [16, 17].

Таким образом, ЭГА является мощным и эффективным инструментом в биогеографических научных исследованиях и имеет огромный потенциал практического использования.

Часть материалов подготовлена при поддержке гранта РФФИ 19-05-00610.

Библиографические ссылки

1. Афонин А. Н., Соколова Ю. В. Эколого–географический анализ и моделирование распространения биологических объектов с использованием ГИС. Учебное пособие. СПб: ВВМ. 2018. С. 114.

2. Егоров А. А., Афонин А. Н. Эколого-географический потенциал ели сизой (*Picea glauca* (Moench) Voss, Pinaceae) и возможность ее интродукции в Северную Евразию // Журнал общей биологии. 2017, Т.78, № 1. С. 67-76.
3. Egorov A. A., Afonin A. N. Ecogeographical potential of the white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss, Pinaceae), and the possibility of its introduction into Northern Eurasia // Biology Bulletin Reviews. 2018. Vol. 8 (3). P. 203–211.
4. Егоров А. А. Применение современных методов эколого-географического анализа в интродукции растений // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: матер. IV науч.-техн. конф., СПб, 22–25 мая 2019 г. СПб.: Политех-пресс, 2019. С. 395-397.
5. Little E. L. Jr. Atlas of United States trees. V. 1. Conifers and important hardwoods. U.S. Department of Agriculture: Miscellaneous Publication 1146. 1971. 9 p., 200 maps.
6. Suarez F., Binkley D., Kaye M.W., Stottlemeyer R. Ecoscience Expansion of forest stands into tundra in the Noatak National Preserve, northwest Alaska. V. 6. Issue 3. 1999. P. 465–470.
9. Егоров А. А., Афонин А. Н. Современные технологии эколого-географического анализа и моделирования в интродукции растений // Ботаника в современном мире. Труды XIV съезда Русского ботанического общества и конференции «Ботаника в современном мире» (г. Махачкала, 18-23 июня 2018 г.). Т. 2. Махачкала. 2018. С. 255-257.
10. Афонин А. Н., Лунева Н. Н. Эколого-географический анализ распространения видов сорных растений в целях комплексного фитосанитарного районирования // Базы данных и информационные технологии в диагностике, мониторинге и прогнозе важнейших сорных растений, вредителей и болезней растений. Тезисы докладов. Шведский у-т аграр. наук, ВИЗР, СПб аграр. у-т. 2010. С. 11-13.
11. Afonin A. N., Luneva N. N., Fedorova Y. A., Kletchkovskiy Yu. E., Chebanovskaya A. F. History of introduction and distribution of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) in the European part of the Russian Federation and in the Ukraine // EPPO Bulletin. V. 48-2. 2018. P. 266-273.
12. Афонин А. Н., Федорова Ю. А., Ли Ю. С. Характеристика частоты встречаемости и обилия амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.) в связи с оценкой потенциала ее распространения на Европейской территории России // Российский журнал биологических инвазий. № 2. 2019. С. 30-38.
13. Афонин А. Н., Лунева Н. Н., Ли Ю. С., Коцарева Н. В. Эколого-географический анализ распространения и встречаемости борщевика сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) в связи со степенью аридности территорий и его картирование для европейской территории России // Экология. 2017. № 1. С. 66-69.
14. Afonin A. N., Musolin D. L., Egorov A. A., Selikhovkin A. V. Possibilities of further range expansion of the emerald ash borer *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) in the North-West of European Russia: What factors will limit the invasive range? // UArctic Congress 2016. Abstract Book / University of the Arctic - University of Oulu / Ed. Outi Moilanen. 12-16 September, St. Petersburg, Russia. 2016. P. 100.
15. Egorov A., Afonin A., Byalt V., Orlova L., Vasiliev N. The gymnosperm trees of highlands of East Asia and its perspective for introduction at Saint Petersburg (Russia) // Abstract book II. Poster and Abstract. XIX International Botanical Congress. Shenzhen Convention & Exhibition Center, July 23-29, 2017. China. P. 14-15.
16. Kartashev V., Afonin A., González-Miguel J., Simón L., Morchón R., Simón F., Sepúlveda R. Regional warming and emerging vector-borne zoonotic dirofilariosis in the Russian Federation, Ukraine, and other post-soviet states from 1981 to 2011 and projection by 2030 // BioMed Research International. 2014. V. 2014. P. 1-11.
17. Simón L., Afonin A., López-Díez L.I., González-Miguel J., Morchón R., Simón F., Carretón E., Montoya-Alonso J.A., Kartashev V. Geo-environmental model for the prediction of potential transmission risk of dirofilaria in an area with dry climate and extensive irrigated crops: the case of Spain // Veterinary Parasitology. 2014. V. 200. N 3-4. P. 257-264.