

## ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу**  
**ОГУРЦОВА СЕРГЕЯ СЕРГЕЕВИЧА на тему:**  
**«МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИГОДНОСТИ МЕСТООБИТАНИЙ БУРОГО**  
**МЕДВЕДЯ *URSUS ARCTOS* (LINNAEUS, 1758) НА ОСНОВЕ**  
**ФУНКЦИИ ВЫБОРА РЕСУРСОВ В МОЗАИЧНЫХ ЛАНДШАФТАХ**  
**ЮЖНОЙ ТАЙГИ»,**

**представленную на соискание ученой степени кандидата**  
**биологических наук по специальности: 1.5.15 – Экология**  
**(биологические науки)**

Исследование Огурцова Сергея Сергеевича посвящено важной, как с теоретической, так и с практической (прикладной) точек зрения проблеме отношения организмов с окружающей средой в экологическом/географическом пространстве, выявления и описания инвариантных, устойчивых ключевых отношений подобного рода с последующим построением модели этих отношений и получении прогноза их варьирования в пространстве и во времени. В частности, на уровне видов, эта традиционная проблема “простого” описания видового ареала и предсказания/прогноза встречаемости вида внутри ареала в разных пространственных масштабах. Эти проблемы находят свое решение в рамках разных научных фундаментальных и прикладных дисциплин – зоологии, ботаники, экологии, биогеографии, охотоведении, охране окружающей среды и рациональном природопользовании и т.д.

В последние 15 лет интерес к изучению проблематики “отношений организмов с окружающей средой” заметно вырос в связи с качественным ростом технических возможностей количественного анализа пространственно-распределенных данных. Практические решения в виде прогнозных моделей целых видовых ареалов или их отдельных частей используются в актуальной и

исторической биогеографии, при прогнозировании изменений ареала видов при вероятном изменении глобального климата или в результате антропогенного воздействия, в процессе разработки стратегии и планов сохранения редких и исчезающих видов и т.д.

Возникло целое направление в рамках которого осуществляется моделирование вероятности распределения видов в географическом пространстве в контексте задач экологической географии. Методологический подход, который имеет сейчас широкое применение, был предложен в начале 2000-х годов (Phillips et al., 2004, 2006). В основу его был положен принцип, исходя из которого наименее предвзятое, т.е. “объективное”, распределение искомой (целевой) случайной переменной (например, вероятности обнаружения вида) с учетом набора ограничений и неполноты информации, должно иметь максимальное разнообразие из всех возможных распределений или, иначе говоря, максимальную энтропию (Maximal Entropy = MaxEnt). Этот подход, известный в разных областях современного естествознания, как принцип максимума энтропии, был предложен в 1957 г. американским физиком Э.Т. Джейнсом для поиска равновесных распределений в классической статистической и квантовой механиках. Таким образом, базовая идея MaxEnt, точно также, как и практически других методов, не связанных с MaxEnt (например, методов регрессии – GLM, GAM; машинного обучения – ANN, GBM, RF, и классификации – FDA) и применяемых в процессе разработки (калибровки/ обучения/ тестирования/ проецирования) моделей, воспроизводящих вероятностное распределение вида в пространстве, были восприняты экологами из смежных областей знаний. Поэтому их математические свойства и ограничения их применения хорошо известны.

Ключевым инструментом, вокруг которого строится методология построения прогнозных моделей распределения видов в пространстве, в том числе основанное, и на оценке пригодности местообитаний, являются геоинформационные системы (ГИС) и разработанные специально для них методы анализа пространственно-распределенной информации. При

построении моделей независимыми переменными, задающими “потенциальную экологическую нишу”, часто выступают данные ДЗЗ (дистанционного зондирования), цифровые модели рельефа, переменные климата, а также любая иная информация, имеющая географическую привязку. Исходные данные для моделирования представлены обычно координатами “точек” (локалитетов) обнаружения присутствия вида на исследуемой территории.

Столь длинное вступление обусловлено, прежде всего тем, что большинство экологов и биологов в России могут быть не знакомы ни с методологией, используемой соискателем, ни с разнообразным программным обеспечением (в основном на языках программирования R или Python), ни со специфической терминологией, доходящей порой до уровня “сленга”, которая зачастую не имеет обоснованных русскоязычных эквивалентов. Все эти технические детали могут существенно затруднить восприятие данной работы, которая по своему содержанию четко соотносится с кругом научных задач, традиционно решаемых в рамках популяционной экологии.

Количество специалистов, способных самостоятельно использовать соответствующие методы анализа данных в России, по моим оценкам, крайне ограничено. И, как следствие, крайне мало публикаций по этой тематике на русском языке, причем среди них значительную долю занимают работы самого соискателя. В том числе и по этим причинам, представленная диссертационная работа носит пионерский характер, что обуславливает ее научную новизну и практическую значимость.

Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения, выводов, раздела с принятыми сокращениями, терминами и обозначениями, списка литературы и приложения (14 страниц), включающего табличный и фотоматериалы. Общий объем работы составляет 350 страниц, содержит 41 таблицу и 106 рисунков. Список литературы содержит 600 источников, в том числе 508 на иностранных языках.

Диссертация начинается с **Введения**, в котором: 1) обосновывается актуальность данного исследования, 2) приводится краткое введение в проблематику создания моделей для предсказания пространственного распределения видов, 3) дается оценка современного состояния ключевой проблемы исследования – моделирования пригодности местообитания, как направления современной экологии и биогеографии, 4) даётся характеристики бурого медведя, как объекта исследования, и проведения полевых работ на исследуемой территории (Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник и его охранный зона). Далее во введении автор формулирует цель и задачи исследования. Из чего следует, что основная цель работы состояла в разработке общей и сезонных моделей пригодности местообитаний бурого медведя на основе вероятностной функции выбора пищевых ресурсов. Также в этом разделе работы обосновывается ее научная новизна, теоретическая и практическая значимость, формулируются основные положения, выносимые на защиту.

В целом, цели и задачи исследования сформулированы во введении четко и полностью корреспондируются с выводами и содержанием работы.

Следует особо отметить, что работа, охватывающая временной период 14 лет, выполнена автором полностью самостоятельно. Соискатель не только собрал необходимый полевой материал, но самостоятельно освоил широкий спектр методов статистического анализа и построения моделей пространственного распределения и пригодности местообитаний. Некоторое недоумение вызывает лишь утверждение о том, что “разработка **всех** [выделено мной, АП] алгоритмов и написание скриптов на языке R” выполнены автором, в то время как в работе были использованы: программный продукт Maxent 3.4.1, R-пакеты SDMtune, blockCV, effsize, MASS и многие др. (п. 3.6, стр. 147-148), не говоря уже о двух ГИС, и каждый из этих продуктов, как минимум, реализует определенный алгоритм или набор алгоритмов, а R-пакеты представляют собой скрипты на языке R.

В Главе 1 (стр. 14-82) подробно изложены принципы моделирования пространственного распределения пригодности местообитаний, используемые в работе. Это очень важная часть работы, в которой последовательно рассмотрена и идеология, и альтернативные технологии моделирования. Структура изложения, видимо, в значительной степени отражает личный опыт соискателя по освоению и осмыслению того или иного конкретного метода. Однако, было бы целесообразнее рассмотреть этот опыт и авторский взгляд в контексте обсуждения результатов исследования, оставив в этой главе только, собственно, “литературный обзор”. Так было бы проще разобраться в содержании методов в узком смысле, и оценить персональный вклад соискателя в решение поставленных задач.

В тексте этой главы, так же, как и в других разделах работы, много специфических терминов, названий индексов, аббревиатур, которые уже прочно ассоциируются с данным направлением экологических исследований, но не имеют устоявшихся русскоязычных эквивалентов. Это затрудняет чтение и понимание существа дела, требует обращение к первоисточникам. Иногда и сам автор не очень внятно формулирует дефиниции, которые с точки зрения содержания, на мой взгляд, выглядят хуже, чем в англоязычных первоисточниках. Например, при описании базовых принципов, положенных в основу MaxEnt (стр. 49). В данном случае, возможно лучше было бы просто дать цитаты непосредственно, на языке оригинала, либо Эдвина Джейнса (1957), либо интерпретацию Стивена Филипса (2006).

В тоже время, надо подчеркнуть, что зачастую за сложными обозначениями и аббревиатурами “скрываются” довольно простые технические процедуры. Объективно, речь идет о развивающемся направлении исследований, а именно о том периоде его развития, когда доступно множество методических подходов, эффективность которых и условия применимости в конкретном случае не вполне очевидны. Четкий однозначный “протокол” отсутствует, а ответственность за выбор того или иного алгоритма полностью ложится на самого исследователя. Поэтому в

этой же первой главе соискатель обосновывает свой подход к оценке пригодности местообитаний для бурого медведя, выбор методов и алгоритмов анализа исходных данных с учетом его собственных знаний о территории исследования и об экологии вида. В частности, предложено уточнение для функции выбора ресурса и функции вероятности выбора ресурса, которые должны, по его мнению, рассчитываться по наблюдениям присутствия на территории конкретных пищевых ресурсов, используемых медведем, и по наблюдениям их использования, а не на более доступных косвенных переменных, от которых может зависеть распределение этих ресурсов.

В **Главе 2** (стр. 87-103) дана характеристика территории исследования. Территория описана последовательно и подробно. Автор приводит много интересных сведений о самом заповеднике и его охранной зоне. Однако, по моему мнению, этот раздел можно было бы существенно сократить, так как значительная часть информации, представленной в нем, не используется в дальнейшей работе.

**Глава 3** “Материалы и методы” (стр. 104-148) содержит подробное описание полевых методов сбора исходных данных, объема собранных данных, характеристику косвенных независимых переменных (данные ДЗЗ, ЦМР и др.), алгоритмов и методов моделирования пространственного распределения пищевых ресурсов бурого медведя и моделирования пригодности его местообитаний на основе функции выбора ресурсов. Этот раздел, в своей значительной части является продолжением первой главы. Здесь конкретизируется авторский выбор методики исследования, тестов и критериев, моделей, что неизбежно ведет к некоторым повторам. Также здесь определена основная последовательность (этапы) выполнения исследования: 1) анализ пищевого рациона бурого медведя, 2) построение моделей пространственного распределения основных пищевых ресурсов, 3) построение реальных RSPF-моделей – “реальных функций вероятности выбора ресурсов”.

В качестве промежуточного результата исследования, в частности,

получен набор переменных окружающей среды (экологические переменные). Эти переменные в дальнейшем рассматриваются как независимые переменные (предикторы) для моделирования пространственного паттерна пищевых ресурсов бурого медведя, в соответствии с предложенным соискателем алгоритмом (Рис. 3.4.1, стр. 114). В исследовании использован внушительный перечень экологических переменных, включающих “на входе”: набор из 7 индексов, полученных на основе спектральных каналов снимков Landsat 8, морфометрические характеристики территории исследования, полученные на основе цифровой модели рельефа по данным SRTM, и характеристики растительного покрова, полученные в результате классификации сцен Landsat 8 с корректировкой по 100 реальным геоботаническим описаниям растительности, и слои их проективного покрытия. Разнообразный набор переменных, использованных в работе, совместно с доказательством репрезентативности выборки (сравнение распределений реальных наблюдений с распределением случайно отобранных точек) являются предпосылкой обоснованности и надежности результатов моделирования распределения 14 категорий кормовых ресурсов на территории исследования – модели пригодности местообитаний. Для построения моделей применялся MaxEnt с использованием дополнительно рандомизированной выборки из 10000 точек, выбранных в качестве “фоновых”. Выбор оптимальных настроек параметров моделей в MaxEnt осуществлялся с помощью “генетического алгоритма” в R-пакете «SDMtune».

Далее, определяется основной метод подбора логистической регрессии в зависимости от предикторов среды, в соответствии с используемой схемой (дизайном) интерпретации пространственной информации о размещении в пространстве регистраций присутствия медведя и его пищевой активности в ходе полевого сбора материала соискателем в течении 13 лет на маршрутных учетах (1811 точек, в том числе 1631 точек фиксации использования местообитаний медведем). Дополнительно использовались аналогичные

данные, хранящиеся в архиве заповедника, за тот же период времени (475 точек фиксации активности). В результате были построены карты, отражающие пригодность территории для медведя с точки зрения распределения наиболее важных пищевых ресурсов (индекс пригодности местообитания).

Инновации соискателя (научная новизна) по процедуре построения реальных функций вероятности выбора ресурсов (Real RSPF моделей) изложены в п. 3.5.4. Используемый подход оценивается в контексте сложившейся в литературе классификации. Важно, отметить, что по критерию размеров (географического масштаба) территории исследования (экстент), моделирование проводится на уровне ландшафта.

Особенности подхода, развиваемого соискателем, состоят в 1) применении прямых (проксимальных) ресурсных предикторов, характеристик ресурсов, а не косвенных (дистальных) экологических переменных, влияющих на их пространственный паттерн, 2) применении точек использования местообитания/ресурса и 3) применении дизайна «использование/неиспользование». Предложен оригинальный алгоритм (последовательность операций) при построении моделей функций вероятности выбора ресурсов (Рис. 3.5.4, стр. 140). В этом случае в качестве независимых переменных использовались растры пространственного распределения пищевых ресурсов, в которых каждой точке (пикселю размером 30x30 м) было присвоена определенная на предшествующем этапе моделирования вероятность присутствия того или иного пищевого ресурса, имеющего важное значение в рационе медведей на территории исследования. В качестве точек встреч медведя (также представленных пикселями того же размера) были выбраны сведения о местах использования ресурса, полученные в процессе полевых исследований, и отдельно аналогичные сведения из архива заповедника. Здесь в качестве точек, характеризующих “фон”, были задействованы 43120 точек вдоль всех маршрутов полевых учетов. Построение карт вероятностей использования пищевых ресурсов медведем



осуществлялось с помощью MaxEnt. Соответствующие вероятности присваивались каждому пикселю. Содержательно, чем ниже расчетная вероятность использования ресурса, тем ниже вероятность, что такой пиксель совпадет с пикселем, где были реально обнаружены следы кормления животных, и выше вероятность совпадения с точками, где таковых следов обнаружено не было. Следовательно, есть основание для предположения (гипотезы) о том, что набор точек с низкой относительной (для конкретной модели MaxEnt) расчетной вероятностью использования пищевых ресурсов может быть репрезентативен в отношении участков территории, которые, как минимум, с меньшей относительной вероятностью используются медведями (точки “псевдо-неиспользование”) в течение их активности в период бодрствования или, для сезонных моделей, в отдельные сезоны. Вторая гипотеза состоит в том, что вероятность неиспользования территории будет расти с ростом расстояния от точки, в которой медведи использовали ресурсы. Основания для этой гипотезы менее очевидны, чем для первой, на что в тексте есть прямое указание. Она отражает неравномерность распределения наиболее значимых ресурсов по территории, которая была получена в моделях пространственного паттерна пищевых ресурсов бурого медведя.

На следующем шаге случайным образом на карте выбирались точки псевдо-отсутствия на основе весовой функции, учитывающей как индекс пригодности местообитаний (пищевых ресурсов) и расстояний от точек обнаружения пищевой активности. Число точек на порядок превышало число точек использования, то есть регистрации пищевой активности. Число случайных “выборок” таких точек равнялось 1000, что должно было обеспечить минимизацию влияния случайной “неоднородности” их распределений. Здесь мне не понятна идея связи распределения вероятности псевдо-неиспользования с распределением Пуассона. Соискатель, к сожалению, не дает пояснений. Вероятно, предполагается, что распределение точек псевдо-отсутствия по территории должно приближаться к

пуассоновскому, т.е. существует средняя вероятность обнаружить точки псевдо-отсутствия, которая одинакова для всей территории моделирования, а дисперсия этой величины равна этой вероятности.

Генерирование точек псевдо-отсутствия – необходимая процедура, поскольку без таких данных невозможно построить вероятностную модель, в которой должны быть сведения не только о присутствии пищевой активности вида, но и об отсутствии таковой. Аналогичные шаги были повторены с точками архивных данных, сбор которых производился независимо от полевых сборов соискателя.

Далее случайные точки псевдо-отсутствия добавлялись к точкам с реальным присутствием следов кормления медведей и использовались совместно с ними в обобщенной модели линейной регрессии со смешанными эффектами с логистической функцией связи между независимыми переменными и “откликом”. Количество проверяемых регрессионных моделей соответствовало числу симуляций точек псевдо-отсутствия. Некоторые ограничения на дизайн модели, например, неиспользования взаимодействий между независимыми переменными, соискатель вводит исходя из знания экологии бурого медведя. На этом этапе отбирались наилучшие модели на основе набора критериев: остаточный девианс (оценка расхождений между наблюдаемыми и прогнозируемыми значениями); максимальная Каппа Коэна (статистика для сравнения результатов пары моделей по частоте совпадений классификации точек присутствия и псевдо-отсутствия с теоретической (случайной) частоте таких совпадений); True Skill Statistic (оценка на основе разницы между числом верно определённых моделью точек с присутствием вида – “чувствительность” и числом верно определенных точек с псевдо-отсутствием вида – “специфичность”); критерий Акаике (AIC) – широко используемый показатель оценки сложности (количества используемых независимых переменных) и логарифмического правдоподобия, позволяет выбрать модель с наименьшим значением AIC, которая лучше всего подходит

для конкретных данных; индекс Морана (оценка пространственной автокорреляции, проверка нулевой гипотезы о случайном распределении); внутриклассовая корреляция (косвенно); коэффициент точечной бисериальной корреляции между категориями “присутствия/псевдо-отсутствия” и предсказанными вероятностями (непрерывная переменная); площадь под графиком (Receiver operating characteristic curve), позволяющим оценить качество бинарной классификации, т.е. кривая отображающая зависимость “чувствительности” и ошибок второго рода (1-“специфичность”). Часть тестов была рассчитана для независимой выборки данных из архива заповедника.

Из приведенного перечня следует, что соискатель использовал практически все известные возможности для оценки качества полученных моделей классификации. В результате был получен оптимальный в статистическом смысле набор точек псевдо-отсутствия, которые расположены на территории в условиях максимально отличных от мест расположения точек присутствия.

Далее, лучшая из отобранных моделей была оптимизирована в отношении числа независимых переменных (в соответствии с правилом - чем меньше переменных, тем лучше, но без снижения качества модели) – предикторов. Для этого переменные последовательно удалялись, и на каждой итерации оценивалось качество модели по критерию Акаике. После этого анализировали функции отклика для каждого предиктора.

Полученная на предыдущем этапе модель проходила стандартную диагностику, принятую для обобщенных моделей линейной регрессии: 1) на линейность связи предиктора и отклика по остаткам модели с использованием, вероятно, сглаживающей локально линейной моделью регрессии (local regressions = “loess”), 2) проверка на избыточную дисперсию остатков, 3) на пространственную автокорреляцию с помощью индекса Морана и коррелограммы (график автокорреляции) по стандартизованным (нормированными на среднеквадратическое отклонение) остаткам модели.

Статистическая значимость модели и отдельных независимых переменных оценивалась по логарифму отношения правдоподобия моделей; для модели в целом – с полным числом (полная модель) и модели с уменьшенным числом переменных (сокращенная модель).

Оценка качества модели дополнительно проводилась на основе архивных данных заповедника: по графику зависимости вероятности использования от прогнозируемой вероятности использования (диаграммы надежности = калибровочные кривые) с 10 интервалами значений вероятностей и калибровочных кривых со сглаживающей функцией. Дискриминационная способность моделей оценивалась на основе набора метрик: по проценту верно классифицированных точек, чувствительности и специфичности, доле ошибочных классификаций присутствия или псевдо-отсутствия, “отношения шансов”, рассчитанного из частот верных и ошибочных классификаций точек присутствия и псевдо-отсутствия, Каппы Коена (основной критерий) и True Skill Statistic (TSS).

На основании отобранной наилучшей регрессионной модели и ее предсказаний была построена карта пригодности местообитаний, отражающая вероятность использования пищевых ресурсов медведем на территории заповедника и охранной зоны. Соответствующие баллы для точек в интервале от 0 (вероятность использования 0) до 1 (вероятность использования 1) интерпретировались как значения функций вероятности выбора пищевого ресурса. Для этой итоговой модели были построены функции отклика, характеризующие вероятность использования местообитания медведем от вероятности присутствия пищевого ресурса.

Я был вынужден подробно характеризовать систему критериев, использованную в рамках алгоритма построения реальной функции вероятности выбора ресурса потому, что в данном разделе текста, которое отражает специфический вклад соискателя в решение проблемы, содержание тестов почему-то не расшифровываются. Упоминания о тестах и критериях, но

не всех, разбросаны по тексту работы, в частности, в Главе 1 (стр. 41). С другой стороны, например, о критерии Акаике есть упоминание и в Главе 1 и, но в урезанном виде, в п. 3.5.4. В целом это существенно затрудняет восприятие текста, принимая во внимание, что практически везде соискатель использует только аббревиатуры.

К содержанию главы 3 у меня имеется одно общее и несколько частных замечаний/вопросов. В итоговой части Главы 3 явно не хватает сводной таблицы, в которой был бы указан исчерпывающий авторский выбор алгоритмов, методов, моделей, тестов, критериев и программного обеспечения, используемых для решения каждой конкретной задачи исследования. Это относится и к виду регрессионных функций и параметрам моделей, используемых в MaxEnt. На фоне впечатляющего разнообразия технических альтернатив, отсутствие информации, организованной таким способом, существенно затрудняет понимание результатов в последующих главах. Для того, чтобы прояснить ситуацию, мне пришлось “идти” к первоисточникам по литературным ссылкам, представленным соискателем (и не только), а также пользоваться разнообразной справочной информацией, что вполне было бы естественно для жанра работы, но в данном случае не вполне уместно. При этом “дополнительную” информацию по расшифровке, например, содержания индексов и показателей можно обнаружить в Главе 6 (стр. 204), содержащей результаты исследования.

При проверке на взаимную корреляцию (мультиколлинеарность) независимых переменных окружающей среды (стр. 121), соискатель использует довольно высокие пороги корреляции Спирмена и фактор инфляции дисперсии (VIF) для принятия присутствия корреляции. Значения коэффициента Спирмена  $> 0.7$  обычно указывает на сильную линейную корреляцию переменных (с учетом того, что обычная корреляция Пирсона больше по величине корреляции Спирмена для одних и тех же данных). Также и по величине VIF присутствие мультиколлинеарности обычно принимается

уже для интервала значений 5-10. Таким образом, использование высоких порогов не позволяет редуцировать переменные со средними величинами корреляции в интервале примерно от 0.5 до 0.6. Как соискатель может прокомментировать/обосновать этот выбор значений VIF ?

Второе замечание относится к данным, приведенным к таблице 3.4.2. В ней представлены предикторы, используемые для моделирования пространственного распределения ресурсов, которые имеют качественно разный масштаб измерений, разные единицы измерений (градусы, радианы, киловатты, %, метры) наряду с безразмерными переменными (вегетационные индексы). Как эта разнородность переменных влияет (или не влияет?) на результат моделирования MaxEnt ?

Отмечу, также, что в таблице 3.4.4 отсутствует расшифровка содержания “числовых признаков” для настройки моделей (L, Q, H, P) MaxEnt и параметра регуляризации (упоминался только в Главе 1).

В этом разделе работы, в которой должна быть представлена только методика исследования, частично приведены уже его результаты, пусть и промежуточные по отношению к основной заявленной цели. Вероятно, в том числе и поэтому в тексте диссертационной работы отсутствует традиционная самостоятельная глава “Результаты”.

Используемый соискателем способ подачи материала наверно имеет свое оправдание, но затрудняет работу с текстом, так как читателю приходится самому решать, о чем идет речь – о методике или уже о результатах ее применения.

В **Главе 4** (стр. 149 - 166) представлены результаты изучения пищевого рациона бурого медведя на территории исследования и сравнение их с аналогичными сведениями для европейских популяций из литературных источников. Раздел имеет самостоятельное научное значение, так как содержит новые количественные данные, расширяющие знания об экологии этого вида. Впечатляет и объем собранного соискателем полевого материала.

Автор делает вывод о близости рациона питания медведя на территории заповедника и его охранной зоны к рационам популяций, обитающих в восточной и южной Европе. К разделу имеются некоторые замечания по редакции текста. Например, автор пишет о том, что “Обычно травы ... обладают малой энергией...” (стр. 161), или “В то же время, пищевой рацион местных медведей имеет существенное влияние бореальных экосистем ...” (стр. 166) и т.п.

В **Главе 5** (стр. 167 – 193) излагаются результаты прогнозного моделирования пространственного распределения пищевых ресурсов (SDM) с использованием данных об окружающей среде, т.е. экологических переменных (предикторов). В SDM распределение ресурса представляется как complementary log-log (cloglog) функция географически привязанных экологических переменных – предсказателей (предикторов). Для решения задачи применялся алгоритм MaxEnt.

Оценка качества моделей на основе рекомендованных критериев показала, что пространственный паттерн воспроизводится удовлетворительно только для 10 из 14 видов ресурсов. Обсуждается значение отдельных экологических переменных в детерминации распределения ресурсов. В рамках этого обсуждения дается интерпретация экологических переменных как лимитирующих факторов, влияющих на встречаемость пищевых объектов, в связи модельными кривыми отклика и с биологическими особенностями последних. Для каждого пищевого ресурса перебором экологических предикторов (включением/исключением с помощью метода “складного ножа”) были выделены наиболее значимые факторы окружающей среды.

Основной результат этой части исследования – карты пространственного распределения пищевых ресурсов, которые были построены “для всех надежных моделей”. Кроме этого моделируется сезонная динамика пространственного распределения отдельных видов ресурсов. На основании полученных карт обосновано формулируется гипотеза 4-го защищаемого

положения о том, что антропогенно-трансформированная территория охранной зоны заповедника предоставляет более широкий спектр ресурсов для медведя, сравнительно со строго охраняемой территорией. В заключении проводится еще одна селекция ресурсных переменных для построения модели реальных функций вероятности выбора ресурсов. Здесь обратим внимание на то, что соискатель, проводя отбор переменных по коллинеарности, ориентировался на значения фактора инфляции дисперсии (VIF) меньше 5 (Табл. 5.5.1 – 5.5.6), т.е. добивался реального отсутствия корреляции между предикторами.

**Глава 6** (стр. 194–228) – пожалуй, один из ключевых разделов работы, в котором представлены результаты реализации третьего, заключительного этапа исследования – построение реальных функций вероятности выбора ресурсов (RSPF). В соответствии с алгоритмом, описанным в Главе 3, проводилась оптимизация 1000 моделей и отобрана наилучшая с пятью переменными, характеризующими пространственную изменчивость пищевых ресурсов. Среди рассматриваемых пищевых ресурсов медведя, наибольшее значение для его присутствия (= отмеченных фактов пищевой активности) были виды сем. зонтичных, черника, и гнезда муравьёв (наземных, купольных). Такие же “наилучшие” переменные определены для трех сезонов, различающих по спектрам питания медведя. Число независимых переменных в сезонных моделях варьировало от 3 (лето, осень) до 4 (весна).

Отметим, что понятное желание соискателя отразить в модели его собственные представления о важности ресурса (оправданное с точки зрения знаний об экологии медведя) приводит к некоторым “натяжками” при выборе включения/не включения переменных, например, лещины (стр. 194) по критерию AIC, когда разница между значениями критерия (0.1) для обоих вариантов модели не может рассматриваться, как сколь ни будь значимая.

Диагностика итоговых моделей продемонстрировала действительную независимость предикторных переменных. Это означает, что каждая из них



содержит в себе независимую информацию и не дублирует в этом смысле остальные переменные. Все модели удовлетворяли критерию линейности по отсутствию корреляции между предсказанными значениями и остатками. Также они удовлетворили базовой модели для функции связи (логит) в итоговых обобщенных смешанных регрессионных моделях, поскольку математическое ожидание предсказанной переменной статистически не значимо отличалось от дисперсии (признак того, что мы имеем дело с распределением Пуассона). Тесты на присутствие пространственной автокорреляции показали отрицательный результат для итоговых моделей, но также продемонстрировали и необходимость принимать во внимание неравномерность распределения точек в пространстве при полевом способе сбора данных (присутствовали в модели неподготовленных исходных данных) и положительный эффект использования случайной группирующей пространственной переменной (использовалась в регрессионной модели со смешанными эффектами). Отметим, что повтор этого тезиса далее присутствует на стр. 214.

Оценка качества предсказаний (= качества калибровки) для итоговых моделей показала, что общая модель (для всех сезонов) оказалась хуже сезонных. Существенно, что все оценки качества проведены соискателем на независимых данных, собранных сотрудниками заповедника. Оценка по калибровочным графикам (стр. 202) продемонстрировала, что общая модель несколько занижает вероятности использования ресурсов относительно наблюдаемых, но характеризуется устойчивой величиной этого “смещения”. Сезонные модели напротив, завышали эти вероятности при менее определённом характере “смещения”.

Оценка моделей с точки зрения качества классификации точек на два класса – присутствие пищевой активности – отсутствие активности – проведена при разном пороге значений предсказанных вероятностей присутствия. Порог подбирался таким образом, чтобы максимизировать

значения используемых критериев качества дискриминации. Отметим, что для общей модели этот порог составил 0.33, а для сезонных – 0.6-0.7, что полностью соответствует результатам их калибровки.

Для всех моделей соискатель приводит комплексную оценку их качества. В частности, процент правильных предсказаний использования и неиспользования местообитаний составил от 75% (общая модель) до 92-94% (сезонные модели). Приведенные цифры, наряду с значениями других критериев, убедительно свидетельствуют о высоком качестве, адекватности и надежности итоговых моделей.

В пп. 6.4 – 6.5. приводится интересная биологическая интерпретация моделей в контексте вероятности использования медведем отдельных видов ресурсов и, в том числе, приведены весьма информативные кривые отклика. В целом, соискатель дает убедительные объяснения нелинейности (экспоненциальной, логистической) функций отклика с учетом информации об экологии вида.

Наконец, в этих параграфах (Глава 6) приводятся записи итоговых моделей и карты вероятностей использования местообитаний и категорий использования (используется-не используется). На основании сезонных карт использования местообитаний дается оценка всей территории исследования. Величина доли использования территории интерпретируется в связи с сезонными изменениями ширины трофической ниши.

Самостоятельный интерес представляет значительная по объему **Глава 7** (стр. 229–274), посвященная не только обобщению результатов моделирования, представленных в предыдущих главах. Здесь соискатель анализирует эти результаты в разных аспектах для лучшего понимания общей и сезонной структуры использования бурым медведем территории заповедника и его охранной зоны. В том числе соискатель анализирует интересный “индекс энергетической пригодности местообитаний”, о котором нет (!) упоминаний в методической части работы. В этом же разделе дается

подробная характеристика типов биотопов, выделенных на основе экологических переменных, как источников наиболее важных пищевых ресурсов. Приводится оценка влияния природопользования на использование местообитаний медведем. Наконец, в Главе 7 обосновываются положения, сформулированные в итоговой части работы.

В целом, содержание Главы 7 в наибольшей степени насыщено оригинальными сведениями об экологии бурого медведя, полученными соискателем в ходе данного исследования. Не вызывает сомнений, что он является высококлассным полевым экологом – натуралистом, для которого первостепенное значение имеет именно объект исследования. Используемый соискателем формальный и весьма изощренный статистический аппарат выступает здесь, как необходимый инструмент познания количественных и качественных естественных ограничений (= закономерностей), формирующих в конечном итоге пространственно-временной паттерн использования территории бурым медведем.

Завершается диссертация коротким (стр. 275 - 277) разделом “**Выводы**”. В нем приведены восемь четко сформулированных выводов, целиком и полностью отражающих содержание результатов, изложенных в тексте диссертационной работы. На мой взгляд, очень важен вывод о том, что история территории на разных временных масштабах, выраженная, с одной стороны, в мезорельефе, и, с другой стороны, недавняя человеческая деятельность, признаны ведущими факторами, формирующими современный пространственный паттерн ее использования бурыми медведями.

Замечания и вопросы, возникшие у меня в процессе освоения текста, и перечисленные в отзыве абсолютно не портят общего хорошего впечатления от самого исследования и его результатов. Надо еще раз подчеркнуть то, что вся работа выполнена соискателем самостоятельно. Таким образом, соискатель проявил себя как вполне сложившийся исследователь, способный

формулировать задачи исследования, организовать и обеспечить сбор полноценного полевого материала, освоить современные методы анализа разнородных данных, наконец, предложить свой подход решения поставленных задач и продемонстрировать его преимущества.

К этому можно добавить то, что работа имеет большое методическое значение, как аккуратно реализованный пример использования современной и развивающейся технологии экологических исследований. Полученный соискателем опыт целесообразно использовать в учебном процессе при подготовке магистров - биологов в университетах.

В качестве пожелания хотелось бы, чтобы соискатель обратил внимание в будущем на возможности приложений результатов моделирования пространственного распределения видов животных, имеющих экономическое значение, в том числе медведя, для бонитировки местообитаний или более крупных выделов при организации охотничьих хозяйств, районировании/зонировании территорий природных парков и иных ООПТ, и в процедуре оценки воздействия на окружающую среду при проектировании хозяйственной деятельности.

В целом диссертационную работу С.С. Огурцова можно охарактеризовать как законченное квалификационное исследование. Не вызывает сомнений его научная/практическая актуальность и новизна. Достоверность результатов, доказательная база исследования основываются на большом объеме оригинальных данных и тщательно продуманной схеме их формального анализа, с использованием методов адекватных как самому материалу, так и задачам исследования. В результате были получены хорошо аргументированные и вызывающие доверие выводы.

Автореферат отражает содержание диссертации и полностью отвечает требованиям ВАК.

Содержание диссертации отражено в 27 публикациях, из которых 7 опубликованы в изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК РФ. Апробация

результатов работы проведена на 20 международных и всероссийских конференциях и отражена в соответствующих тезисах и материалах.

Таким образом, диссертационная работа Огурцова Сергея Сергеевича "Моделирование пригодности местообитаний бурого медведя *Ursus arctos* (Linnaeus, 1758) на основе функции выбора ресурсов в мозаичных ландшафтах южной тайги", отвечает всем требованиям пп. 9-11, 13-14 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Огурцов Сергей Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15 – Экология (биологические науки).

Официальный оппонент,  
доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник,  
Лаборатории биогеографии,  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии  
Российской академии наук», 119017, ЦФО, Москва, Старомонетный переулок, дом 29,  
строение 4.  
Телефон: +7 (495) 959-00-22; Факс: +7 (495) 959-00-33  
E-mail: [puzak@igras.ru](mailto:puzak@igras.ru)  
Адрес официального сайта в сети "Интернет": <http://igras.ru/node/1>

Пузаченко Андрей Юрьевич  
01.03.2023