

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертации Гонгальского Константина Брониславовича

«Закономерности восстановления сообществ почвенных животных после лесных пожаров»,
представленной на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности
03.02.08 – экология (биологические науки)

Почвенная фауна – один из наиболее значимых компонентов биосферы, как по разнообразию, так и по своей функциональной роли в процессах трансформации вещества и энергии. Изучение этого компонента достаточно давно вошло в круг фундаментальных задач почвенной биологии и в нашей стране, и за ее пределами. Однако в наших знаниях о почвенной фауне все еще много пробелов. Особенно это касается функциональной структуры сообществ почвенных животных и механизмов их устойчивости к сильным внешним воздействиям. К числу таких воздействий, вне сомнения, можно отнести лесные пожары, которым ежегодно подвергаются тысячи квадратных километров, в том числе и в России. До настоящего времени в мировой литературе не было сделано крупных обобщений относительно влияния лесных пожаров на почвенную фауну, тем более, с должным анализом механизмов этого явления. Вышесказанное делает представленную диссертационную работу Константина Брониславовича Гонгальского весьма актуальной.

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, 7 глав, заключения, выводов, списка литературы и 3 приложений. Работа изложена на 306 страницах машинописного текста, содержит 32 таблицы и 74 рисунка. Список использованной литературы включает в себя 462 названия, из которых 346 на иностранных языках.

Введение (9 стр.) построено традиционно: в нем охарактеризована актуальность работы, сформулированы цели и задачи, научная новизна и практическая значимость работы, а также основные выносимые на защиту положения. Кроме того, здесь изложены обязательные «служебные» разделы, касающиеся структуры работы, ее апробации и публикаций, а также личного вклада автора.

В качестве **замечания** отмечу, что при характеристике актуальности темы и при постановке задачи автор почему-то совершенно не использовал концепцию устойчивости экосистем (упругости и эластичности, resistance and resilience), хотя она имеет прямое отношение к рассматриваемой проблеме. Более того, обсуждение проблем пирогенной экологии в работах зарубежных авторов традиционно проводится в рамках именно этой парадигмы.

Глава 1 (79 страниц) представляет собой обзор литературы, в котором автор выполнил подробный анализ имеющихся литературных данных о роли пожаров в лесных экосистемах, частоте и распространении лесных пожаров, особенностях пирогенных экосистем, о влиянии пожаров на изменение климата и биологические инвазии. Подробно рассмотрено изменение структуры экосистем после пожаров, а также охарактеризованы разные временные стадии воздействия пожаров на почвенных беспозвоночных. Обсуждены вопросы моментальных последствий пожаров для почвенной фауны, включая роль выживания и иммиграции. Показано, какие наблюдения уже были сделаны почвенными зоологами на горях. Рассмотрены особенности влияния пожаров на различные группы почвенных животных.

В отдельном подразделе проанализирована литература о пространственной неоднородности лесных экосистем и ее роли в восстановлении сообществ почвенной мезофауны после пожаров. Рассмотрена роль пространственной неоднородности гарей как фактора постпирогенного восстановления сообществ животных. В конце главы обсуждается практическая роль лесных пожаров. До сих пор в литературе нет единого мнения о том, насколько выжигание вырубок естественно для почвенных животных, что определило одну из целей работы.

В целом, литературный обзор можно охарактеризовать как достаточно полный, акцентирующий внимание на существующих пробелах, что важно для дальнейшего изложения собственных результатов диссертанта.

Можно отметить следующие **замечания**:

1. Говоря о пирогенных экосистемах (раздел 1.1.3) и роли пожаров в распространении инвазий (раздел 1.1.4) автор почему-то не упомянул эвкалипты – пожалуй, наиболее яркий пример пирогенных видов растений, к тому же имеющий прямое отношение к проблеме биологических инвазий.
2. В разделе о пространственном распределении почвенных животных (1.4.4) совершенно не упомянуты работы J.P. Rossi, которые можно считать классическими в области применения геостатистических методов в почвенно-зоологических исследованиях. Эти работы (а их достаточно много!) касаются не только методических аспектов, но и конкретных примеров по крупным почвенным животным, в том числе дождевым червям, которые, к сожалению, даже не упомянуты в разделе 1.4.4. Исходя только из этого, работы J.P. Rossi в обзоре следовало упомянуть обязательно, причем я не могу себе представить, что диссертант с этими работами не знаком.
3. Еще более странным представляется то, что в разделе по пространственной неоднородности (1.4) диссертант забыл упомянуть свою собственную монографию

2007 г. «Пространственная экология почвенных животных», написанную в соавторстве с А.Д. Покаржевским и другими коллегами.

4. В ряде случаев диссертант несколько небрежно обращается с терминами. Хотелось бы надеяться, что автор не будет настаивать на неологизме «мультивариантная статистика» (стр. 78) вместо «многомерная», «видовое многообразие сообществ» (стр. 57) вместо «разнообразие», «волатилизуется» (табл. 2 на стр. 28) вместо «улетучивается». Также надеюсь, что «низкая выровненность по обилию» (стр. 72) – это опечатка, а не ошибочное использование термина «выравненность» (от «равное обилие», а не «ровное»).
5. В ряде мест видны «остаточные следы» редактирования. Так, на стр. 41 два предложения (предпоследний абзац) продублированы в следующем абзаце.

Глава 2 «Материал и методы», состоящая из 33 страниц, включает в себя описание природных условий всех мест сбора материала, методику сбора материала в поле и проведения экспериментов. В связи с большим количеством отдельных экспериментов в начале главы приведено описание общей методологии исследований, а именно указано, какие эксперименты были нацелены на решение каких проблем, а какие вопросы решить с помощью собственных данных не удалось, и были привлечены литературные материалы.

Для каждого района (пункта сбора материала) приведено описание особенностей рельефа, почв, климата и растительности, а также характеристика разных типов местообитаний.

Статистическая обработка данных включала как традиционные методы описательной статистики, так и методы геостатистики. Можно отметить, что автор был одним из первых почвенных зоологов в нашей стране, которые начали применять методы геостатистики. В разделе приведено описание методов построения вариограмм и дана интерпретация их параметров, а также охарактеризованы другие использованные подходы к анализу пространственно-распределенных данных.

В отдельном подразделе (2.8) в табличном виде приведены исходные материалы для совместного анализа собственных и литературных данных. Автором была извлечена информация из практически всех доступных литературных источников, в итоге сформирована база данных, содержащая максимально полную на настоящий момент информацию о параметрах восстановления сообществ почвенной фауны после пожаров.

Говоря о **замечаниях** к этой главе, следует подчеркнуть, что раздел «Материал и методы» должен быть одним из ключевых в любой диссертационной работе, поскольку он, фактически, дает ключ к оценке корректности всего исследования. Описание методов и

характеристика материала работы должны быть максимально подробными, позволяющими читателю без каких-либо искажений или неясностей (и без дополнительных вопросов к автору!) представить последовательность действий, которые привели к полученным результатам.

1. В целом, глава 2 удовлетворяет этому условию, но в ряде случаев описание материала и методов нельзя признать исчерпывающим. Так, например, не перечислены подробности измерения почвенных параметров (стр. 97), дана только ссылка на известное руководство Аринушкиной. Отсутствуют данные об объеме материала в разделах 2.4.4.1 и 2.4.4.2. Наличествует некоторая недосказанность при характеристике местообитаний: например, на стр. 108 написано, что пробы отбирали на двух участках, «на одном из них в почве обнаружен уголь», а вот про второй участок ничего не сказано; можно предположить, что он служит контролем, но это утверждение необходимо было сделать в явном виде.
2. Серьезным недостатком следует считать то, что не приведены критерии разделения таксонов беспозвоночных на группы немобильных и мобильных (раздел 2.3). Автор просто перечислил, какой именно таксон он отнес к той или иной группе. Такой способ нельзя считать оптимальным хотя бы потому, что перечисление может и не быть исчерпывающим. Так, диссертант пишет, что к немобильным «отнесены все многоножки, дождевые черви и все отряды паукообразных, кроме пауков, а также моллюски» (стр. 97), а к мобильным «отнесены все прочие беспозвоночные» (там же). Стало быть, энхитреид и мокриц, следуя такому описанию, необходимо отнести к мобильным элементам, что выглядит, по меньшей мере, дискуссионно.

Еще одна странность с разделением на мобильные и немобильные элементы заключается в том, что в статье диссертанта, написанной в соавторстве с А.С.Зайцевым и зарубежными коллегами (Zaitsev A.S., Gongalsky K.B., Persson T., Bengtsson J. Connectivity of litter islands remaining after a fire and unburnt forest determines the recovery of soil fauna // *Appl. Soil Ecol.* 2014. V. 83. P. 101–108) все беспозвоночные разделены не на две, а на три группы – мобильные, умеренно мобильные и резиденты (т.е. немобильные). Вне сомнений, такая классификация условна, зависит от цели работы, а количество градаций произвольно. Но это расхождение между диссертацией и статьей для одного и того же материала не только не обсуждается, но даже не упомянуто диссертантом. Более того, в указанной статье личинки шелкунов и мягкотелок отнесены к немобильным элементам, тогда как в диссертации – к мобильным.

Если бы автор привел хотя бы примерные характерные скорости перемещения разных групп, а также другие строгие критерии разделения (в частности, связанные с подвижностью разных стадий развития), то такие казусы бы не возникали.

3. Принципиальные возражения вызывает раздел 2.8, который автор назвал «Мета-анализ собственных и литературных данных». В широком смысле под мета-анализом, конечно, можно понимать любой анализ, обобщающий результаты предыдущих анализов (т.е. следующий после них). Если диссертант именно так понимает данный термин, то это было необходимо специально и подробно оговорить, поскольку такое понимание очень нетрадиционно. Стандартно под мета-анализом (по крайней мере, последние более чем тридцать лет в англоязычной экологической литературе и с десятков лет – в русскоязычной) понимают статистический подход, позволяющий количественно объединять результаты нескольких независимых исследований. Мета-анализу (в таком понимании) посвящены уже тысячи работ и десятки учебников. Как известно, суть мета-анализа заключается в переводе разнородных данных из отобранных по определенным критериям публикаций в сопоставимые величины эффектов (effect sizes) с последующим анализом полученных оценок для нахождения общих закономерностей, а также для выявления факторов, определяющих изменчивость результатов исследований; при этом мета-анализ в явном виде учитывает репрезентативность каждого из первичных исследований, придавая больший вес тем работам, которые основаны на большем количестве независимых повторностей. Если автор именно так (т.е. традиционно) понимает мета-анализ, то отсутствуют три крайне важные вещи: а) в таблицах с 9 по 12 не приведены величины изменчивости исходных данных (например, стандартные ошибки) и объемы выборок, по которым они рассчитаны; б) нет описания использованных методов мета-анализа; в) нет обоснования выбора метрики для оценки величины эффекта. В отношении последнего следует заметить, что в качестве величины эффекта диссертант использовал отношение параметра в опыте (т.е. на гари) к контрольному значению. Это так называемое отношение откликов (response ratio). Но в мета-анализе, чтобы избежать смещения оценок (которое может быть весьма существенным), а также нивелировать влияние отклонения от нормальности, используют не само отношения откликов, а его логарифм. Подробнее на этих моментах я остановлюсь при анализе главы 5.
4. Допущены неточности при описании методов статистического анализа. Так, диссертант указал, что использовал «общие линейные модели (GLM)» (стр. 123-124).

В данном случае речь может идти как о собственно Generalized Linear Models, т.е. обобщенных линейных моделях, так и о названии модуля GLM в программе STATISTICA, в котором реализованы методы обычных линейных моделей (традиционно обозначаются как LM), в том числе стандартный ANOVA. Такое название модуля в данной программе, безусловно, очень неудачно и вводит в заблуждение, поскольку аббревиатура закреплена за другим термином (а модуль обобщенных линейных моделей в STATISTICA обозначен GLZ). Если автор действительно использовал обобщенные линейные модели (которые, собственно, и обозначаются как GLM), то обязательно следовало указать тип распределения зависимой переменной и вид функции-связки.

5. Также присутствует нечеткость при интерпретации параметров вариограмм. Так, на стр. 125 автор пишет о том, что при моделировании вариограмм «определяют, на каком расстоянии от исходной точки ее значения достигают порога. Это расстояние и есть радиус «пятна»». Хотя автор и заключил слово «пятно» в кавычки, такая формулировка может ввести в заблуждение, поскольку пятно обычно ассоциируется со скоплениями (в данном случае животных). Кстати, далее (стр. 126) слово используется уже без кавычек. На самом деле радиус автокорреляции не имеет отношения к размерам пятен, он дает обобщенную характеристику размера неоднородности, т.е. одновременно и сгущений, и разрежений (т.е. и «пятен» и «дырок»).
6. Не обошлось без курьезных неологизмов. Так, на стр. 99 указан « α -гумусовый подзол». Вряд ли греческую букву α уместно использовать в качестве аббревиатуры для латинского названия двух элементов (алюминия и железа) в описании Al-Fe-гумусовых подзолов.
7. Присутствуют редакционные погрешности. Так, варианты участков в разделе 2.5.1 обозначены латиницей, а в разделе 2.5.2 – кириллицей. Раздел 2.8.2 назван «Методика анализа влияния возраста гари на скорость ее восстановления», хотя речь идет о восстановлении только населения жужелиц.

Глава 3 (10 страниц) посвящена начальному этапу формирования сообществ любой гари – выживанию почвенных животных во время пожара на разных стадиях жизненного цикла в виде подвижных (имаго и личинки) и неподвижных (яйца) стадий. Следует подчеркнуть несомненный аспект новизны этого фрагмента работы: впервые в мире проведена количественная оценка выживания мезофауны при разных микробиотопических условиях путем выжигания интактных почвенных монолитов, собранных в разных местах

катены в елово-сосновом лесу в центральной Швеции. Общий методический подход представляется корректным: на каждом участке было отобрано по 10 проб, из которых половина была подвергнута выжиганию; пробы экстрагировали для оценки выживших в почве животных, а затем инкубировали для дополнительной выгонки беспозвоночных, вылупившихся из яиц, которые пережили выжигание. Автор приходит к заключению, что неоднородность почвенной среды определяет закономерности восстановления почвенной биоты, выжившей в менее нарушенных микроместообитаниях, а пул неактивных яиц, отложенных до начала воздействия, вносит небольшой вклад в послепожарное сообщество.

В качестве **замечания** к данной главе можно отметить очень нетривиальное оформление иллюстраций: на трех рисунках из четырех (рис. 14, 15, 16) отсутствуют не только подписи по оси абсцисс, но и цифры по шкале ординат! В результате необходимо прилагать значительные интеллектуальные усилия, чтобы разгадать предложенный «ребус», но в любом случае можно оценить только общую тенденцию изменений, а не их масштабы. Кроме того, хотя диссертант и обещал излагать подробности статистических методов в соответствующих местах диссертации (стр. 124), в данной главе это не сделано: так, не указано по какому именно критерию (из многих возможных) выполнены множественные сравнения, результаты которых в виде букв представлены на рис. 14 и 15.

Глава 4 «Динамика таксономической и функциональной структуры почвенной мезофауны на гарях» – самая обширная «фактологическая» глава (63 стр.). В ней совмещены два подхода – анализ естественных гарей и выжиганий вырубок на примере почвенной мезофауны, отобранной почвенным буром, и отдельно – семейства жуужелиц, учет которых проводился с помощью ловушек Барбера. Задачей автора было выявить факторы формирования сообществ на разном временном интервале после пожара.

Первые три раздела посвящены анализу состояния сообществ жуужелиц на гарях: изучены естественная гарь в Швеции и выжженная вырубка в Норвегии. Затем для верификации полученных результатов проведен сбор и анализ данных из литературы из бореальной зоны Голарктики, подтверждающий, что пиротфильные виды жуужелиц имеют тенденцию избегать выжженных вырубок.

В следующем разделе главы проведен детальный анализ состояния сообщества почвенной мезофауны на гарях в Карелии и Швеции в течение 7 лет после пожара, с оценкой различных экологических особенностей сообщества: по спектру пищевых предпочтений, расселительной способности, обитания в различных горизонтах почвы. Затем проведен сходный анализ на выжженной вырубке в другой точке в Швеции. Здесь автором рассмотрен

10-летний период восстановления сообщества почвенной мезофауны на вырубке и вырубке, подвергшейся выжиганию.

В результате анализа данных этой главы диссертант сформулировал вывод, что население почвенной мезофауны на вырубках, подверженных выжиганию, восстанавливаются медленнее не только на невыжигавшихся вырубках, но и на естественных горях сходной интенсивности. Таксоцены жужелиц на вырубках, подверженных выжиганию, в целом, сходны с таковыми на естественных горях, однако выжигание вырубков не способствует привлечению пиротфильных видов.

К этой главе можно указать следующие **замечания**:

1. Сохранилась (усилилась!) неопределенность, связанная с обобщенными линейными моделями. В заголовке табл. 17 (стр. 168) они, в отличие от главы 2, поименованы именно как «обобщенные», а не «общие». Но тогда, как я отметил выше, отсутствует важная информация, касающаяся выбора типа распределения (для анализа изменений численности оптимально было бы использовать распределение Пуассона) и функции-связки. Кроме того, приведенные результирующие статистики (критерий Фишера) наводят на мысль, что диссертант использовал все-таки общие линейные модели (т.е. стандартный многофакторный дисперсионный анализ), а указанная им аббревиатура GLM – это название модуля в программе STATISTICA, но не название метода. В таком случае, полученные величины достигнутого уровня значимости (и, соответственно, выводы о наличии / отсутствии различий) могут быть сильно смещены (поскольку численность не может принимать отрицательных значений и ее распределение не подчиняется нормальному закону). Корректнее было бы, безусловно, использовать Generalized Linear Models (или, по крайней мере, трансформировать исходные значения логарифмированием). Хотелось бы услышать пояснения диссертанта по этому поводу.
2. На рис. 35, 36, 38 личинки щелкунов однозначно отнесены к сапрофагам. Однако, как хорошо известно, проволочники – это сборная в трофическом отношении группа, включающая также зоофагов и фитофагов. Диссертант не пояснил, была ли выполнена видовая идентификация щелкунов, позволившая отнести всю группу исключительно к сапрофагам.
3. Допущены погрешности в описании результатов статистического анализа. На стр. 159 одновременно приведены значения не только собственно критерия Манна-Уитни (U), но и его нормальной аппроксимации (Z), что совершенно избыточно. Причем значения Z приведены почему-то с отрицательным знаком (в данном случае

знак имеет чисто техническое значение, поскольку зависит только от последовательности включения переменных в анализ).

4. Из редакционных замечаний: для рис. 25 не расшифрована легенда, на рис.45 и 46 отсутствуют не только подпись оси абсцисс, но и цифры по оси ординат.

Глава 5 «Влияние размеров и возраста гарей на восстановление сообществ почвенной мезофауны» (6 стр.) основана как на собственных материалах автора, так и на извлеченных из литературы (приведены в разделе 2.8). Диссертант пришел к выводу, что не наблюдается связи между скоростью восстановления сообществ почвенных животных и размерами гари в диапазоне от 1 до 1000 га (для относительно молодых гарей, 3–7 лет). Для гарей более крупных размеров был проведен дополнительный анализ по численности и разнообразию жужелиц. Хотя для жужелиц количество точек для построения зависимости оказалось больше, а диапазон площадей гарей был на два порядка шире, тем не менее, связи с размером гари диссертант не обнаружил ни для обилия, ни для видового богатства жужелиц.

На основе рассмотрения зависимости состояния населения мезофауны от возраста гари диссертант сделал вывод, что количество таксономических групп и численность мезофауны восстанавливаются через 80 лет после пожара, а восстановление видового богатства и обилия жужелиц происходит значительно быстрее (порядка 15–20 лет). Автор также выполнил попарное сравнение контрольных участков и гарей разного возраста с помощью коэффициента сходства Жаккара, и не выявил постепенного сближения видового состава между ними со временем. Исходя из этого автор утверждает, что структура таксоцены восстанавливается на несколько десятков лет позже, вероятно, параллельно с восстановлением структуры растительного и почвенного покрова.

Как я отметил выше, с данным фрагментом работы связаны наиболее существенные замечания:

1. Для того, чтобы анализировать на количественном (а не на качественном, т.е. описательном) уровне результаты нескольких независимых исследований – а именно это попытался сделать диссертант при объединении собственных и литературных данных – необходимо использовать специально разработанный для этих целей аппарат одного из современных разделов статистики, а именно мета-анализ. Принципиальный момент такого анализа заключается в том, что каждый отдельный результат «взвешивается» по величине изменчивости и объему выборочного усилия, т.е., фактически, по степени надежности. Такое «взвешивание» может сильно влиять на вклад отдельных результатов в общую закономерность. Но только такое «взвешивание» позволяет сделать вероятностный вывод при объединении

результатов независимых исследований, т.е. определить степень надежности обобщающего вывода в терминах вероятности ошибки первого и второго рода. Ничего этого диссертант, к сожалению, не сделал, т.е. заявленный в разделе 2.8 мета-анализ не выполнен. Исходя из этого, заключения диссертанта о характере зависимостей скорости восстановления от размера и возраста гарей нельзя ни принять, ни отвергнуть – они остаются в статусе «экспертного заключения», принимаемого (или не принимаемого) на веру, но не выводов, имеющих статистическую поддержку.

2. Дополнительным «отягчающим» обстоятельством можно считать неудачный выбор метрики для характеристики величины эффекта – отношения откликов. Хорошо известно, что данная метрика сильнее зависит от поведения знаменателя (особенно в области его малых значений), чем числителя, из-за чего могут возникать сильные смещения. Именно поэтому в исходном виде (как это сделал диссертант) ее никогда не используют в мета-анализе, а оперируют логарифмом отношения откликов (подробнее, например, см.: Hedges L.V., Gurevitch J., Curtis P.S. The meta-analysis of response ratios in experimental ecology // Ecology. 1999. V. 80. P. 1150–1156). Заметим, что в экологических приложениях мета-анализа чаще всего применяют другой показатель – величину эффекта по Хеджесу (разность средних, нормированная к объединенному стандартному отклонению), который для задач диссертанта был бы значительно более приемлемым.
3. Вызывает возражения и подход к количественной оценке времени восстановления населения почвенных беспозвоночных после пожара. Для решения этой задачи автор использовал уравнение линейной регрессии, аппроксимирующей зависимость численности (видового богатства) беспозвоночных от возраста (или логарифма возраста) гари. Заметим, что построение регрессий в мета-анализе – один из наиболее сложных разделов, требующий применения очень «продвинутого» математического аппарата, далекого от обычной линейной регрессионной модели. Но даже если «закрывать глаза» на «невзвешенность» отдельных точек, на возможное отклонение от нормальности и прочие обстоятельства, то остается непонятным, почему автор рассчитал время восстановления как абсциссу точки пересечения линии регрессии со значением ординаты, равным единице. Требование достижения абсолютного равенства параметра на гари и на контрольном участке представляется чрезмерным и нереалистичным, хотя бы в силу естественной высокой вариабельности самих контрольных участков, о чем диссертанту, безусловно, хорошо известно. Это же касается и сходства видового состава населения: сложно

себе представить ситуацию, когда разные контрольные участки будут абсолютно сходны между собой; обычно сходство видового состава выше 0.6–0.7 по коэффициенту Жаккара считают достаточно высоким (хотя это, конечно, зависит от специфики объекта). Более обоснованно в обоих случаях было бы рассматривать не достижение абсолютного равенства (сходства) гари и контроля, а пересечение нижней границы области естественной вариабельности. Исходя из сказанного, приведенные диссертантом точечные оценки времени восстановления (тем более, без доверительного интервала!) можно рассматривать только как самое первое приближение.

4. Можно отметить и некоторую небрежность в оформлении: рисунок 51 Б, на котором представлено соотношение разных экологических групп жужелиц в зависимости от размера гари, не только не обсужден в тексте главы, но даже и не упомянут. Соответственно, не ясно, как рассчитана доля группы – по количеству видов или по их обилию.
5. Присутствуют в рассматриваемой главе и редакционные погрешности. Так, на рис. 47 приведено 8 точек, из которых 6 – синего цвета, а 2 – красного. Что означает такая цветовая дифференциация не пояснено. На стр. 200 сказано «Разнообразие, измеренное в виде отношения числа таксономических групп на гари к соответствующему контролю...». Очевидно, что автор подразумевал не разнообразие, а величину эффекта (в данном случае отношение откликов).

Глава 6 «Пространственная структура восстановления гарей» (27 стр.) посвящена роли пространственной гетерогенности почвенного покрова в восстановлении почвенной фауны на гарях. Анализ литературы и собственные материалы автора по неоднородности почвенной среды в ненарушенных экосистемах привели диссертанта к предположению о том, что данный фактор может быть ключевым в механизмах восстановления.

Диссертант показал, что наиболее разнообразны и обильны сообщества на менее сильно сгоревших территориях. На двух примерах он анализирует микрораспределение почвенных беспозвоночных в пределах гарей (в Полистовском и Кандалакшском заповедниках). С использованием геостатистики автор оценил параметры неоднородности ряда экологических факторов и показателей состояния сообществ почвенных беспозвоночных. Диссертант пришел к выводу, что на всех гарях выявляются участки с более высокими показателями численности и разнообразия почвенных беспозвоночных, чем в среднем по гари. Также диссертант считает, что пятна высокой численности почвенной мезофауны совпадают в пространстве с пятнами наиболее благоприятных условий среды.

Последний раздел главы 6 посвящен оценке роли так называемых «коридоров» в восстановлении сообществ почвенной мезофауны после пожаров. Данные получены на одной из гарей в Швеции, где автор наблюдал динамику восстановления сообществ. Выделенные варианты микробиотопов «край», «остров» и «коридор» позволили оценить скорости заселения участков, различающихся по степени связанности с негорелым лесом. Этот раздел, фактически, описывает один из основных механизмов восстановления сообществ, который обсуждается далее в главе 7, и который заключается в заселении гари по менее сгоревшим участкам, существующим из-за пространственной неоднородности среды в пределах гари. Следует подчеркнуть несомненную новизну и несомненную важность этой части работы: автор впервые рассматривает гарь как гетерогенное местообитание, что позволяет ему сделать вывод о том, что заселение гари осуществляется благодаря наличию сети слабо сгоревших участков по сравнению с остальным (более сильно выгоревшим) пространством гари.

К данной главе следующие **замечания**:

1. Достаточно неожиданным было увидеть рисунки 57–61 и 65, из которых следует, что диссертант моделировал вариограммы сферической моделью по трем точкам, причем все они лежат в области достижения порога (sill), а для области, по которой определен радиус автокорреляции и параметр «эффекта самородка» (nugget effect), нет вообще ни одной точки. Либо это ошибка при воспроизведении графиков, либо эти два параметра определены некорректно, поскольку невозможно корректно оценить параметр регрессии тогда, когда вообще нет точек, по которым производится аппроксимация. Скорее всего, проблема связана с программой Variowin, вернее, с ее настройками по умолчанию: величину лага необходимо было выбирать не столь большой (как по умолчанию предлагает Variowin исходя из оптимального количества сравниваемых пар в пределах диапазона расстояний), тогда количество точек для моделирования вариограммы было бы больше (хотя их «надежностью» пришлось бы немного пожертвовать) и, во всяком случае, они присутствовали бы в наиболее важной для моделирования области вариограммы – при переходе от порога к «эффекту самородка».

Кстати, присутствует еще одна ошибка при описании моделирования вариограмм: в таблицах 23, 24, 26 приведен показатель IGF, который в заголовках к таблицам расшифрован как «достоверность сходства модели и экспериментальных данных». Тогда очень малые (меньше 0,01 или 0,001) значения IGF, казалось бы, свидетельствуют о статистической значимости модели. На самом деле, IGF – это indicative goodness-of-fit, т.е. ориентировочный критерий согласия (аналог критерия

хи-квадрат), но никак не достигнутый уровень значимости (т.е. «достоверность» по терминологии автора). Он просто показывает наилучшее достигнутое качество аппроксимации в данном сеансе работы с программой и сам по себе имеет смысл только при сравнении нескольких альтернативных моделей. В любом случае, сам по себе, он не может быть показателем надежности модели.

2. Также достаточно неожиданным было познакомиться с нетрадиционной интерпретацией диссертантом радиуса автокорреляции. При анализе главы 2 я уже отмечал, что диссертант ошибочно интерпретирует радиус автокорреляции как размер пятна (на самом деле он одновременно характеризует размер и «пятен», и «дырок» в пространственном распределении). В данной главе автор пошел еще дальше. Например, на стр. 213 сказано: «... радиус автокорреляции ... составляет 1,58 лага, или 8 м, что говорит о наличии пятна повышенной численности размером 16 м» (аналогично интерпретированы все остальные вариограммы). Другими словами, диссертант полагает, что если радиус корреляции умножить на два, то можно получить диаметр (т.е. размер) пятна повышенной численности. Это явное недоразумение: радиус автокорреляции не имеет никакого отношения (кроме фонетической оболочки) к радиусу окружности в геометрическом смысле, поэтому данная процедура (умножение на два) лишена какого бы то ни было основания. Кстати говоря, в англоязычной литературе (и литературе на других западноевропейских языках) обсуждаемый параметр обозначается как *range*, а термин «радиус автокорреляции» используется только в русском и украинском языках (возможно, еще в каких-то языках постсоветских стран). Термин «*range*» точнее определяет область пространства, в пределах которой наблюдается автокорреляция (т.е. область, где значение параметра в конкретной точке зависит от ее окружения), чем «радиус автокорреляции» (лучше было бы перевести *range* как «область автокорреляции»).
3. Из замечаний редакционного плана следует отметить, что две совершенно аналогичные таблицы 21 и 22, каждая из которых состоит всего из двух столбцов, необходимо было объединить в одну. На рис. 54 и 62 отсутствует информация о размерности параметра. А вот приведение в таблицах 23, 24, 26 размерностей параметров неуместно, поскольку в них даны характеристики стандартизированных вариограмм, т.е. по определению не имеющих размерности. Заголовок продолжения таблицы 30 на стр. 231 не соответствует заголовку ее начала и окончания на стр. 230 и 232.

Завершая рассмотрение данной главы, считаю необходимым подчеркнуть, что отмеченные ошибки при моделировании вариограмм и интерпретации их параметров не принципиальны для темы диссертационной работы, поскольку в данном случае для разрабатываемой автором концепции важен сам факт наличия существенной пространственной неоднородности, а не ее количественные параметры. А это – наличие пространственной неоднородности – продемонстрировано убедительно.

Глава 7 «Роль неоднородности экосистем в восстановлении сообществ почвенных животных после пожаров» (12 стр.) – теоретическая, в определенном смысле интегрирующая обсуждение диссертантом проблемы влияния пожаров на почвенную фауну. Сравнение разных масштабов и объектов действия нарушающих факторов привело автора к мысли, что на уровне организма и в занимаемом им пространстве до сих пор не было объяснения действующего нарушения. По аналогии с рефугиумами и стациями переживания диссертантом разработана концепция перфугиумов – локально слабо нарушенных участков в пределах выгоревшей территории, позволяющих выживать фрагментам допожарного населения почвенной мезофауны, которые затем вносят существенный вклад в восстановление населения на нарушенной территории. Разработана классификация перфугиумов. Кроме того, автором показано, что восстановление сообществ почвенных беспозвоночных на горях – это особая форма вторичной сукцессии за счет наличия пиротфильных видов, свидетельствующая о естественном характере лесных пожаров в бореальной зоне, необходимом для их устойчивого функционирования и поддержания их биоразнообразия.

На мой взгляд, концепция перфугиумов – это наиболее ценный вклад Константина Брониславовича в проблему пирогенной экологии почвенных животных. Эта концепция хорошо продумана и очень важна для понимания механизмов послепожарного восстановления населения почвенных беспозвоночных.

Единственным **замечанием** к этой главе считаю то, что автор очень нечетко (в силу излишней скромности?) обозначил собственный приоритет при введении в науку данного термина и, в целом, концепции перфугиумов. Так, почему-то даже при первом упоминании термина он использовал безличную форму глаголов (стр. 236): «... для сходного явления в микромасштабе предлагается применять термин *«перфугиум»* (от лат. *perfrugio* – убежище). Под перфугиумом понимается ...»

Заключение (4 стр.) суммирует всю информацию, проанализированную автором. Кроме того, здесь диссертант излагает и ограничения полученных результатов.

Судя по материалу диссертации и публикациям, основной объем данных получен автором лично или в коллективе с его участием, а обработка и анализ материала проводились им самим, что не вызывает сомнений в авторстве работы. Работа имеет высокую теоретическую и практическую значимость. Подавляющая часть результатов опубликована в журналах, рекомендованных ВАК РФ к опубликованию результатов на соискание ученой степени доктора наук. Во многих случаях это ведущие международные журналы в области почвенной биологии (Soil Biology and Biochemistry, Applied Soil Ecology, Pedobiologia, European Journal of Soil Biology и др.), а также основные отечественные журналы экологического профиля (Экология, Журнал общей биологии и др.).

Автореферат полностью соответствует тексту диссертации.

Высказанные мной замечания нисколько не умаляют того факта, что рассматриваемая диссертационная работа заполнила многие лакуны в нашем понимании закономерностей влияния пожаров на почвенную фауну, и тем самым, вносит очень весомый вклад в пирогенную экологию и в почвенную зоологию. Подчеркну также, что высказанные замечания не дают оснований усомниться в справедливости всех четырех положений, выносимых диссертантом на защиту, т.е. они не затрагивают сути работы.

Представленная работа Гонгальского Константина Брониславовича является законченным самостоятельным исследованием, посвященным анализу восстановления сообществ почвенных животных после лесных пожаров, и соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, изложенным в пп. 9-14 главы II «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а соискатель, Гонгальский Константин Брониславович заслуживает присуждения ученой степени доктора биологических наук по специальности 03.02.08 – экология (биологические науки).

Заведующий лабораторией экотоксикологии
популяций и сообществ, заместитель директора
института, доктор биологических наук

Е.Л. Воробейчик

09 октября 2015 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук (ИЭРиЖ УрО РАН)

Почтовый адрес: 620144, г. Екатеринбург, ул. 8-го Марта, 202

Сайт института: www.ipae.uran.ru, Электронная почта: ev@ipae.uran.ru

Телефон: +7(343) 266-64-84, Факс: +7 (343) 266-64-82