

О Т З Ы В
официального оппонента
на диссертацию К. Б. Гонгальского
«Закономерности восстановления сообществ почвенных животных после
лесных пожаров»,
представленную на соискание ученой степени
доктора биологических наук
по специальности 03.02.08 – экология (биологические науки)

Лесные пожары являются мощным и активно действующим экологическим фактором, определяющим сукцессионную динамику и продуктивность лесных экосистем. В настоящее время наблюдаемое повышение температур приземного слоя обуславливает увеличение частоты и площадей пожаров, приводя порой к катастрофической трансформации наземных экосистем. Вмешиваясь в жизнь леса, пожары нарушают естественное равновесие между отдельными компонентами биогеоценозов, что существенно изменяет внешний облик современных лесов. Пожары вносят существенный вклад в интенсивность биологического круговорота, цикличность процессов накопления и трансформации органического вещества в лесных экосистемах. Почва, как неотъемлемая составная часть экосистемы, также подвергается сложному и разностороннему пирогенному воздействию, приводящему к заметным изменениям ее важнейших физических, физико – химических, химических и биологических свойств.

Роль пирогенных процессов в формировании лесных экосистем в настоящее время выявлена достаточно четко. Взгляды и подходы к проблеме лесных пожаров стали гораздо шире – редко кто из исследователей ограничивается констатацией положительного или отрицательного воздействия огня на почву и растительный покров. Все чаще стараются подойти к оценке этого явления комплексно, вычленив как влияние прямого пиролиза, так и последующие изменения, которые по своему размеру, значительности и продолжительности во времени не только не уступают непосредственному воздействию огня, но и превосходят его.

Степень воздействия пирогенного фактора, а также последующее восстановление биологического компонента почвы зависит от типа пожара, его интенсивности и от экологической устойчивости отдельных компонентов лесного сообщества и экосистемы в целом. Сложность оценки экологического воздействия пирогенного фактора и прогнозирования направленности послепожарного восстановления обусловлена гетерогенностью лесных экосистем, почвенного покрова, а так же

неоднородностью самого процесса горения. Однако именно неоднородность экологических условий играет особую роль в процессах восстановления или формирования послепожарных сообществ и особенно живого компонента почвы.

Несмотря на большое количество работ, посвященных оценке послепожарного восстановления комплексов почвенных беспозвоночных, вопросы, связанные с раскрытием факторов и механизмов восстановительных процессов почвенных животных остаются открытыми. Крайне редки экспериментальные мониторинговые исследования послепожарных сукцессий, как растительности, так и почвы и, особенно, населяющей ее биоты. Сопряженность этих процессов очевидна, но разное характерное время формирования этих компонентов затрудняет получение достоверных оценок их послепожарного восстановления.

В связи с вышесказанным актуальность представленной на соискание ученой степени доктора биологических наук диссертации Гонгальского Константина Брониславовича не вызывает сомнений.

Цель исследования – выявление факторов и механизмов восстановления сообществ мезопедобионтов после пожаров в лесах бореальной зоны.

Основное внимание в работе уделено почвенной мезофауне в понимании М.С. Гилярова. Предмет исследований - пожары как экологический фактор формирования состава и структуры мезофауны почв в пространственно-временном аспекте.

Диссертационная работа изложена на 306 стр и состоит из введения, 7 глав, заключения и выводов. Включает в себя 74 рисунка и 32 таблицы и имеет приложения. Список литературы представлен 462 источниками, в том числе 346 на иностранных языках.

Научная новизна диссертационной работы К.Б. Гонгальского определяется тем, что впервые для бореальных лесов дана количественная оценка источников формирования сообществ почвенных животных. Установлено значение малонарушенных участков почвенного покрова (коридоров) для миграции мезопедобионтов со слабой расселительной способностью на гари.

Показано, что пространственная изоляция малонарушенных участков снижает возможность проникновения таких групп на гари. Выявлена и количественно оценена роль неоднородности почвенной среды в формировании послепожарных сообществ почвенных животных. Впервые в почвенно-зоологической работе использованы методы геостатистического анализа, что позволило оценить размеры кластеров высокой численности и разнообразия почвенных животных на гарях и выявить зависимость размеров

данных кластеров от мозаичности почвенных факторов. Выявлено, что размеры гарей не являются определяющим фактором восстановления численности и разнообразия сообществ беспозвоночных. Разработана концепция перфугиумов, служащих источником формирования сообществ почвенных беспозвоночных на гарях.

Благодаря проведенным К.Б. Гонгальским исследованиям значительно расширена научная проблема выявления факторов, влияющих на формирование сообществ педобионтов на гарях, и механизмов, за счет которых этот процесс реализуется.

Полученные оценки и выявленные закономерности имеют не только фундаментальное значение, но и практическую значимость. Предложено использовать в качестве биоиндикаторов послепожарного состояния экосистем выявленные стадии восстановления почвенных беспозвоночных; даны рекомендации по оптимизации использования локальной неоднородности почвенного покрова для улучшения эффективности лесовосстановительных работ. Выявленные особенности восстановления после естественных пожаров и после выжигания вырубок будут особенно интересны лесоведам и лесным пирологам.

Глава 1 содержит подробный анализ экологической роли лесных пожаров, их типов, частоты и особенностей распространения. Несмотря на катастрофический характер, для большинства лесных экосистем пожары являются естественным циклическим фактором. Обзор публикаций посвященных использованию дендрохронологических методов выявил, что высокая частота пожаров во всех типах лесных экосистем свидетельствует о пирогенном характере практически всех наблюдаемых на нынешний момент лесов. Даже современные переспелые леса со значительной вероятностью претерпели стадию восстановления после пожара, поэтому фактически любую ненарушенную экосистему можно рассматривать как конечную стадию пирогенной сукцессии, что подтверждается и на анализе почв.

Обзор зарубежной и отечественной литературы содержит подробный анализ роли пирогенного фактора в изменении структуры растительности и почв, а также в распространении биологических инвазий.

Особое внимание уделено влиянию пожаров на почвенных беспозвоночных. Рассмотрены временные стадии воздействия пожаров: моментальные, краткосрочные (1-3 года) и долгосрочные (> 5 лет) последствия. Показано, что временные стадии восстановления почвенных сообществ обусловлены продолжительностью жизненного цикла животных и стадия восстановления составляет 1-10 раз его продолжительности у доминирующих видов. Для гарей характерно присутствие специфических

пирофильных видов. Анализ влияния пожаров на отдельные группы почвенных животных выявил, что наиболее изученными группами по реакции на лесные пожары являются жуки и пауки.

Проанализированы особенности пространственного распределения растительности и почвенного покрова. Приведены многочисленные данные отечественных и зарубежных авторов, отражающие роль пространственной гетерогенности среды в распределении почвенной биоты (микроорганизмов и беспозвоночных). Отмечено, что пожары, в зависимости от интенсивности, могут способствовать снижению или, наоборот, увеличению мозаичности почвенного покрова, что в свою очередь, не может не влиять на процессы послепожарного восстановления почвенного населения. Например, в бореальных лесах сеть заболоченных понижений подвержена воздействию пожаров меньше, чем хорошо дренированные участки, которые при сильных пожарах могут сгорать вплоть до подстилающей породы. Оставшиеся понижения могут быть связаны друг с другом и с негорелым лесом посредством сети естественных коридоров и именно эти коридоры способствуют более быстрому расселению беспозвоночных на горях. Несмотря на большое количество научных работ, посвященных пространственной неоднородности отдельных компонентов лесных экосистем выявлен недостаток в исследованиях пространственного распределения почвенных беспозвоночных на горях.

В обзоре уделено внимание практическому значению лесных пожаров. Показано использование искусственных пожаров в борьбе с вредителями и для сохранения биоразнообразия растительных сообществ. Особое значение контролируемые выжигания имеют в странах, например, Европы, где естественные пожары, в связи с высокоразвитой системой предупреждения и тушения, перестали выполнять свои экологические функции. Отмечено, что малочисленность данных не дает однозначного ответа о влиянии искусственных пожаров на почвенную биоту и, в частности, на почвенных животных.

Таким образом, подробный анализ современной отечественной и зарубежной литературы выявил ряд проблем в области экологической роли пожаров и позволил автору четко обозначить цели и задачи своих исследований.

В **Главе 2** дана характеристика методологии, материала и методов исследования.

Материалы диссертационной работы представляют собой результат многолетних исследований, проводимых в таежных экосистемах европейской территории России и Скандинавии. Район исследований

охватывает основные природные подзоны и сектора таежной зоны (Беломорская и Устьянская станции МГУ, Кандалакшский и Полистовский заповедники, Карелия, Швеция, Норвегия).

Исследования проводились на разновозрастных, разномасштабных природных гарях и выжженных вырубках в разных подзонах тайги. Для исключения антропогенных воздействий исследовались гари на заповедных или удаленных от источников нарушений территориях, по возможности в плакорных условиях в зональном типе растительности.

Глава содержит подробное описание климата, растительности и почвенного покрова района исследований. Имеются данные основных параметров пожаров: возраст и интенсивность пожара, глубина прогорания органического горизонта, доля участков, сгоревших до минерального слоя почвы и др. Для оценки таксономического состава и численности почвенных беспозвоночных использованы классические методы почвенно-зоологических исследований. Анализ пространственного распределения мезофауны впервые проводился с помощью методов геостатистики. Статистическая обработка полученных результатов выполнена на высоком современном уровне.

Подробное описание использованных методических приемов дает представление о многоплановости проделанной работы.

По данной главе имеются вопросы и замечания:

Таблица 8 (стр. 104):

- 1) Что подразумевается под «органическим горизонтом»? Возможно, речь идет об органогенном горизонте (подстилке)?*
- 2) Интенсивность пожара оценивалась по высоте нагара. Обращает на себя внимание высота нагара 8,30 м. В чем принципиальное отличие пожара на данном участке от других?*

Характеристики типов фитоценоза и почв, возраста гарей, интенсивности пожара, высоты нагара и глубин прогорания и др. разбросаны по главе, что не дает целостного представления о пожарах и экологических условиях исследованных местообитаний.

Глава 3 посвящена анализу источников формирования сообществ почвенных животных после пожаров. На основе контролируемых выжиганий, проводимых на разных элементах мезорельефа, рассматриваются начальные этапы формирования сообществ почвенных животных после пожаров. Большая глубина выгорания отмечена в верхней части катены. Для этих же участков показана более низкая численность беспозвоночных, как до выжигания, так и после. Наибольшее воздействие выжигание оказало на подстилочные формы беспозвоночных. После выжигания снизилось

количество таксономических групп с минимальными значениями для участков, находящихся в верхней части катены.

Проведенная экспериментальная стимуляция вылупления яиц, показала, что потенциальный вклад животных, вылупившихся из яиц, в послепожарное сообщество составил не более 1-3%. Несмотря на ряд ограничений в эксперименте, о которых говорит автор, получены интересные результаты, требующие дополнительной проверки. Так, например, присутствие практически во всех пробах неполовозрелых сеноедов, что может говорить о запуске высокими температурами механизмов вылупления у этой группы.

После проведенных экспериментов оценка относительного вклада слабо сгоревших участков, возникающих за счет почвенной неоднородности, в восстановление послепожарных сообществ почвенных животных составляет около половины (45%) всего разнообразия. Показано, что пул неактивных яиц, отложенных до начала пирогенного воздействия, оказывает незначительное влияние на послепожарное восстановление почвенного сообщества. Несмотря на отсутствие достоверных различий, на высоких участках катены отмечен более высокий вклад выживших на стадии яиц беспозвоночных.

Чем объясняется более высокий вклад в процессы восстановления выживших имаго и яиц беспозвоночных в верхней части катены при большей глубине прогорания и маломощности почвенного профиля на данном элементе мезорельефа?

В Главе 4 на основе многолетних наблюдений анализируется динамика таксономической и функциональной структуры почвенной мезофауны на горях разного возраста и происхождения. Особое внимание уделяется таксоценом жуужелиц. Проведен анализ динамики экологических групп (в том числе и пирофилов) жуужелиц в первые годы после пожара. Выявлены принципиальные различия между таксоценом жуужелиц горелых и негорелых участков и отсутствие таковых внутри гари. Определены основные факторы, определяющие численность основных пирофильных видов: высота нагара, глубина выгорания органогенного горизонта и сомкнутость крон. Сделана попытка выявления влияния интенсивности пожара на состояние таксоценов жуужелиц. Совершенно справедлив вывод о том, что участки с минимальным прогоранием органогенного горизонта являются убежищем для почвенных животных и резервуаром пищи для них.

Анализ процессов восстановления сообществ почвенных беспозвоночных на естественных и искусственных горях (в результате выжигания вырубок разного типа) вызывает особый интерес. Диссертант попытался ответить на вопрос о целесообразности искусственного

выжигания лесов с разным типом лесопользования для привлечения исчезающих видов-пирофилов. Актуальность постановки такого вопроса обусловлена сокращением площадей естественных бореальных лесов с одной стороны, и усилившимся последнее время мнением, что пожар это «плохо» с другой. Данная экологическая проблема особенно важна для тех регионов Европы, где борьба с пожарами привела к потере важной экологической функции лесных пожаров – поддержание биологического разнообразия.

Показана более высокая насыщенность видами горевших участков, по сравнению с негоревшим лесом, выявлены виды, связанные с определенными типами лесопользования. Сделан вывод о том, что основные изменения в численности и видовом разнообразии сообществ жуужелиц после выжигания участков с разным типом лесопользования обусловлены послепожарным изменении структуры исследованных местообитаний. Например, привлечение видов-обитателей открытых пространств после появления таковых на горях.

На основе своих и литературных данных сделан вывод о большей привлекательности для видов пирофилов естественных гарей по сравнению с искусственными. Возможно, это связано с размерами горевших участков, с частотой и интенсивностью естественных пожаров.

В разделе 4.7., где рассматривается многолетняя восстановительная динамика отдельных групп беспозвоночных после выжигания вырубок, отмечено катастрофическое снижение численности и биомассы отдельных групп беспозвоночных после вырубки и последующего воздействия огня. Даже через 11 лет после подобного воздействия не наблюдается восстановления ни численности ни биомассы ключевых групп мезофауны.

Особое внимание в данной главе уделено динамике почвенной мезофауны в послепожарных лесных экосистемах в центральной Швеции (Национальный парк Тюреста) и в окрестностях Петрозаводска (около деревни Царевичи).

Подробно проанализированы процессы формирования таксономической и трофической структуры почвенных беспозвоночных. Отмечено быстрое заселение гарей в первые годы после пожара мобильными видами. Показано, что заселение представителями ключевой трофической группы идет достаточно медленно - даже спустя 6 лет после пожара обилие сапрофагов-детритофагов в 5-6 раз меньше по сравнению с лесом. Особенностью восстановления послепожарных сообществ является непредсказуемая динамика доминантов и субдоминантов среди мезофауны, которая приводит к увеличению числа потенциальных доминантов на горях по сравнению с

негорелым лесом в несколько раз. Подобная тенденция отмечена и другими авторами для разных типов нарушений.

Для оценки влияния географического фактора на процессы восстановления в послепожарных экосистемах было проведено сравнение гарей в центральной Швеции, Карелии и Архангельской области. Автор делает вывод о сходном характере сценария восстановления почвенной мезофауны на исследованных участках, выявленные различия обусловлены различным окружением и суровыми климатическими условиями.

Стр. 149, рис. 22.

- 1) Поясните, пожалуйста, каким образом оценивалась сомкнутость крон и с чем вы связываете зависимость *P. quadrifoveolatus* от данной характеристики?*
- 2) Не являются ли, на ваш взгляд, такие параметры как влажность, глубина прогорания подстилки и сомкнутость крон взаимозависимыми?*

Раздел 4.5., стр. 185.

- 3) Не совсем понятно, каким образом при данном сравнении учитывались различия в возрасте гарей, особенностях древостоя (возраст, тип напочвенного покрова и др.), рельефе, экспозиции склона, запасах и мощности органогенного горизонта и других параметров экологических условий, которые могут быть более значимы по сравнению с географическим расположением?*

В целом, проведенные исследования свидетельствуют о сложности и неоднозначности пирогенного фактора и подтверждают мнение большинства лесоводов и лесных пиროлогов о естественном, а не катастрофическом характере лесных пожаров и их экологической роли.

Глава 5 посвящена анализу влияния размеров и возраста гарей на процессы восстановления сообществ почвенной мезофауны. Показано, что для почвенных животных размер гари не оказывает влияния на их восстановление. Многолетние наблюдения за динамикой послепожарных сообществ беспозвоночных, а также анализ литературных данных, свидетельствуют о том, что полное восстановление всех групп животных следует ожидать при полном восстановлении растительного покрова и в пределах межпожарных интервалов. Учитывая, что почти все бореальные экосистемы, являются послепожарными трудно ожидать полного восстановления допожарных сообществ беспозвоночных. Скорее следует говорить о периоде формирования нового послепожарного сбалансированного почвенного сообщества.

В **Главе 6** подробно проанализирована зависимость процессов восстановления сообществ педобионтов от пространственной гетерогенности почвенного покрова. Неравномерное прохождение огня по поверхности обуславливает пестроту напочвенного покрова и даже формирование послепожарного микрорельефа, особенно в криогенных экосистемах, что, безусловно, отражается и на послепожарных комплексах почвенной фауны.

Сила пирогенного воздействия справедливо оценивалась по глубине прогорания. Показано, что в пределах одного участка гари численность на слабо нарушенных пожаром участках превышает таковую на сильно нарушенных и выявленные различия сохраняются в течение нескольких лет. Использование методов геостатистики для количественной оценки роли пространственной неоднородности в процессах восстановления сообществ почвенных беспозвоночных на гаях позволили автору выявить кластеры высокой численности мезопедобионтов. Размер кластеров совпадает с пятнами наиболее благоприятных условий среды. Интересно, что в зависимости от возраста гарей благоприятность определяют разные факторы - для свежих гарей это, в первую очередь, остаточная мощность подстилки, а для более старых гарей – микрорельеф.

Выявлена роль коридоров в процессах заселения свежих гарей. На основе натурных наблюдений проанализирована возможность использования слабо выгоревших участков мобильными и немобильными группами животных. Особый интерес вызывает вывод о том, что обилие «мобильных» наземных мезопедобионтов скорее определяется пригодностью среды обитания, нежели изоляцией. Для подземных «немобильных» групп особое значение имеет выживание *in situ* и наличие таких коридоров.

В **Главе 7** изложена концепция перфугиумов, разработанная на основе полученных результатов. Диссертант подробно рассматривает особенности использования в географии и экологии понятий «рефугиум» и «станция переживания». Проанализированы принципиальные различия между станцией переживания и перфугиумом. Так, при пожарах некоторые виды прячутся в убежища, закапываются в более глубокие горизонты почвы, переживая нарушение в станциях переживания, в то время как есть выжившие на случайно слабо сгоревших участках, то есть в перфугиумах. Как было показано в предыдущих главах именно пережившие пожар в перфугиумах почвенные беспозвоночные и обитатели глубоких слоев почвы становятся первыми группами, формирующими сообщества новообразовавшейся гари.

Важной особенностью перфугиума, в отличие от станции переживания, является то, что он применим к отдельным особям, а не к популяции в целом.

Предложенная концепция перфугиумов, способствующих расселению беспозвоночных на гарях, существенно расширяет наше понимание механизмов восстановления почвенного населения в нарушенных экосистемах. В тоже время, проведенные исследования свидетельствуют о сложности и многофакторности рассматриваемых процессов и ставят новые вопросы и задачи.

Подробный анализ каждого этапа восстановительной сукцессии на гарях отражает взаимозависимость и взаимообусловленность отдельных компонентов лесной экосистемы. В качестве особенностей гарей, как вторичной сукцессии выделены наличие пиротфильных видов на первых этапах восстановления и присутствие всех компонентов исходного сообщества в изменившихся соотношениях. Анализ полученных результатов позволяет говорить о едином сценарии послепожарных сукцессий вне зависимости от географического положения и подтверждает экологическую роль естественных лесных пожаров в многовековой динамике лесов.

Заключение в конце диссертации по сути представляет собой обобщение полученных результатов. Выводы емкие, хорошо сформулированы.

По диссертационной работе имеются общие замечания:

- 1) *Отмечена некоторая небрежность при геоботаническом описании (например, используются такие названия, как «беломошно-зеленомошный сосняк», «зеленомошник» и т.п.).*
- 2) *Отсутствие в диссертационной работе количественных данных по влажности, мощности органогенного горизонта и глубины его прогорания и др.*
- 3) *Не совсем верное использование термина «интенсивность пожара». Это скорее физическая величина и характеризует «интенсивность кромки огня», выраженную в кВт/м. Данная величина справедливо оценивалась по высоте нагара. Однако, следует иметь ввиду, что высота нагара может быть связана с горением подроста или подлеска, зависеть от смолистости и толщины коры древесного вида, от прошедших ранее пожаров и не отражать истинную интенсивность пожара.*

В контексте диссертационной работы речь идет скорее о «силе экологического воздействия».

Высказанные замечания не снижают ценности и высокого уровня выполненной К.Б. Гонгальским научно-исследовательской работы. Представленная диссертация производит благоприятное впечатление, написана четким научным языком, текст проиллюстрирован таблицами,

рисунками и оригинальными схемами. Большое количество собранного материала, комплексный подход, сочетание натурных наблюдений и оригинальных лабораторных экспериментов, мета-анализ собственных и литературных данных позволяют говорить о высоком качестве и достоверности полученных результатов.

Защищаемые положения диссертации соответствуют выводам и отражают сущность проведенных исследований.

Основные положения диссертационной работы неоднократно докладывались на отечественных и зарубежных научных форумах разного уровня и опубликованы в 113 публикациях, в том числе в 4х монографиях и 35 отечественных и зарубежных журналах из списка ВАК, входящих в базы Scopus, Web of Science и др. с высоким импакт-фактором. Исследования проводились при финансовой поддержке РФФИ (гранты 03-05-64127, 06-05-64902, 11-04-00245), Шведского Института (The Swedish Institute), Научного Совета Норвегии (Research Council of Norway), Гранта Президента РФ для молодых ученых (МК-1190.2008.4) и программы Президиума РАН «Живая природа», что подтверждает актуальность и востребованность проводимых диссертантом исследований.

Автореферат соответствует диссертационной работе.

Заключение:

Диссертационная работа Константина Брониславовича Гонгальского «Закономерности восстановления сообществ почвенных животных после лесных пожаров» является многоплановым, законченным, фундаментальным исследованием, отвечающим требованиям ВАК и соответствует пп.9-14 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г №842 «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор заслуживает присвоения ученой степени доктора биологических наук по специальности 03.02.08-Экология (биологические науки).

доктор биологических наук,
доцент ВАК,
профессор кафедры экологии
и природопользования
Сибирского федерального университета
пр. Свободный, 79,
Красноярск, 660041
тел. +7 (391) 244-67-40
e-mail: birinik-2011@yandex.ru
soilbiota@mail.ru

Безкоровайная
Ирина Николаевна