

**Отзыв официального оппонента на диссертацию Разгулина Сергея Михайловича «Цикл азота в экосистемах березовых лесов южной тайги европейской части России», представленную к защите на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 03.02.08 – экология (биологические науки)**

Диссертация С.М. Разгулина посвящена крайне важной, но при этом недостаточно разработанной проблеме, связанной с круговоротом азота в лесных экосистемах. Азот является одним из важнейших биогенных элементов, контролирующим продуктивность множества наземных и водных экосистем. При этом цикл азота подвергается мощной антропогенной модификации, как целенаправленной, через вносимые удобрения, так и сопутствующей, связанной с техногенными загрязнениями разнообразного плана. В этой связи крайне важно иметь ясное понимание как совокупности процессов, формирующих азотный цикл в лесных экосистемах, так и набора реакций экосистем на прямые либо косвенные (например, в связи с изменениями климата) изменения снабжения минеральным азотом. Недостаток и противоречивость современных сведений по указанной проблеме определяет **высокую актуальность** проведенного соискателем исследования.

Очевидна высокая степень **научной новизны** диссертационной работы. Многие из исследуемых параметров, например, денитрификацию, крайне сложно измерить в экспериментально-полевых условиях. Соискатель проявил новаторские способности эколога-экспериментатора, предложив совокупность методик, позволяющих количественно оценить целый комплекс процессов, связанных с экосистемными превращениями азота, причем речь шла как о модификации инструментальных подходов, так и более детальном, чем ранее, рассмотрении компонентов экосистемы. Значительная часть материалов, составивших диссертацию, получена впервые для лесов России.

**Практическая значимость** в значительной степени определяется задачами интенсификации лесного хозяйства России. С одной стороны, необходимо создание высокопродуктивных насаждений, способных обеспечить лесную промышленность страны достаточным количеством древесного сырья. Вполне очевидно, что задачи создания высокопродуктивных лесов эксплуатационного назначения следует решать с учетом расширения экологических лимитов по биогенным элементам. С другой стороны, требуется создание значительных массивов защитных насаждений, опять же с учетом развития промышленной и транспортной инфраструктуры и усилению техногенных выпадений минерального азота. Наконец, важной с практической точки зрения представляется регрессионная модель экспорта общего азота с речным стоком, которая может быть использована для расчета допустимой нагрузки на реки Европейской России.

**Диссертационная работа** состоит из введения, шести глав, выводов, заключения, списка цитируемой литературы (387 источников, из них 293 на иностранных языках). Работа изложена на 293 страницах, содержит 13 рисунков и 65 таблиц.

**Первая глава** представляет собой детальный обзор литературы по теме «Цикл азота в бореальных лесах». Рассматриваются все ветви азотного цикла: азотфиксация, аммонификация, нитрификация, денитрификация и так далее. Обзор адекватно охватывает как отечественную, так и зарубежную литературу и даже превышает поставленные рамки, поскольку привлекает информацию из арктической и умеренной климатических зон.

**Во второй главе** осуществлена характеристика объектов и методов исследования. Объекты представлены совокупностью южнотаежных березняков, образующих экологический ряд типов леса: 1) кисличник, 4) кислично-черничный, 3) чернично-сфагновый, приуроченных к основным элементам рельефа с различным водно-минеральным питанием. Кроме того, в работе была рассмотрена плантация ольхи серой как древесной породы, обладающей симбиотической азотфиксацией. В работе применялся комплекс

полевых и лабораторных методов исследования, часть которых была усовершенствована автором.

**В третьей главе** рассмотрены результаты исследования азотфиксации в березняках и плантации ольхи серой. Обнаружено, что симбиотрофная азотфиксация на плантации ольхи серой на 3-4 порядка превышает несимбиотическую азотфиксацию в березняках.

**В четвертой главе** представлена детальная характеристика процессов минерализации (аммонификации и нитрификации) во всех исследованных лесных экосистемах. Приведен детальные результаты для различных сезонов года, предпринята попытка объяснить вариации минерализации действием ключевых абиотических факторов (температура, влажность). Выяснено, что минерализация азота примерно соответствуют величине включения азота в первичную продукцию, при этом интенсивность аммонификации существенно превосходит интенсивность нитрификации.

**В пятой главе** рассмотрены закономерности эмиссии аммиака с почв исследованных объектов.

**Шестая глава** представляет собой обобщение полученных материалов по деструкционному циклу и минерализации азота в березняке кислично-черничном. В главе присутствуют блок-схемы потоков С и N в почве исследованной лесной экосистемы, которые наглядно показывают величины потоков, многие из которых ранее не имели адекватной количественной оценки.

**Обоснованность и достоверность полученных в работе результатов и выводов** подтверждается их публикацией в 22 работах, в том числе 18 статей из списка, рекомендованного ВАК. **Автореферат** диссертации полностью отражает ее содержание, положения и выводы.

Как и любое значимое научное исследование, диссертация С. М. Разгулина дает повод для постановки критических замечаний. Сначала изложим замечания, которые касаются диссертации в целом.

1. Обзор литературы, представленный в первой главе,знаимает значительный объем. Он построен по классическому типу – каждому исследованию посвящается несколько строк, в которых излагаются особенности объекта, метода и полученного результата. Эти результаты весьма разнообразны и временами противоречивы, особенно в отношении связей между факторами. В таком обзоре можно найти подтверждение практически для любой точки зрения по тем или иным компонентам цикла N. В то же время уже достаточно давно в естественных науках распространен так называемый метаанализ, предполагающий использование статистических методов в применении к опубликованным данным для проверки тех или иных гипотез. По мнению оппонента, метаанализ собранных обзорных данных мог бы стать хорошим способом верификации найденных соискателем вполне конкретных выводов.

2. В экспериментальных главах работы весьма подробно рассматривается влияние абиотических и прочих факторов на величины тех или иных потоков N. При этом основным типом представления данных является табличный (исходные данные) либо вербальный – констатация наличия той или иной связи. К удивлению оппонента, в работе нет ни одного рисунка, где фактор (независимая переменная) находился бы по оси X, а потенциально зависимая переменная – по оси Y. Но ведь это совершенно необходимый шаг предварительной «визуализации» зависимости (как линейной, так и нелинейной), либо отсутствия зависимости в принципе («облако точек»). Добавим, что использованный в работе статистический подход предполагает линейную связь между факторами и зависимыми переменными, что для изучаемой системы слишком строгое допущение. К примеру, в многочисленных работах показано, что связь влажности почвы и эмиссии диоксида углерода не только нелинейна, но и имеет унимодальный характер.

Теперь приведем некоторые частные замечания, указав при этом вызвавшие замечания фрагменты текста.

1. Стр 4. «Вместе с тем, это второй по количеству биогенный элемент, входящий в состав основных полимеров любой живой клетки – структурных белков, белков-ферментов, нуклеиновых и аденоzinfosфорных кислот». Белки содержат 50-55% углерода, 20-24% кислорода, 15-18% азота.

2. Табл. 2. Нетто-минерализация и нитрификация зачем-то приведены в одной колонке таблицы, понять, какие цифры к чему относятся, не очень просто. Как в этой, так и в последующих таблицах стоило бы делать отдельные колонки для каждого из параметров.

3. Табл. 4. Гросс-минерализация должна быть равна сумме иммобилизации и нетто-минерализации. Это соотношение почему-то нарушается в некоторых строках таблицы 5, например, для нитрификации в сосновом лесу Канады.

4. Стр. 131 «Затраты Сорг на процессы гумификации на вырубке в 3 раза меньше, чем в лесу, а затраты на эмиссию углекислоты в 1.4 раза выше». Непонятно, ведь в лесу эмиссия углекислоты примерно в 1.5 раза выше, чем на вырубке.

5. Стр. 157. Автор пишет об отрицательной аммонификации. Для ясности стоило бы использовать ранее примененный автором термин «нетто-аммонификация».

6. Стр. 245, Схема внутрипочвенных потоков углерода. Утверждается, что разность убыли подстилки и эмиссии углекислого газа с поверхности почвы (это около 240 г С м<sup>-2</sup>) представляет собой поток гумификации. Фактически, это означает, что запас органического вещества почвы ежегодно возрастает на 240 г С на квадратном метре. Уверен ли автор в таком результате? Добавим, что эффективность гумификации в данном случае составляет примерно 50%, что противоречит имеющимся литературным оценкам, составляющим около 10%.

Сделанные замечания не снижают ценности диссертационной работы. По актуальности темы, объему и методическому уровню исследований, наличию оригинальных теоретических разработок, новизне представленного

материала, фундаментальной и практической значимости представленная диссертация соответствует требованиям п. 9–11 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор Разгулин Сергей Михайлович заслуживает присуждения искомой степени доктора биологических наук по специальности 03.03.08 – экология (биологические науки).

Отзыв представил:

Официальный оппонент: Замолодчиков Дмитрий Геннадьевич д.б.н.,  
Заведующий кафедрой общей экологии Биологического факультета  
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова  
Адрес: 119234, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12,  
Биологический факультет МГУ, кафедра общей экологии.  
E-mail: dzamolod@mail.ru

(подпись)

(Д.Г. Замолодчиков)

14 ноября 2017 г.

Подпись руки Замолодчика Д.Г. заверяю

Декан биологического факультета МГУ

имени М.В. Ломоносова, академик



Кирпичников М.П.