

«УТВЕРЖДАЮ»



С.В. Дегтева

13 марта 2020 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

официального государственного бюджетного учреждения науки Института биологии Коми научного центра Уральского отделения российской Академии Наук (ИБ ФИЦ КНЦ УроС РАН) на диссертационную работу **Фролова Павла Владимировича** «**Моделирование популяции кустарничков в лесных экосистемах и их вклада в динамику углерода и азота**», представленной на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 06.02.08 – экология (биология)

Диссертационная работа объемом 141 страница машинописи, включая 25 рисунков, 9 таблиц, список литературы (332 наименования), представляет законченную работу, достаточно стройную по подбору материалов.

**Актуальность.** Растения нижних ярусов лесных фитоценозов характеризуют не только их облик, состав и структуру, но и являются важными индикаторами условий местообитания – светового режима, влажности и богатства почв. Значима роль их в цикле углерода и азота. Они необходимы в оценке прогноза состава атмосферного воздуха в связи с изменением климата и антропогенных воздействий. Работа П.В. Фролова посвящена изучению структурно-функциональной организации растений кустарникового яруса в лесных сообществах таежной зоны. Автором разработана модель количественного анализа популяционной динамики кустарникового яруса лесных экосистем. На примере черники и брусники рассматривается роль кустарничков в круговороте биофильных элементов (углерода и азота). Методами имитационного моделирования определен вклад данных растений в круговороте углерода и азота в лесных экосистемах, как в условиях их естественного произрастания, так и при внешних воздействиях. С этих позиций направленность работы и ее цели актуальны.

**Ценность для науки и практики.** Результаты исследований вносят определенный вклад в развитие теории лесной экологии бореальной зоны. Диссертантом на основе разработанной имитационной модели CAMPIS-S проведен количественный анализ популяционной динамики кустарничков рода *Vaccinium*, с оценкой их продуктивности и вклада в потоках углерода и азота, позволяющих учитывать роль климатических и антропогенных факторов. Разработанная модель дает возможность прогнозировать сроки и условия восстановления кустарникового покрова, уничтоженного или поврежденного в результате антропогенных воздействий на лесные фитоценозы. Полученные результаты найдут применение в разработке теории продукционного процесса фитоценозов таежных лесов, в практике экологического мониторинга, при разработке мероприятий по использованию недревесных лесных ресурсов. Они нужны для прогноза развития лесных экосистем при изменении климата и антропогенных воздействий на лесные сообщества различных природных зон.

**Достоверность и новизна.** Используя данные как натурных наблюдений, так и данные генерированные с помощью моделей на примере черники и брусники диссертант впервые дал комплексную оценку функционирования растений кустарникового яруса в

лесных экосистемах. Определил их роль в динамике баланса углерода и азота в лесных сообществах при различных сценариях изменения климата, ведения хозяйства с использованием компьютерного моделирования. Результаты исследований в большинстве случаев известны специалистам по публикациям докторанта (около 45 наименований включая 7 статей в изданиях, рекомендемых ВАК). Основные положения исследований представлены на различных международных и российских конференциях.

Содержание диссертационной работы следует признать продуманным. Глава 1 посвящена оценке современного состояния изученности растений травяно-кустарникового яруса. Рассматривается их роль в биологическом круговороте веществ в системе почва-фитоценоз. В главе 2 дан обзор литературы по применению математического моделирования при изучении популяционной динамики растений травяно-кустарникового яруса и их участия в круговороте биофильных элементов. Особое внимание уделено анализу подходов к моделированию. Описание работы разработанной докторантом модели CAMPIS-S приведена в главе 3. Модель основана на концепции дискретного описания онтогенеза растений и экофизиологического метода расчета продуктивности растений. Модель состоит из двух основных блоков – блока моделирования динамики популяций растений, основанного на популяционно-онтогенетическом подходе и блока моделирования динамики биофильных элементов (углерода и азота) в растениях травянисто-кустарникового яруса и почве. Единичный шаг модели CAMPIS-S состоит из 9 последовательно выполняющихся этапов (увеличение возраста, отмирание, семянное размножение, вычисление прироста, распределение прироста между органами, вычисление содержания азота в органах, вычисление количества опада, поступление опада в почву и его разложение). Оценку механизма связи между растениями и почвой реализован с помощью модели ROMUL (Komarov et al, 2017, Chertov et al, 2017).

На основе материалов, собранных докторантом с использованием литературных данных в работе проверена параметризация как блока моделирования динамики популяций растений так и блока моделирования динамики биофильных элементов. В результате анализа в работе приведены схемы онтогенеза черники и брусники, определена продолжительность их онтогенетических состояний в течение вегетационного периода. Выявлены потенциально возможные переходы между онтогенетическими состояниями и построена матрица вероятностей переходов черники и брусники. Проведенный анализ показал, что потенциально возможные переходы между онтогенетическим состоянием исследуемых кустарников совпадают.

Докторантом проведен анализ продуктивности черники и брусники в зависимости от экологических факторов. Выявлена зависимость чистой фотосинтетической продукции от перехваченной ФАР изучаемыми растениями, интенсивности фотосинтеза от содержания доступного азота в корнеобитаемом слое почвы, от температуры и влажности подстилки. Определена доля массы различных органов в общей фитомассе и в ее продукции. Рассчитана концентрация азота в различных органах исследуемых видов растений.

Оценка качества работы модели проведена по 5 параметрам: плотность ценопопуляций, проективное покрытие, онтогенетические спектры ценопопуляций, расположение ценопопуляций и фитомасса ценопопуляций. Верификация модели показала высокую степень соответствия результатов моделирования натурным данным по всем параметрам.

Результаты пяти имитационных экспериментов в диссертации рассматриваются в главе 5.

а). Анализ влияния пространственной структуры клона на популяционную динамику показал, что преимущественно имеет ценопопуляция, состоящая из растений с разреженным типом расположения парциальных кустов.

б). В имитационном эксперименте двух популяций черники, имеющих одинаковые схемы разрастания в ходе онтогенеза, но различные матрицы переходов между

онтогенетическими состояниями при отсутствии внешних механических воздействий и повреждения системы побегов. Анализ показал, что при реализации только магистрального пути онтогенеза гибель ценопопуляций черники происходит при повреждении 10 % побегов, при реализации динамической поливариантности онтогенеза гибель происходит при повреждении 60 % побегов.

в). В эксперименте оценки динамики биомассы кустарничков рода *Vaccinium* при различных климатических сценариях показал, что в сосняке чернично-брусничном при изменении климата продуктивность черники снижается при умеренном сценарии, а при экстремальном сценарии ценопопуляции черники погибают. Продуктивность брусники при этих сценариях возрастает.

г). В имитационном эксперименте влияния воздействий рубок на продуктивность ценопопуляций черники и брусники (моделирование проводилось на 100 лет с месячным шагом для ценопопуляций черники и брусники в сосняке чернично-брусничном). Выявлено, что восстановление массы ценопопуляций брусники после выборочных рубок происходит быстрее, чем у черники. При этом в среднесрочной перспективе происходит довольно большое накопление массы черники.

д). Пятый имитационный эксперимент моделирования динамики углерода, азота в подстилке и минеральных горизонтах почвы в сосняках зеленомошных. Показано, что вклад кустарничков рода *Vaccinium* в круговорот углерода и азота по балансу элементов значителен и может достигать 50% от суммарного вклада растительности.

#### Замечания.

1. Задачи, п. 5.: «Дать прогноз динамики популяций кустарничков и определить их вклад в круговорот углерода и азота, в лесных экосистемах при развитии без внешних воздействий.... Лесная экосистема открытая система, она всегда связана с экологическими факторами.

2. Прогноз развития популяций кустарничков согласно модели предполагает задание различных климатических сценариев, т.е. изменение целого ряда климатических параметров в ходе модельного эксперимента. Параметризация модели подразумевает, что зависимость какого-либо показателя развития популяции кустарничков (или отдельного растения) от изменения какого либо климатического параметра известна и описана некоторой функцией. Однако, интенсивность фотосинтеза, определяющая чистую фотосинтетическую продукцию, является функцией не только ФАР, но и температуры воздуха и почвы, влажности воздуха и почвы, концентрации CO<sub>2</sub>, т.е. для корректной работы модели должна использоваться зависимость интенсивности фотосинтеза от всех значимых параметров. В диссертации, например, параметризация чистой фотосинтетической продукции черники (брюсли) от ФАР дается на основании данных, приведенных в (Kolari, 2006), где авторы рассматривают только зависимость от ФАР, значения других факторов не указывается. Тоже можно сказать и для других зависимостей.

3. Требуются некоторые пояснения по выводу о влиянии изменения климата на продуктивность черники. Автор делает заключение, что гибель черники обусловлена разницей в диапазонах толерантности. Однако показано, что диапазон варьирования влажности для жизнедеятельности черники выше, а минимумы сопоставимы с брусликой. Следовательно, снижение влажности лесной подстилки не является фактором, ведущим к гибели только ценопопуляций черники.

4. Желательно конкретизировать, в каких регионах будет работать разработанная модель и что рекомендуется использовать для параметризации модели в различных регионах.

5. Автором работы допущены неточности в научной терминологии. Например массу растений трактует как биомассу, тогда как рассматривает фитомассу. Биомасса включает фитомассу, зоомассу и массу микроорганизмов.

6. Диссиденту следует высказать пожелание. В работе при анализе материалов по изучению растений травяно-кустарникового яруса использована обширная литература и

в основном иностранная, хотя в отечественных изданиях имеются сведения по запасам фитомассы и углерода для растений таежной зоны.

**Соответствие паспорту научной деятельности.** Научные положения диссертации и результаты проведенного исследования соответствуют паспорту научной специальности 03.02.08 – экология (биология).

**Заключение.**

Диссертационная работа «Моделирование популяций кустарничков в лесных экосистемах и их вклада в динамику углерода и азота», представленная на соискание ученой степени кандидата биологических наук, соответствует основным критериям пп. 9-14 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 «Положение о порядке присуждения ученых степеней» и отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Павел Владимирович Фролов, заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.08 – экология (биология).

Отзыв ведущей организации подготовлен старшим научным сотрудником отдела лесобиологических проблем Севера, к. б. н., Тужилкиной Валентиной Васильевной.

Отзыв утвержден на основе коллективного обсуждения диссертации на научном заседании отдела лесобиологических проблем Севера Института биологии Коми научного центра УрО РАН (протокол № 1, 13 марта 2020 г.)

Старший научный сотрудник  
Отдела лесобиологических  
проблем Севера  
Института биологии Коми  
научного центра УрО РАН,  
к.б.н.

B.B. Тужилкина

167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая д. 28  
ФГБУН Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
Тел. 8 (8212) 24-01-63,  
E-mail: [tuzhilkina@ib.komisc.ru](mailto:tuzhilkina@ib.komisc.ru)

