Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук

На правах рукописи

Научный доклад об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации)

«МЕТОДЫ ПОПУЛЯЦИОННОЙ БОТАНИКИ В ОЦЕНКЕ РЕСУРСОВ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ»

по направлению подготовки

06.06.01 Биологические науки

направленность (профиль)

03.02.01 Ботаника

Аспирант *Вольховский Артем Валерьевич*

Научный руководитель *канд. биол. наук, доцент Медведева Нина Анатольевна*

28 июля 2025 г.

Санкт-Петербург

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Сырьевая продуктивность растений определяется воздействием экологических факторов на генетико-онтогенетическую конституцию растений. Выявление запасов природного сырья важнейшая задача ботанического ресурсоведения (Фёдоров, 1965, 1966). Выявление и оценка степени воздействия факторов, определяющих сырьевую продуктивность лекарственных растений, являются одной из фундаментальных проблем этого научного направления. Ее решение опирается главным образом на результаты исследований ценопопуляций ресурсных видов, которые активно проводятся в настоящее время (Буданцев, 2005, Прохоренко, 2021, 2024, Сулейманова, 2020). Популяционные исследования позволяют понять закономерности формирования фитоценозов, их развития, изменения во времени и пространстве (Работнов, 1978, Заугольнова, 1988, Harper, White, 1971, Harper, 1977, Silvertown, 1982). Определение онтогенетического спектра, виталитета, структурной пластичности, фенотипической изменчивости и приспособленности помогают прогнозировать реакцию ценопопуляций на изменение условий среды и дают возможность прогнозировать запасы сырья ресурсных видов, что является основой программ лаборатории растительных ресурсов БИН РАН имени В.Л. Комарова (Буданцев, 2020). Природные сообщества Северо-Запада России богаты фармакопейными видами растений. Однако основные данные по состоянию популяций ресурсов важнейших видов лекарственных растений получены в 70–80 гг. прошлого столетия. Изменения природных условий за истекшие 60 лет (породный, возрастной состав лесов, трансформация агроландшафтов) не могли не повлиять на ресурсы лекарственных растений (Суханов, 2021). Так, для 73% лесов Российской Федерации срок давности информационных материалов лесоустройства превышает 10 лет (Петров, 2018). Таким образом, изучение состояния ценопопуляций лекарственных растений, оценка возможности их эксплуатации являются актуальными задачами.

Цели и задачи исследования

Целью настоящей работы является связь основных индексов популяционной ботаники с урожайностью лекарственного растительного сырья на примере модельных видов (*Convallaria majalis* L., *Hypericum perforatum* L., *Hypericum maculatum* Crantz) Северо-Запада России. В процессе исследования решались следующие задачи:

1) оценка сырьевой продуктивности модельных видов с использованием методов изучения ценопопуляций растений;

2) оценка состояния, структуры, условий произрастания популяций модельных видов и связь с ресурсными показателями;
3) выявление сочетания экологических факторов, определяющих возобновление ценопопуляций модельных видов;
4) оценка возможности сбора и заготовки растительного сырья в популяциях модельных видов;
5) оценка качества сырья, собранного в природных фитоценозах на территории Северо-Запада России.

Научная новизна результатов

Исследование вносит существенный вклад в изучение ресурсов популяций лекарственных растений Северо-Запада России. Актуализированы сведения о ресурсных показателях *Convallaria majalis* L., *Hypericum perforatum* L., *H. maculatum* Crantz на территории Ленинградской области. Осуществлён комплексный подход к оценке ресурсов модельных видов, проведено исследование ценопопуляций в условиях различных фитоценозов и выявлены существенные различия. Определены основные популяционные индексы, связанные с урожайностью ресурсных видов растений. Впервые исследована радиационная безопасность лекарственного растительного сырья *Convallaria majalis*, *Hypericum perforatum*, *H. maculatum* из контрастных фитоценозов Северо-Запада России во взаимосвязи с условиями произрастания.

Теоретическая и практическая значимость проведенных исследований

Работа содержит актуальные данные о состоянии ценопопуляций и запасах сырья *Convallaria majalis*, *Hypericum perforatum*, *H. maculatum* в Северо-Западном регионе России, что может быть использовано для создания централизованной и открытой базы данных растительных ресурсов, а также служить источником сведений для обновления атласа ареалов лекарственных растений (в части запасов сырья фармакопейных видов). Материалы, собранные в процессе работы, и методы, адаптированные для изучения растительных ресурсов конкретных растений, рекомендуем использовать на лекционных и практических занятиях со студентами биологических и фармацевтических специальностей.

Методология и методы исследования

Материал для исследования собран на территории Ленинградской и Псковской областей Северо-Западного региона России в период 2021 – 2024 гг. Основой методологии

послужили работы А.Л. Буданцева (Буданцев, 2007, Ботаническое ресурсоведение…, 2023) и школы популяционной ботаники, основанной А.А. Урановым (Уранов, 1969, 1975). Количественные методы популяционной биологии растений заимствованы из работ Л.А. Животовского, Л.А. Жуковой, Ю.А. Злобина, Л.Б. Заугольновой, Н.И. Шориной, О.Г. Османовой (Животовский, 1979, 2001, Жукова, 2004a, 2004b, Злобин, 1989a, 1989b, Заугольнова, Жукова, Шорина, 1988, Османова, 2020). В работе использованы методы фитоиндикации растительных сообществ (Бузук, Созинов, 2007, 2009, Созинов, 2015) на основе шкал Д.Н. Цыганова (Цыганов, 1983). Частнонаучные методы исследования подробно рассмотрены в главе 2 «Материалы и методы исследования».

Положения, выносимые на защиту

1. Оценка сырьевой продуктивности *Convallaria majalis* произведена с использованием демографических индексы Δ (возрастность) и ω (эффективность). На их основе предложена формула для вычисления урожайности сырьевой фитомассы ландыша майского:

$$Y = 0{,}7251 * M_e + 9{,}8676\,,$$

где Y – урожайность сырьевой фитомассы, г/м^2, M_e – эффективная плотность ценопопуляции.

2. Произведена оценка состояния и условий произрастания *Convallaria majalis*, *Hypericum perforatum* и *H. maculatum* с вычислением индекса виталитета (*IVC*), индекса размерной пластичности (*ISP*) и определением потенциальной (*PEV*) и реализованной (*REV*) экологических валентностей и индекса гемеробиальности (*H*). сделан вывод о том, что *C. majalis*, *H. perforatum* и *H. maculatum* в антропогенно нарушенных местообитаниях имеют высокую урожайность надземной сырьевой фитомассы. Обладая высокой размерной пластичностью (*ISR* для ландыша майского 1.31, для зверобоя продырявленного 1.85, для зверобоя пятнистого 1.51), модельные виды приспосабливаются к стрессовым условиям среды. Индекс виталитета (*IVC*) исследованных популяций имел значения, близкие к 1 или выше, что говорит о широком спектре фенотипической изменчивости морфометрических признаков модельных особей лекарственных растений *Convallaria majalis*, *Hypericum perforatum* и *H. maculatum* и приспособленности к различным условиям обитания.
3. Для ценопопуляций модельных видов выявлены сочетания факторов, особенно сильно влияющие на жизненность растений и урожайность сырьевой фитомассы.

Для *C. majalis* это влажность и трофность почвы, щелочная реакция почвенного раствора, выраженной континентальностью климатического режима. Для обоих видов зверобоя это влажность трофность и богатство почвы нитратами.

4. Обновлены данные по сырьевой продуктивности *Convallaria majalis*, *Hypericum perforatum* и *H. maculatum* на территории Северо-Запада России. Обнаружена обширная (более 1200 м^2) ценопопуляция этого растения на острове Оленьем озерно-речной системы Вуокса Приозерского района, где, по совокупности наших данных об экологической плотности 196.7 ± 13.7 побегов на м^2 и урожайности сырьевой фитомассы 81.4 ± 13.9 г/м^2, возможна заготовка сырья без ущерба для местообитания и самой ценопопуляции. Природные популяции *Hypericum perforatum* и *H. maculatum* в условиях Северо-Запада России обладают низкой плотностью запаса сырья (максимальное значение 26.7 ± 1.3 г/м^2), и заготовки их лекарственного сырья здесь экономически нецелесообразны, так как в южных районах России урожайность сырьевой фитомассы достигает 150 г/м^2 (Губанов, 1976).
5. На территории Ленинградской области выявлены радиационно-безопасные запасы лекарственных растений *Convallaria majalis*, *Hypericum perforatum* и *H. maculatum* и выявлена отрицательная связь накопления радиоцезия с кислотностью солевой вытяжки почвы и содержанием в ней обменного калия. Получены данные по удельной активности природных и техногенных радионуклидах. Удельная активность ^{137}Cs фитомассы ландыша имеет более высокие значения, нежели удельная активность радиоцезия в фитомассе зверобоя (максимально 157 ± 15 Бк/кг и <16.1 Бк/кг соответственно). Ландыш в условиях Ленинградской области проявляет себя как умеренный концентратор радиоцезия. Максимальная зафиксированная удельная активность ^{90}Sr в исследованных пробах фитомассы ландыша и зверобоя < 32.5 Бк/кг и <18.9 Бк/кг соответственно. По обоим техногенным радионуклидам значения их удельной активности находились в безопасных пределах допустимых значений (400 Бк/кг по ^{137}Cs и 200 Бк/кг по ^{90}Sr).

Апробация результатов исследования

По теме научно-квалификационной работы опубликованы следующие статьи и тезисы докладов:

1. Вольховский А.В., Медведева Н.А. Эколого-фитоценотическая характеристика местообитаний *Convallaria majalis* L. (Asparagaceae Juss.) на территории

Ленинградской области / Фиторазнообразие Восточной Европы. – 2025. – № 19 (2). – С. 41–51. DOI: 10.24412/2072-8816-2025-19-2-41-51

2. *Вольховский А.В.* Оценка накопления радионуклидов, мышьяка и кадмия в растительном сырье *Hypericum perforatum* L. из Красносельского района Санкт-Петербурга и Лужского района Ленинградской области / Ботаническое ресурсоведение // Материалы V (XIII) Международной ботанической конференции молодых учёных в Санкт-Петербурге 25–29 апреля 2022 года. – СПб.: БИН РАН, 2022. – С. 56.
3. *Вольховский А.В.*, *Медведева Н.А.* Оценка накопления радионуклидов, тяжёлых металлов и мышьяка в надземной фитомассе ландыша майского (*Convallaria majalis* L.) в Ленинградской области / Теоретические и прикладные аспекты организации, проведения и использования мониторинговых наблюдений: материалы международной научной конференции, посвящённой 95-летию со дня рождения члена-корреспондента НАН Беларуси Е. А. Сидоровича (Минск, 9–10 марта 2023 г.) / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: Ж. А. Рупасова [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2023. – С. 148 – 150.
4. *Вольховский А.В.*, *Медведева Н.А.* Сырьевая продуктивность надземной фитомассы ценопопуляций *Convallaria majalis* L. в Ленинградской области / Проблемы интродукции растений и сохранения биологических ресурсов: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием (Воронеж, 21 ноября 2023 г.). – Воронеж: Цифровая полиграфия, 2023. – С. 112 – 120.
5. *Морданенко Я.Д.*, *Вольховский А.В.*, *Арапов К.А.*, *Медведева Н.А.* Оценка накопления радионуклидов сырьевой фитомассой зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.) и зверобоя пятнистого (*Hypericum maculatum* Crantz) на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области / Актуальные проблемы биологии и экологии: XXXI Всероссийская молодёжная научная конференция (с элементами научной школы), посвящённая 300-летию Российской академии наук, 80-летию Коми научного центра Уральского отделения РАН, 80-летию со дня рождения А.И. Таскаева: материалы докладов: 18 – 20 марта 2024 г. / ред. В.В. Старцев. – Сыктывкар: ИБ ФИЦ Коми УрО РАН, 2024. – С. 185 – 187.
6. *Вольховский А.В., Медведева Н.А.* Сырьевая продуктивность ценопопуляций *Hypericum perforatum* и *Hypericum maculatum* (Hypericaceae Juss.) на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области / Материалы V Международной молодежной конференции «Перспективы развития и проблемы современной

ботаники», 18–20 сентября 2024 года. – Новосибирск: Академиздат, 2024. – С. 63 – 64.

7. *Сахаров Я.А.*, *Вольховский А.В.*, *Салаев И.В.*, *Киселёв М.В.* Накопление Cs-137 и Sr-90 сырьевой фитомассой *Convallaria majalis* L. на территории Ленинградской области / Материалы VI (XIV) Международной ботанической конференции молодых учёных в Санкт-Петербурге (21–25 апреля 2025 года). – СПб.: БИН РАН, 2025. – С. 60 – 61.
8. Вольховский А.В. Сырьевая продуктивность и радиационная безопасность лекарственных видов *Convallaria majalis*, *Hypericum perforatum*, *H. maculatum* на территории Северо-Западного района России / Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Современное состояние и перспективы флористических и геоботанических исследований», посвященной 145-летию со дня рождения В Н. Хитрово, Круглого стола «Физиологические основы интенсификации растениеводства», посвященного 120-летию со дня рождения С. И. Ефремова (г. Орёл, 18 октября 2024 г.) / под редакцией Л. Л. Киселевой. – Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2025. – 277 с.

Некоторые аспекты работы были представлены на региональных, всероссийских и международных научных конференциях: V Международная молодежная конференция «Перспективы развития и проблемы современной ботаники», Орёл, 18 – 20 сентября 2024 г.; XXXII Всероссийская молодёжная научная конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии» (с элементами научной школы, г. Сыктывкар, 17 – 21 марта 2025 г.; Всероссийская научная конференция «Экология и ботаника на Волге. Феномен С.В. Саксонова», Тольятти, 3 – 5 июня 2025 г.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Популяционные и ресурсоведческие исследования *Convallaria majalis*, *Hypericum perforatum*, *H. maculatum* на Северо-Западе России

Биоморфологии ландыша майского посвящен ряд работ Н.П. Савиных, где *Convallaria majalis* представлен как явно-полицентрический вегетативно-подвижный многолетний поликарпик, геофит со сложной системой гипо-эпигеогенных корневищ (Душина, Савиных, 2020a, 2020b) с нормальной специализированной морфологической дезинтеграцией (Душина, Савиных, 2022). В природе существует в виде сложного индивида, представленного в надземной части отдельными моноподиально нарастающими парциальными побегами,

связанными в почве длинными геофильными участками (Блинова, Савиных, 2012). В результате морфологической дезинтеграции сложного индивида образуется совокупность рамет, которую Ю.А. Злобин называет клон-поле (Злобин, 2009). Клоновый характер ценопопуляций позволяет виду дольше удерживаться в фитоценозах в ходе их сукцессионных смен (Душина, Савиных, 2022). Его спектр экологических характеристик даёт Е.В. Кацовец и Н.М. Матвеев: сильвант, мезотроф, ксеромезофит, сциогелиофит (Кацовец, Матвеев, 2010). В ценопопуляциях *Convallaria majalis* L. множество «центров закрепления». Они представлены верхнерозеточными моноподиальными побеговыми системами с двумя типами побегов: 1) многолетний верхнерозеточный вегетативный побег с геофильным участком; 2) генеративный побег – соцветие кисть (Блинова, Савиных, 2012). *Convallaria majalis* L. имеет циркумбореальный дизъюнктивный ареал, наибольшая площадь которого (европейский участок) приходится на зоны широколиственных, смешанных и хвойных лесов России. Он распространен в западной части от Полярного Круга – юг Кольского полуострова (64° с. ш.), но севернее Сегозера (63° с. ш.) он редок (Кропотова, 1970). Почти достигая устья Днестра и Дуная, к востоку ареал суживается в южном Предуралье вместе с широколиственными лесами и их производными (Атлас…, 1983). Такой обширный ареал формировался в условиях послеледниковья в эпоху голоцена, и смещение к югу зоны тайги привело к включению популяций *C. majalis* в состав травяно-кустарничкового яруса хвойных лесов. Таким образом, ландыш майский, как и ряд других видов (*Linnea borealis* L., *Oxalis acetosella* L., *Trientalis europea* L.), часто сопутствующих *C. majalis* в лесах Ленинградской области, является, по выражению Р.В. Камелина, «квазибореальным» (Камелин, 2018).

Биологии и особенностям культуры *Hypericum perforatum* посвящена коллективная монография Э.Э. Эчишвили с соавт. (Зверобой продырявленный…, 2014, Эчишвили, 2021). Зверобой продырявленный характеризуется как длиннокорневищный, факультативно корнеотпрысковый (Гонтарь, Курочкина, 2005) поликарпический гемикриптофит. Изменениям анатомической структуры данного растения в ходе онтогенеза посвящена работа Н.Г. Мазей, где она выделяет 4 фазы развития с последовательными изменениями жизненной формы зверобоя. На 4-ой стадии морфогенеза – формирование парциальных кустов – растения *Hypericum perforatum* переходят к явно полицентрической модели побегообразования. Мазей выделяет 3 жизненные формы зверобоя: 1 – безрозеточная стержнекорневая, 2 – безрозеточная корневищно-стержнекорневая, 3 – безрозеточная стержнекорневая корнеотпрысковая, которая была обнаружена на участках ценоза, подверженных сильной деградации. У таких особей из придаточных почек главного или боковых корней формируются корневые отпрыски, из придаточных почек которых, в свою очередь, образуются косые ортотропные

корневища (3–5 см длины), переходящие в надземные побеги (Мазей, 2010). Биоморфология и популяционная биология *H. perforatum* представлена в исследовании С.А. Дубровной и Л.У. Мавлюдовой. В Республике Татарстан на основе морфологических признаков в ценопопуляциях этого ценного фармакопейного вида идентифицировались особи следующих жизненных форм: длиннокорневищные, длиннокорневищные корнеотпрысковые, стержнекорневые корнеотпрысковые с многолетней надземной осью, одревесневающей в основании. Подобные растения по внешним морфологическим признакам были идентичны растениям полукустарничковой жизненной формы. Они развивали вегетирующие побеги более 20–30 см высоту, у которых ежегодно, после зимнего периода сохранялись небольшие (не выше 3,5–7 см) базальные одревесневающие участки побегов с почками возобновления (Дубровина, Мавлюдова, 2012). Морфологические отличия зверобоя продырявленного и зверобой пятнистый описаны в коллективной монографии И.А. Губанова с соавт. (Луговые травянистые…, 1990), где отмечена относительная редкость *Hypericum maculatum* по сравнению с близкородственным *H. perforatum*. Наши исследования показывают обратное соотношение встречаемости данных видов на Северо-Западе России.

В период 1961–1962 гг. сотрудники Ленинградского химико-фармацевтического института проводили экспедиции в Вологодской области и выявили запасы *H. maculatum* в 5–10 т. С 1982 по 1998 г. получены сведения о гораздо большем запасе сырья в данном регионе страны: биологический запас сырья – 176 т, эксплуатационный запас – 70 т, возможная ежегодная заготовка – 17 т (Ресурсоведческая характеристика…, 2005). Таким образом, 30–40 лет назад в одном из регионов Северо-Запада были выявлены значительные запасы дикорастущего *H. maculatum*, который входит в аптечные сборы совместно с *H. perforatum*.

В Ленинградской области оценка биологического запаса сырья лекарственных растений с применением ГИС-технологий на территории Лисинского УОЛХ площадью 28384 га произведена сотрудниками СПбГЛТУ Никифоровым А. А. и Никифоровой А. И. Здесь в смешанных насаждениях и березняке определен биологический запас сырья *C. majalis* 68062.8 кг (Никифоров, 2017). Здесь же отмечены запасы *Hypericum perforatum* в низкополнотных (полнота 0,4 и ниже) смешанных насаждениях, где его биологический запас составляет 37530 кг, а на нелесных площадях, отведенных под сенокос, запас 23104 кг (там же, стр. 90). Но есть все основания полагать, что данные, приведённые в этом исследовании, сильно завышены и видовая принадлежность зверобоя дана без учёта совместного произрастания двух его видов.

В Ленинградской области зверобой встречается в основном в луговых сообществах (луга составляют 6.2% ее территории, или 526.7 тыс. га) и опушках леса, вырубках, а также вдоль дорог спорадически, в виде куртин, иногда занимающих более 1 м^2. Добронравина В.Н.

и Егоров А.А. провели анализ гербарных этикеток в гербариях Санкт-Петербурга и Москвы и установили частоту встречаемости *Hypericum perforatum* и *H. maculatum* в различных типах местообитания. Чаще всего данные виды зверобоя встречаются на лугах – 29.7% случаев (соответственно 18.9% и 10.8%). Намного реже встречаются в лесах – 13.0% (5.9% и 7.1%), в кустарниках – 7.4% (4.1% и 3.3%), на полянах и опушках – 10.0% (4.1% и 5.9%). Редко (11.5% этикеток) собирались в гербарий два вида зверобоя из нарушенных и освоенных человеком мест обитания (Добронравина, 2020). Тем не менее, мы отмечали неоднократное появление *Hypericum perforatum* на нарушенных деятельностью человека территориях (Волосовский и Ломоносовский районы Ленинградской области, Пушкинский район Санкт-Петербурга).

Таким образом, достоверная и актуальная информация о запасах модельных видов лекарственных растений на Северо-Западе России в литературных источниках очень фрагментарна. Наиболее богатыми в ресурсном отношении традиционно считаются более южные районы нашей страны. Тем большую актуальность приобретает исследование природных ценопопуляций *Convallaria majalis*, *Hypericum perforatum* и *H. maculatum*.

Глава 2. Материал и методы исследования

Данное исследование проводилось на территории Гатчинского, Лужского, Киришского, Выборгского, Приозерского и Волосовского р-нов Ленинградской области. Для сравнения выбраны 13 ценопопуляций *C. majalis* (рис. 1) в доступных для сбора фитоценозах (табл. 1).

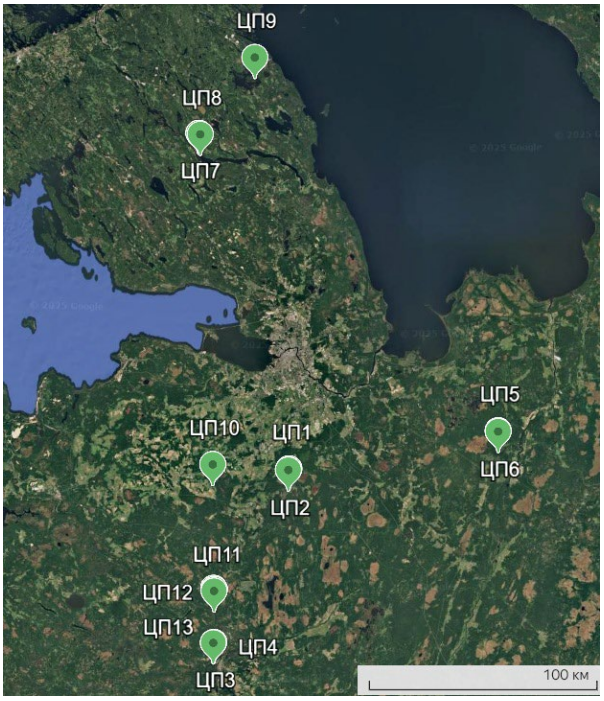

Рис. 1. Расположение исследованных ценопопуляций *C. majalis* на территории Ленинградской области

В Лужском, Волосовском, Ломоносовском районах Ленинградской области, Пушкинском и Красносельском районах Санкт-Петербурга и Псковском районе Псковской области (рис. 2) исследованы 8 ценопопуляций *Hypericum maculatum* и 7 ценопопуляций *H. perforatum* в составе луговых и антропогенно трансформированных растительных сообществах (табл. 2).

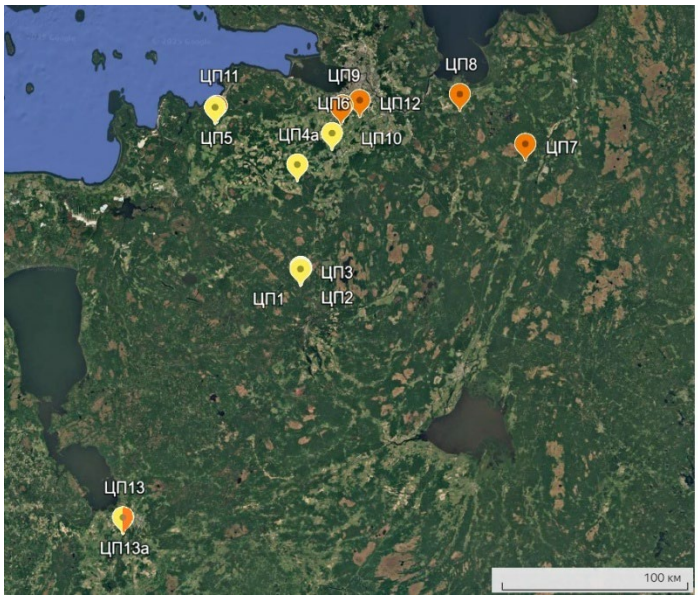

Рис. 2. Расположение исследованных ценопопуляций *C. majalis* на территории Ленинградской области *Hypericum maculatum* и *H. perforatum*

В пределах пробной площади (20 × 20 м для лесных ассоциаций и 10 × 10 м для луговых фитоценозов закладывалось по 15 учетных площадок по 1 м^2 таким образом, чтобы была представлена пространственная неоднородность и точность определения экологической плотности ЦП составляла около 15% (Андреева, 2002). В качестве счетной единицы принимали парциальный побег (Душина, 2020). Геоботанические описания фитоценозов производили по методике О.В. Смирновой с соавторами (Смирнова, 2002). Кладистический анализ сходства видового состава фитоценозов с использованием коэффициента П. Жаккара и ординацию экотопов методом главных компонент проводили с помощью программы «Past4.03». Потенциальную (PEV) и реализованную (REV) экологические валентности вида, коэффициент экологической эффективности ($K_{ec.eff.}$) и индекс толерантности (I_t) рассчитывали по Л.А. Жуковой (Жукова, 2004а). Сбор и сушку растений производили, согласно общепринятой методике: надземную фитомассу ландыша фиксировали при 50 °С, соцветия зверобоя сушили при комнатной температуре в хорошо проветриваемом помещении (Яковлев, 2013). Взвешивали побеги на электронных весах с точностью до 0.01 г. Отбор верхнего слоя почвы (корнеобитаемой зоны) проводили методом конверта. Агрохимический анализ почвы проводили по методам ИЛ ЦИНАО ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, в т.ч.

определение подвижных форм фосфора и калия по А.Т. Кирсанову, нитратного азота ионометрическим методом, гранулометрического состава ситовым методом.

Кластеризацию видового состава фитоценозов с ландышем и зверобоем рассчитывали с помощью метода Уорда в программе «Past4.03» с использованием в качестве переменных значения $D_J = 1 - J$, где J – коэффициент Жаккара.

Для выявления видов растений, наиболее тесно ассоциированных с модельными, использовали метод анализа корреляционных плеяд П.В. Терентьева (Терентьев, 1959, Шмидт, 1984).

Для характеристики жизненности популяций использовался индекс виталитета ценопопуляций (IVC), вычисляемый по формуле (1) из монографии Ишмуратовой с соавт. (Ишмуратова, Барлыбаева, 2020):

$$IVC = \frac{\sum_{i=1}^{N}(X_i/\overline{X_i})}{N} \qquad (1)$$

Индекс размерной пластичности рассчитывали по формуле (2):

$$ISP = \frac{IVC_{max}}{IVC_{min}} \qquad (2)$$

Классификация жизненных форм К. Раункиера (Raunkiær, 1908) приводится с дополнениями с учётом возможности переходов растений из одной биоморфы в другую (Exkuraionsflora, 1986) с дополнениями, спектр гемеробии составлен по шкале Ялласа (Frank, Klotz, 1990). Названия растений приведены в соответствии с «International Plant Names Index», систематическое положение цветковых растений дано по APG IV, споровых и голосеменных растений по Конспекту флоры Псковской области (Ефимов, Конечная, 2018). Активность радионуклидов в почве и ЛРС измеряли на спектрометрических комплексах «ПРОГРЕСС» и «РАДЭК» по стандартизированной методике РАДЭК.

Для ценопопуляций *C. majalis* определены типы лесных и луговой ассоциаций и виды-доминанты травяно-кустарничкового яруса (табл. 1).

Таблица 1. Фитоценотическая приуроченность ценопопуляций *C. majalis*

ФЦ	Тип ассоциации	Административный район	Доминанты и кодоминанты травяно-кустарничкового яруса	Общее проективное покрытие, %
1	*Pinetum myrtilloso-convallariosum*	Гатчинский	*Vaccinium myrtillus* L. и *V. vitis-idaea* L., *Rubus idaeus* L., *Anemonoides nemorosa* (L.) Holub, *Oxalis acetosella* L., *Trientalis europaea* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt	~ 30
2	*Pinetum myrtilloso-calamagrostidoso-sphagnosum*	Гатчинский	*V. myrtillus* L., *V. vitis-idaea* L., *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv., *Milium effusum* L., *O. acetosella* L.	~ 40

3	*Pinetum myrtilloso-oxalidosum var. avenellosum flexuosum*	Лужский	*C. majalis* L., *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Avenella flexuosa* (L.) Drej., *V. myrtillus* L., *V. vitis-idea* L., *Rubus saxatilis* L., *Fragaria vesca* L.	~ 35
4	*Pinetum herboso-convallariosum*	Лужский	*Festuca pratensis* Huds., *Avenella flexuosa* (L.) Drej., *C. majalis* L., *Achillea millefolium* L.	~ 50
5	*Betuletum ruboso saxatilis varioherbosum*	Киришский	*Rubus saxatilis* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Orthilia secunda* (L.) House, *C. majalis* L.	~ 20
6	*Tremuletum ruboso-saxatilis convallariousum*	Киришский	*R. saxatilis* L., *C. majalis* L., *Trientalis europaea* L., *Trollius europaeus* L., *Luzula pilosa* (L.) Willd.	~ 50
7	*Pinetum herboso-convallariosum*	Выборгский	*C. majalis* L., *Fragaria vesca* L., *Juncus effusus* L., *Milium effusum* L., *Melica nutans* L.	~ 40
8	*Pinetum herboso-convallariosum*	Выборгский	*C. majalis* L., *Fragaria vesca* L., *Milium effusum* L., *V. myrtillus* L., V. *vitis-idaea* L., *Poa pratensis* L. *Oxalis acetosella* L.	~ 40
9	*Tremuletum convallarioso-pteridosum*	Приозерский	*C. majalis* L., *V. myrtillus* L., *Pteridium pinetorum* C.N.Page & R.R.Mill, *Fragaria vesca* L.	~ 90
10	*Festuceto pratensis–Dactyletum glomeratae*	Волосовский	*Festuca pratensis* Huds., *Dactylis glomerata* L., *C. majalis* L., *Pimpinella saxifraga* L., *Briza media* L.	~ 90
11	*Tremuletum convallarioso-pteridosum*	Лужский	*C. majalis* L., *Trientalis europaea* L., *Athyrium filix-femina* (L.) Roth, *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P. Fuchs, *Vaccinium myrtillus* L., *Oxalis acetosella* L.	~ 30
12	Пойменный нарушенный луг на берегу р. Луга в окрестностях геостанции «Железо»	Лужский	*C. majalis* L., *Achillea millefolium* L., *Lysimachia nummularia* L., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Equisetum pratense* Ehrh., *Trifolium medium* L., *Briza media* L.	~ 40
13	Пойменный нарушенный луг на берегу старицы р. Луга	Лужский	*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *C. majalis* L., *Achillea millefolium* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) P.Beauv., *Phleum pratense* L., *Geum rivale* L., *Tanacetum vulgare* L.	~ 50

Исследованные ценопопуляции *Hypericum maculatum* и *H. perforatum* приурочены к луговым ассоциациям и антропогенно трансформированным биотопам (табл. 2).

Таблица 2. Фитоценотическая приуроченность ценопопуляций *Hypericum maculatum* и *H. perforatum*

ФЦ	ЦП	Тип местообитания и местонахождение	Административный район	Доминанты травостоя	Общее проективное покрытие, %
1	1	Щучково-разнотравный остепнённый луг на границе таволгового луга в понижении рельефа	Лужский	*Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Achillea millefolium* L., *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm., *Festuca pratensis* Huds., *Poa angustifolia* L.	50 – 60

2	2	Пойменный злаково-разнотравный луг на берегу старицы р. Луга	Лужский	*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Agrostis capillaris* L., *Alopecurus pratensis* L., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Dactylis glomerata* L., *Angelica sylvestris* L., *Hypericum maculatum* Crantz	60 – 70
3	3	Злаково-разнотравный луг на территории геостации «Железо»	Лужский	*Phleum pratense* L., *Anthoxanthum odoratum* L., *Trifolium media* L., *Trifolium hybridum* L., *Achillea millefolium* L., *Urtica dioica* L., *Hypericum maculatum* Crantz	25 – 30, имеются нарушения травяного покрова
4	4, 4а	Водораздельный злаково-разнотравный луг	Волосовский	*Festuca pratensis* Huds., *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth, *Briza media* L., *Centaurea jacea* L., *Centaurea scabiosa* L., *Achillea millefolium* L.	70 – 80, имеются нарушения травяного покрова
5	5	Сырой луг вдоль Князева ручья, д. Подмошье	Ломоносовский	*Phleum pratense* L., *Aegopodium podagraria* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Equisetum pratense* Ehrh., *Argentina anserina* (L.) Rydb., *Angelica archangelica* L., *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth	60 – 70
6	6	Опушечный луг близ ст. Мариенбург	Гатчинский	*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth, *Aegopodium podagraria* L., *Agrimonia eupatoria* L., *Dactylis glomerata* L., *Equisetum pratense* Ehrh., *Hypericum maculatum* Crantz	45 – 50
7	7	Злаково-разнотравный водораздельный луг	Киришский	*Phleum pratense* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Centaurea jacea* L., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Lysimachia vulgaris* L., *Valeriana officinalis* L., *Trifolium pratense* L.	50 – 60
8	8	Злаково-разнотравный луг в понижении рельефа в урочище Вороново	Кировский	*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth , *Dactylis glomerata* L., *Achillea millefolium* L., *Aegopodium podagraria* L., *Agrimonia eupatoria* L., *Artemisia vulgaris* L., *Hypericum perforatum* L., *Hypericum maculatum* Crantz, *Convallaria majalis* L.	30 – 40, имеются небольшие нарушения травяного и почвенного покрова
9	9	Злаково-разнотравный луг на Ореховой горе	Красносельский	*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth, *Aegopodium podagraria* L., *Agrimonia eupatoria* L., *Artemisia vulgaris* L., *Centaurea jacea* L., *Chenopodium album* L., *Hypericum perforatum* L.	50 – 60
10	10	Злаково-разнотравный луг на восточном склоне горы Кирхгоф	Ломоносовский	*Aegopodium podagraria* L., *Agrimonia eupatoria* L., *Alchemilla baltica* Juz., *Bunias orientalis* L., *Festuca pratensis* Huds., *Centaurea jacea* L., *Geranium palustre* L., *Hypericum perforatum* L.	60 – 70
11	11	Пустошь близ жилья на	Ломоносовский	*Aegopodium podagraria* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop.,	40 – 50

		территории д. Ивановское		*Bunias orientalis* L., *Hypericum perforatum* L., *Cichorium intybus* L., *Equisetum pratense* Ehrh.	
12	12	Травянистое сообщество близ ж/д насыпи ст. Александровская	Пушкинский	*Dactylis glomerata* L., *Achillea millefolium* L., *Artemisia campestris* L., *Crepis tectorum* L., *Melilotus albus* L., *Medicago falcata* L., *Medicago lupulina* L., *Tanacetum vulgare* L., *Vicia hirsuta* (L.) Gray	30 – 40
13	13, 13а	Злаково-разнотравный водораздельный луг близ д. Сорокино	Псковский	*Calamagrostis epigej*os (L.) Roth, *Phleum pratense* L., *Dactylis glomerata* L., *Lupinus polyfillum* L., *Melampyrum nemorosum* L., *Lysimachia vulgaris* L., *Achillea millefolium* L., *Solidago canadensis* L., *Solidago virgaurea* L.	70 – 80

Глава 3. Комплексная оценка состояния ценопопуляций *Convallaria majalis*, *Hypericum maculatum, H. perforatum* на территории Северо-Запада России

Комплексная оценка состояния ценопопуляций модельных видов лекарственных растений включает анализ видового состава с целью фитоиндикации условий обитания ресурсных видов, определение структуры и виталитета ценопопуляций для прогнозирования возможности сбора и заготовки лекарственного сырья.

Исследованные ценопопуляции *C. majalis* обладали базовым для данного вида левосторонним возрастным спектром с преобладанием виргинильного возрастного состояния, о чем свидетельствуют основные демографические индексы (табл. 3). Высокая эффективная плотность (M_e) ценопопуляций 8, 9, 10 характеризует полноту использования среды, является индикатором процветающей, динамичной и устойчивой популяции растений с высокой долей репродуктивно активных растений. Эффективная плотность рассчитывается по формуле (3):

$$M_e = D * \omega \qquad (3),$$

где D – экологическая плотность популяции, ω – индекс эффективности.

Табл. 3. Индексы возрастности (Δ), эффективности (ω), восстановления (I_B) и замещения ($I_З$), эффективная плотность (M_e) для ценопопуляций *C. majalis* в Ленинградской области

Индекс	ЦП1	ЦП2	ЦП3	ЦП4	ЦП5	ЦП6	ЦП7	ЦП8	ЦП9	ЦП10	ЦП11	ЦП12	ЦП13
Δ	0.24	0.29	0.22	0.22	0.17	0.19	0.17	0.20	0.21	0.15	0.39	0.21	0.19
Ω	0.45	0.56	0.45	0.46	0.48	0.36	0.43	0.45	0.40	0.44	0.43	0.44	0.47
I_B	4.1	1.5	2.9	3.6	2.3	4.7	5.2	2.9	3.8	18.0	8.58	5.96	5.67

I_3	2.4	1.1	2.2	2.4	2.3	2.2	3.9	2.2	3.4	11.4	1.44	3.44	3.75
M_e	18.0	38.1	51.4	25.8	23.1	34.6	32.0	93.8	77.6	295.7	69.3	148.2	78.7

Для ЦП1, ЦП3 и ЦП5 рассчитана специфическая скорость развития (r_Δ) за 3 вегетационных сезона, которая для ЦП1 и ЦП5 составляет 0.0037 и 0.0032 соответственно. Для ПЦ3 она имеет отрицательное значение (– 0.0795), что свидетельствует об омоложении популяции, благодаря расширению зоны освоения пространства. Все исследованные ценопопуляции являются полночленными, за исключением ЦП11–13, где отсутствуют ювенильные побеги, и молодыми (в координатах Δ – ω), за исключением ЦП11, которая является переходной.

Эффективная плотность (M_e) имеет прямую пропорциональную связь с урожайностью надземной фитомассы (рис. 3). Это даёт возможность использования данного коэффициента в оценке урожайности *C. majalis* для природной зоны, где предварительно были сделаны подобные расчёты.

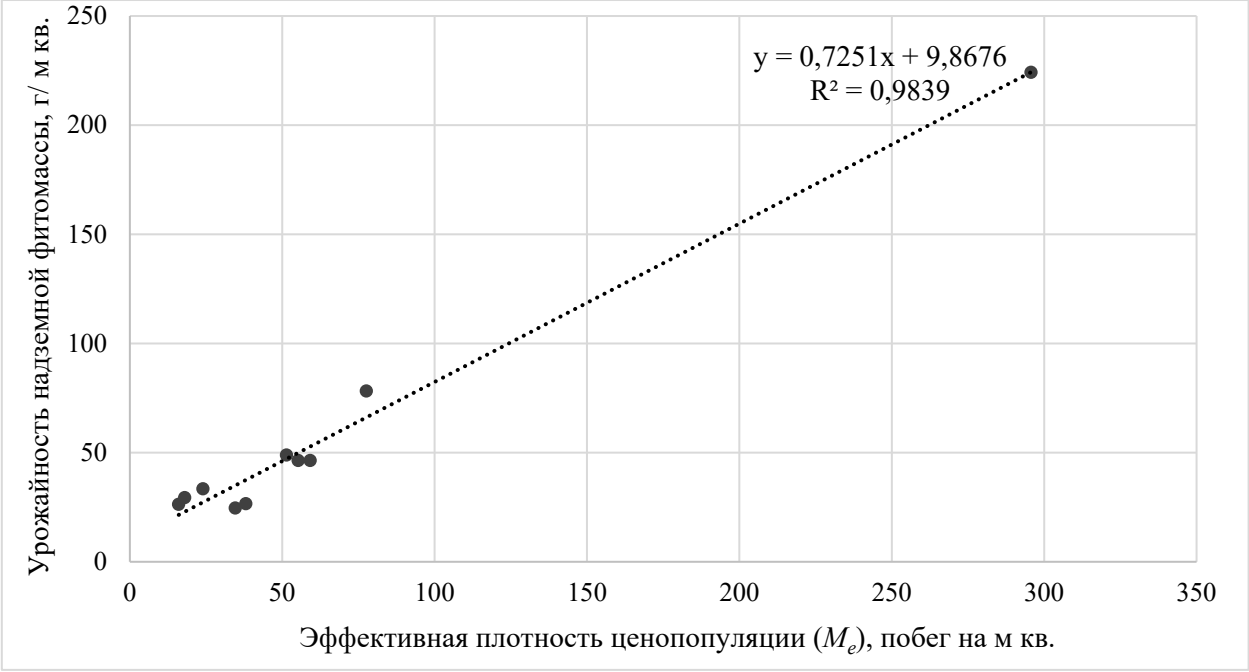

Рис. 3. Модель связи эффективной плотности ценопопуляции (M_e) и урожайностью надземной фитомассы *C. majalis*

В определении района заготовок и ресурсного значения конкретных ценопопуляций необходимо придерживаться стратегии неистощительного использования лекарственных видов. При этом следует учитывать наличие во флористическом составе растительных сообществ редких видов, охранный статус самих растительных сообществ, изменения фитоценотического участия лекарственных видов в ходе сукцессионных смен растительных

сообществ, биологических особенностей видов и степени нанесения им ущерба при их использовании в качестве растительного сырья (Федоров, 2013).

Всего на территории Ленинградской и Псковской областей в сообществах с ландышем майским определено 172 вида из 54 семейств высших сосудистых растений, 170 видов, произрастающих совместно с двумя видами зверобоя. Также в фитоценозах с ландышем было выявлено 18 видов бриевых мхов (класс Bryopsida). Участие различных семейств растений в исследованных сообществах представлены на рис. 4 и 5.

В фитоценозах со зверобоем отсутствуют представители Ericaceae, а также невелико биоразнообразие споровых растений, представленных, в основном, Equisetaceae. В обеих группах растительных сообществ велика доля Rosaceae, Fabaceae, Poaceae, Apiaceae, Ranunculaceae.

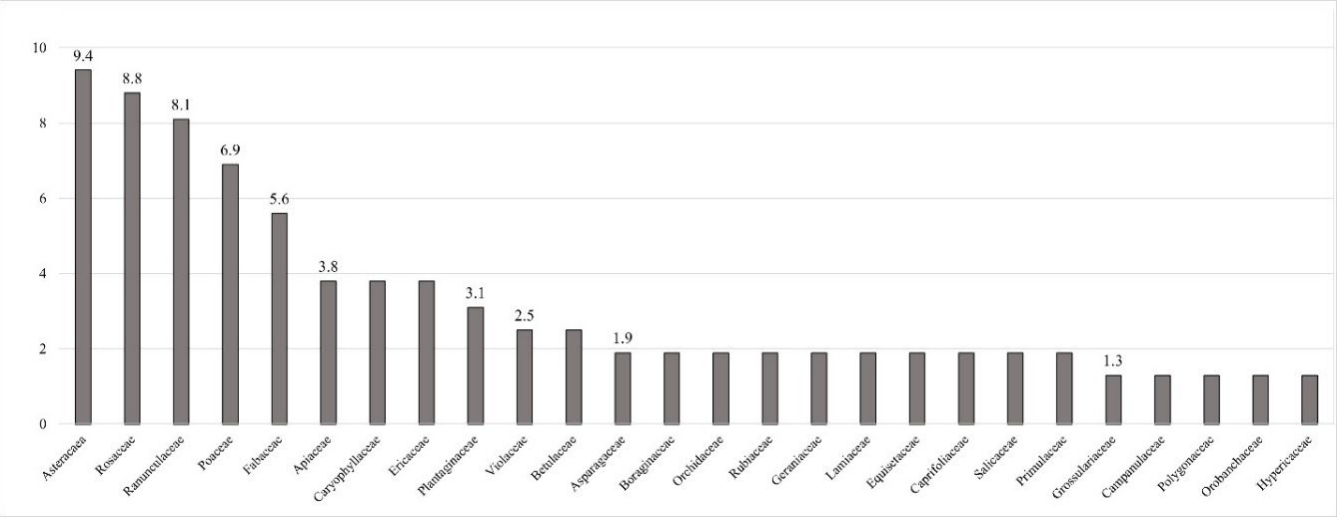

Рис 4. Участие представителей семейств в видовом составе фитоценозов с *Convallaria majalis*

Пояснение: по горизонтальной оси – основные семейства, по вертикальной оси – % от общего числа видов.

По результатам анализа видового состава фитоценозов с *Convallaria majalis*, *Hypericum maculatum*, *H. perforatum* было установлено преобладание в обеих группах растительных ассоциаций представителей семейства Asteraceae (9.4% для ландышевых и 20% флоры фитоценозов с двумя видами зверобоя). Первая триада (Хохряков, 2000) спектра ценофлоры изученных лесных ассоциаций As – Ro – Rn, а для ценофлоры луговых ассоциаций As – Fa – Ro. Для флоры Восточной Европы характерен спектр первых трёх семейств As – Po – Ro («зона розоцветных» по А.П. Хохрякову) и As – Fa – Po для Голарктики, но ввиду малой выборки наши спектры не совпадают с базовым для Восточной Европы.

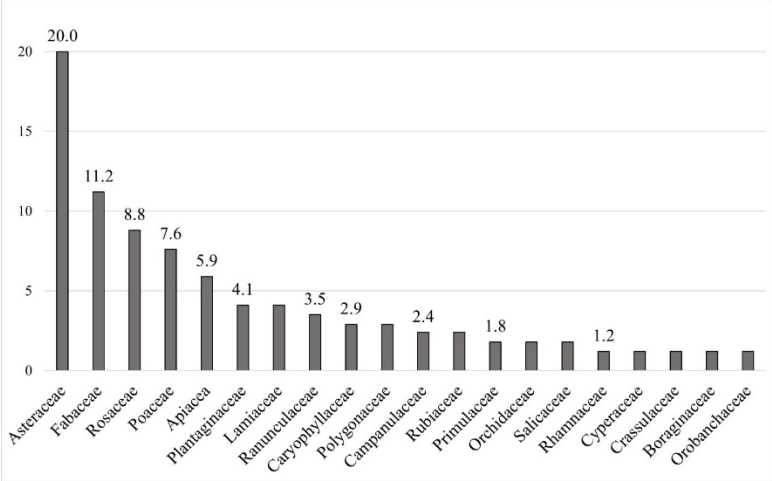

Рис. 5. Участие представителей семейств в видовом составе фитоценозов с *Hypericum maculatum*, *H. perforatum*

Пояснение: по горизонтальной оси – основные семейства, по вертикальной оси – % от общего числа видов.

Анализ спектров жизненных форм (рис. 6 и 7) показал преобладание в обеих группах сообществ гемикриптофитов (58.4 и 56.5 %). Подчинённое положение занимают геофиты (7.8 и 7.1%). Таким образом, как *Convallaria majalis* L., так и *Hypericum perforatum* L., и *H. maculatum* Crantz на территории Северо-Запада России встречаются в растительных ассоциациях мезофитной растительности с преобладанием гемикриптофитных многолетников.

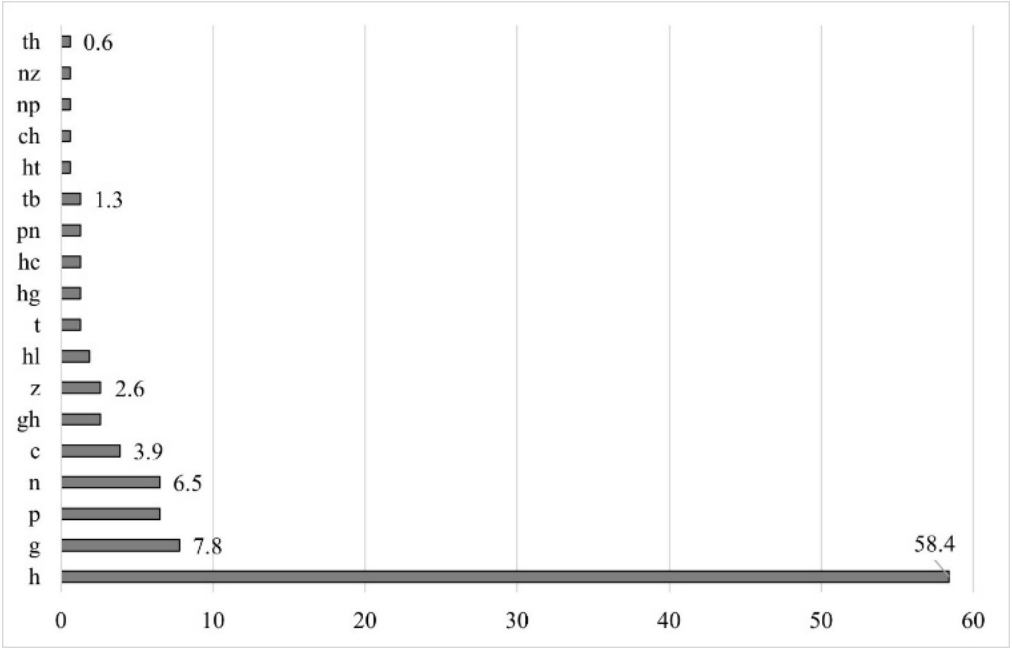

Рис. 6. Спектр жизненных форм растений в сообществах с *Convallaria majalis*, (%)

Пояснение: по горизонтальной оси – % от общего числа видов, по вертикальной оси – жизненные формы.

Подчинённое положение занимают геофиты (7.8 и 7.1%). Таким образом, как *Convallaria majalis* L., так и *Hypericum perforatum* L., и *H. maculatum* Crantz на территории

Северо-Запада России встречаются в растительных ассоциациях мезофитной растительности с преобладанием гемикриптофитных многолетников.

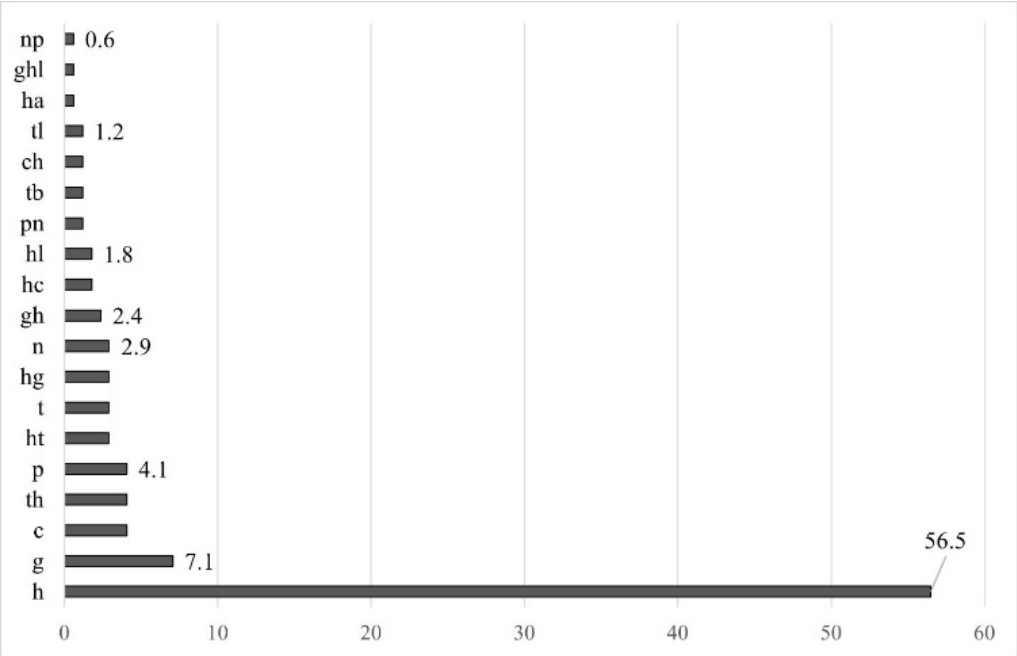

Рис 7. Спектр жизненных форм растений в сообществах с *Hypericum maculatum*, *H. perforatum*

Пояснение: по горизонтальной оси – % от общего числа видов, по вертикальной оси – жизненные формы.

Кластерный анализ видового состава растительных сообществ, включающих модельные виды, показал естественные группировки лесов по типу лесных ассоциаций и луговых фитоценозов по преобладающим видам и сходству эдафо-климатических условий (рис. 8, 9).

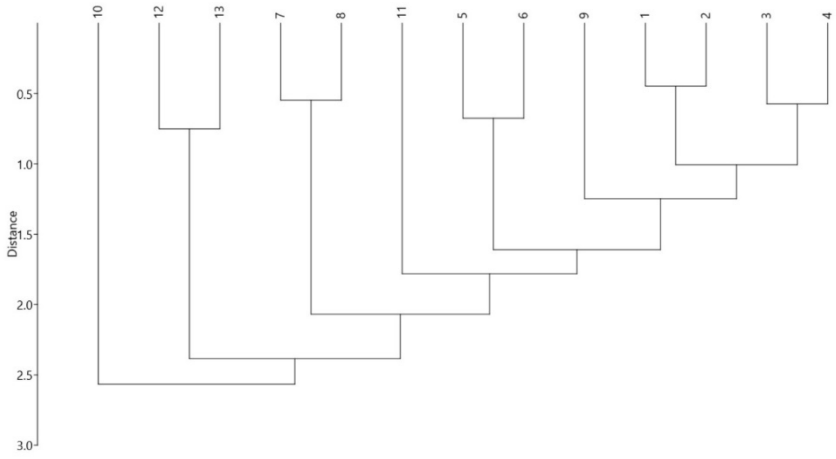

Рис. 8. Дендрограмма сходства фитоценозов с *C. majalis* по видовому составу

Примечание: По горизонтали – номер фитоценоза; по вертикали – межкластерное расстояние, прирост внутрикластерной дисперсии.

Сообщества, содержащие в составе только один из видов зверобоев, оказались наиболее тесно связаны (Рис. 9), например, фитоценозы 1, 2, 3, а также 5 и 7 включают только *H. maculatum*, 11 и 12 – только *H. perforatum*, 4, 10, а также 6, 9, 8, 13 – оба вида зверобоя. Интересно, что объединённые в кластер ассоциации 4 и 10 единственные содержат в составе представителей семейства Orchidaceae.

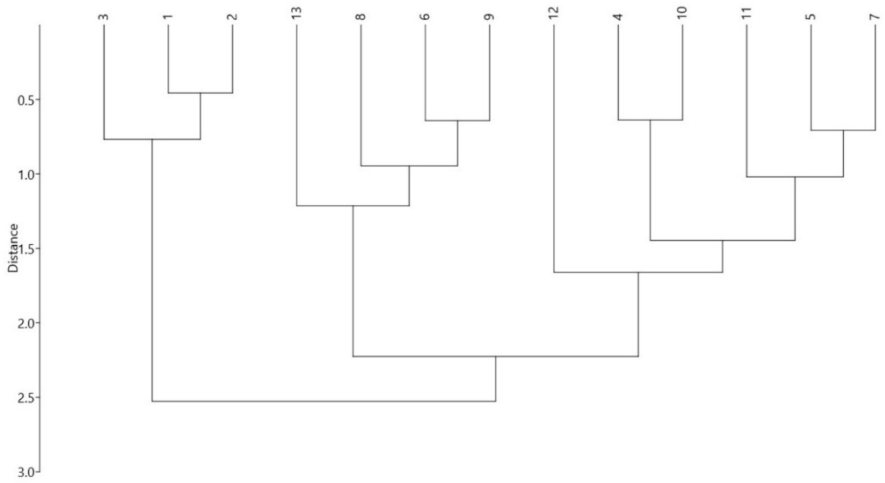

Рис. 9. Дендрограмма сходства фитоценозов с *Hypericum maculatum* и *H. perforatum* по видовому составу

Примечание: По горизонтали – номер фитоценоза; по вертикали – межкластерное расстояние, прирост внутрикластерной дисперсии.

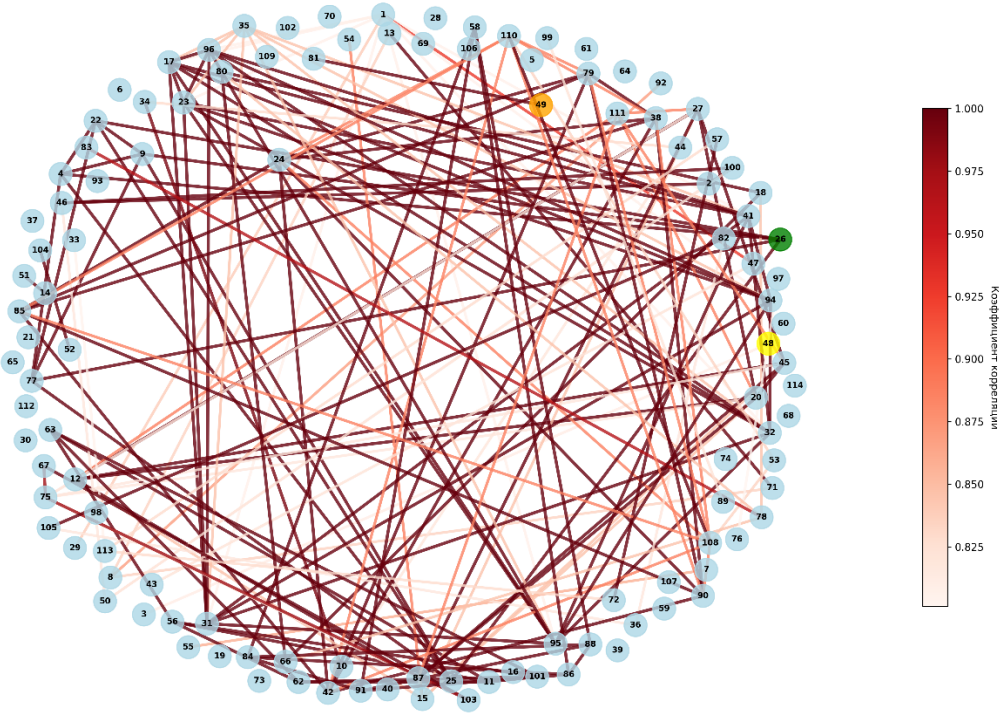

Рис. 10. Корреляционные плеяды видов, ассоциированных с *C. majalis*

Всего выявлено 47 плеяд, наиболее крупные из которых содержат типично лесные (например, *Lathirus vernus* (L.) Bernh., *Geranium robertianum* L., *Polypodium vulgare* L.), лугово-лесные или опушечные (*Achillea millefolium* L., *Festuca pratensis* Huds., *Geranium sylvaticum* L.), луговые виды (*Briza media* L., *Carum carvi* L., *Dactilus glomerata* L., *Plantago media* L., *Veronica teucrium* L.), выделяются отдельными виды с более широким диапазоном условий обитания (*Equisetum pratense* Ehrh., *Lysimachia nummularia* (L.) Maxim., *Vicia sepium* L.).

Для ассоциаций, включающих *H. maculatum* и *H. perforatum* также были визуализированы корреляционные плеяды (рис. 11). Всего выявлено 69 плеяд. Самая крупная из них содержит 25 видов, типичных для остепненных материковых лугов (*Campanula persicifolia* L., *Centaurea scabiosa* L., *Lathyrus sylvestris* L., *Leontodon hispidus* L., *Primula veris* L., *Origanum vulgare* L., *Pentanema salicinum* (L.) D. Gut. Larr.) Хорошо выделяется плеяда видов, предпочитающих сырые луга (Filippendula ulmaria (L.) Maxim., Kadenia dubia (Schkuhr) Lavrova & V.N. Tichom.), плеяда сорных и синантропных видов (Berteroa incana (L.) DC, Erysimum hieraciifolium L., Lactuca serriola L., Medicago falcata L., Pastinaca sativa L.).

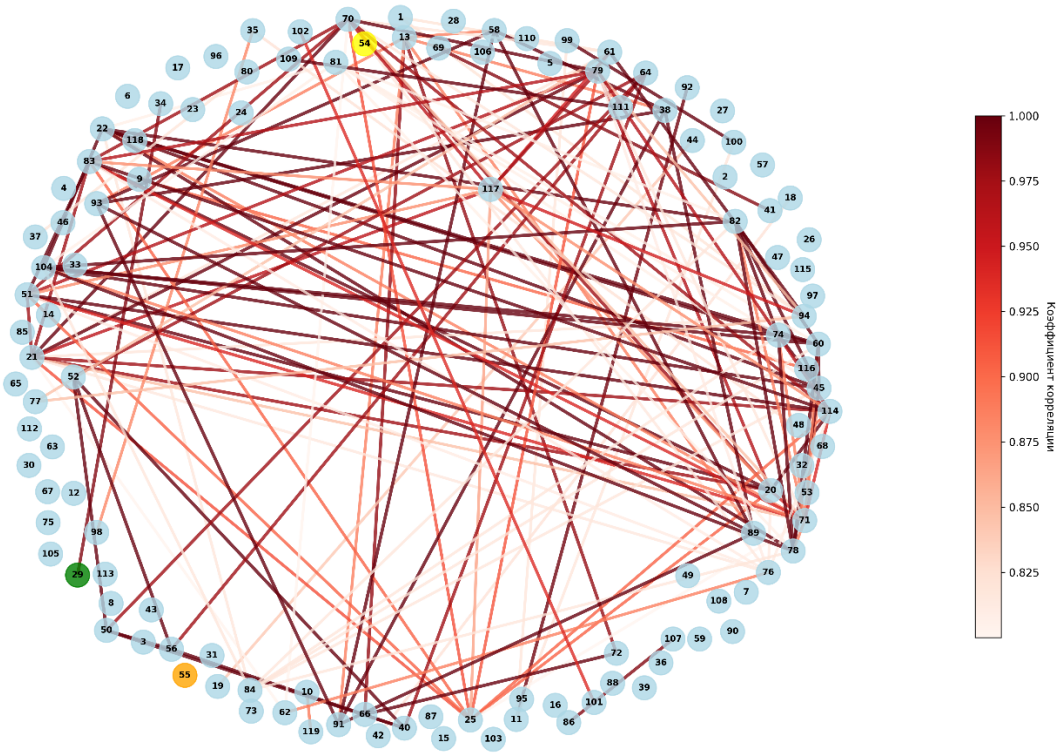

Рис. 11. Корреляционные плеяды видов, ассоциированных с *H. maculatum* и *H. perforatum*

Для понимания реального экологического статуса *C. majalis* в контрастных местообитаниях вычисляли значения потенциальной и реализованной экологической валентности данного вида. Результаты представлены в табл. 4. Значения PEV указывают на

диапазон эдафо-климатических факторов, выделенных Д.Н. Цыгановым (Цыганов, 1983, Компьютерная обработка…, 2008, Зубкова, 2011), в которых может существовать вид, а REV характеризует степень приспособленности ЦП *C. majalis* к изменению каждого конкретного экологического фактора. Стеновалентными считаются виды, занимающие до 30% шкалы, эвривалентными – более 60% шкалы, остальные виды относятся к мезовалентным (МВ), которые подразделяются на гемистено- (ГСВ), мезо- (МВ) и гемиэвривалентные (ГЭВ) группы (Жукова, 2004b). Как видно из данных табл.4, по отношению к режиму увлажнения, трофности и влажности почвы *C. majalis* можно рассматривать как мезогемиэвривалентный по отношению к температурному режиму и криоклиматической шкале как гемиэвривалентный, по отношению к остальным абиотическим факторам как эвривалентный вид. В фитоценозах 10 и 11 по шкале fH (константофильность) коэффициент экологической эффективности имеет значения 0.40 и 0.34 соответсвенно. Это указывает на высокую долю случайности присутствия *C. majalis* в данных типах сообществ.

Высокие значения $K_{ec.eff.}$ (0.81 – 0.91) по всем учтённым эдафо-климатическим факторам указывают на приближение реализованной экологической ниши ЦП *C. majalis* к фундаментальной. Это говорит о благоприятном для данного вида сочетании экологических факторов в его местообитаниях. ЦП *C. majalis* охватывают довольно широкий диапазон амплитуд 10 абиотических факторов. Значения 0.54 – 0.59 индекса толерантности (I_t) указывают на мезобионтность ландыша майского по отношению к данному сочетанию факторов в исследованных местах его произрастания. Значения I_t 0.73 – 0.80 говорят об эвривалентности *C. majalis* в составе фитоценозов 11 – 13. Таким образом, модельный вид в данных сообществах способен устойчиво развиваться, несмотря на антропогенную трансформацию (о гемеробиальности фитоценозов см. ниже, табл. 6).

Таблица 4. Потенциальные и реализованные экологические валентности, коэффициенты экологической эффективности ($K_{ec.eff.}$) и индексы толерантности (I_t) *C. majalis* по экологическим шкалам Д.Н. Цыганова

ФЦ	Параметры экотопа	Экологические шкалы									
		Tm	Kn	Om	Cr	Hd	Tr	Nt	Rc	Lc	fH
1	PEV	0.52	0.72	0.41	0.54	0.39	0.40	0.66	0.66	0.75	0.48
	REV	0.46	0.65	0.34	0.48	0.35	0.34	0.57	0.59	0.64	0.39
	$K_{ec.eff.}$	0.89	0.90	0.84	0.88	0.89	0.87	0.86	0.89	0.85	0.81
	I_t	0.55									
2	PEV	0.53	0.76	0.45	0.62	0.41	0.41	0.65	0.76	0.78	0.52
	REV	0.47	0.69	0.38	0.55	0.37	0.36	0.56	0.69	0.67	0.43
	$K_{ec.eff.}$	0.89	0.91	0.85	0.89	0.89	0.87	0.86	0.90	0.86	0.83
	I_t	0.59									

3	PEV	0.51	0.69	0.43	0.53	0.41	0.42	0.59	0.66	0.74	0.45
	REV	0.45	0.62	0.36	0.47	0.37	0.37	0.50	0.59	0.63	0.36
	$K_{ec.eff.}$	0.89	0.90	0.85	0.88	0.89	0.88	0.85	0.89	0.85	0.80
	I_t	0.54									
4	PEV	0.52	0.70	0.46	0.57	0.39	0.45	0.58	0.66	0.69	0.47
	REV	0.46	0.64	0.39	0.50	0.35	0.40	0.49	0.58	0.58	0.38
	$K_{ec.eff.}$	0.89	0.91	0.86	0.88	0.89	0.89	0.88	0.84	0.88	0.81
	It	0.55									
5	PEV	0.53	0.71	0.46	0.58	0.37	0.43	0.65	0.69	0.75	0.49
	REV	0.48	0.64	0.39	0.52	0.33	0.38	0.56	0.62	0.64	0.40
	$K_{ec.eff.}$	0.89	0.91	0.86	0.89	0.89	0.88	0.86	0.89	0.85	0.82
	I_t	0.57									
6	PEV	0.53	0.72	0.41	0.59	0.38	0.43	0.61	0.71	0.72	0.50
	REV	0.47	0.66	0.35	0.52	0.33	0.37	0.52	0.63	0.61	0.41
	$K_{ec.eff.}$	0.89	0.91	0.84	0.89	0.89	0.88	0.85	0.89	0.85	0.82
	I_t	0.56									
7	PEV	0.56	0.76	0.49	0.61	0.38	0.43	0.64	0.65	0.76	0.45
	REV	0.50	0.69	0.42	0.54	0.34	0.38	0.55	0.57	0.65	0.36
	$K_{ec.eff.}$	0.90	0.91	0.87	0.89	0.89	0.88	0.86	0.88	0.86	0.80
	I_t	0.57									
8	PEV	0.57	0.77	0.51	0.60	0.41	0.43	0.65	0.68	0.76	0.46
	REV	0.51	0.71	0.44	0.54	0.36	0.38	0.56	0.60	0.65	0.37
	$K_{ec.eff.}$	0.90	0.91	0.87	0.89	0.89	0.88	0.86	0.89	0.85	0.81
	I_t	0.58									
9	PEV	0.54	0.75	0.50	0.60	0.39	0.41	0.65	0.68	0.75	0.48
	REV	0.48	0.68	0.44	0.54	0.35	0.36	0.56	0.60	0.64	0.39
	$K_{ec.eff.}$	0.89	0.91	0.87	0.89	0.89	0.87	0.86	0.88	0.85	0.81
	I_t	0.57									
10	PEV	0.72	0.68	0.43	0.54	0.41	0.47	0.61	0.72	0.56	0.49
	REV	0.64	0.61	0.37	0.47	0.37	0.42	0.52	0.64	0.45	0.40
	$K_{ec.eff.}$	0.89	0.90	0.85	0.88	0.90	0.89	0.85	0.89	0.80	0.82
	I_t	0.56									
11	PEV	0.33	0.37	0.62	0.69	0.6	0.17	0.57	0.58	0.28	0.14
	REV	0.27	0.31	0.55	0.63	0.55	0.12	0.48	0.5	0.17	0.05
	$K_{ec.eff.}$	0.82	0.82	0.89	0.90	0.93	0.70	0.84	0.87	0.60	0.34
	I_t	0.77									
12	PEV	0.45	0.51	0.65	0.67	0.35	0.08	0.38	0.47	0.17	0.45
	REV	0.39	0.44	0.58	0.61	0.31	0.03	0.29	0.39	0.06	0.39
	$K_{ec.eff.}$	0.87	0.87	0.90	0.09	0.88	0.38	0.76	0.84	0.34	0.87
	I_t	0.73									
13	PEV	0.55	0.53	0.64	0.63	0.57	0.14	0.68	0.57	0.20	0.55
	REV	0.49	0.46	0.57	0.56	0.53	0.09	0.59	0.49	0.09	0.49
	$K_{ec.eff.}$	0.89	0.87	0.90	0.89	0.93	0.63	0.87	0.87	0.45	0.89
	I_t	0.80									

Примечание: PEV – потенциальная экологическая валентность, REV – реализованная экологическая валентность, $K_{ec.eff.}$ – коэффициент экологической эффективности, It – индекс толерантности.

Данные агрохимического анализа почвы под исследованными фитоценозами конкретизируют эдафическую составляющую совокупности абиотических факторов местообитаний *C. majalis* (табл. 5). При этом прослеживается очень тесная положительная связь между кислотностью солевого экстракта почвы и урожайностью надземной фитомассы (коэффициент ранговой корреляции Спирмена $K_S = 0.89$, $p = 0.01$).

Концентрация обменного калия в исследованных образцах почвы варьировала от очень низкой (ФЦ4) в песчаной почве под сосновым лесом с участием ели до высокой в почве на подтопляемой прибрежной части о. Олений (ФЦ9). В основных образцах содержание калия среднее или повышенное (ФЦ1, 5, 6, 10). Прослеживается слабая положительная связь между содержанием в почве обменного калия и урожайностью ($K_S = 0.39$, $p = 0.05$). Так как калий является одним из основных элементов минерального питания, его доступность вносит вклад в почвенное плодородие. Данные табл. 5 указывают на довольно низкий ранг трофности почвы в исследованных фитоценозах относительно всего диапазона шкалы и максимального балла для ландыша майского. Таким образом, несмотря на толерантность к обеднённости субстрата элементами минерального питания, *C. majalis* для развития наибольшей фитомассы требует почв, богатых обменным калием.

Таблица 5. Агрохимические показатели почв под исследованными фитоценозами с *C. majalis*

ФЦ	pH	Орг. в-во, %	Фосфор подвижный, мг/кг	Калий обменный, мг/кг	Азот (NO_3^-), мг/кг	Азот (NH_4^+), мг/кг	Част. < 0.01 мм, %
1	3.6	8.89 ± 0.8	26.0 ± 4.2	123.0 ± 32.5	5.6 ± 1.1	19.3 ± 1.1	21.5
2	3.6	6.50 ± 0.6	142.4 ± 28.5	83.9 ± 12.6	10.2 ± 2.0	0.5 ± 0.2	28.2
3	3.7	6.7 ± 0.7	110.5 ±22.1	77.5 ± 15.5	1.4 ± 0.4	6.9 ± 1.0	7.6
4	3.7	4.1 ± 0.6	54.5 ± 10.9	33.3 ± 6.7	2.1 ± 0.6	7.5 ± 1.1	17.9
5	3.3	11.9 ± 1.2	14.5 ± 5.1	150.0 ± 22.5	9.1 ± 2.7	6.5 ± 1.0	23.5
6	3.4	6.3 ± 0.6	8.0 ± 1.4	133.5 ± 17.6	0.5 ± 0.1	16.0 ± 5.2	24.7
7	4.0	13.0 ± 1.3	197.0 ± 39.4	112.6 ± 16.9	4.7 ± 1.4	5.8 ± 0.9	17.2
8	4.1	11.1 ± 1.1	103.5 ± 20.7	105.0 ± 15.8	6.6 ± 2.0	6.8 ± 1.0	17.0
9	5.1	8.0 ± 0.8	121.0 ± 24.2	269.7 ± 40.5	47.1 ± 9.4	3.1 ± 0.5	19.8
10	7.0	8.0 ± 0.8	3.5 ± 1.2	139.4 ± 20.9	47.7 ± 9.5	1.2 ± 0.2	27.7

Примечание: ФЦ – фитоценоз; для pH и гранулометрического состава почвы ошибка среднего арифметического составила 0.1.

Фитоиндикация и агрохимическое исследование верхнего слоя почвы согласуется с данными морфометрических исследований модельных экземпляров ценопопуляций *C. majalis*. Наибольшим значением индекса виталитета (*IVC*) характеризуются ценопопуляции 5

и 9, приуроченные к березняку в Киришском районе и осиннику на острове Оленьем озерно-речной системы Вуокса соответственно. Ценопопуляция 10, несмотря на огромную урожайность надземной фитомассы, находится в более уязвимом положении. По жизненному состоянию ценопопуляции ландыша майского образуют экоклин по градиенту изменения факторов среды (Рис. 10). Градиентный анализ позволяет понять распределение видов и сообществ растений по мере изменения экологических условий (Whittaker, 1967).

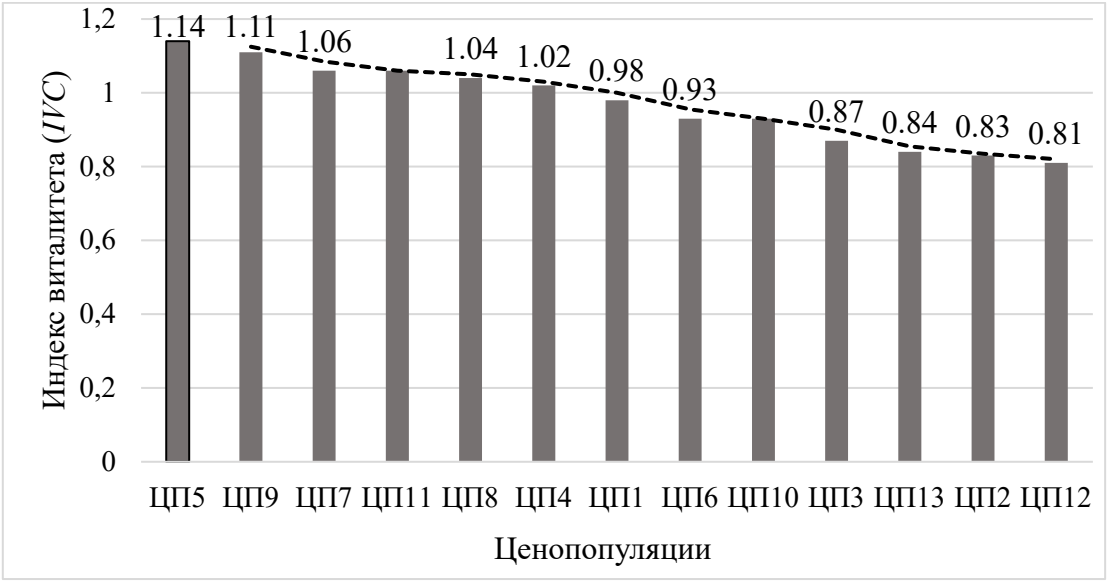

Рис. 10. Экоклин ценопопуляций *C. majalis* из фитоценозов Ленинградской области

Видовой состав фитоценозов с участием *C. majalis* исследовался по спектру гемеробности (табл. 6). Фитоценозы 1 – 10 характеризуются индексом гемеробности с низкими значениями (0.22 – 0.34). Это говорит о высокой доле олигогемеробных видов и относительной ненарушенности данных природных сообществ. Самый высокий индекс гемеробиальности у фитоценозов 11 – 13. Это говорит о высокой доле участия видов, указывающих на антропогенную трансформацию и деградацию естественных сообществ.

Таблица 6. Гемеробиальность фитоценозов с ландышем

ФЦ	Количество видов	Критерии	Число (n) / доля (%) с данной составляющей в спектре гемеробности							Индекс гемеробиальности *(b-c-p-t)/(a-o-m)*
			a	o	m	b	c	p	t	
1	26	n	1	22	26	11	2	1	0	0.29
		%	3.9	84.6	100	42.3	7.7	3.8	0	
2	18	n	1	16	18	7	1	1	0	0.26
		%	5.6	88.9	100	38.9	5.6	5.6	0	
3	36	n	1	29	36	12	3	2	0	0.26
		%	2.8	80.6	100	33.3	8.3	5.6	0	
4	45	n	1	36	45	20	5	3	0	0.34
		%	2.2	80.0	100	44.4	11.1	6.7	0	

5	41	n	1	39	41	19	2	2	0	0.28
		%	2.4	55.2	100	46.3	4.9	4.9	0	
6	21	n	1	19	21	7	1	1	0	0.22
		%	4.8	90.5	100	3.3	4.8	4.8	0	
7	27	n	0	25	25	14	2	1	0	0.34
		%	0	92.6	92.6	51.9	7.4	3.7	0	
8	23	n	1	21	23	11	2	1	0	0.31
		%	4.4	91.3	100	47.8	8.7	4.4	0	
9	46	n	0	42	44	15	4	3	0	0.26
		%	0	91.3	95.7	32.6	8.7	6.5	0	
10	28	n	0	23	28	11	2	0	0	0.25
		%	0	82.1	100	39.3	7.1	0	0	
11	32	n	1	26	32	16	4	2	0	0.37
		%	3.1	81.3	100	50.0	12.5	6.3	0	
12	29	n	1	22	29	16	1	1	0	0.35
		%	3.4	75.9	100	55.2	3.4	3.4	0	
13	22	n	0	18	22	16	2	2	0	0.50
		%	0	81.8	100	72.7	9.1	9.1	0	

Примечание: a – агемеробные, o – олигогемиеробные, m – мезогемеробные, b – эугемеробные, c – a-эугемеробные, p – полигемеробные, t – метагемеробные.

Аналогичные исследования с использованием фитоиндикации были проведены для двух видов зверобоя. В целом реализованная экологическая валентность обоих видов зверобоя во всех исследованных растительных ассоциациях приближается к 100%. Но онтогенетический спектр с преобладанием средневозрастных генеративных особей при выпадении ювенильных особей говорит затруднённом семенном воспроизведение в луговых сообществах с высоким травостоем. Как показывают наши исследования, угнетение семенного воспроизведения компенсируется столонообразованием и формированием молодых генеративных особей в первый же год пробуждения почек на плагиотропных побегах. Наибольшим значением индекса виталитета обладают ЦП7 *H. maculatum* (Киришский р-н), ЦП13 (Гатчинский р-н) и ЦП3 (Лужский р-н). Расположение ценопопуляций *H. maculatum* и *H. perforatum* по индексу виталитета (*IVC*) даёт экоклины, представленные на рис. 11 и 12. Индекс размерной пластичности (*ISP*) популяций *H. maculatum* имеет значение 1.51, что говорит о высоком уровне фенотипической изменчивости и адаптивных способностях данного вида. Ординацией рангов фитоценозов по 10 экологическим шкалам методом двух главных компонент (PCA) можно получить представления о том, сочетание каких именно факторов ответственны за широкий диапазон изменчивости ценопопуляций *H. maculatum* (рис. 13).

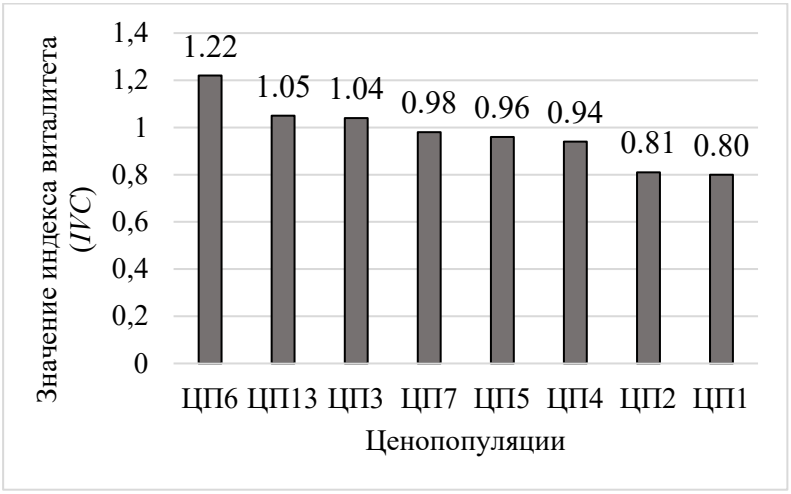

Рис. 11. Экоклин ценопопуляций *H. maculatum* из фитоценозов Ленинградской области

Пояснение: по горизонтальной оси – ценопопуляции, по вертикальной оси – значение индекса виталитета (IVC).

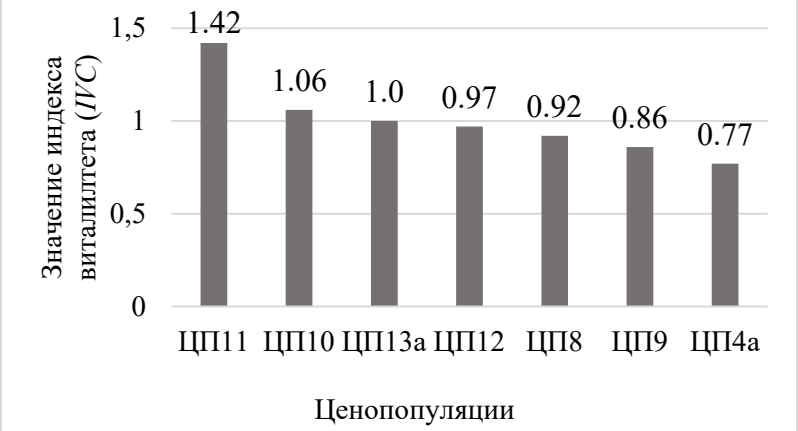

Рис. 12. Экоклин ценопопуляций *H. perforatum* из фитоценозов Ленинградской области

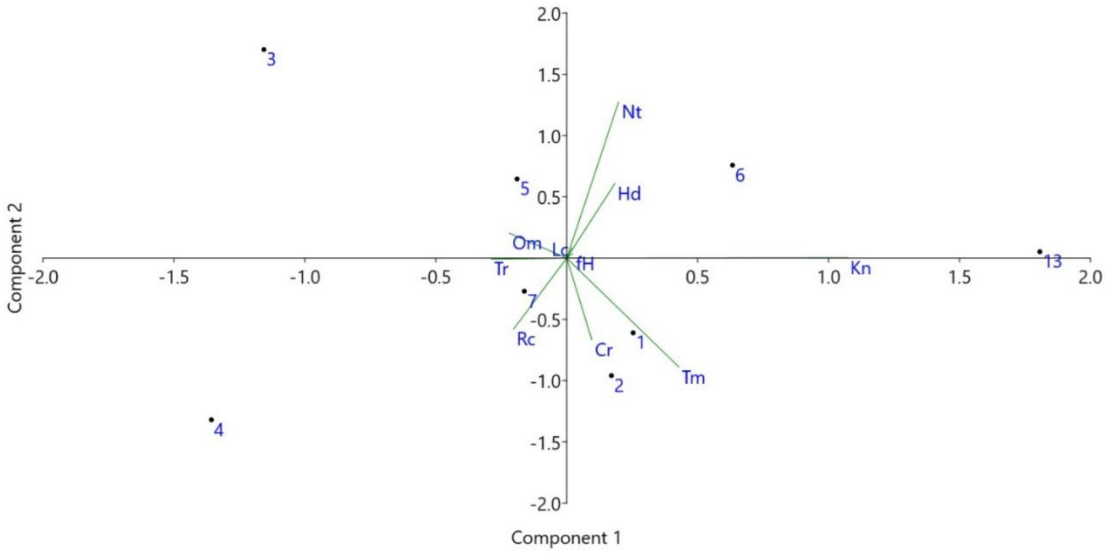

Рис. 13. Ординация фитоценозов с *H. maculatum* в системе двух главных компонент

На biplot-графике видно, что первая главная компонента забирает на себя большую часть изменчивости и вдоль её оси направлены векторы температурной, криоклиматической шкал, а также влажности и богатства почвы нитратами.

В процессе исследования было отмечено сильное варьирование урожайности сырьевой фитомассы с одного побега и плотности запаса сырья (ПЗС). Как видно из данных, приведённых в таблице приложения, наибольшей продуктивностью обладает ЦП4 из Ломоносовского р-на и ЦП6. Для сравнения приведены значения тех же параметров у искусственных насаждений 3-го года жизни в Ботаническом саду Санкт-Петербурга. Как правило, именно на 3-ий год *H. perforatum* достигает максимума продуктивности в условиях культуры (Зверобой продырявленный… , 2014). В результате проведённого агрохимического анализа почвы под фитоценозами со зверобоем, слабая связь высоты стебля (R_S = 0,41), положительная связь (R_S = 0,58) числа паракладиев, массы соцветия зверобоя (R_S = 0,68) и плотности запаса сырья (R_S = 0,78) с содержанием подвижных форм фосфора в почве.

Для фитоценозов с *H. maculatum* и *H. perforatum* были вычислены индексы гемеробиальности, показывающие степень измененности растительных сообществ вмешательством человека (табл. 7). Большинство фитоценозов со зверобоем показывают малую степень антропогенного воздействия, но среди прочих выделяются ассоциации 11 (Ломоносовский район, близ с. Ивановское), 12 (злаково-разнотравный луг близ железнодорожной насыпи близ ст. Александровская Пушкинского района Санкт-Петербурга) и 13 (злаково-разнотравный луг близ д. Сорокино в направлении д. Кислово Псковского района Псковской области).

Таблица 7. Степень гемеробиальности фитоценозов со зверобоем

ФЦ	Количество видов	Критерии	Число (n) / доля (%) с данной составляющей в спектре гемеробности							Индекс гемеробиальности *(b-c-p-t)/(a-o-m)*
			a	o	m	b	c	p	t	
1	45	n	1	32	45	24	4	2	0	0.39
		%	2.2	71.1	100	53.3	8.9	4.4	0	
2	33	n	0	22	33	19	4	1	0	0.44
		%	0	66.7	100	57.6	12.1	3	0	
3	32	n	0	17	32	24	6	1	0	0.63
		%	0	53.1	100	75.0	18.8	3.2	0	
4	61	n	0	33	59	39	14	5	0	0.63
		%	0	54.1	96.7	63.9	23.0	8.2	0	
5	29	n	0	16	29	20	7	4	0	0.69
		%	0	55.2	100	69.0	24.1	13.8	0	
6	35	n	0	16	35	24	10	5	0	0.76
		%	0	45.7	100	68.6	28.6	14.3	0	
7	26	n	0	16	26	17	7	4	0	0.67

		%	0	61.5	100	65.4	26.9	15.4	0	
8	29	n	0	18	29	19	6	2	0	0.57
		%	0	62.1	100	65.5	20.7	6.9	0	
9	33	n	0	14	31	24	9	4	0	0.82
		%	0	42.4	93.9	72.7	27.3	12.1	0	
10	54	n	0	31	52	36	14	4	0	0.65
		%	0	57.4	96.3	66.7	25.9	7.4	0	
11	27	n	0	6	26	25	13	7	0	1.41
		%	0	22.2	96.3	92.6	48.1	25.9	0	
12	33	n	0	9	25	30	15	8	0	1.56
		%	0	27.3	75.8	90.9	45.5	24.4	0	
13	30	n	0	11	29	25	9	3	0	0.93
		%	0	36.7	96.7	83.3	30	10	0	

Примечание: a – агемеробные, o – олигогемиеробный, m – мезогемеробный, b – эугемеробные, c – a-эугемероб, p – полигемероб, t – метагемеробный.

Глава 4. Качество растительного сырья *Convallaria majalis*, *Hypericum perforatum* и *H. maculatum*

Лекарственное растительное сырье, согласно законодательству Российской Федерации, проходит обязательный радиационный контроль. Также при разработке природных запасов лекарственных растений необходимо учитывать их способность аккумулировать природные и техногенные радионуклиды и другие токсиканты (Булаев, 2013).

Терригенные источники радионуклидов уранового и ториевого семейств обусловливают постоянное присутствие в почве естественных радионуклидов (ЕРН), таких как ^{226}Ra и ^{232}Th. Природный изотоп ^{40}K равномерно распределён в почвах планеты. На поверхность радионуклиды чаще всего поступают при добыче и переработке урановых руд, неуранового минерального сырья и ископаемого топлива. С середины XX-го века в окружающую среду начали поступать и техногенные радионуклиды. Этому способствовали ядерные испытания и аварии на АЭС, загрязняющие почву изотопами ^{137}Cs и ^{90}Sr на локальном и глобальном уровнях. Установлено, что изотопы ^{137}Cs и ^{90}Sr усваиваются человеком, являясь химическими аналогами K и Ca соответственно, из-за чего представляют особую опасность.

В литературе, посвящённой накоплению радионуклидов растениями, *C. majalis* неоднократно отмечался, как концентратор техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr, ещё присутствующих в почвах нашей страны спустя десятилетия после аварии на Чернобыльской АЭС (1986 г.) и ядерных испытаний в атмосфере (до 1963 г.). Надземная фитомасса растений *C. majalis* может служить удобным биоиндикатором, отражающим степень загрязнения

атмосферы и интенсивность радиоактивных выпадений, при радиационном мониторинге (Булохов, 2010, Щеглов, 2013).

В табл. 8 представлены результаты измерения удельной активности естественных радионуклидов в почве под ландышевыми фитоценозами.

Таблица 8. Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в почве обследованных районов Ленинградской области, Бк/кг

Точка отбора	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	$A_{эфф}$
1	< 7.514	33.51 ± 5.7	798.1 ± 91.0	< 3.382	119.0 ± 10.7
2	< 7.413	45.85 ± 14	527.2 ± 110.0	< 3.336	112.0 ± 20.4
3	< 9.022	23.78 ± 6.4	< 52.5	57.8 ± 8.3	44.6 ± 8.4
4	< 5.849	12.55 ± 6.1	< 32.9	38.2 ± 6.7	25.1 ± 8.0
5	< 7.394	19.42 ± 3.2	132.1 ± 27.0	13.7± 2.7	44.1 ± 4.8

Примечание: Местонахождения популяций ландыша, где проводился пробоотбор:

1 – песчано-валунная коса на р. Вуоксе близ пос. Барышево Выборгского района (подзол иллювиально-гумусовый); 2 – песчано-валунная коса на р. Вуоксе близ пос. Барышево Выборгского района (подзол иллювиально-гумусовый с высоким содержанием крупной фракции песка); 3 – лес с преобладанием сосны близ ж/д пункта Платформа № 1 (пос. Вырица) Гатчинского района (дерново-подзолистая почва), 4 – смешанный лес близ г. Луга, территория охотничьего хозяйства Мичуринское (дерново-подзолистая песчаная почва), 5 – опушка леса близ садоводческого массива Посадников остров Киришского района (серая лесная почва).

Сравнительное исследование показало наибольшее содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в образцах почвы, взятых в Гатчинском и Лужском районах Ленинградской области.

Таблица 9. Удельная активность природных и техногенных радионуклидов в надземной фитомассе растений ландыша майского (*Convallaria majalis*)

Точка отбора	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr	D
1	< 46.55	< 38.44	< 324.2	< 21.36	2.3 ± 18.4	72.5 ± 10.5
2	59.3 ± 23	< 28.84	< 278.9	< 15.96	7.5 ± 16.3	187.4 ± 29.4
3	< 100	< 78.94	< 745.5	90.9 ± 21.0	< 32.5	54.6 ± 8.2
4	< 45.95	< 31.13	< 261.9	157.7 ± 15.0	23.9 ± 15.8	119.8 ± 15.1
5	< 58.82	< 45.85	<413.7	38.42 ± 12.0	0.9 ± 10.6	34.0 ± 7.1

Примечание: D – экологическая плотность популяции, надземный побег/м^2

Ранее в литературе была отмечена большая изменчивость концентрации радиоактивного цезия в надземной фитомассе ландыша майского в зависимости от мозаичного распределения плотности радиоактивного загрязнения, различной доступности радионуклидов для корневого питания и экологических микроусловий. Исследователями приводились очень высокие значения удельной активности ^{137}Cs в фитомассе *C. majalis* для районов, наиболее пострадавших от аварии на ЧАЭС: 3251,69 Бк/кг (Могилёвская обл., 2014), 3894 ± 514 Бк/кг (Брянская обл., 2009 г.) при нормативе < 400 Бк/кг. В результате наших

исследований ни в одной пробе не было зафиксировано значение, превышающее предельно допустимую норму (табл. 9). Наибольшим накоплением ^{137}Cs характеризуется ландыш майский из Лужского и Гатчинского районов. Пробы почвы из данных локалитетов также отличаются повышенным содержанием ^{137}Cs. При сравнении значений удельной активности ^{137}Cs в почве и растениях видно, что отличающаяся большей плотностью ценопопуляция 2 из соснового леса охотничьего хозяйства Мичуринское близ г. Луга аккумулирует больше радионуклидов, чем популяция с меньшей плотностью из соснового леса близ пос. Вырица. Это соответствует литературным данным, где для плотных зарослей растений отмечалась повышенная аккумуляция техногенных радионуклидов.

Сведения о накоплении техногенных радионуклидов *H. maculatum* обычно приводятся в совокупности с близкородственным *H. perforatum* (Алентьева О.Г. и др., 2018). При заготовках и производстве фитопрепаратов законодательством РФ предусмотрен радиационный контроль ЛРС. Результаты наших исследований представлены в таблице 10.

Табл. 10. Удельная активность ($A_{уд.}$) естественных и техногенных радионуклидов в ЛРС *H. maculatum* и *H. perforatum*, Бк/кг

Пункт	Вид	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr	$A_{эфф.}$
1	*Hypericum maculatum*	<32.6	<27.0	<611.0	<15.0	<13.1	<119.1
2a		<24.0	<20.0	<105.8	<15.1	<11.7	<67.7
2b		<48.56	<24.0	<233.4	<13.6	<11.4	<99.8
3		<33.6	<27.0	<255.7	<15.4	<8.6	<90.9
4	*Hypericum perforatum*	<14.2	<16.3	<387.0	<10.4	<16.2	<68.4
5		<22.1	<27.7	<387.0	<11.9	<14.9	<91.3
6		<32.9	<25.8	<274.0	<15.1	<18.9	<90.0
7		<24.7	<20.3	<207.2	<11.3	<4.5	<68.9
8		<33.4	<27.3	<225.5	<15.4	–	<88.3
9		<25.1	<20.3	<171.4	<11.5	<10.7	<66.0
10		<44.9	<33.2	<684.0	<16.1	<0.55	<258.2

Примечание: Пункты сбора: 1 – влажный луг близ д. Подмошье (Ломоносовский р-н), 2 – разнотравный луг близ песчаного карьера (ж/д ст. 52 км Киришского р-на), 3 – опушка березняка близ ж/д ст. Мариенбург (Гатчинский р-н), 4 – луг близ д. Ивановское (Ломоносовский р-н), 5 – луг на г. Ореховая (Красносельский р-н), 6 – луг у подножия г. Кирхгофф (Ломоносовский р-н), 7 – урочище Донцо (Волосовский р-н), 8 – ж/д ст. Александровская (Пушкинский р-н Санкт-Петербурга), 9 – луг в урочище Вороново (Кировский р-н), 10 – пойменный луг близ биостанции «Железо» (Лужский р-н).

Способности концентрировать ЕРН и техногенные радионуклиды в большей степени является видовой характеристикой. В литературе приводятся разнородные сведения о способности зверобоя продырявленного (*H. perforatum* L.) аккумулировать техногенные ^{137}Cs и ^{90}Sr. Е.В. Корсун (Корсун Е.В. и др., 2011) говорит о его умеренной концентрирующей

способности. Другие авторы (Воронецкая А.Н., 2021) отмечают значительное превышение лекарственным растительным сырьём (ЛРС) данного вида растения установленных нормативов (Ауд.(^{137}Cs) < 400, Ауд.(^{90}Sr) < 200 Бк/кг). Все проанализированные нами пробы соответствовали нормативам радиационной безопасности. Максимальная $A_{уд}$ (^{137}Cs) выявлена в пробах из Лужского района ЛО при минимальном содержании ^{90}Sr в ЛРС *H. perforatum*. Минимум $A_{уд}$ (^{137}Cs) отмечен для ЛРС *H. perforatum*, собранного на высокотравном лугу близ д. Ивановское, ($A_{уд}$. радиоцезия в почве данного локалитета составила 72.8 ± 7.3) и близ деревни Донцо, где зверобой произрастает на карбонатных почвах ($A_{уд}$. радиоцезия в почве от 42.2 до 55.7 Бк/кг). $A_{уд}$.(^{90}Sr) изменялась в более широком диапазоне значений (0.55–18.9 Бк/кг), чем $A_{уд}$.(^{137}Cs). Для *H. maculatum* $A_{уд}$.(^{137}Cs) изменялась в пределах 13.6 – 15.4 Бк/кг.

При сравнении удельной активности в лекарственном сырье зверобоя и кислотности солевой вытяжки почвы была обнаружена слабая отрицательная связь этих показателей (рис. 14).

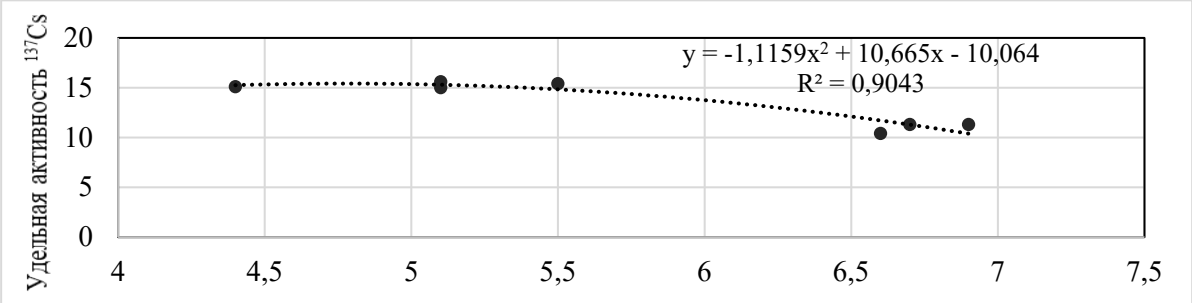

Рис. 14 Модель зависимости удельной активности цезия-137 в сырьевой части растений зверобоя от pH солевой вытяжки почвы

Также была обнаружена отрицательная связь удельной активности радиоцезия с содержанием в почве обменного калия (рис. 15).

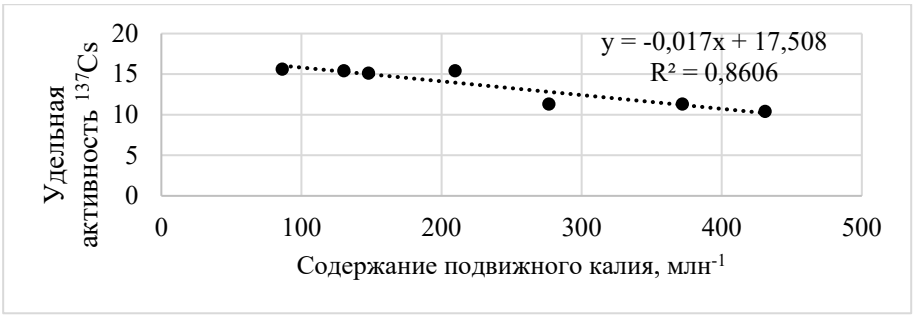

Рис. 15. Модель зависимости удельной активности цезия-137 в сырьевой части растений зверобоя от содержания в почве подвижного калия

Достоверных межвидовых различий в аккумуляции радионуклидов не выявлено. Коэффициент накопления ($К_Н$) радиоцезия изменялся в пределах 0.13 – 5, что говорит о слабой способности накапливать ^{137}Cs. Нормирование ЕРН пока не предусмотрено

законодательством РФ. В почвах Ленинградской области $А_{уд}$. ЕРН в большинстве проб оказалась выше среднемировых значений. В работе Н.А. Дьяковой (Дьякова, 2022) есть обоснованное предложение нормировать эффективную активность ($А_{эфф.}$) ЕРН в лекарственном сырье с предельно допустимым значением 165 Бк/кг. Если принять во внимание это предложение, то все исследованные пробы ЛРС зверобоя удовлетворяет данному требованию. Превышают это значение $А_{эфф}$. ЕРН пробы ЛРС *H. perforatum* из местонахождения в Лужском районе Ленинградской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого исследования был осуществлён комплексный подход к оценке ресурсов лекарственных видов растений *Convallaria majalis* L., *Hypericum perforatum* L., и *H. maculatum* Crantz на территории Северо-Запада России. Для *C. majalis* была выявлена линейная связь эффективной плотности ценопопуляции с урожайностью надземной фитомассы. Предложена формула для вычисления урожайности сырьевой фитомассы ландыша майского:

$$Y = 0{,}7251 * M_e + 9{,}8676\,,$$

где Y – урожайность сырьевой фитомассы, г/м^2, M_e – эффективная плотность ценопопуляции.

Изучение онтогенетической структуры и виталитета ценопопуляций в комплексе с фитоиндикацией условий среды включается в алгоритм определения пригодности выдела для сбора и заготовки сырья. *C. majalis*, *H. perforatum* и *H. maculatum* в антропогенно нарушенных местообитаниях имеют высокую урожайность надземной сырьевой фитомассы (например ЦП12 ландыша майского – 117.3 ± 15.6 г/м^2, в ЦП9 и 12 зверобоя продырявленного – 26.7 ± 1.3 и 15,8 ± 1.1 г/м^2 соответственно, ПЦ 3 зверобоя пятнистого – 15.2 ± 0.8 г/м^2). Обладая высокой размерной пластичностью (ISR для ландыша майского 1.31, для зверобоя продырявленного 1.85, для зверобоя пятнистого 1.51), модельные виды приспосабливаются к стрессовым условиям среды.

Индекс виталитета (*IVC*) исследованных популяций имел значения, близкие к 1 или выше, что говорит о широком спектре фенотипической изменчивости морфометрических признаков модельных особей лекарственных растений *Convallaria majalis*, *Hypericum perforatum* и *H. maculatum* и приспособленности к различным условиям обитания.

Сочетание биоиндикации и инструментальных методов исследования природных популяций (агрохимия, радиохимия) дают более детальное и полное представление об условиях среды обитания растений и определяют границы и объёмы заготовок сырья.

Индекс виталитета (*IVC*) исследованных популяций имел значения, близкие к 1 или выше, что говорит о широком спектре фенотипической изменчивости морфометрических признаков модельных экземпляров лекарственных растений *C. majalis*, *H. perforatum* и *H. maculatum* и приспособленности к различным сочетаниям экологических факторов.

В результате исследования получены актуальные данные по сырьевой продуктивности *Convallaria majalis*, *Hypericum perforatum* и *H. maculatum* на территории Северо-Запада России. Они могут послужить основой для составления ресурсных карт и создания баз данных растительных ресурсов.

В процессе изучения местообитаний *Convallaria majalis* обнаружена обширная (более 1200 м^2) ценопопуляция этого растения на острове Оленьем озерно-речной системы Вуокса Приозерского района, где, по совокупности наших данных об экологической плотности 196.7 ± 13.7 побегов на м^2 и урожайности сырьевой фитомассы 81.4 ± 13.9 г/м^2, возможна заготовка сырья без ущерба для местообитания и самой ценопопуляции. Природные популяции *Hypericum perforatum* и *H. maculatum* в условиях Северо-Запада России обладают низкой плотностью запаса сырья (максимальное значение 26.7 ± 1.3 г/м^2), поэтому его заготовка здесь экономически нецелесообразны, так как в южных районах России урожайность сырьевой фитомассы достигает 150 г/м^2 (Губанов, 1976).

Удельная активность исследованных проб природных и техногенных радионуклидов в лекарственном растительном сырье *Convallaria majalis*, *Hypericum perforatum* и *H. maculatum*, собранном на территории Ленинградской области, находится в безопасных пределах нормируемых показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алентьева О.Г. 2018. Изучение накопления радионуклидов в лекарственном растительном сырье растений различных морфологических групп / О. Г. Алентьева, Е.А. Коняева, Комиссарова А.А. // Вопросы биологической, медицинской, фармацевтической химии. 21 (2): 23–27.

Андреева Е.Н., *Баккал И.Ю.* 2002. Методы изучения лесных сообществ. СПб. НИИХимии СПбГУ. 240 с.

Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений СССР. 1983. М. С. 256–257.

Блинова А.В., *Савиных Н.П.* 2012. Побегообразование ландыша майского // Экология родного края: проблемы и пути решения. Кн. 1: материалы всерос. молодёж. науч.-практ. конф. с междунар. участием, 23–25 апр. 2012 г. Киров: Лобань. С. 98–100.

Ботаническое ресурсоведение. Классификация и оценка запасов полезных растений: учебно-методическое пособие: для студентов-бакалавров и магистрантов, обучающихся по направлениям "География", "Биология", "Экология" / А. А. Егоров, О. В. Созинов, Г. Н. Бузук, Д. Г. Груммо; под общей редакцией А. Л. Буданцева. – Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского государственного университета, 2023. – 99 с.

Буданцев А.Л. 2007. О некоторых терминах, связанных с биологической продуктивностью. – Растит. ресурсы. 43 (4): 119–124.

Буданцев А.Л., Покровская К.С. 2005. Оценка сырьевой продуктивности *Filipendula ulmaria* (Rosaceae) в Ленинградской и Псковской областях и возможность ее эмпирического прогноза. – Растит. ресурсы. 41 (2): 85–96.

Буданцев А.Л. 2005. Фундаментальные направления ботанического ресурсоведения и их развитие. – Растит. ресурсы. 41 (1): 3–26.

Буданцев А.Л. 2020. Роль Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН в формировании и развитии ботанического ресурсоведения. – Растит. ресурсы. 56 (1): 66–96.

Бузук Г.Н., *Созинов О.В.* 2007. Фитоиндикация: применение регрессионного анализа. – Вестник фармации. 7 (37): 44–54.

Бузук Г.Н., *Созинов О.В.* 2009. Регрессионный анализ в фитоиндикации (на примере экологических шкал Д.Н. Цыганкова). – Ботаника (исследования). Минск: Право и экономика. (37) 356–362.

Булаев В.М., *Ших Е.В.*, *Сычев Д.А.* 2013. Безопасность и эффективность лекарственных растений: учеб.пос. – 2-е изд. М.: Практическая медицина. 272 с.

Булохов А.Д., *Борздыко Е.В.*, *Панасенко Н.Н.* и др. 2010. Аккумуляция ^{137}Cs в лесных биогеоценозах юго-западных районов Брянской области / Естественные науки // Вестник Брянского университета. 4: 107–115.

Воронецкая А.Н. Накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr лекарственными растениями / Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века: материалы 21-й международной научной конференции, 20–21 мая 2021 г. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – Ч. 1. – С. 236–238.

Гонтарь Э. М., *Курочкина Н.Ю.* 2005. Возрастная структура ценопопуляций *Hypericum perforatum* (Clusiaseae), *Polemonium caeruleum* (Polemoniaceae) и *Primula macrocalyx* (Primulaceae) в Хакасии, на Алтае и в Восточном Казахстане // Раст. ресурсы. 41 (2):17–28.

Губанов И.А., *Крылова И.Л.*, *Тихонова В.Л.* 1976. Дикорастущие полезные растения СССР. Отв. ред. Т.А. Работнов. М.: «Мысль». 360 с.

Добронравина В. Н. 2020. Местообитания зверобоев Hypericum maculatum и H.perforatum на северо-Западе европейской части России / В. Н. Добронравина, А. А. Егоров // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : материалы Всероссийской V научно-технической конференции-вебинара. Санкт-Петербург: Политех-Пресс. С. 96–98.

Дубровная С.А., *Мавлюдова Л.У.* 2012. Разнообразие жизненных форм Hypericum perforatum L. на территории республики Татарстан // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 154 (2): 170–181.

Душина Е.Э., Савиных Н.П. 2020a. Особенности биоморфологии *Convallaria majalis* в сосняках особо охраняемой природной территории «Медведский бор». – В сб.: Экология родного края: проблемы и пути их решения: Материалы XV Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. Кн. 2. Киров. С. 153–157.

Душина Е.Э., *Савиных Н.П.* 2020b. О счетных единицах при изучении ценопопуляций *Convallaria majalis* L. // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XVIII Всероссийской научно-практ. конф. с междунар. участием. Киров. С. 153–158.

Дьякова Н.А. Теоретическое и экспериментальное обоснование эколого-фармакогностической оценки качества лекарственного растительного сырья (на примере Воронежской области): автореф. дис. … д. фарм. н. / Дьякова Нина Алексеевна. – М., 2022. – С. 21.

Ефимов П.Г., *Конечная Г.Ю.* 2018. Конспект флоры Псковской области (сосудистые растения). – М.: Товарищество научных изданий КМК. 471 с.

Животовский Л.А. 1979. Показатель сходства популяций по полиморфным признакам. Журнал общей биологии. 40(4): 587–602.

Животовский Л.А. 2001. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений. – Экология. 1: 3–7.

Жмылев П.Ю., *Уланова Н.Г.*, *Чередниченко О.В.* 2021. Биоразнообразие флористического состава фитоценозов. Подходы и методы: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс. 112 с.

Жукова Л.А. 2004a. Оценка экологической валентности основных экологоценотических групп: подходы и методы. — В кн.: Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность: в 2 кн. Кн. 1. М. 256–259.

Жукова Л.А. 2004b. Биоиндикационные оценки экологического разнообразия растительных сообществ и их компонентов. – Принципы и способы сохранения биоразнообразия: Материалы Всеросс. науч. конф. Йошкар-Ола: Изд. Мар. гос. ун-та. 13–15.

Заугольнова ЛБ., *Жукова Л.А.*, *Шорина Н.И.* 1988. Особенности популяционной жизни растений // Популяционные проблемы в биогеоценологии. М.: Наука, С. 24–59.

Зверобой продырявленный (Hypericum perforatum L.) в культуре на европейском Северо-Востоке. 2014. / Э.Э. Эчишвили, Н.В. Портнягина, В.В. Пунегов, К.С. Зайнуллина; отв. ред. Г.Н. Табаленкова. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2014. 120 с.

Злобин Ю.А. 1989a. Принципы и методы изучения ценотических популяций растений. Казань, КГУ.146 с.

Злобин Ю.А. 1989b.Теория и практика оценки виталитетного состава ценопопуляций растений // Бот. журн. 74 (6): 769 –784.

Злобин Ю.А. 2009. Популяционная экология растений. Сумы. 263 с.

Зубкова Е.В. 2011. О некоторых особенностях диапазонных экологических шкал растений Д.Н. Цыганова // Изв. Самарского научного центра РАН. 13 (5): 48–53.

Ишмуратова М.М., *Барлыбаева М.Ш.*, *Ишбирдин А.Р.*, *Суюндуков И.В.*, *Сайфуллина Н.М.*, *Набиуллин М.И.*, *Горичев Ю.П., Кильдиярова Г.Н.* 2020. Методика изучения популяций редких и ресурсных видов растений на охраняемых природных территориях Республики Башкортостан / под ред. М.М. Ишмуратовой. Уфа: Башкирская энциклопедия. 276 с.

Камелин Р.В. 2018. География растений. СПб. 306 с.

Кацовец Е.В., *Матвеев Н.М.* 2010. Особенности ценопопуляций *Convallaria majalis* L. в составе фитоценозов (на примере Красносамарского лесного массива) // Вестник СамГУ. 80: 169–177.

Компьютерная обработка геоботанических описаний по экологическим шкалам с помощью программы EcoScaleWin: учебное пособие / Зубкова Е.В., Ханина Л.Г., Грохлина Т.И., Дорогова Ю.А.; 2008. Мар. гос. ун-т, Пущинский гос. ун-т. – ЙошкарОла. 96 с.

Корсун Е.В. Радионуклиды в лекарственных растениях и грибах (обзор). 2011 / Е.В. Корсун, К.Ф. Саевич, М.А. Авхукова // Практическая фитотерапия. 3–4: 42–52.

Кропотова И.И. 1970. Эколого-ценотическая характеристика майского ландыша (Convallaria majalis L.) в различных условиях произрастания: Автореф. дис. … кан. биол. наук. М.18 с.

Луговые травянистые растения. Биология и охрана: Справочник. 1990 / Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. М.: Агропромиздат. 183 с.

Мазей Н.Г. 2010. Анатомические особенности вегетативных органов зверобоя продырявленного в ходе онтогенеза // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. 17 (21): 9–19.

Никифоров А.А., Никифорова А.И. 2017. Анализ пространственного размещения лекарственных растений с применением ГИС-технологий на примере Лисинского УОЛХ. – Лесотехнический журнал. 7(1): 88–95.

Османова Г.О. 2020. Онтогенетический спектр как индикатор состояния ценопопуляций растений / Г.О. Османова, Л.А. Животовский // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2: 144–152.

Петров В. Н. 2018. Экономико-правовое регулирование заготовки дикоросов в России / В. Н. Петров // ЛесПромИнформ. 4 (118).

Прохоренко Н.Б., *Кадырова Л.Р.*, *Демина Г.В.*, *Тимофеева О.А.* 2021. Характеристики ценопопуляций и запасы сырья *Trifolium pratense* (Fabaceae) в разных экологических условиях на территории Республики Татарстан // Растительные ресурсы. – 57(1): 1–14.

Прохоренко Н. Б., *Кадырова Л. Р.*, *Алшиха А.*, *Тимофеева О. А.* 2024. Морфолого-биологическая характеристика ресурсных растений семейства Lamiaceae в разных эколого-фитоценотических условиях // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 10 (2): 144–164.

Работнов Т.А. 1978. Фитоценология. М.: Изд-во МГУ. 384 с.

Ресурсоведческая характеристика лекарственных растений Вологодской области: монография. 2005 / А. В. Папанов; под ред. Е. Ю. Бахтенко. – Вологда: ВГПУ, Русь. 140 с.

Смирнова О.В., *Ханина Л.Г.*, *Бобровский М.В.*, *Торопова Н.А.*, *Заугольнова Л.Б.* 2002. Руководство по полевой практике. Методы сбора и первичного анализа геоботанических и демографических данных. – Сохранение и восстановление биоразнообразия. Уч.-метод. издание. М. 109–144.

Созинов О. В. 2015. Информационные технологии в ботаническом ресурсоведении: результаты и перспективы // Растит. ресурсы. 51 (3): 449–462.

Суханов А.Е., *Буюклинская О.В.*, *Кубасова Е.Д.*, *Чеснокова Т.И.*, *Цикина Т.С.* Фармакопейные лекарственные растения, произрастающие на территории Архангельской области // Colloquium-journal. 2021. №15 (102).

Сулейманова В.Н., *Егошина Т.Л.* 2020. Ресурсная оценка ценопопуляций *Convallaria majalis* (Convallariaceae) в подзоне хвойно-широколиственных лесов Кировской области // Растительные ресурсы. 56 (3): 202–220.

Терентьев П.В. 1959. Метод корреляционных плеяд. – Вестник Ленинградского университета. 9: 137– 41.

Уранов А.А. 1975. Возрастной спектр фитоценопопуляции как функция времени и энергетических волновых процессов. – Научные доклады высшей школы. 2: 7–33.

Уранов А.А., *Смирнова О.В.* 1969. Классификация и основные черты развития популяций многолетних растений. – Бюлл. МОИП. Отд. биологический. 74(1): 119–134.

Федоров Ал. А. 1965. Растительные ресурсы СССР для народного хозяйства и медицины // Растит. ресурсы. 1 (1): 5–18.

Федоров Ал. А. 1966. Ботаническое ресурсоведение как наука и его положение в системе научных знаний // Растит. ресурсы. 2 (2): 165–180.

Федоров Н.И., Жигунова С.Н., Михайленко О.И. 2013. Методические основы оптимизации ресурсного использования лекарственной флоры Южного Урала. М. 212 с.

Хохряков А.П. 2000. Таксономические спектры и их роль в сравнительной флористике // Ботанический журнал. 85 (5): 1–11.

Цыганов Д.Н. 1983. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука. 197 с.

Шмидт В.М. 1984. Математические методы в ботанике. Л. Изд-во Ленинградского университета. 288 с.

Щеглов А.И., *Цветнова О.Б.*, *Столбова В.В.* 2013. Биодиагностика радиоактивного загрязнения природных экосистем / Почвоведение, сер. 17 // Вестник Московского университета. 4: 43–49.

Эчишвили Э.Э., *Портнягина Н.В.* 2021. Сырьевая продукция Hypericum perforatum L. разного географического происхождения в условиях интродукции. Бюллетень ГНБС. 139: 117–124.

Яковлев Г.П., *Алексеева Г.М.*, *Белодубровская Г.А.* и др. 2013. Фармакогнозия. Лекарственное сырьё растительного и животного происхождения. СПб: СпецЛит. 847 с.

Biologisch-ökologische Daten zur Flora in der DDR / hrsg. von Dieter Frank u. Stefan Klotz. Unter Mitarb. von Werner Westhus. – 2, völlig neu bearb. Aufl. - Halle (Saale), 1990. - 167 S.

Exkuraionsflora für die Gebiete der DDR und der BRD. Band 4, Kritischer Band 6, durchges. Aufl. Begr. von W. Rothmaler, Her1usgeg, von R. Schubert u. W. Vent. Berlin, 1986.

Harper J.L. 1977. Population biology of plants. London. 892 pp.

Harper J.L., *White J.* 1970. The dynamics of plant populations. Proc. Adv. Study Inst. Dynamics Numbers Popul. P. 41–63.

Raunkiær Ch. 1908 Livsformernes Statistik som Grundlag for biologisk Plantegeografi / Botanisk Tidsskrift, 29 (1): p. 42.

Silvertown J. 1982. Introduction to plant population ecology. London. 209 pp.

Whittaker R. H. 1967. Gradient analysis of vegetation / Biological Reviews. 42(2): 207–264.