

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Бореальные экосистемы, Вторичные агрогенные сукцессии, ГИС-анализ, Хвойно-широколиственные леса; Запасы углерода, Метаболические пути; Метагеном почв, Микробоценоз; Микроэлементы; Параллельная экстракция; Подвижные формы, Плодородие почв, Постагрогенные почвы; Почвенная макрофауна; Филогенетический анализ, Хроноряд; Экологические индикаторы

В рамках третьего года реализации проекта продолжена тематическая обработка и анализ исторических (с 1777 г.) и современных картографических и статистических материалов на территорию национального парка «Смоленское Поозерье», использованных для совершенствования методов выделения разновозрастных хвойных и хвойно-широколиственных лесов.

Составлена карта видов грунтов по материалам экономических примечаний к Планам Генерального межевания. Закончена векторизация снимков CORONA и оцифровка землеустроительных планшетов и топокарт 2000 г.

С использованием всех имеющихся на настоящий момент наблюдений (около 1,2 тыс.) методами случайного леса, XJBoost и нейросети kerasmap построено три среднemasштабные почвенные карты на территорию нацпарка «Смоленское Поозерье». Использованные модели достаточно надежно предсказывают расположение 30 вариантов почв.

На субгоризонтальной поверхности 28 наземных пробных площадей проведено исследование состояние экосистем (**рис. 1**). Геоботанические работы выполнены на площадках 20×20 м для лесных сообществ и 10×10 м для луговых.

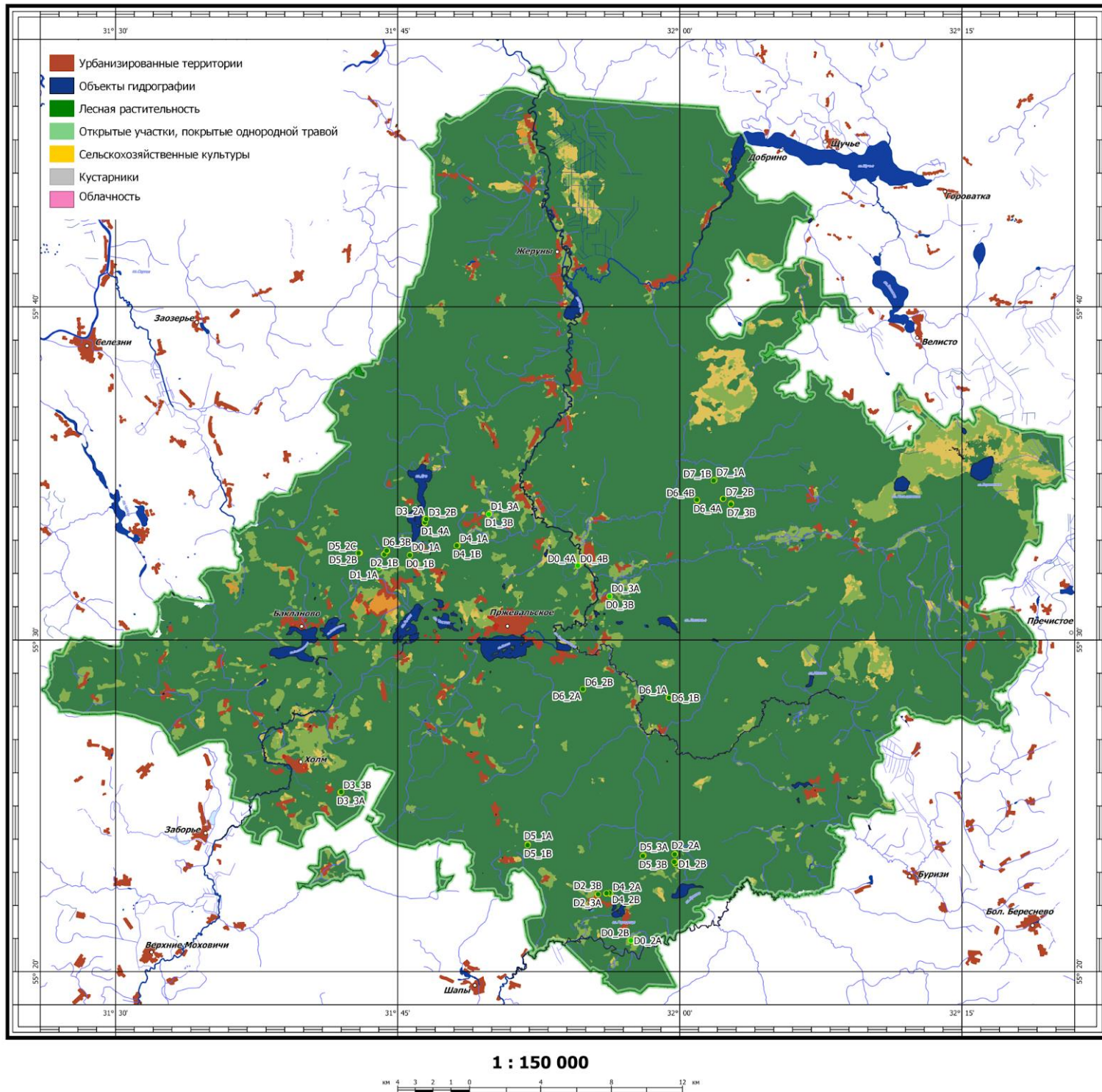


Рис. 1 – Наземные пробные площади, заложенные в 2023 г. для характеристики хвойно-широколиственной хроносерии. В качестве фона использованы материалы Esri 2020 Land Cover.

Всего выполнено 54 геоботанических описания по методике [Mucina et al., 2000; Методические подходы..., 2010] с выявлением максимально полного списка сосудистых растений и мохообразных и указанием их проективного покрытия. Сборы мхов идентифицировала Е.А. Игнатова (биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова), лишайников – д.б.н. Е.Э. Мучник (Институт лесоведения РАН). Латинские названия сосудистых растений даны по П.Ф. Маевскому [2014], мхов - в соответствии со списком [Ignatov et al., 2006]. Сосудистые растения идентифицированы в полевых условиях А.В. Титовец и Е.В. Тихоновой. Сложные таксоны и сомнительные сборы определены с любезной помощью д.б.н., ведущего научного сотрудника ГБС РАН Е.М. Решетниковой. Жизненные формы (ЖФ) определены согласно обобщенной классификации И.Г. и Т.И. Серебряковых (1964, 1972), из материалов (Жукова, 2015; Жмылев и др., 2021). Количественные показатели спектра ЖФ анализировались только для травяно-кустарничкового яруса (ярус С). Все виды, зарегистрированные на пробных площадях дифференцированы на 13 типов ЖФ: корневищные (1. Длинно- и 2. Короткокорневищные), дерновинные (3. Рыхло-, 4. Плотнодерновинные), 5. Стержнекорневые,

6. Кистекорневые, 7. Корнеотпрысковые, 8. Наземно-ползучие, 9. Столонообразующие, 10. Клубнеобразующие, 11. Кустарники, 12. Деревья, 13. Кустарнички/полукустарнички. В ряде случаев дробные категории были объединены или обобщены. Например: одноствольные, многоствольные, ксилоризомные кустарники объединены в категорию «кустарники»; надземностолонообразующие и подземностолонообразующие – в категорию «столонообразующие». По продолжительности жизни учитывались 1) малолетние, которые включали в себя однолетние и двулетние, и 2) многолетние. К последним отнесены в том числе те виды, которые в разных условиях среды имеют разную продолжительность жизни (например, *Silene pratensis* L.). Видам, образующим несколько ЖФ, в том числе смешанного типа, при подсчетах присвоена не единица, а 0,5. Долевое участие видов каждой ЖФ выражено в процентах и отражает количественную характеристику вида - встречаемость и проективное покрытие. Оценка спектра ценотических и эколого-ценотических групп проводилась по справочным материалам (Жмылев и др., 2021; Список сосудистых..., 2008).

Таксационные описания проведены на 6 площадях: размером 20×20 м для стадии Д2, 25×25 м для стадии Д3 и 50×50 м для стадий Д4, Д5, Д6. Выполнен сплошной перебор деревьев с диаметром больше или равным 5 см с фиксацией окружности стволов. Высота деревьев измерена лазерным высотомером Nikon Forestry Pro. На каждой площади у 3–5 деревьев основного и подчиненного полога определен календарный возраст при помощи бурава.

Для оценки классификационной принадлежности почв и характеристики их физических и химических свойств в пределах геоботанических площадок заложены почвенные разрезы (по одному на каждую повторность стадии восстановления хвойно-широколиственных лесов, всего 27). Почвы описаны согласно современным подходам (Классификация..., 2004; Полевой определитель..., 2008; Хитров, Герасимова, 2022). Образцы почв (всего около 250) для количественного химического анализа отобраны по генетическим горизонтам. Из (старо-)пахотных горизонтов и горизонтов большой мощности опробование выполнено из верхней и нижней части толщи. Кроме того, отобрали около 190 образцов для определения плотности сложения с помощью стальных колец известного объема с фиксированных глубин: 0–5, 5–10, 10–15, 15–20, 40–60, 100–105 см.

На всех объектах исследования для каждой стадии сукцессии для оценки запасов С и N и выявления механизмов их аккумуляции отобрано около 300 индивидуальных образцов (пятикратная повторность на каждой точке) подстилки с дифференциацией на подгоризонты OL, OF и OH с использованием рамки размером 25×25 см. На пашнях размер опробуемой площади увеличивали до 1 м² в связи с очень малым количеством опада. Морфология подстилок охарактеризована в полевых условиях с использованием морфогенетических классификаций (Богатырев, 1990, 2004; Zanella et al., 2018).

Собранные образцы почв объединены в три группы в соответствии с вариантами дальнейшей пробоподготовки: подстилка для расчета запасов, на плотность и для выполнения химико-аналитических работ. Все образцы высушены до воздушно-сухого состояния при 40°C и очищены от посторонних включений (крупнозем, корни и др.).

В почвах определяли (Таблица 2.3):

- Величину рН в суспензии при постоянном помешивании (соотношение почва: раствор 1:2,5) потенциметрически,

- Содержание углерода органических веществ титриметрически с фенилантраниловой кислотой по И.В. Тюрину (в торфах и подстилках – по потерям при прокаливании),

- Гранулометрический состав лазерно-дифрактометрически в образцах, растертых пестиком с резиновым наконечником и обработанных 4% Na₄P₂O₇,

- Содержание водорастворимых соединений азота в водной вытяжке (1:5) хроматографически на приборе “Стайер” (Аквилон, Россия),

- Общее содержание углерода и азота методом газовой хроматографии на CHNS-O элементном анализаторе EA 1110, методика измерений № 88-17641-004-2016 (ФР.1.31.2016.23502) в экоаналитической лаборатории ЦКП “Хроматография” (регистрационный номер 3297) ИБ Коми НЦ УрО РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511257).

- Подвижные фосфор и калий по Кирсанову методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (методика измерений № 88-17641-011-2017; ФР.1.31.2018.29616). В карбонатных образцах почвообразующих пород оба элемента определяли по методу Мачигина.

- Подвижные формы металлов извлечены 4 параллельными вытяжками (Pansu, Gautheyrou, 2014; Minkina et al., 2018);

легкообменные – ацетатно-аммонийным буфером с рН 7,0, соотношение почва: раствор 1:10 (до 20 в образцах органогенных горизонтов и подстилке);

труднообменные – ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8, соотношение почва: раствор 1:10 (до 20 в образцах органогенных горизонтов и подстилке);

комплексные – ацетатно-аммонийным буфером с 1% ЭДТА, соотношение почва: раствор 1:10(20);

- специфически сорбированные (преимущественно непрочно связанные гидроксидами Fe и Mn) – 1n азотной кислотой, соотношение почва: раствор 1:10(20).

Указанные работы проведены в Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ. Формы металлов определены методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) в ИПТМ РАН (г. Черноголовка в рамках договора на выполнение НИР).

Для определения массы подстилки и запасов углерода в ней в лабораторных условиях образцы высушивали до абсолютно-сухого состояния и взвешивали. При расчете запасов углерода использованы методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов (Распоряжение., 2018) и Методические рекомендации проекта РИТМ Углерода. Расчет запаса углерода подстилки проведен путем умножения веса пробы на его содержание. Расчет запаса углерода в минеральных горизонтах почв проведен путем умножения объемной массы почвы (г/см^3), содержания углерода и мощности.

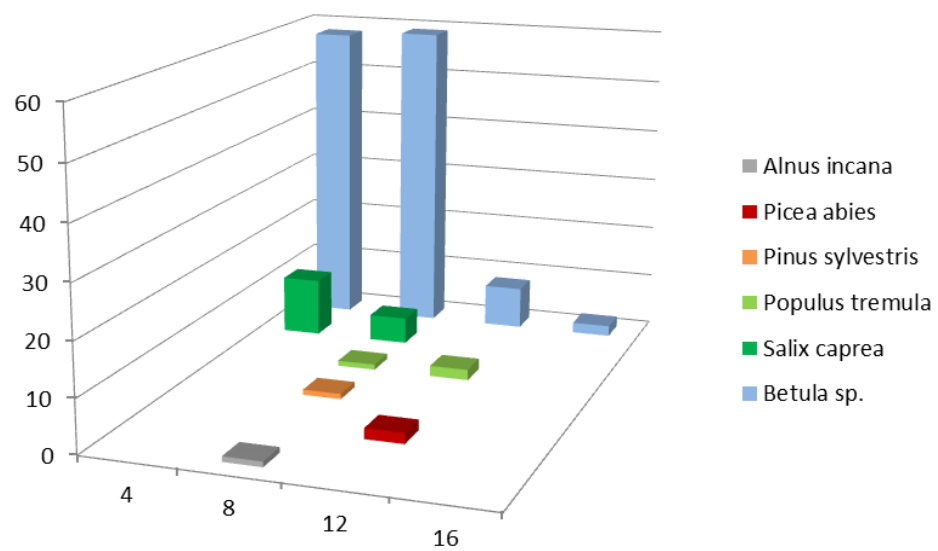
Для изучения почвенной макрофауны на каждой стадии исследуемого ряда взято от 15 до 20 стандартных почвенно-зоологических проб из монолитов площадью 25×25 см и глубиной 30 см (всего $n=135$). Кроме того, на лесных стадиях сукцессии Д4 – Д7 дополнительно разобрано по 3 фрагмента валежа длиной 30 см, диаметром 10 – 20 см (всего $n=9$) второй-третьей стадий разложения по шкале П.В. Гордиенко (1979). При ручном разборе почвенных проб выбраны дождевые черви (коконы, ювенильные и половозрелые особи), насекомые (личинки и имаго), моллюски, многоножки. При разборе проб валежа – только дождевые черви. Они зафиксированы в 96% этаноле, многоножки, личинки насекомых и моллюски – в 70% этаноле.

Дождевые черви определены до вида по определителю (Всеволодовой-Перель, 1997), другие представители макрофауны – до родов, семейств и отрядов также с помощью определителей (Гиляров, 1964; Локшина, 1969; Плавильщиков, 1994; Лихарев, Раммельмейер, 2013). Все беспозвоночные взвешены на электронных весах KL20 с точностью до 1 мг после фиксации в спирте с наполненным кишечником. Численность и биомасса макрофауны отнесена к 1 кв.м. Численность муравьев не оценивали.

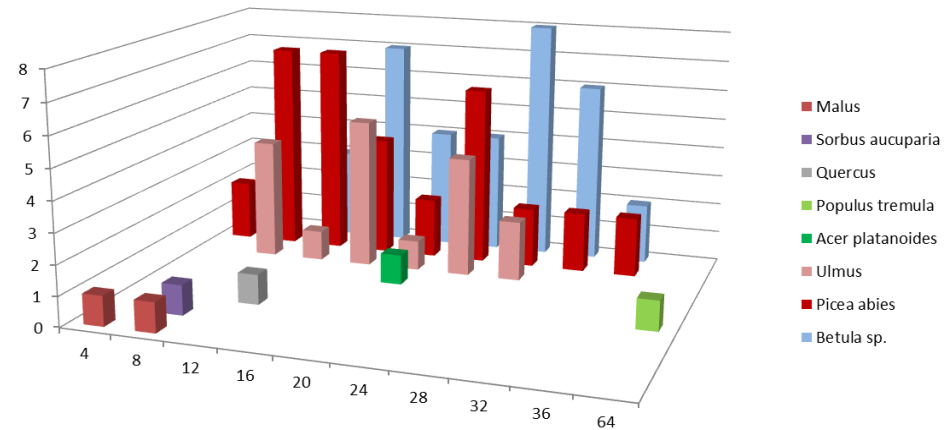
Все обнаруженные представители макрофауны разделены на трофические группы: сапрофаги, хищники, фитофаги. Экологические группы дождевых червей выделены согласно классификации Перель (1979): подстилочные, почвенно-подстилочные, собственно почвенные и норные виды. Разнообразие макрофауны – важный фактор биологической устойчивости почв, определяющий направление и интенсивность многих биохимических процессов и инструмент диагностики состояния и степени восстановления нарушенных почв (Гиляров, 1975; Mordokovich, 2014).

ХАРАКТЕРИСТИКА РАСТИТЕЛЬНОСТИ СТАДИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ СМОЛЕНСКОГО ПООЗЕРЬЯ

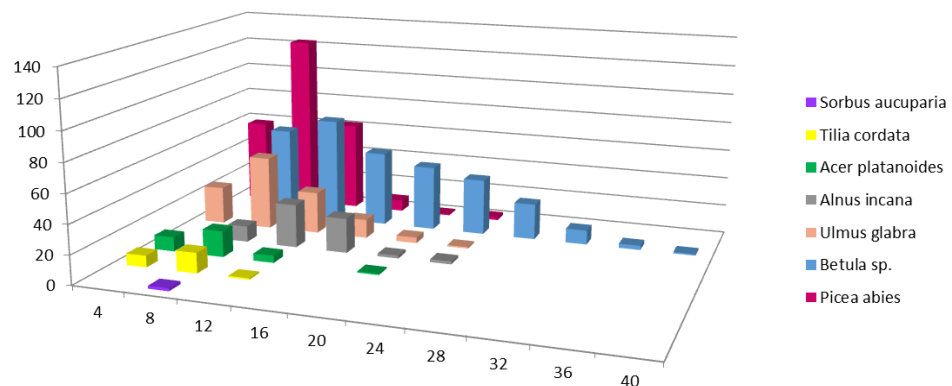
Как и еловые леса Е-серии хвойно-широколиственные (Д-серия) восстанавливаются через вторичный березовый лес (рис. 2).



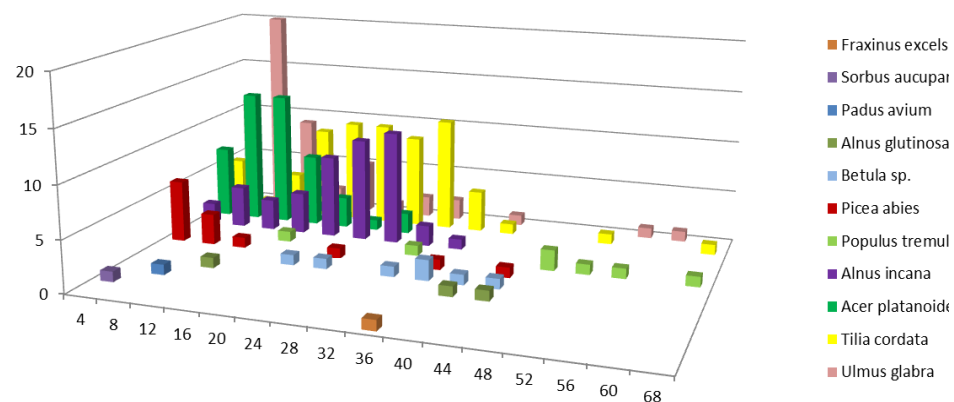
Д2-1



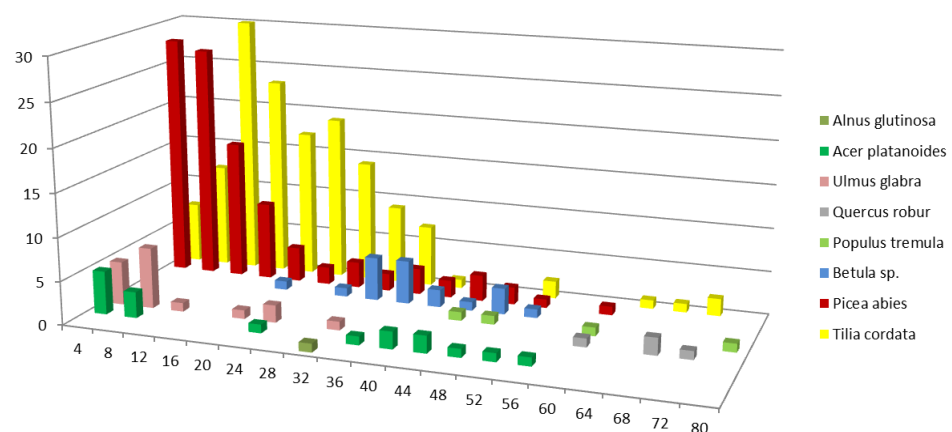
Д3-1



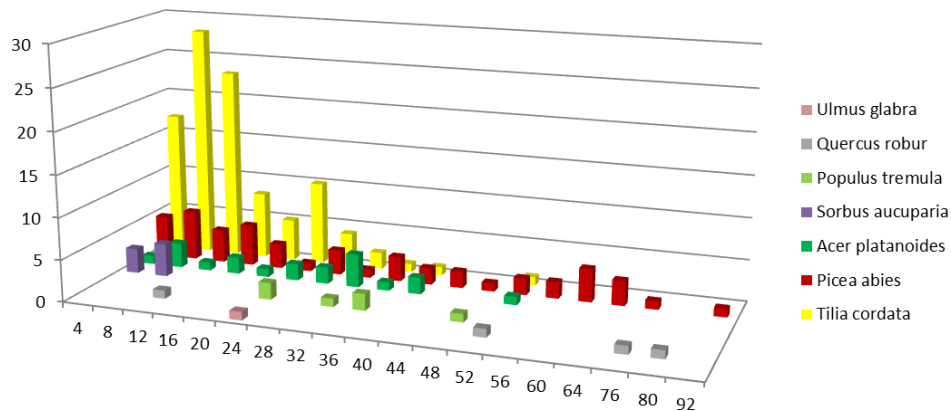
Д4-2



Д5-2



Д6-1



Д7-3

Рис. 2 – Распределение деревьев по диаметру (от 5 см) по данным таксации на пробных площадках:

Д2-1 (на пробной площади 20×20 м). Средняя высота деревьев березы из древесного яруса - 13 м. Число живых деревьев в пересчете на 1 га 3750 шт., запас стволовой древесины 93 м³.

Д3-1 (на пробной площади 25×25 м). Высота березы из А1 - 27 м. Высота ели из А2 до 20 м. Число живых деревьев (в пересчете на 1 га) 1312 шт., запас стволовой древесины 531 м³.

Д4-2 (на пробной площади 50×50 м). Высота березы из А1 – 27 м см. Высота деревьев ели, вяза, клена из А2 – 12-16 м. Число живых деревьев (в пересчете на 1 га) 2888 шт., запас стволовой древесины 364 м³. На данной площадке проводили в прошлом лесохозяйственные мероприятия, в т.ч. культуры ели под пологом с нарушением почвенного покрова. Вероятно, это вызвало всплеск возобновления лиственных видов.

Д5-2 (на пробной площади 50×50 м). Высота деревьев липы из А1 – 27-29 м. Число живых деревьев (в пересчете на 1 га) 916 шт., запас стволовой древесины 401 м³.

Д6-1 (50×50 м). Высота деревьев липы из А1 – 30-33 м. Число живых деревьев (в пересчете на 1 га) 1180 шт., запас стволовой древесины 642 м³.

Д7-3 (50×50 м). Высота деревьев ели из А1 – 29-31 м. Число живых деревьев (в пересчете на 1 га) 732 шт., запас стволовой древесины 475 м³.

Широколиственные деревья и ель вселяются постепенно, начиная со стадии Д2. На Д4 в древесном ярусе начинают доминировать поздне-сукцессионные виды и стабилизируется состав травяно-кустарничкового яруса. Стадии Д5-Д7 по составу и структуре растительности очень сходны - елово-широколиственные леса с доминированием неморальных видов в нижних ярусах. Запас стволовой древесины быстро увеличивается от 93 м³ на стадии Д2 до 531 м³/га в 59-летних сомкнутых насаждениях стадии Д3. Максимален запас (642 м³/га) в разновозрастных елово-широколиственных лесах стадии Д6.

Ход постагрогенной сукцессии в Д-серии имеет выраженные специфические черты:

-на всех аналогичных стадиях относительно сосновой и еловой серий повышено видовое богатство (**таблица 1**);

-ранние стадии отличаются от классической последовательности освоения залежи определенными жизненными формами за счет высокого участия на лугах корневищных видов и сохранения высокой роли стержнекорневых (**рис. 3**);

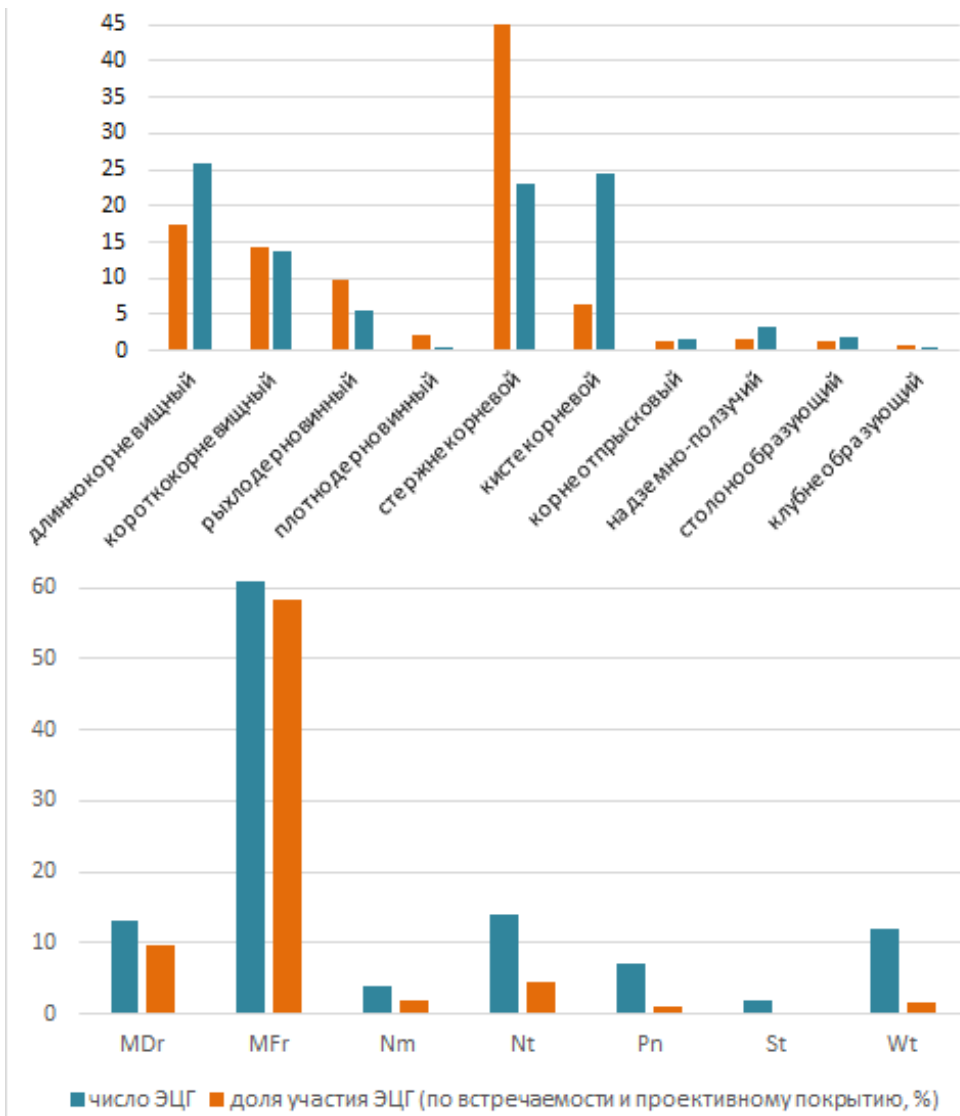
-на молодой залежи многолетние виды доминируют над малолетними вопреки существующим представлениям;

-даже на первых стадиях чужеродные виды отсутствуют или малочисленны.

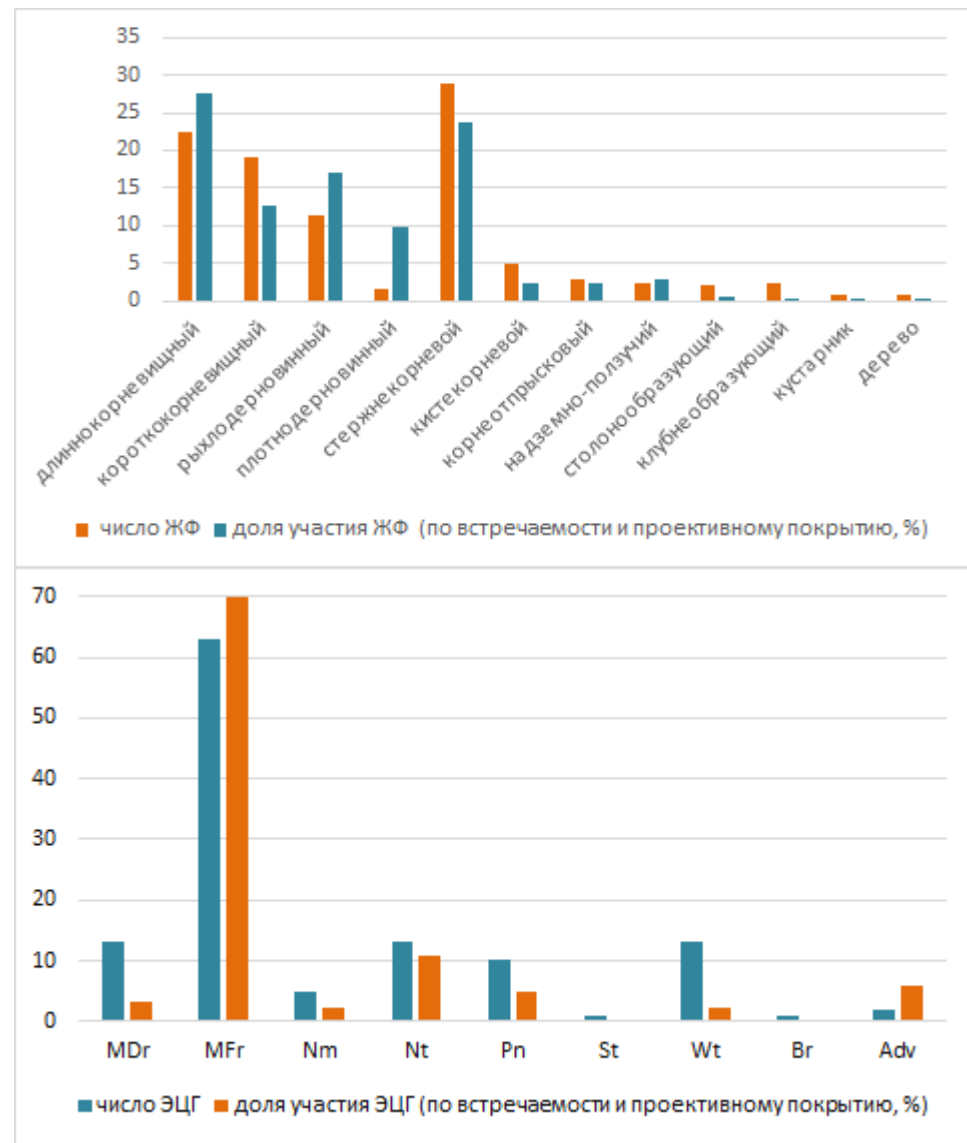
Таблица 1. Видовое богатство НПП стадий хвойно-широколиственной серии

Группа	Д0	Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6	Д7
Сосудистые	$\frac{35(\pm 12)}{118}$	$\frac{47(\pm 8.3)}{123}$	$\frac{57(\pm 9.1)}{148}$	$\frac{60(\pm 15.6)}{154}$	$\frac{38(\pm 5.1)}{88}$	$\frac{39(\pm 5)}{91}$	$\frac{35(\pm 5.7)}{98}$	$\frac{28(\pm 3.8)}{49}$
	$\frac{0.125(\pm 0.4)}{1}$	$\frac{2.6(\pm 2.1)}{9}$	$\frac{11(\pm 3.9)}{36}$	$\frac{10(\pm 3.5)}{30}$	$\frac{10(\pm 5.9)}{25}$	$\frac{12(\pm 6.4)}{37}$	$\frac{14(\pm 5.1)}{38}$	$\frac{13(\pm 2.9)}{34}$

Примечание. Числитель: среднее и стандартное отклонение по площадкам соответствующей стадии, знаменатель – общее число на стадии.



Стадия Д0



Стадия Д1

Рис. 3 – Спектр экобиоморф (жизненных форм; слева) на стадиях Д0 и Д1 и эколого-ценотических групп (справа). MDr – сухо-луговая; MFr – свежелогувая; Nm – неморальная (виды широколиственных лесов); Nt – нитрофильная (виды черноольшаников); Pn – боровая (виды сосновых лесов); St – степная; Wt – водно-болотная, Br – бореальная (виды еловых и елово-пихтовых лесов).

В лесах поздних стадий преобладают вегетативноподвижные корневищные, наземно-ползучие, столонообразующие растения, что связано с высокой сомкнутостью крон деревьев. (Полу)кустарничков практически нет, в т.ч. и на поздних лесных стадиях, где из травяно-кустарничкового яруса полностью исчезают малолетники и стрекнекорневые виды. Такой спектр жизненных форм характерен для любых старовозрастных лесов с высокосомкнутым древостоем, в т.ч. и для обследованных нами поздних стадий еловой, но не сосновой серии.

На стадии Д7 минимальное число видов, разнообразие жизненных форм, почти исключительное присутствие только лесной ценогруппы и неморальной и бореальной эколого-ценотических групп можно рассматривать как свидетельство субклимаксного состояния, обусловленного длительным отсутствием антропогенных нарушений (старопахотному горизонту >400 лет), минимизацией в почвенном банке семян рудеральных и луговых видов и жесткой конкуренцией. Сокращение биологического разнообразия при режиме абсолютной охраны наблюдается на большей части заповедных территорий Восточной Европы. Растительный покров, восстанавливающийся в ООПТ после прекращения антропогенной деятельности и при отсутствии природных катастроф, содержит не более 30–40% локальной или региональной флоры (Смирнова и др., 2015). В то же время важно природоохранное значение старовозрастных елово-широколиственных лесов нацпарка «Смоленское Поозерье», являющихся местообитанием многих редких видов растений и лишайников, в т.ч. занесённых в Красную книгу РФ (2008): *Lobaria pulmonaria*, *Menegazzia terebrata* и *Usnea florida* (Мучник и др., 2022).

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВ И ИХ СВОЙСТВ В ХОДЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ

Хотя и считается, что современные российские подходы относительно других наилучшим образом позволяют отражать в названиях почв и горизонтов наблюдаемые постагрогенные изменения (Терехова и др., 2023), диагностированные нами на одной и той же стадии почвы могут относиться к разным отделам (текстурно-дифференцированные, агроземы, агрообраземы; **таблица 2**) за счет уничтожения при распашке диагностического гор. BEL.

Таблица 2. Почвы, обследованные на НПП хвойно-широколиственной серии

НПП	Почва	Формула профиля
Д01	Агроэлювозем палевый	Ppb35(41)–ELpl59–D130
Д02	Агрозем агроабродированный текстурно-дифференцированный остаточно-карбонатный грунтово-квасиглееватый	Ppb21–BT70(73)–Cca87
Д03	Агродерново-подзолистая	P42–BEL56(60)–BT85–C104
Д04	Агродерново-подзолистая	P28–ELnn32(36)–BEL45–BT85–C110
Д11	Агродерново-подзолистая реградирующая агроперемешанная	W8–Pagr25(30)–BEL30–BT48–D110
Д12	Агрообразем текстурно-дифференцированный реградирующая остаточно-карбонатный	W4–PBagr20(21)–BT55–BC75(90)–Cca105
Д13	Агродерново-подзолистая агроабродированная реградирующая	A Ypa,pb39–EL43(48)–BEL65(67)–BT86–C110
Д14	Агродерново-подзолистая реградирующая	P21(27)–BEL37(44)–BT63–C105
Д21	Агрозем текстурно-дифференцированный реградирующая агроперемешанный	W1(2)–Pagr25(30)–BT60–C125
Д22	Агродерново-подзолистая агроперемешанная реградирующая глубинно-глеевая	Pagr26(30)–EL32(40)–BT57–Cg100
Д23	Агродерново-подзолистая реградирующая	W4–P29(34)–EL38(40)–BEL45(48)–BT70–C110
Д31	Дерново-палево-подзолистая постагрогенная	W3(5)–AY17(20)–ELpl23–EL25(32)–BT48–C105
Д32	Агродерново-палево-подзолистая реградирующая остаточно-карбонатная	P26(31)–ELpl30(47)–BEL42(49)–BT80–Cca89
Д33	Дерново-подзолистая постагрогенная	W4(7)–P32–EL39(58)–BEL66–BT95–C115
Д41	Дерново-палево-подзолистая постагрогенная остаточно-карбонатная	W5–AYpa10(12)–ELpl15(27)–BEL44–BT80–Cca110
Д42	Агродерново-палево-подзолистая реградирующая остаточно-карбонатная	W3(5)–P16(26)–ELpl33(34)–EL40(43)–BEL57(59)–BT77(78)–Cca96
Д43	Агродерново-палево-подзолистая реградирующая	W3(4)–P13–ELpl20–EL27(36)–BEL42(48)–BT90–C110
Д51	Дерново-подзолистая постагрогенная поверхностно-глееватая	A Ypa13(28)–EL(g)25(30)–BEL37–BELBT70(80)–BT120–Cca130
Д52	Палево-подзолистая постагрогенная фитотурбированная остаточно-карбонатная	W4–AYELpl16–ELpl27(33)–2ELpl63–3BT93–Cca134
Д53	Дерново-подзолистая постагрогенная остаточно-карбонатная	W2(4)–AYpa10(20)–EL22(27)–BEL40–BT60–Cca105
Д61	Дерново-палево-подзолистая языковатая остаточно-карбонатная	AY5–ELpl11(15)–EL17(23)–BEL26(30)–BT60–BC(ca)69(73)–Cca105
Д62	Дерново-палево-подзолистая постагрогенная	W3–AYpa19(20)–EL26(30)–BEL37(40)–BT82–C100
Д63	Дерново-подзолисто-профильно-глееватая постагрогенная	A Ypa13(15)–ELфp(2-3)–BELфp(2-3)–BTg72(80)–Cca110
Д64	Подзолистая	AYEL5(8)–EL25–BEL27(29)–BT71–C105
Д71	Дерново-палево-подзолистая постагрогенная	AY5–ELpl18(23)–EL24(28)–BT58–C110
Д72	Палево-подзолистая постагрогенная	W2(3)–EL6–ELpl24(29)–EL27(32)–BEL36–BT58–C105
Д73	Дерново-палево-подзолистая постагрогенная	W3(4)–AY10(12)–ELpl26(29)–EL32(34)–BEL41(46)BT102

Примечание. Цифры после символа горизонта – нижняя граница.

При этом по субстантивным, и химическим показателям почвы достаточно похожи. На НПП описаны преимущественно средне-тяжелосуглинистые (редкие образцы легкосуглинистые) текстурно-дифференцированные почвы на карбонатных моренных и бескарбонатных тяжелых суглинках и глине. На ранних стадиях (Д0-Д2) встречаются агро(абра)земы, на средних и поздних - дерново-палево-подзолистые. В нижней части $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{3}$ почв обследованной серии встречены карбонатные обломки, что отражает достаточно широкое распространение карбонатных моренных суглинков как материнских пород, что ранее не отмечали в обзорных и региональных работах (Материалы..., 1912; Кочергин, 2002; Маймусов, 1963; **Шопина и др., 2022**) и отражает слабую обеспеченность фактическими данными о нижних горизонтах текстурно-дифференцированных почв.

При восстановлении хвойно-широколиственных лесов увеличиваются запасы подстилки, ее гумусированность, мощность и запасы в ней углерода при немонотонных изменениях его запасов в минеральной толще (максимумом на стадиях Д0 и Д4). Органогенный горизонт на пашне и залежи фрагментарен и представлен опадом текущих лет – деструктивной подстилкой. Ферментативная подстилка из деструктивного и гумифицированного горизонтов появляется со стадии Д2. Последняя фрагментарна и факультативна для почв всех стадий за исключением лесов на нераспахиваемых почвах или приуроченных к заповедному ядру нацпарка. В пределах Смоленского Поозерья часто встречаются суглинистые карбонатные материнские породы, которые, вероятно, и определяют широкое распространение здесь вместе с хвойными лесами и хвойно-широколиственных.

Основные тренды в изменении гор.Р в течение 400 лет после прекращения распашки – дифференциация на 3 горизонта Wrz, AY и ELp1, ослабление очень резкого градиента в нижней границе, сохраняющей неестественно ровную форму. В суглинистых почвах Смоленского Поозерья по морфологическим свойствам бывшая распашка достаточно надежно идентифицируется в течение как минимум 400 лет после прекращения распашки. Цвет оказался не очень надежной характеристикой для отражения возможных реградационных изменений гор.Р, при этом женщины оказались более согласованными в своих оценках цвета, чем мужчины (Klink et al., 2023).

По классификации Н.А. Качинского почвы изученной хроносери преимущественно средне-тяжелосуглинистые на глинах, как правило, нейтральны по величине рН (**рис. 5**), значения которой росли с глубиной (иногда с локальным минимумом в элювиальной толще) при отсутствии значимых отличий между стадиями. По большинству остальных контролируемых показателей тоже не было значимых различий между Д0 и Д6+Д7. Только подвижного Р меньше на Д6+Д7. Щелочность имела четко выраженную элювиальную дифференциацию. Содержание Сорг и Нобщ монотонно убывает с глубиной, и в горизонте А достигало 4,5-7,8 и 0,5-0,7% на стадиях Д4-Д6 за счет аккумуляции грубого гумуса при значениях меньше 3,8 и 0,3% в почвах стадий Д0-Д3 и Д7. То есть бывшая и действующая сельскохозяйственная активность слабо повлияла на основные химические характеристики текстурно-дифференцированных почв Смоленского Поозерья за исключением подвижного Р, содержание которого снижается до фоновых уровней примерно за 100 лет нахождения почв под лесом. Вертикальное распределение подвижных К и Р менялось от аккумулятивно-элювиального на стадиях Д0+Д1 к элювиальному на более поздних за счет некомпенсированного выноса соединений элементов за пределы профиля. В горизонте OL содержание Нобщ и Собщ росло от 0,7-1,4 и 40-44% на стадиях Д0+Д1 до 1-2 и 44-48% на более поздних соответственно. Значимые изменения концентраций подвижных форм элементов в зависимости от стадии восстановления свойственны преимущественно горизонту А постагрогенных почв Смоленского Поозерья. В нижележащих горизонтах значимость изменений концентраций подвижных форм элементов резко снижается, достигая минимума в породе.

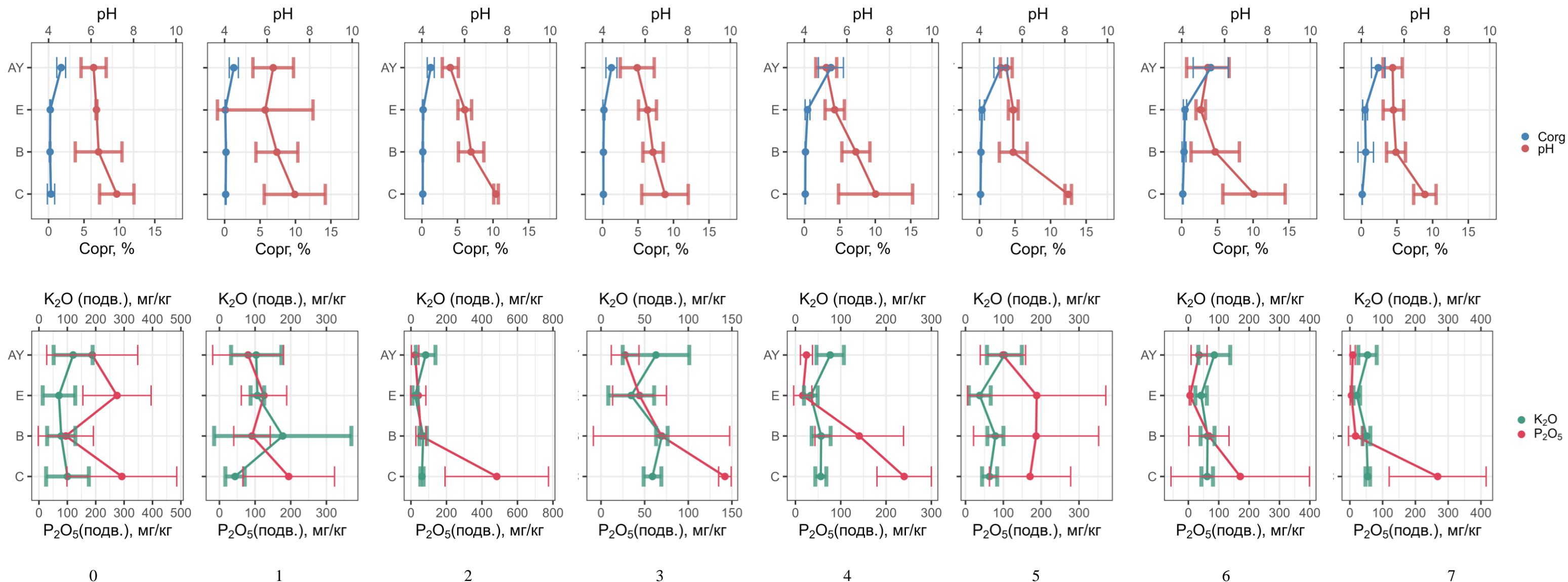


Рис 4 – Профильное распределение pH и органического углерода (Сорг; верхний ряд) и содержания подвижных K₂O и P₂O₅ (нижний ряд) в почвах стадий хвойно-широколиственной хроносерии в Смоленском Поозерье: 0 – агроценоз и залежь 1-3 лет на (текстурно-дифференцированных) агропочвах (остаточно-карбонатных), 1 – залежный луг на текстурно-дифференцированных агропочвах реградированных (остаточно-карбонатных), 2 – молодой (20 – 30 лет) березняк на текстурно-дифференцированных агропочвах реградированных (остаточно-карбонатных), 3 – средневозрастный (35 – 60 лет) березняк на месте пашни на (агро)дерново-(палево-)подзолистых реградированных/постагрогенных (остаточно-карбонатных) почвах, 4 – средневозрастный (70 – 80 лет) березняк на (агро)дерново-палево-подзолистых реградированных/постагрогенных (остаточно-карбонатных) почвах, 5 – старовозрастный осиновый и широколиственный лес (80 – 110 лет) на постагрогенных (дерново-палево-)подзолистых (остаточно-карбонатных) почвах, 6 – старовозрастный елово-широколиственный лес (90 – 130 лет; древостой разновозрастный) на (дерново-)палево-подзолистых (постагрогенных) остаточно-карбонатных почвах, 7 – старовозрастный елово-широколиственный лес (возраст древостоя 110 – 135; древостой разновозрастный) на дерново-палево-подзолистых постагрогенных (остаточно-карбонатных) почвах в пределах заповедного ядра).

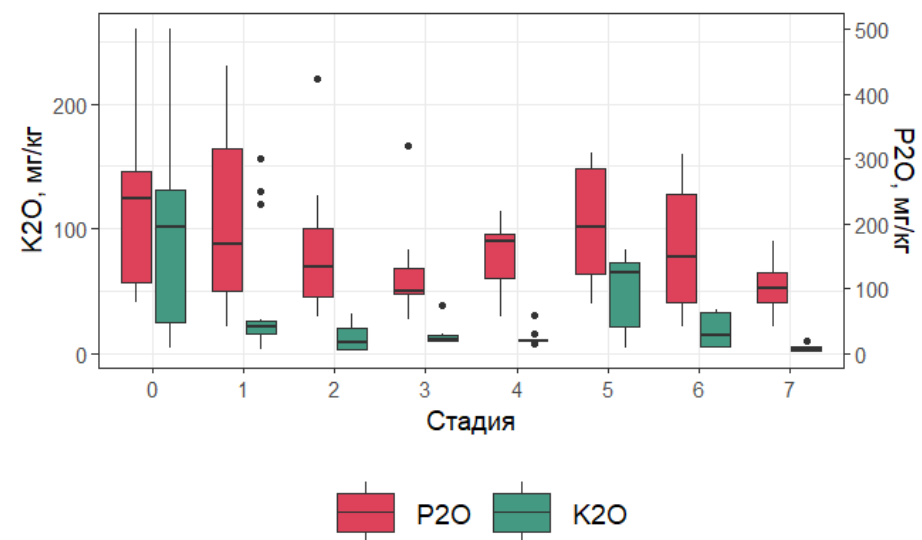
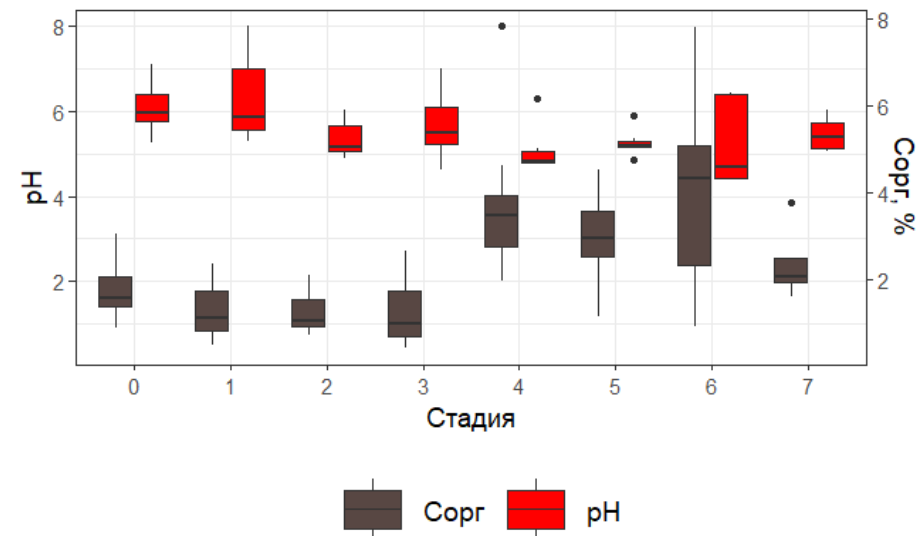


Рис 5 – Свойства гумусовых горизонтов почв разных стадий восстановления хвойно-широколиственных лесов в Смоленском Поозерье (сверху вниз): pH, содержание органического углерода, подвижных P_2O_5 и K_2O (00 – агроценоз и залежь 1-3 лет на (текстурно-дифференцированных) агропочвах (остаточно-карбонатных), 1 – залежный луг на текстурно-дифференцированных агропочвах реградированных (остаточно-карбонатных), 2 – молодой (20 – 30 лет) березняк на текстурно-дифференцированных агропочвах реградированных (остаточно-карбонатных), 3 – средневозрастный (35 – 60 лет) березняк на месте пашни на (агро)дерново-(палево-)подзолистых реградированных/постагрогенных (остаточно-карбонатных) почвах, 4 – средневозрастный (70 – 80 лет) березняк на (агро)дерново-палево-подзолистых реградированных/постагрогенных (остаточно-карбонатных) почвах, 5 – старовозрастный осиновый и широколиственный лес (80 – 110 лет) на постагрогенных (дерново-палево-)подзолистых (остаточно-карбонатных) почвах, 6 – старовозрастный елово-широколиственный лес (90 – 130 лет; древостой разновозрастный) на (дерново-)палево-подзолистых (постагрогенных остаточно-карбонатных) почвах, 7 - старовозрастный елово-широколиственный лес (возраст древостоя 110 – 135; древостой разновозрастный) на дерново-палево-подзолистых постагрогенных (остаточно-карбонатных) почвах в пределах заповедного ядра)

ТРАНСФОРМАЦИЯ СОСТАВА ПОЧВЕННОЙ МАКРОФАУНЫ И МИКРОБИОМА

При восстановлении хвойно-широколиственных лесов состав макрофауны при переходе от залежно-луговых стадий к лесным меняется слабее, чем в сосновой и еловой серии. Наибольший вклад в численность и биомассу (>70%) уже на начальных стадиях вносят сапрофаги (рис. 6). Главным образом это связано с более тяжелым гранулометрическим составом почв в исследуемой хроносерии. В ходе восстановления полидоминантных древостоев с высоким разнообразием сосудистых растений повышается разнообразие сапрофагов и хищников, населяющих и подстилку, и минеральные горизонты почвы. В подстилке потенциальное разнообразие макрофауны (прежде всего подстилочных дождевых червей), типичное для хвойно-широколиственных лесов средней полосы России, восстанавливается быстрее, чем в минеральных горизонтах почвы.

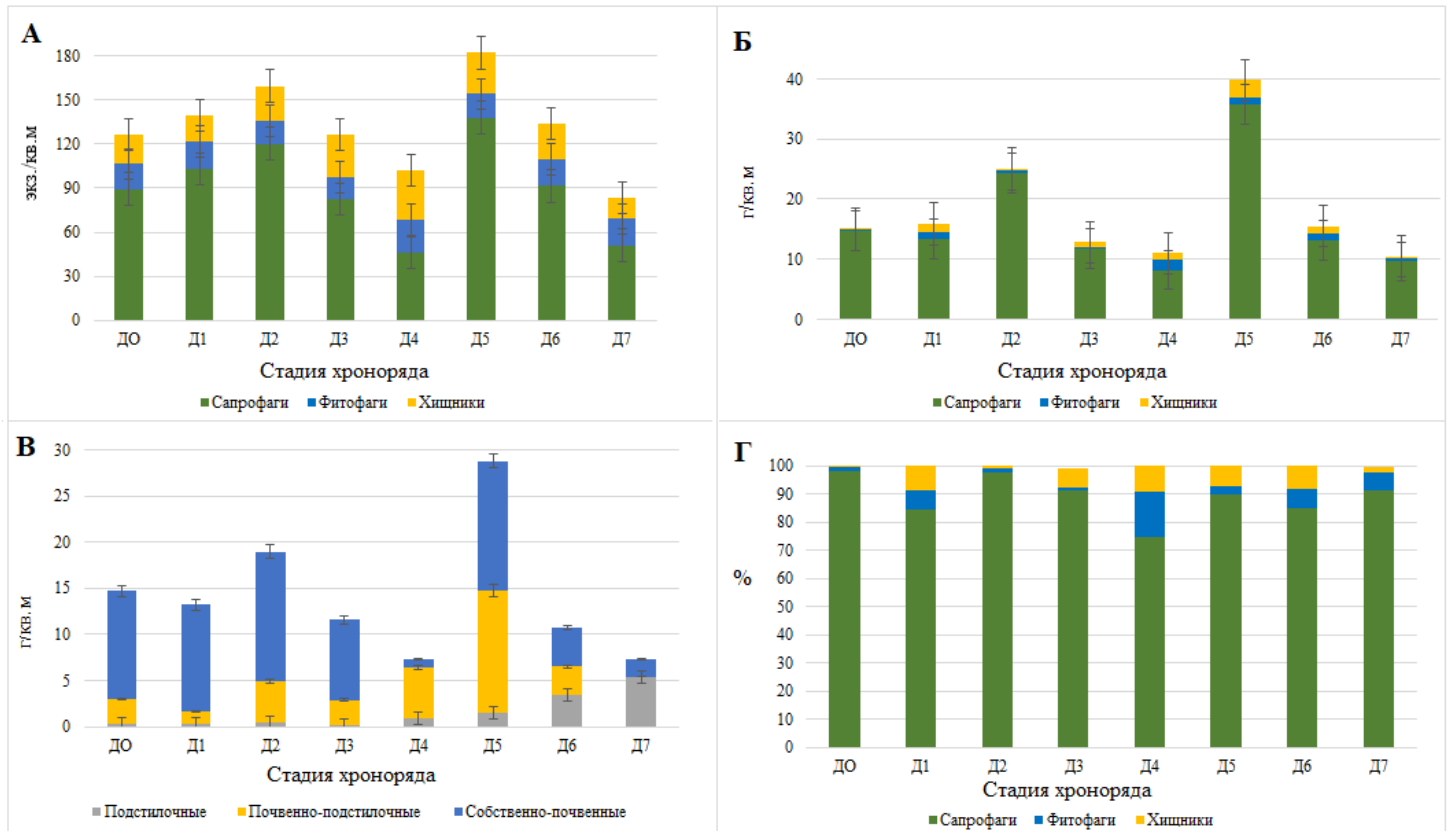


Рис. 6 – Динамика состава макрофауны в ходе постагрогенного восстановления хвойно-широколиственных лесов: А. Общая численность и численность основных трофических групп (экз./м²). Б. Общая биомасса и биомасса основных трофических групп (г/м²). В. Биомасса экологических групп дождевых червей (г/м²). Г. Доля биомассы трофических групп макрофауны (%) в почвах разных стадий

В почвах изученной хроносерии состав и структура микробиома более схожи между отдельными стадиями (рис. 7) за счет более комфортных и слабее меняющихся относительно еловой и сосновой хроносерий условий обитания. Для начальных стадий выделены индикаторные семейства почвенных бактерий, которые могут являться разновременной агрогенной меткой. Микробиом суглинистых почв Смоленского Поозерья устойчивее к сельскохозяйственным мероприятиям, чем микробиом почв более легкого гранулометрического состава, на которых восстанавливаются хвойные леса. В почвах зрелых стадий чаще встречаются процессы, связанные с деградацией органических соединений, сформировавшихся на более ранних стадиях.

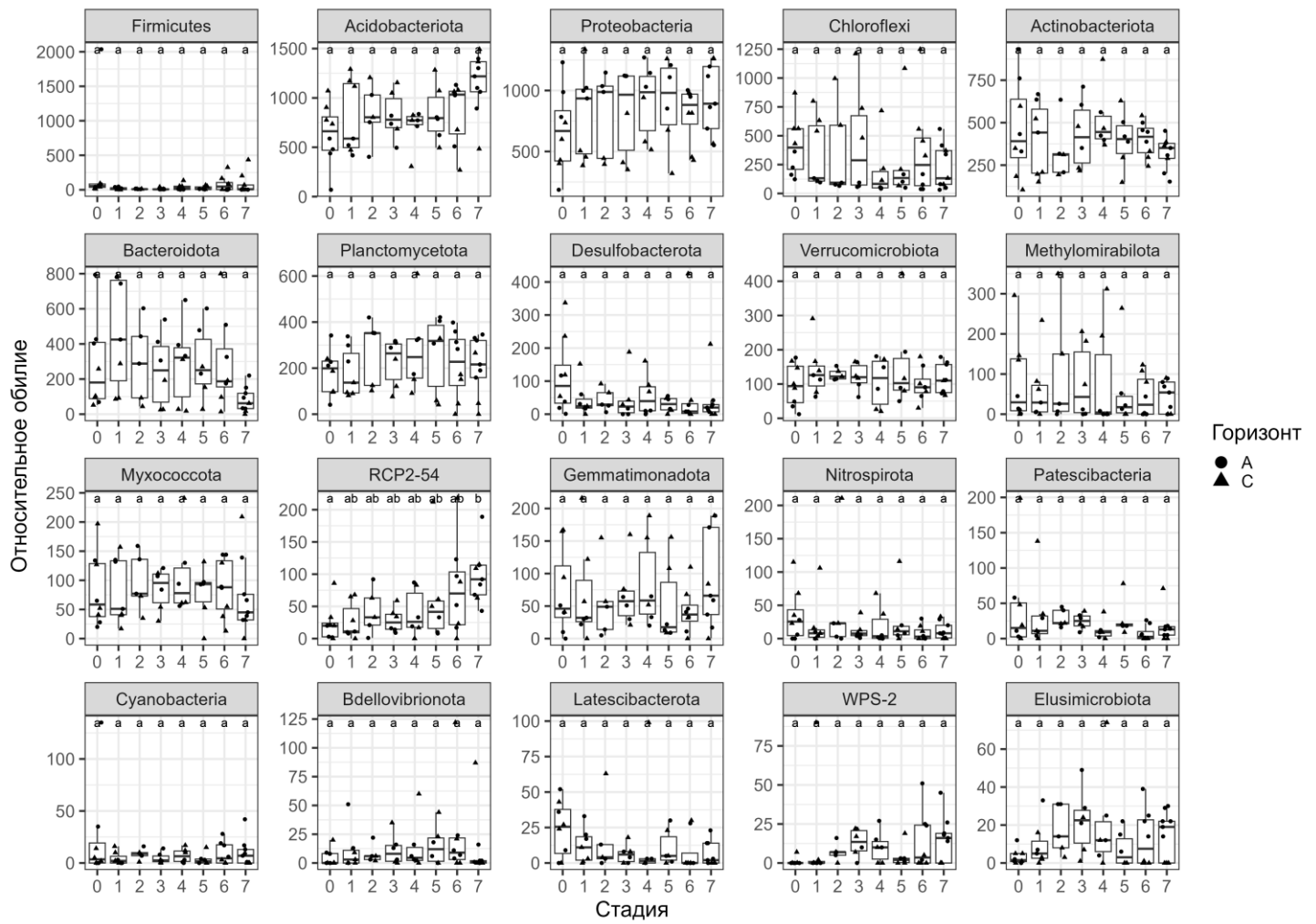


Рис. 7 – Относительное обилие 20 самых распространенных типов бактерий в почвах стадий хвойно-широколиственной хроносерии. Латинские буквы а и в обозначают группы стадий с близким обилием соответствующего семейства.