

Руководитель: Семенков И.Н.

Результаты исследований 2022 г.

В рамках второго года реализации проекта переработаны тематические продукты возрастной и породной структуры лесов (рис. 1), полученные в 2021 г., с использованием данных наземных обследований и лесоустроительных материалов нацпарка, оцифрованы новые картографические материалы (рис. 2), начаты работы над оцифровкой землеустроительных планшетов (рис. 3). На 31 ключевом участке выбраны однородные по растительности выделы, позволяющие заложить как минимум две непересекающиеся геоботанические площадки и выполнено по необходимости лесотаксационное описание. Кроме того, в пределах каждого такого выдела заложен почвенный разрез и отобраны почвенные монолиты для сбора подстилки и почвенной макрофауны. Всего отобрано около 250 проб почв для выполнения химико-аналитических работ, >350 проб лесной подстилки для оценки ее запасов и >150 проб макрофауны (таблица 1, 2). Полевые работы выполнены в 2 этапа: конец мая – начало июня (рекогносцировка) и в конце июня – начало июля (рис. 4).

Изученная еловая серия укладывается в классическую модель демутационной сукцессии бореальных и смешанных лесов Европы, включающая стадию лесов с доминированием пионерных видов деревьев. Построенный и рассчитанный прототип статистической модели для анализа совместного распределения измеренных показателей в ландшафтах еловой хроносерии апробирован и скорректирован для данных, полученных по еловой хроносерии.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАСТИТЕЛЬНОСТИ СТАДИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЕЛЬНИКОВ СМОЛЕНСКОГО ПООЗЕРЬЯ

Растительность СТАДИИ E0 (молодая залежь и агроценоз) имеет следующие черты (рис. 5, 6; таблицы 3, 4):

- 35 видов на площадке, суммарно 94 вида на стадии;
- на площадках и среди индикаторных видов много рудеральных, присутствующих без высокого постоянства и не доминирующих по проективному покрытию (ПП)
- незначительно участие чужеродных видов
- многолетники преобладают над однолетниками
- типичный для ранних стадий сукцессии спектр и низкое разнообразие экобиоморф, из которых на стержнекорневую и длиннокорневищную приходится >2/3 численности и проективного покрытия – ПП
- абсолютно доминируют свежелуговые виды, бореальные единичны.

СТАДИЯ E1 – уже сформировавшиеся луга, гетерогенные по ПП (81±24%) и видовому богатству (35±15 видов на площадке, 110 видов на стадии):

- абсолютно доминируют (свеже)луговые виды, растет роль бореальных и появляются неморальные при участии борových и степных
- высока гетерогенность видового разнообразия
- уменьшается число рудеральных и рудерально-луговых видов
- увеличивается доля стержнекорневых и рыхлодерновинных видов, характерных для наиболее ранней и более поздней стадий агрогенной сукцессии, соответственно;

СТАДИЯ E2. После забрасывания пашни уже в первые 2-4 года заселяется береза. В березняках 20–25 лет хорошо развит травяно-кустарничковый ярус (40 видов на площадке, всего на стадии – 93 вида; ПП 55–80%). Растительность на стадии E2 переходная между луговой и лесной: доля луговых видов 32-76, бореальных 14–55%. ПП мхов <5%.

На СТАДИИ E3 древостой насаждений возрастом 36 и 62 лет двухъярусный. Верхний подъярус сложен березой, в нижнем доминирует ель. В травяно-кустарничковом ярусе (39 вида на площадке, 90 видов – на стадии) сокращается доля луговых видов с 43 до 1,5%, и ведущая роль переходит к неморальным (48%) и бореальным (45%). Моховой покров развит слабо: ПП 3–7%.

На СТАДИИ E4 в сомкнутом двухъярусном древостое возрастом 65-80 лет доминирует береза, ель начинает выходить в верхний A1 ярус (A2 сложен елью). Древостой изреживается за счет

отпада деревьев меньшего размера. В травяно-кустарничковом ярусе (19 видов на площадке, 37 видов на стадии) абсолютно преобладают бореальные виды – 90%. ПП мохового яруса 15–50%, в нем доминируют бореальные виды.

СТАДИЯ Е5 характеризует двухъярусные древесные насаждения с возрастом 80–115 лет. При высокой вариабельности в А1 доминируют ель и береза. Последняя активно выпадает, и начинает формироваться оконная мозаика. В А2 обычно доминирует ель. В травяно-кустарничковом ярусе (26 видов на площадке, 68 – на стадии) преобладают бореальные виды (их доля 48–91%), доминанты – *Oxalis acetosella*, реже – *Vaccinium myrtillus*. Проективное покрытие мхов варьирует от 1–2 до 100% и минимально в сообществах с большим участием неморальных видов.

На СТАДИИ Е6 древостой условно-коренных ельников возрастом 100–130 лет двухъярусный, выражена оконная мозаика, имеются ветровально-почвенные комплексы, много крупномерного валежа разных стадий разложения. В А1 доминирует ель. Состав А2 очень вариабелен. ПП подроста и подлеска 15–70%. В травяно-кустарничковом ярусе (24 вида на площадке, 54 – на стадии) наиболее часто доминируют *Oxalis acetosella* и *Vaccinium myrtillus* и преобладают бореальные виды (доля 55–95%) при постоянном участии неморальных (<30%). ПП мохового яруса 50–80%. Здесь его видовое богатство максимально: 9–14 видов на площадке.

ОБЩИЕ ТРЕНДЫ В СОСТАВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ЯРУСА

Береза заселяется на 2–4 г. после прекращения распашки и формирует сомкнутый древостой. Ель появляется в подросте на стадии Е2, начинает выходить в верхний полог на стадии Е4, но доминирование березы сохраняется до 80 лет. В насаждениях старше 100 лет она участвует как примесь.

Запас древостоя на Е2 равен 159 м³/га, быстро растет и достигает максимума на стадии Е4 (465 м³/га).

Доминирование луговых видов над лесными ограничивается на стадии Е2 и завершается на Е3. На стадиях Е4–Е6 доминируют бореальные виды при заметном участии неморальных на Е5 и Е6.

Моховой покров слабо развит на стадиях Е0–Е3, достигает полного развития на Е4 и вариабелен по проективному покрытию на Е5 и Е6.

На уровне площадки самые богатые по видовому составу стадии Е2 и Е3, по суммарному числу видов – Е1. Минимально видовое разнообразие на стадии Е4.

Особенности динамики спектра жизненных форм (ЖФ):

- результаты не подтверждают классический порядок смены на ранних стадиях: стержнекорневые – длиннокорневищные – рыхлодерновинные
- быстро сокращается роль малолетников вплоть до почти полного исчезновения к последним стадиям
- с момента появления выраженного древесного яруса абсолютно доминируют столонобразующие
- спектры ЖФ насаждений стадий Е5 и Е6 сходны.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВ И ИХ СВОЙСТВ В ХОДЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЕЛЬНИКОВ (рис. 7 – 13)

С возрастом ельников увеличиваются запасы подстилки, ее гумусированность и мощность (рис. 7, 8). Большая часть органогенных горизонтов на пашне и залежи фрагментарна и представлена опадом текущих лет – деструктивной подстилкой. Ферментативная подстилка, состоящая из деструктивного и ферментативного горизонтов, появляется в молодом березняке, а гумифицированная характерна для стадий Е3–Е6.

Основными трендами в изменении характера нижележащих горизонтов является развитие грубогумусового горизонта А0 и размытие ровной нижней границы старопашотного горизонта АУра при неизменности нижележащей части профиля и отсутствии признаков оподзоливания или элювиально-иллювиального процесса. Полученные результаты показывают, что морфологические свойства почвенного профиля за 80–100 лет не восстанавливается до естественного (исходного) уровня.

По классификации Н.А. Качинского большинство почв еловой серии легкосуглинистые и супесчаные; WRB – крупнопесчаные и пылеватосуглинистые. Как правило, изученные почвы слабокислые. Величина рН убывала с глубиной или значимо не менялась (рис. 9, 10). В горизонте А

значения рН максимальны в почвах стадии Е1 и минимальны в почвах стадий Е3–Е6. То есть кислотность достигает значений, близких к фоновым, за 60 лет. Содержание углерода органических веществ (Сорг) монотонно убывает с глубиной или имеет локальный максимум в горизонте В. Гумусовый горизонт А стадий Е0–Е4 значимо не отличаются по содержанию Сорг, но выделяется пониженными значениями относительно почв условно коренных лесов. В то же время в верхнем 1 м слое почвы средневзвешенные значения Сорг достигают фоновых за 70 лет. Содержание подвижных К и Р в горизонте А восстанавливается до фонового уровня за 70 лет. Запасы общего почвенного углерода (Собщ) меняются немонотонно в ходе постагрогенной сукцессии. Запас Собщ в органогенном горизонте О максимален на стадии Е6 и минимален – на Е0 и Е1. В верхнем 1 м слое тенденция иная. Его запас повышен на залежи, в условно-коренных ельниках и лесах возрастом 70–80 на постагрогенных почвах.

ТРАНСФОРМАЦИЯ СОСТАВА ПОЧВЕННОЙ МАКРОФАУНЫ И МИКРОБИОМА (РИС. 14 – 18; ТАБЛ. 5 – 7)

При восстановлении еловых лесов почвенная макрофауна меняется коренным образом, особенно при переходе от луговых сообществ к лесным. Индикаторные показатели изменений свойств растительности и почв – экологические группы дождевых червей, биомасса сапрофагов и разнообразие подстилочной фауны. Максимальное восстановление макрофауны выявлено на поздних лесных стадиях. В комплексе дождевых червей восстанавливается (почвенно-)подстилочная группа и частично собственно-почвенная, трансформирующая почву до глубины 30–40 см. Восстановление структуры и свойств подстилки – дифференциация на подгорizontы и переход от деструктивной к гумифицированной – сопряжено с повышением биомассы (почвенно-)подстилочных дождевых червей.

При постагрогенной сукцессии уменьшается α -разнообразие микробиома горизонта А и обилие ряда бактерий (*Bacteroidota*, *Patescibacteria*, *Gemmatimonadota* и др.) при увеличении обилия других (*Acidobacteriota*, RCP2-54, *Crenarchaeota* и др.). При этом стадия Е3 выступает хроноэктоном: состояние почвенного микробиома от более лугового к лесному меняется на 40–60 год развития ельника. Набор метаболических путей в почве меняется медленнее, чем состав бактерий. На стадии Е5 обилие метаболических путей еще не достигает фонового уровня.

РИСУНКИ

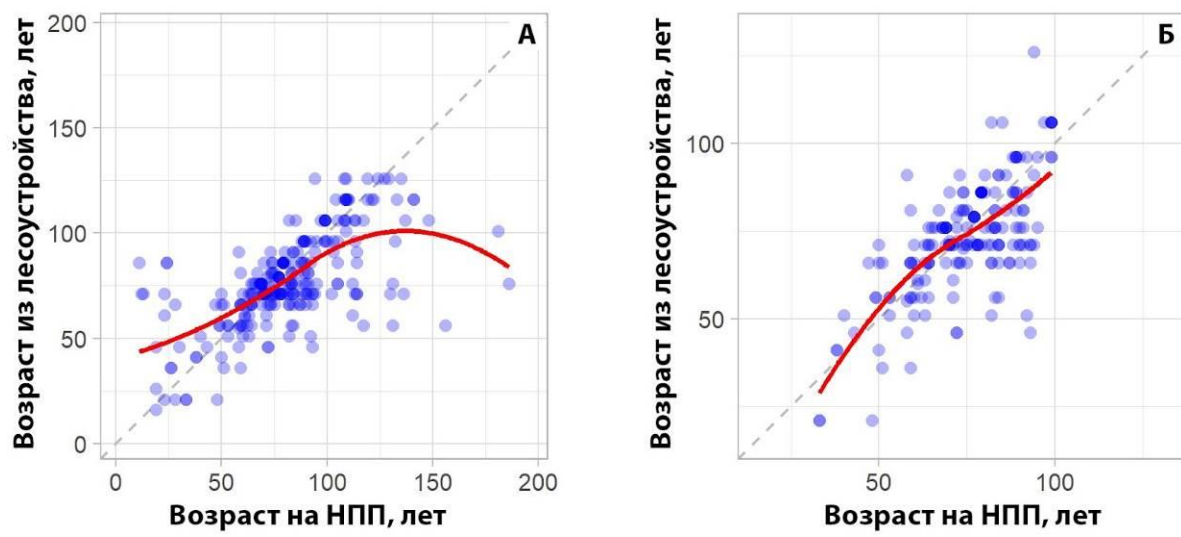


Рис. 1 – Сопоставление значений возраста древостоев, измеренного на пробных площадях, с данными лесоустройства: А- полный диапазон, Б - диапазон 30-100 лет.

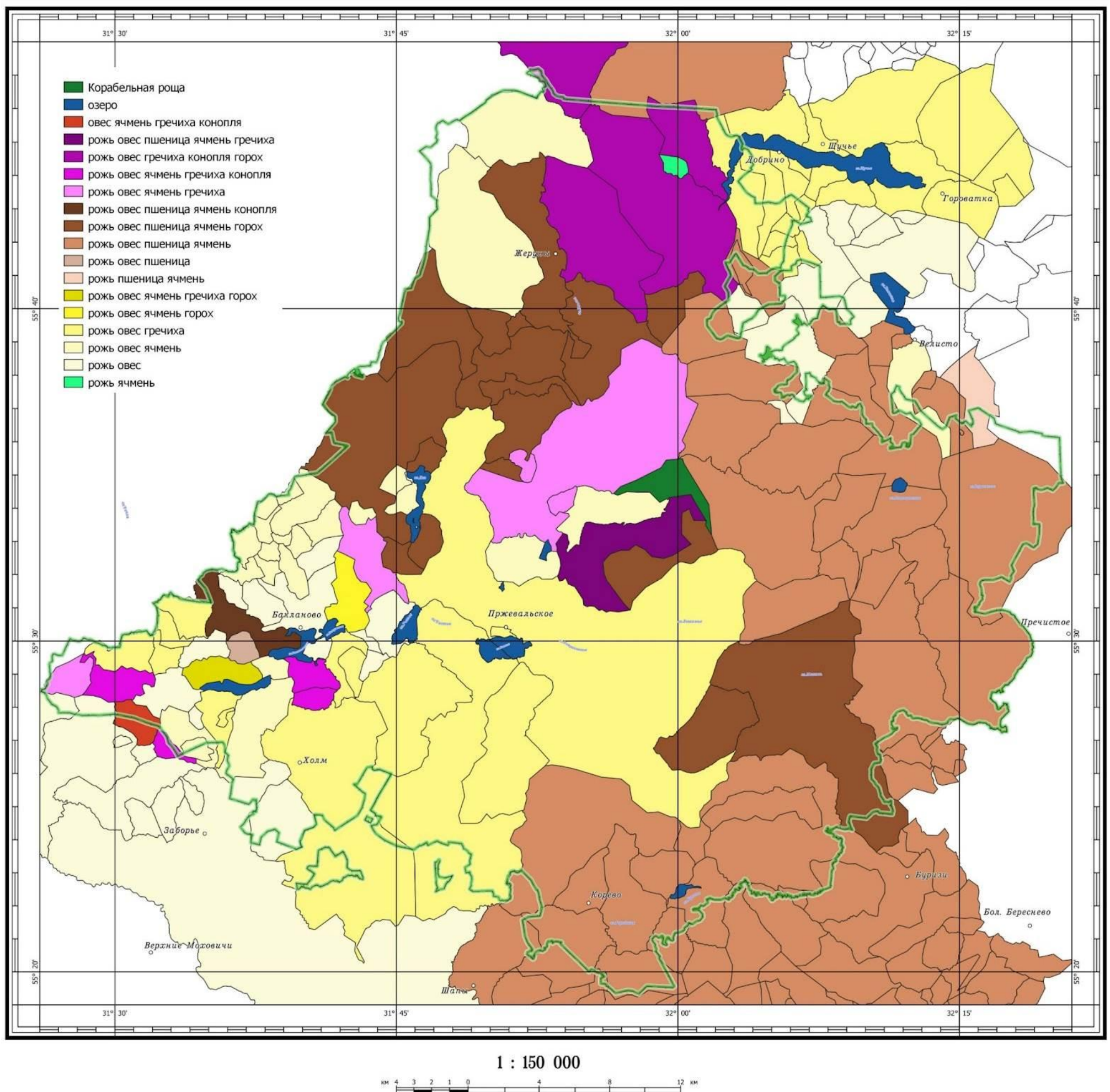


Рис. 2 – Карта распределения посадок сельскохозяйственных культур по материалам экономических примечаний к Планам Генерального межевания Поречского уезда 1776 – 1779 год.

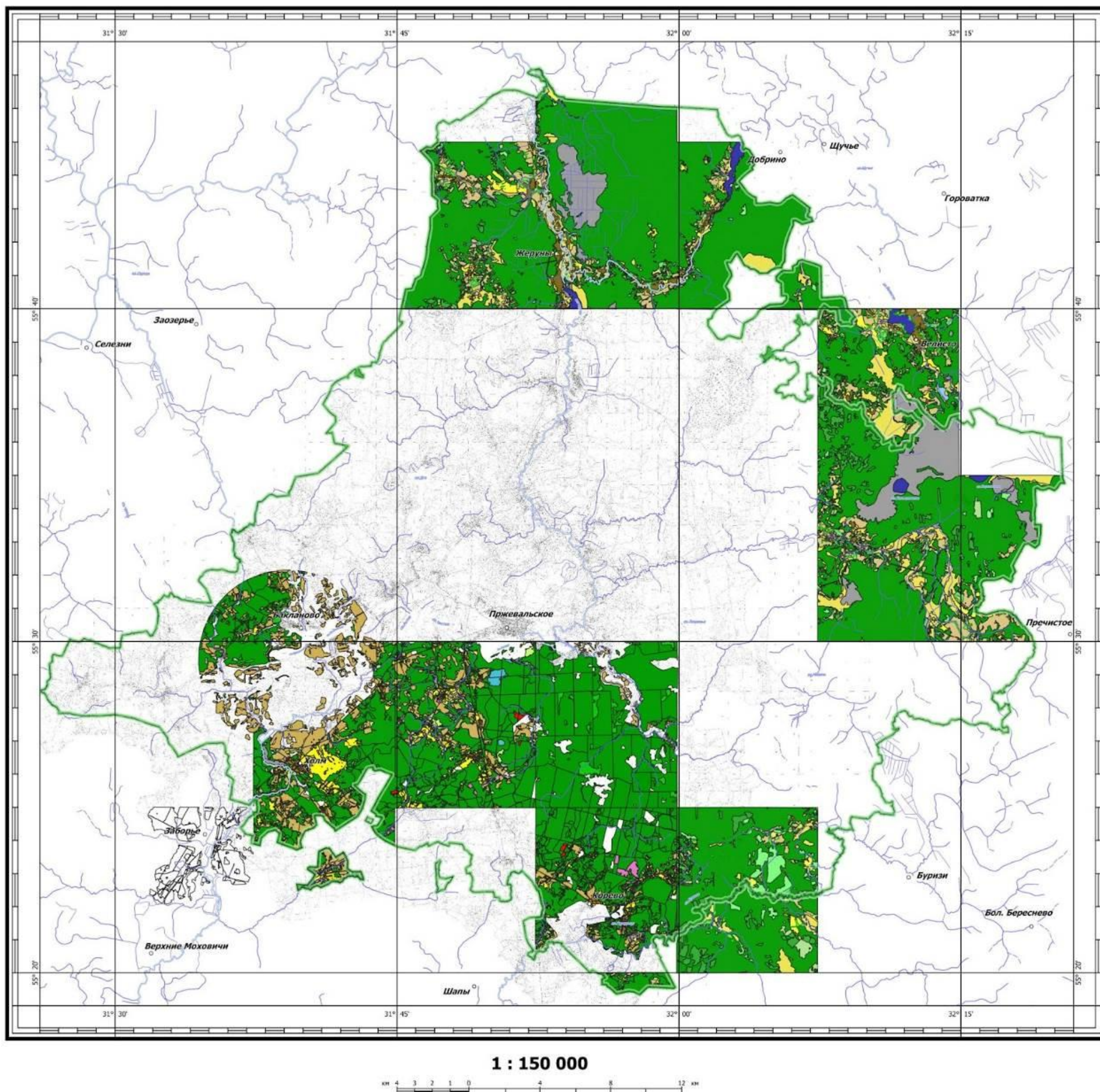


Рис. 3 – Векторизация землеустроительных планшето в 1982 – 1987 гг.

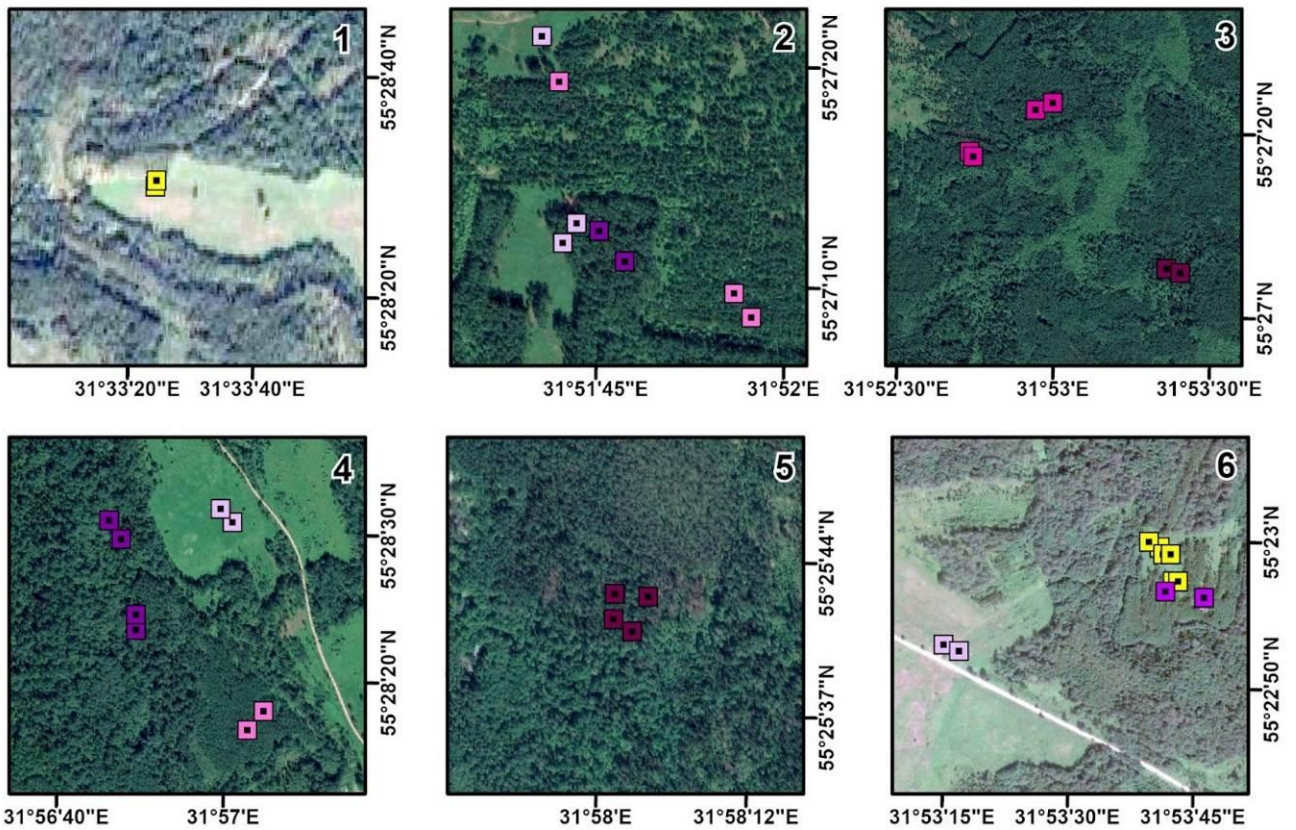
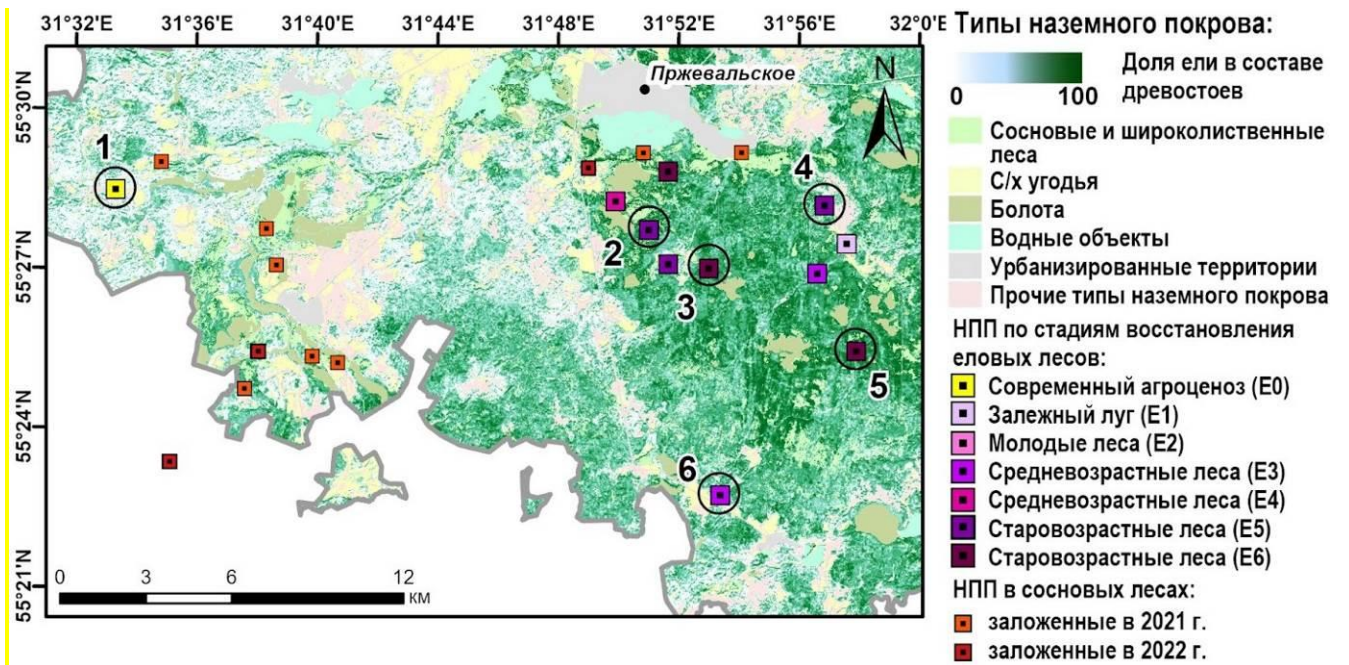


Рис. 4 – Наземные пробные площади, заложенные в 2022 г. для характеристики еловой хроносерии. В качестве фона на крупномасштабных фрагментах использованы высокодетальные спутниковые изображения из Google Maps.

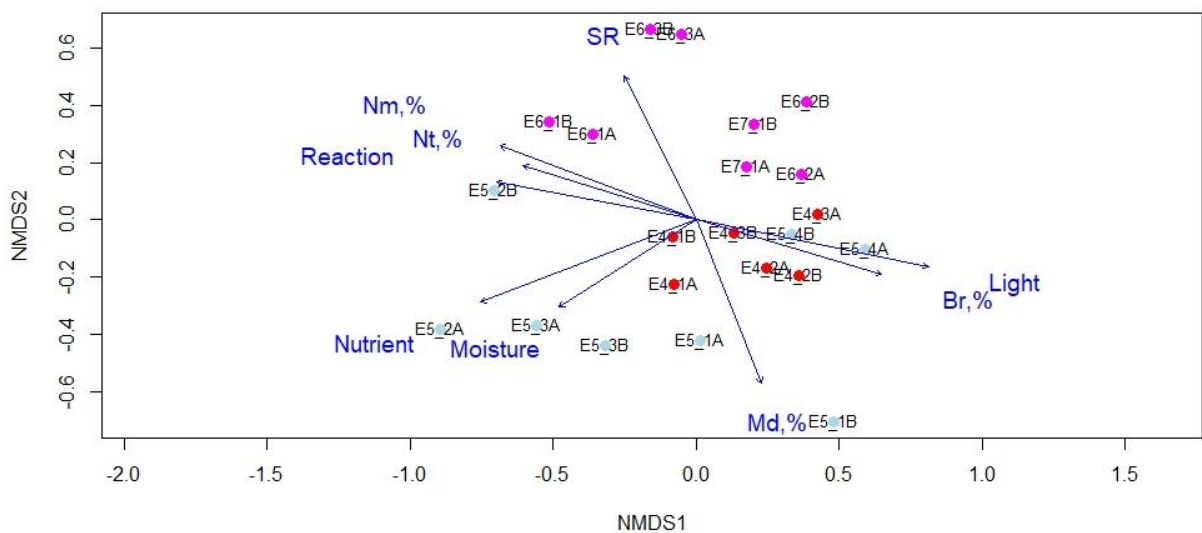
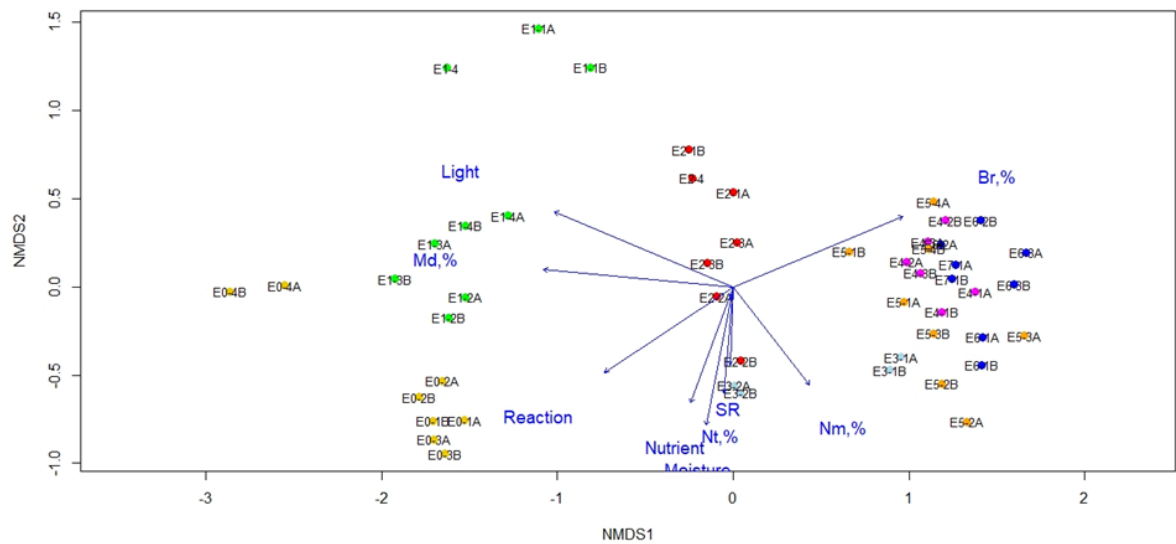


Рис. 5 – Ординация методом NMDS геоботанических площадок (вверху – все площадки еловой серии; внизу – площадки стадий E4 – E6). Векторы обозначают: 1) факторы по шкалам Элленберга: Reaction – реакция почвы, Nutrient – богатство почвы азотом, Moisture – влажность почвы, Light – освещенность; 2) ЭЦГ: Nm - неморальная, Br - бореальная, Md – луговая

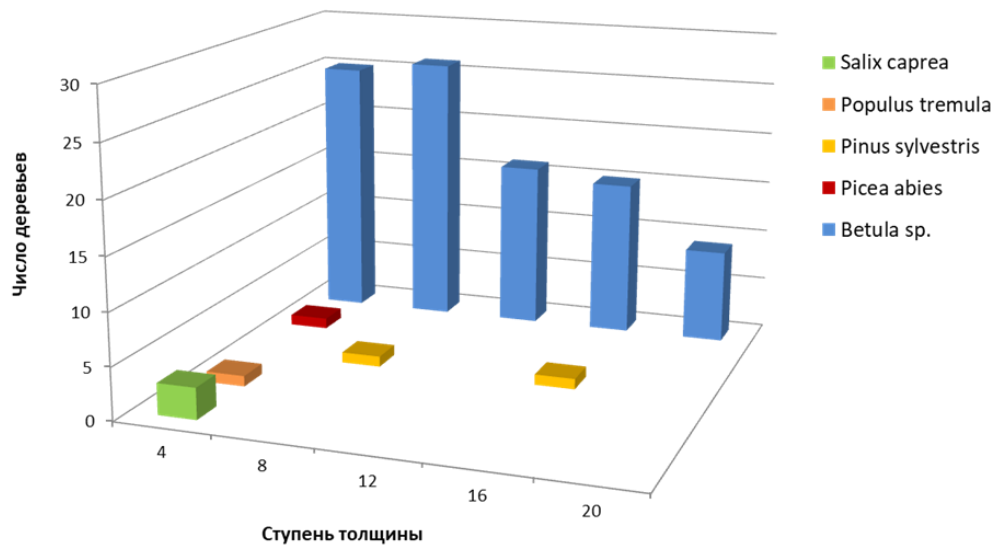


Рис. 7 – Распределение деревьев по диаметру (от 5 см) по данным таксации на пробной площади E2-2. Средняя высота деревьев березы из древесного яруса - 16 м (макс. 20 м). Число живых деревьев в пересчете на 1 га 2275 шт., запас стволовой древесины 159 м3.

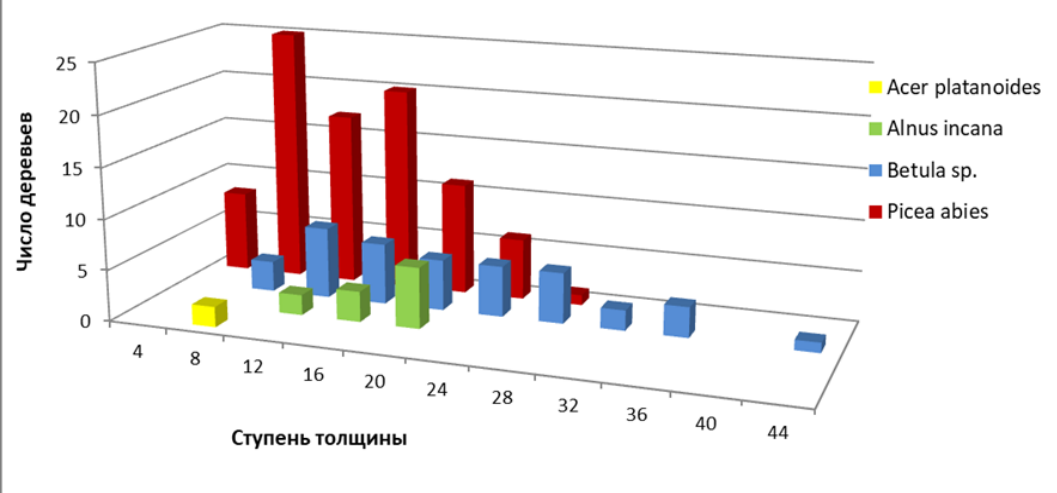


Рис. 8 – Распределение деревьев по диаметру (от 5 см) по данным таксации на пробной площади 25×25 м E3-1. Высота березы из A1 - 28 м, диаметр 25-30 см. Высота ели из A2 – 10-15 м, диаметр 10-20 см. Число живых деревьев (в пересчете на 1 га) 1952 шт., запас стволовой древесины 424 м3. Ель превосходит березу по числу деревьев (долевое участие 0.66 и 0.26 соответственно), но уступает по запасу (0.40 и 0.53).

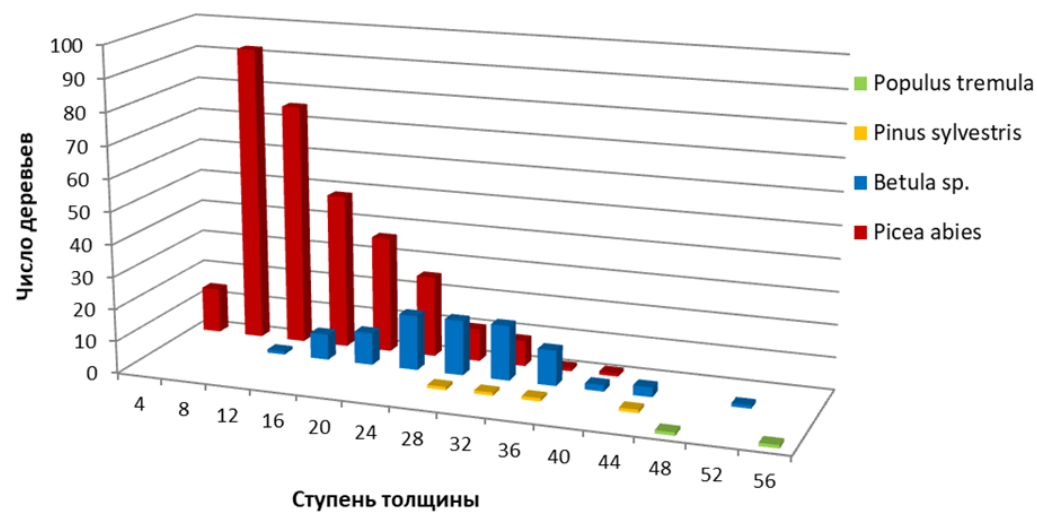


Рис. 9 – Распределение деревьев по диаметру (от 5 см) по данным таксации на пробной площади 50×50 м E4-2. Высота березы из A1 – 29-31 м, диаметр 28-37 см. Высота ели из A2 – 10-16 м, диаметр - 10-20 см. Единичные деревья ели выходят в A1, их высота 24-29 м. Число живых деревьев (в пересчете на 1 га) 1364 шт., запас стволовой древесины 465 м3.

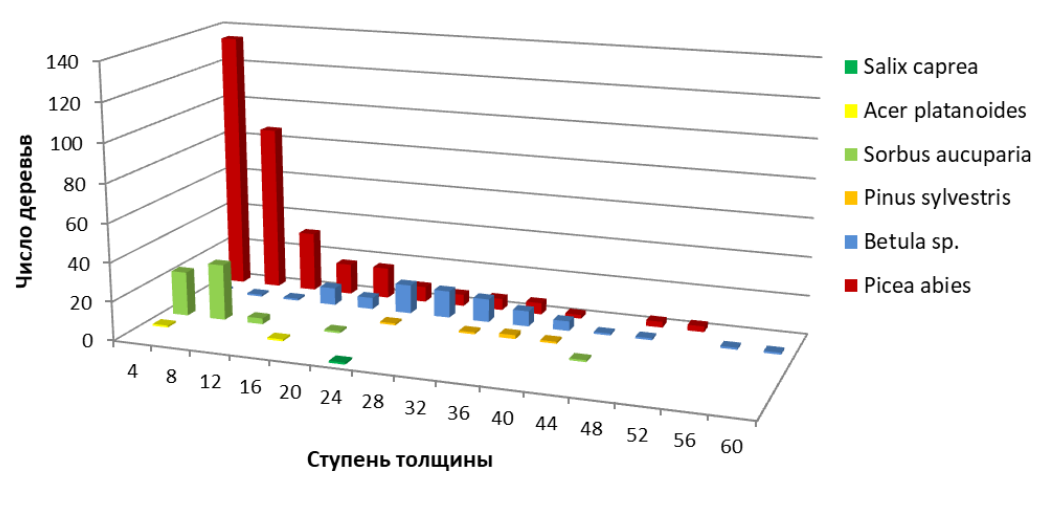


Рис. 10 – Распределение деревьев по диаметру (от 5 см) по данным таксации на пробной площади 50×50 м E5-1. Высота деревьев березы из A1 – 27-29 м, диаметр - 20-32 (макс. - 59 см). Высота деревьев ели из A1 – 28-30 м, диаметр - 20-32 (макс. - 53 см); высота деревьев ели из A2 – 10-16 м, диаметр - 10-20 см. Число живых деревьев (в пересчете на 1 га) 1732 шт., запас стволовой древесины 432 м3. Ель значительно превосходит березу по числу деревьев (долевое участие 0.70 и 0.16 соответственно), но немного уступает по запасу (0.44 и 0.49). Преобладание деревьев ели и рябины первых ступеней толщины связано с улучшением условий освещения для роста деревьев при формировании оконной структуры. Возраст елей этого поколения – 28 и 34 лет.

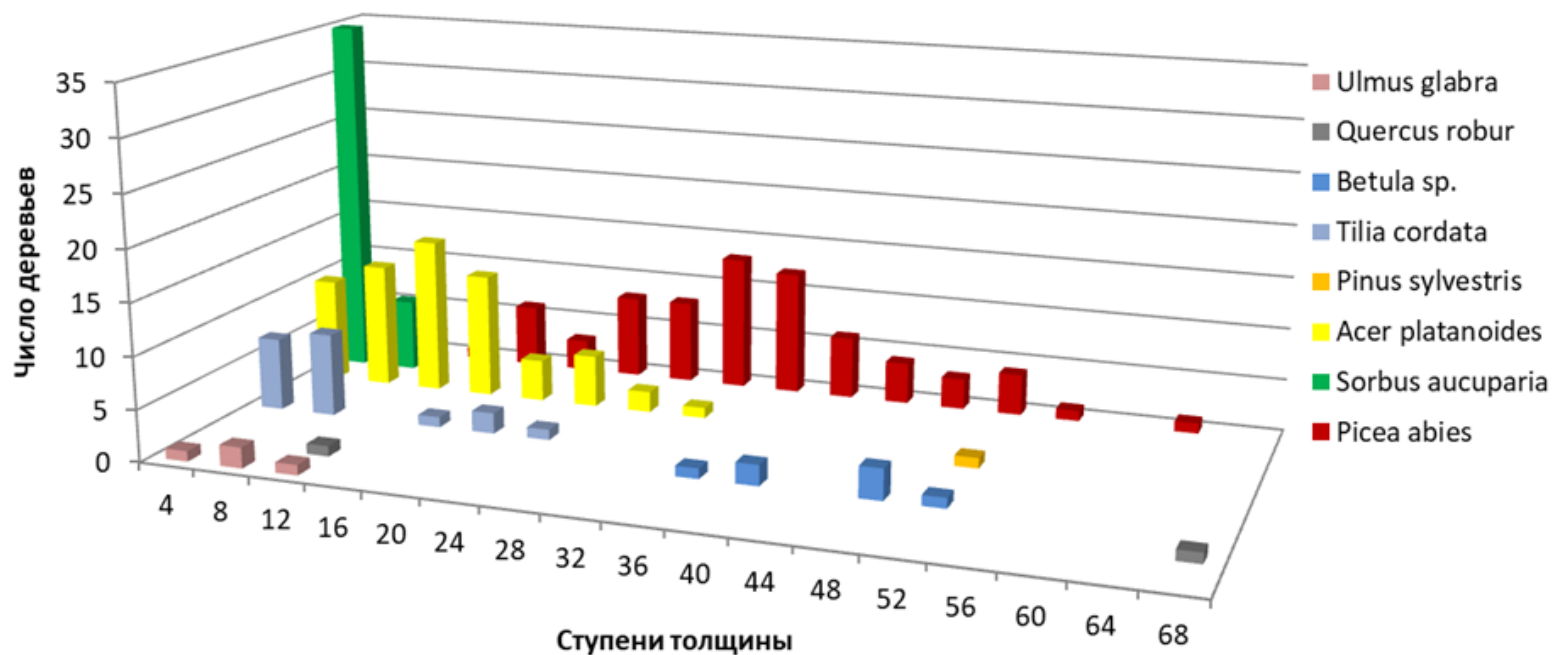


Рис. 6 – Распределение деревьев по диаметру (от 5 см) по данным таксации на пробной площади 50×50 м E6-1 (50×50 м) высота деревьев ели из A1 – 30-33 м, диаметр - 35-50 (макс. – 62 см); высота деревьев клена из A2 – 10-22 м, диаметр - 10-24 (макс. 31) см. Число живых деревьев (в пересчете на 1 га) 828 шт., запас стволовой древесины 428 м3. По запасу ель значительно превосходит все остальные виды деревьев (0.76), но по числу деревьев ее доля невысока (0.36). Раннесукцессионные виды (береза, сосна) представлены небольшим числом крупных деревьев. Клен имеет устойчивую популяцию, среди лип и вязов преобладают молодые деревья.

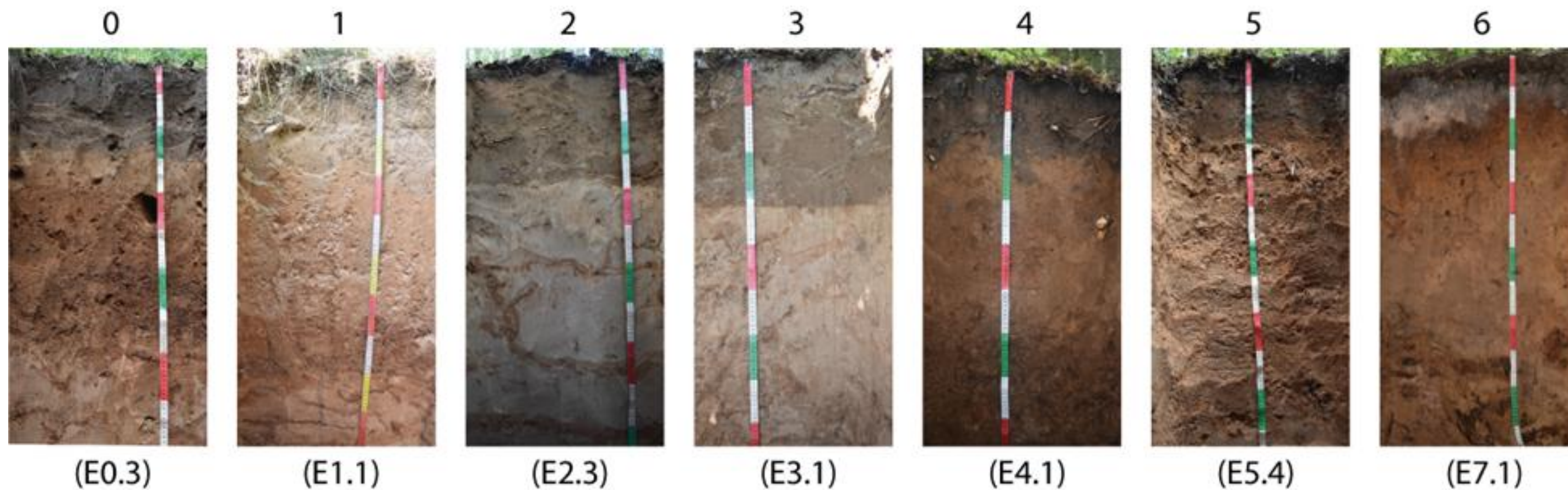


Рис. 7 – Почвы разных стадий восстановления ельников: 0 – агроценоз и однолетняя залежь на агроземах, 1 – залежный луг на месте пашни, 2 – молодой лес (возрастом 10 – 30 лет) на месте пашни, 3 – средневозрастный лес (возрастом 36 – 64 лет) на месте пашни, 4 – средневозрастный лес (возрастом 70 – 80 лет) на месте пашни, 5 – старовозрастный лес (возрастом 80 – 100 лет) на месте пашни, 6 – старовозрастный лес (возраст древостоя 90 – 100 и больше лет; древостой разновозрастный) на не пахавшихся почвах или почвах, восстановившихся после распашки)

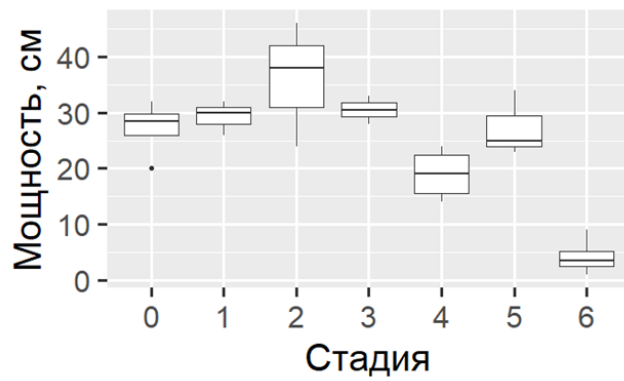


Рис. 8 – Мощность гумусовых горизонтов почв разных стадий восстановления ельников: 0 – агроценоз и однолетняя залежь, 1 – залежный луг на месте пашни, 2 – молодой лес (возрастом 10 – 30 лет) на месте пашни, 3 – средневозрастный лес (возрастом 36 – 64 лет) на месте пашни, 4 – средневозрастный лес (возрастом 70 – 80 лет) на месте пашни, 5 – старовозрастный лес (возрастом 80 – 100 лет) на месте пашни, 6 – старовозрастный лес (возраст древостоя 90 – 100 и больше лет; древостой разновозрастный) на не пахавшихся почвах или почвах, восстановившихся после распашки)

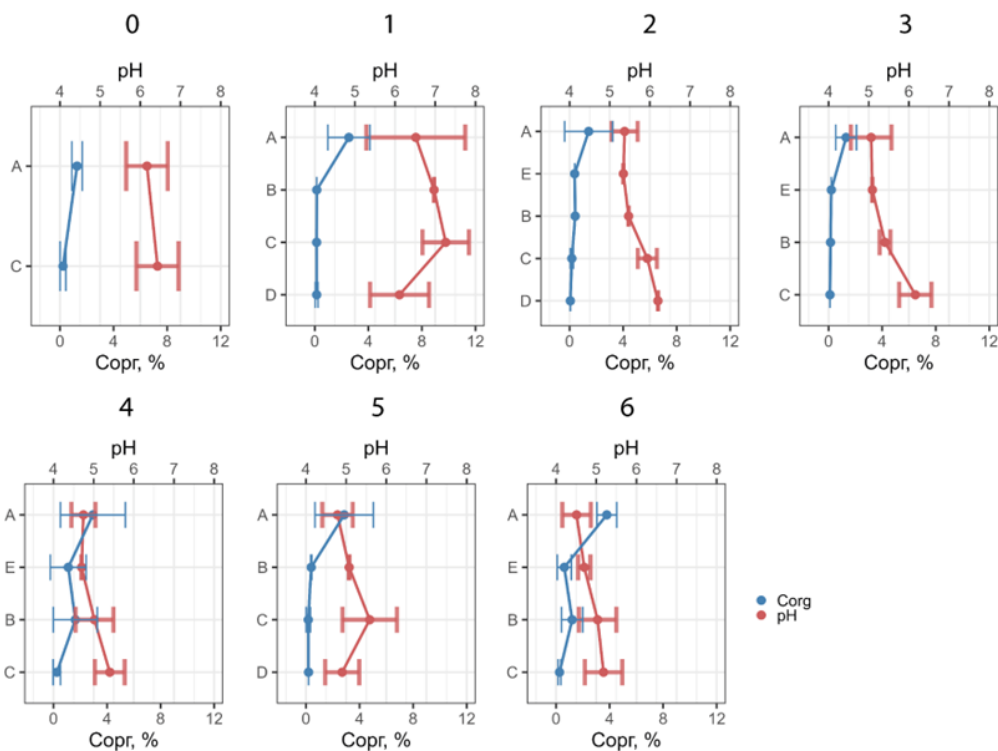


Рис 9 – Профильное распределение pH и органического углерода почв разных стадий восстановления ельников в Смоленском Поозерье: 0 – агроценоз и однолетняя залежь, 1 – залежный луг на месте пашни, 2 – молодой лес (возрастом 10 – 30 лет) на месте пашни, 3 – средневозрастный лес (возрастом 36 – 64 лет) на месте пашни, 4 – средневозрастный лес (возрастом 70 – 80 лет) на месте пашни, 5 – старовозрастный лес (возрастом 80 – 100 лет) на месте пашни, 6 – старовозрастный лес (возраст древостоя 90 – 100 и больше лет; древостой разновозрастный) на не пахавшихся почвах или почвах, восстановившихся после распашки)

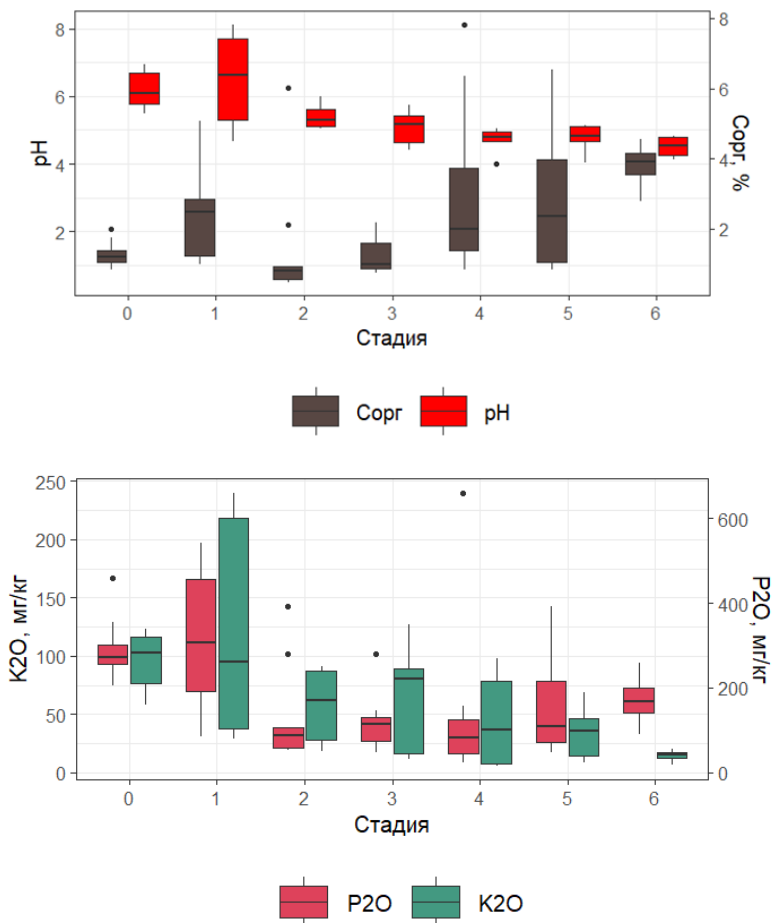


Рис 10 – Свойства гумусовых горизонтов почв разных стадий восстановления ельников в Смоленском Поозерье (сверху вниз): pH, содержание органического углерода, подвижных P_2O_5 и K_2O (0 – агроценоз и однолетняя залежь, 1 – залежный луг на месте пашни, 2 – молодой лес (возрастом 10 – 30 лет) на месте пашни, 3 – средневозрастный лес (возрастом 36 – 64 лет) на месте пашни, 4 – средневозрастный лес (возрастом 70 – 80 лет) на месте пашни, 5 – старовозрастный лес (возрастом 80 – 100 лет) на месте пашни, 6 – старовозрастный лес (возраст древостоя 90 – 100 и больше лет; древостой разновозрастный) на не пахавшихся почвах или почвах, восстановившихся после распашки)

Реакция среды изученных почв варьировала от кислой (4,0 в гор. О стадии Е5) до слабощелочной (8,1 - гор. Р стадии Е1). В большинстве почв pH слабо варьирует по профилю или увеличению с глубиной за счет подкисления верхнего горизонта органическими кислотами, формирующимися при разложении опада, особенно на заключительных стадиях сукцессии. В некоторых почвах стадий Е1 и Е5 pH в гор. С возрастает при падении в гор. D.

Гор. А изученных почв содержал 0,02-7,8% органического углерода (Corg) при снижении значений с глубиной.

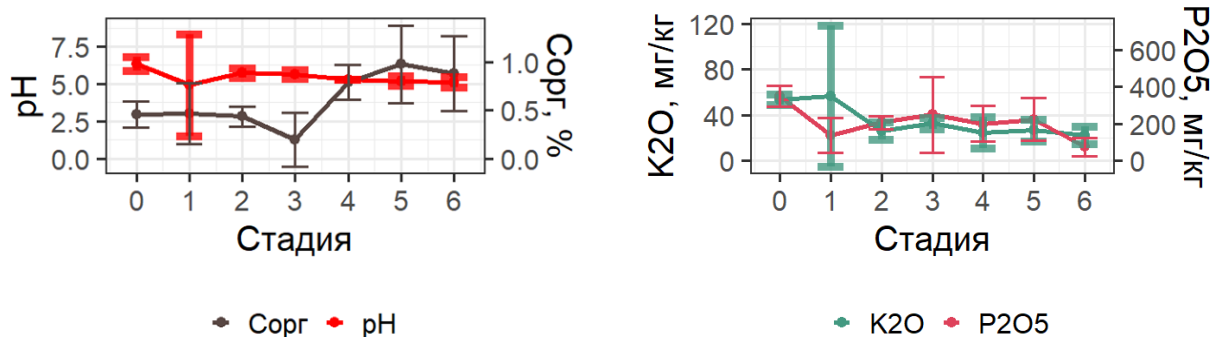


Рис 11 – Средневзвешенные значения в слое 0-100 см почв разных стадий восстановления ельников в Смоленском Поозерье (сверху вниз): 0 – агроценоз и однолетняя залежь, 1 – залежный луг на месте пашни, 2 – молодой лес (возрастом 10 – 30 лет) на месте пашни, 3 – средневозрастный лес (возрастом 36 – 64 лет) на месте пашни, 4 – средневозрастный лес (возрастом 70 – 80 лет) на месте пашни, 5 – старовозрастный лес (возрастом 80 – 100 лет) на месте пашни, 6 – старовозрастный лес (возраст древостоя 90 – 100 и больше лет; древостой разновозрастный) на не пахавшихся почвах или почвах, восстановившихся после распашки

Значения pH в А-горизонтах и средневзвешенные в слое 0-100 см убывают с возрастом сукцессии. Значимые различия получены для пар стадий: E0 и E2, E3, E4, E5, E6; E1 и E3, E4, E5, E6; E2 и E4, E5, E6.

В некоторых почвах стадий E4 и E6 наблюдался локальный максимум в гор. В. К поздним стадиям содержание Сорг возрастало в гор. А и в среднем по 0-100 м слою. Но в гор. А локальный минимум приходился на стадию E2, а в 0-100 м слое - E3. Значимы различия в содержании Сорг только между гор. Р и АУра стадий E0, E2 и АО и Т стадии E6. Максимальное содержание Сорг на стадиях E5 и E6 связано с качественными различиями гор. А: на стадиях E5 и E6 сформирован гор. АО, а на более ранних еще присутствуют АУра и зачаточный АО.

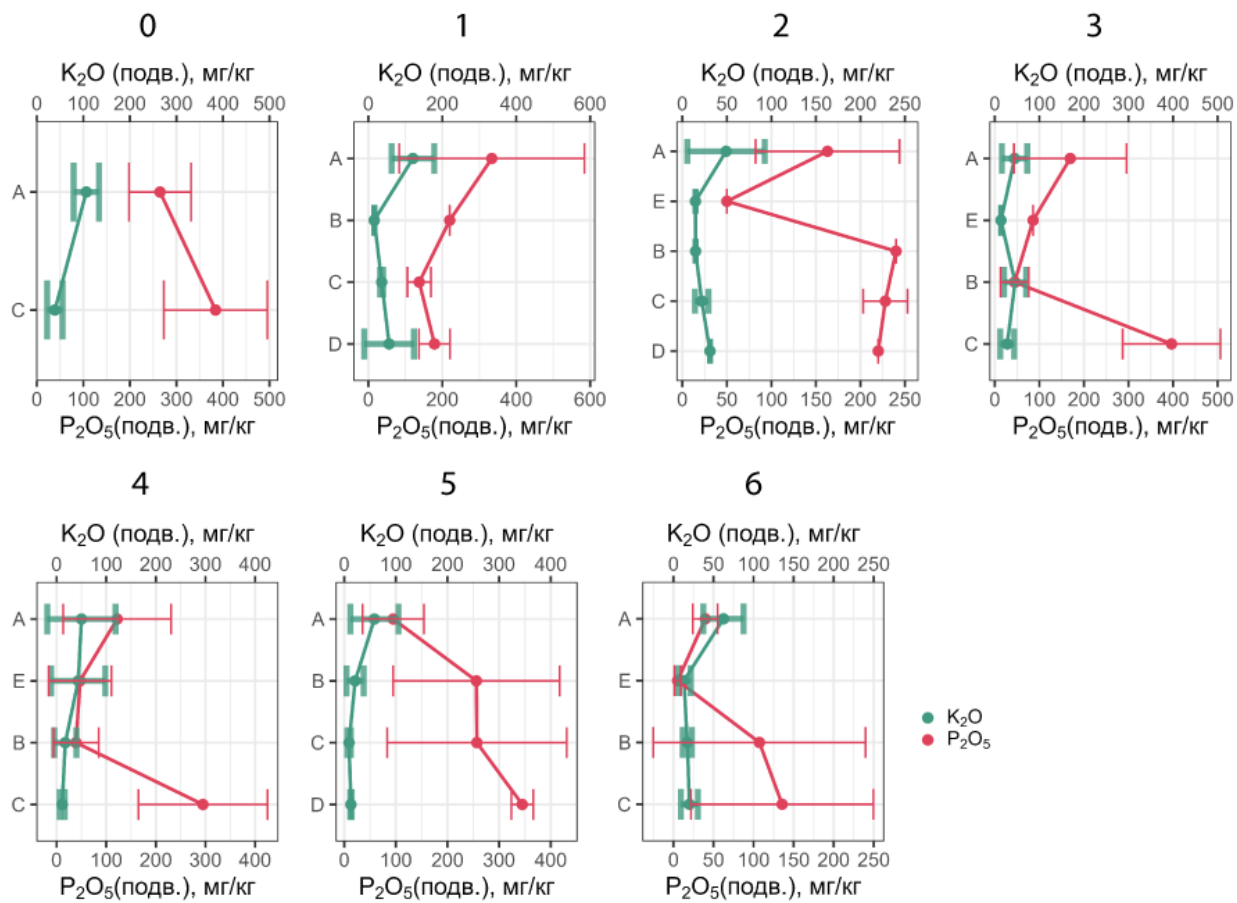
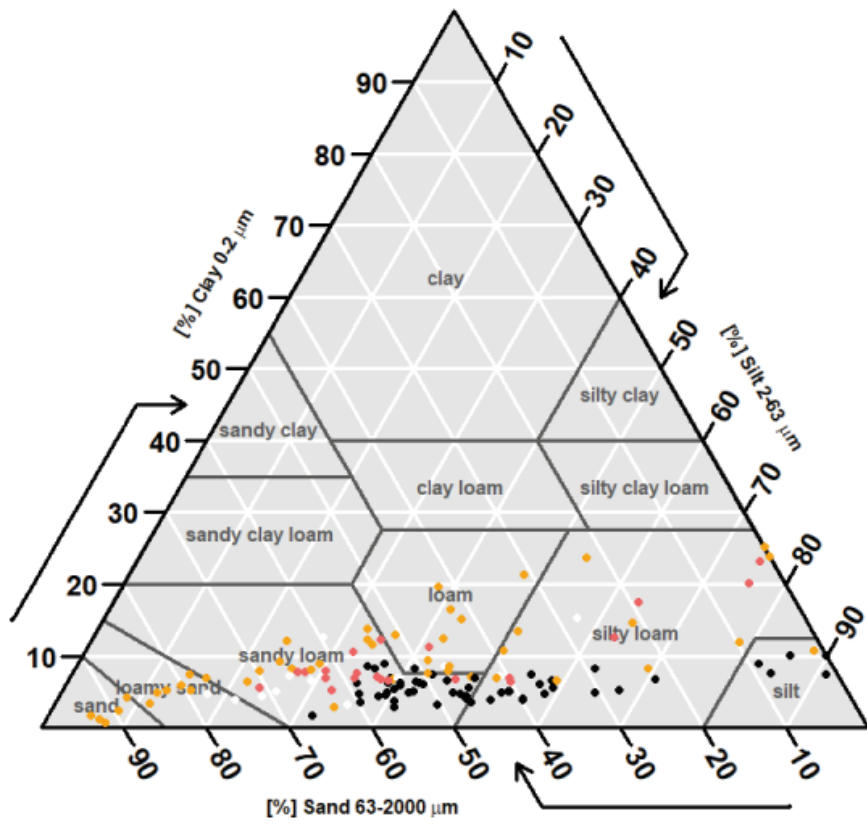


Рис 12 – Профильное распределение содержания подвижных калия и фосфора почв разных стадий восстановления ельников. (0 – агроценоз и однолетняя залежь, 1 – залежный луг на месте пашни, 2 – молодой лес (возрастом 10 – 30 лет) на месте пашни, 3 – средневозрастный лес (возрастом 36 – 64 лет) на месте пашни, 4 – средневозрастный лес (возрастом 70 – 80 лет) на месте пашни, 5 – старовозрастный лес (возрастом 80 – 100 лет) на месте пашни, 6 – старовозрастный лес (возраст древостоя 90 – 100 и больше лет; древостой разновозрастный) на не пахавшихся почвах или почвах, восстановившихся после распашки)



Горизонты: ● A ○ E ● B ● C

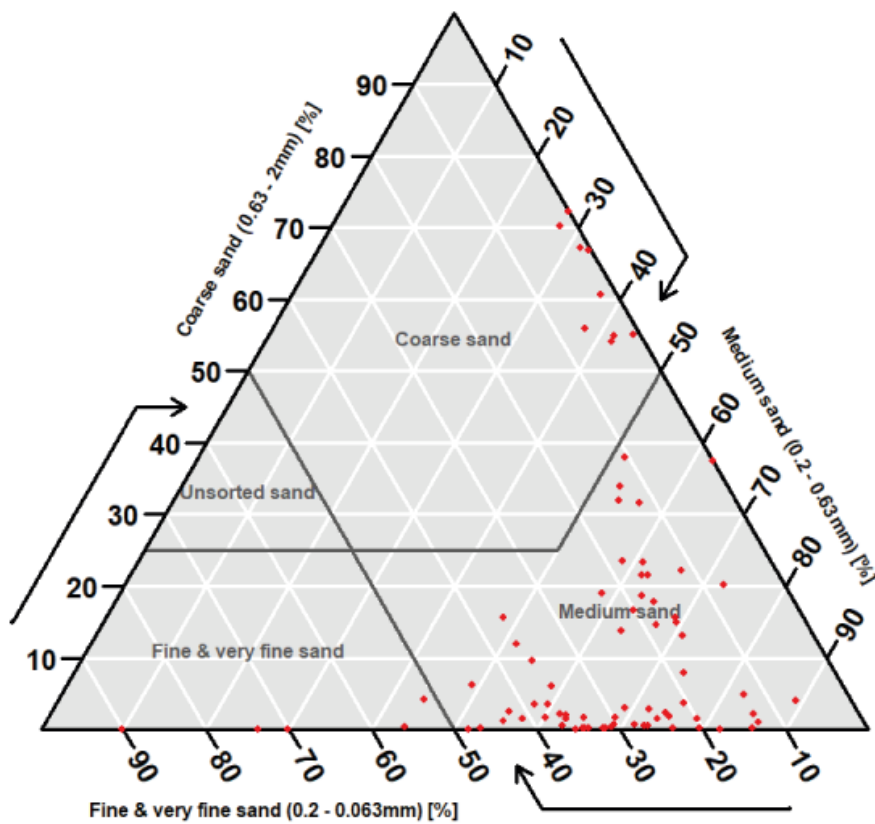


Рис. 13 – Классификация гранулометрического состава изученных почв еловой хроносерии по WRB (вверху) с детализацией для образцов легкого гранулометрического состава (внизу)

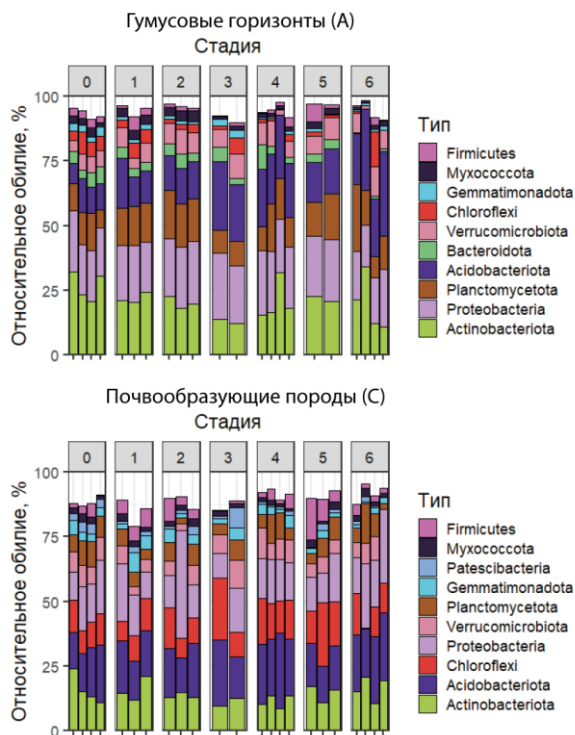


Рис. 14 – Относительное обилие 10 самых распространенных типов бактерий по горизонтам изученных почв еловой серии в Смоленском Поозерье. Самыми распространенными типами в изучаемых почвах были Proteobacteria, Actinobacteriota, Acidobacteriota, Planctomycetota и Chloroflexi, как в почвах еловой хроносерии, так и сосновой. Набор 10 самых распространенных типов практически не менялся между горизонтами. В еловых лесах в почвообразующих породах Bacteroidota заменялись Patescibacteria. В отличие от сосновых лесов, в почвах ельников в 10 доминирующих типов не входили RCP2-54 в гор. А и Methyломirabilota - в гор. С. Между гор. А и С среди всех типов значительно отличалось обилие ($p < 0.05$, размер эффекта > 1) Actinobacteriota, Bacteroidota, Proteobacteria, Planctomycetota и GAL15. Представителей первых четырех семейств больше в гор. А, GAL15 - в гор. С ($p < 0.0005$). Для сосновых лесов аналогичный характер изменений наблюдался для Planctomycetota и Bacteroidota.

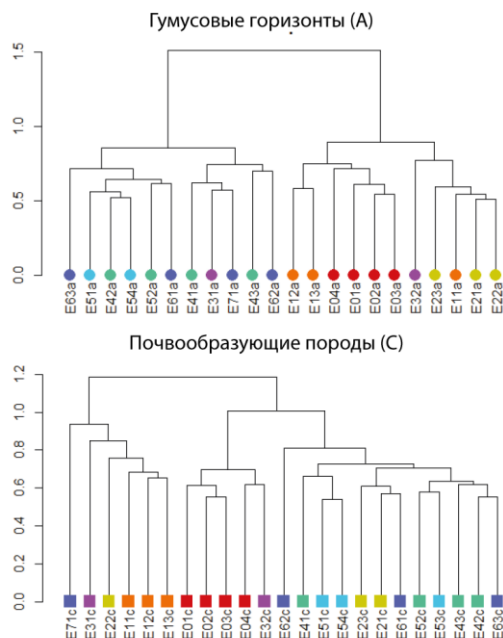


Рис. 15 – Результаты кластерного анализа методом средних расстояний по не взвешенным расстояниям UNIFRAC по горизонтам Стадии E0-E2 и E4-E6 формировали 2 отдельных кластера для гор. А. В почвообразующей породе они менее очевидны из-за более однородного состава микробиома. Две точки стадии E3 попали в разные кластеры: одна к ранним стадиям E0-E2, другая - к поздним E4-E6. Это можно объяснить различным возрастом лесов на этих двух обследованных участках (36 лет и 61 год) и окружающим ландшафтом. Место сбора образца, близкого по микробиому к ранним стадиям, расположено вблизи

пашен (хронотопы E01-E03). Второй же образец отобран на площадке, окруженной более старовозрастными лесами.

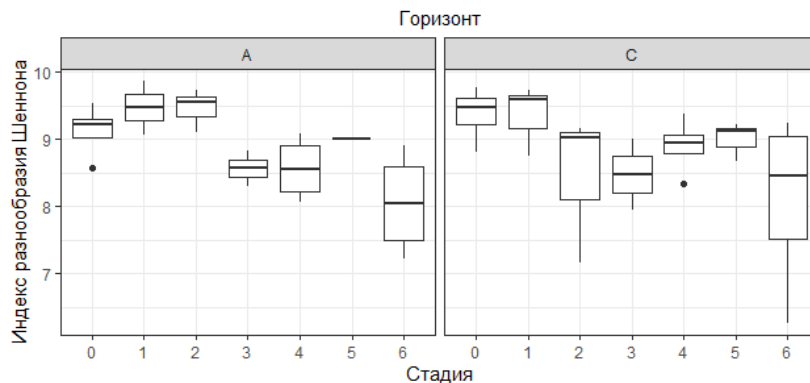


Рис. 16 – Альфа-разнообразие микроценоза почв изученных стадий еловой хроносерии (индекс Шеннона)

Почвы первых трех стадий отличались более высоким α -разнообразием. Это было особенно типично для А-горизонта, в то время как в почвообразующих породах α -разнообразие поздних стадий возрастало и отличия между почвами разных стадий становились менее заметны. Схожая дифференциация выявлена и для почв сосновой хроносерии по результатам кластерного анализа и анализа α -разнообразия.

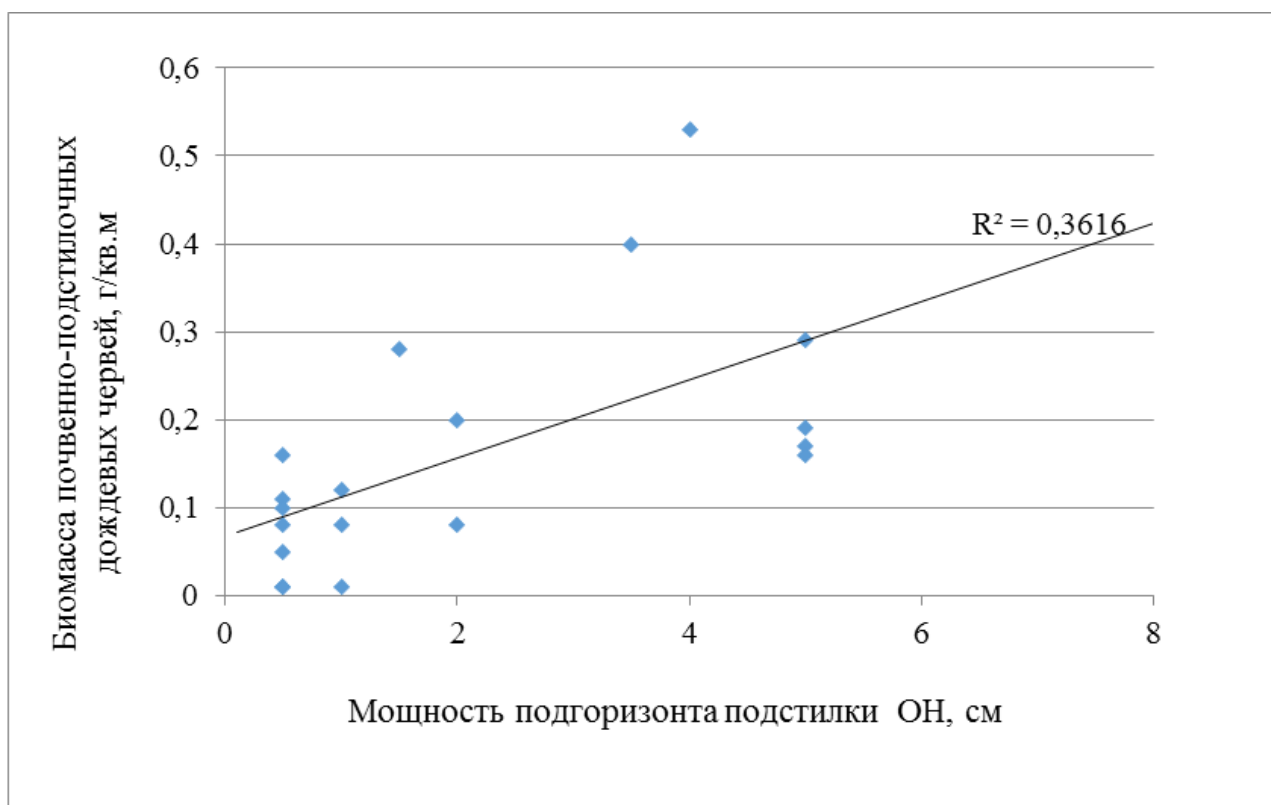


Рис. 17 – Взаимосвязи мощности подгоризонта подстилки ОН (см) и биомассы группы почвенно-подстилочных дождевых червей (г/кв.м) в почвах разных стадий постагрогенного восстановления ельников.

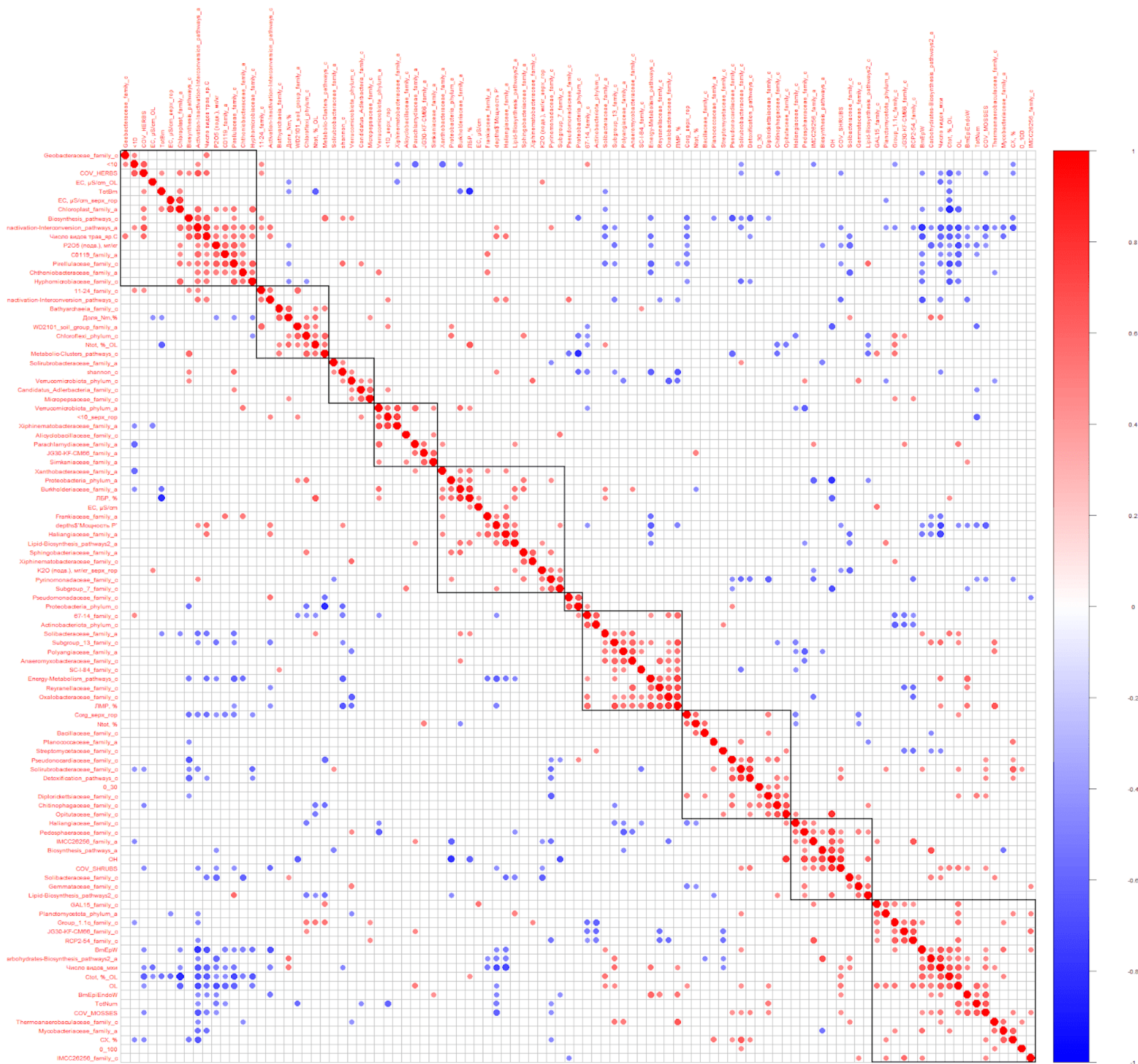


Рис. 18 – Результаты корреляционного анализа представительных показателей из разных блоков экосистем. Черным выделены кластеры параметров с высокой положительной корреляцией. Наибольшее число значимых коэффициентов r получено для средневзвешенных значений pH (47), в т.ч. с обилием Rhizobiaceae в гор. А (0,92), долей луговой ЭЦГ (0,85), метаболическими путями активации-инактивации интерконверсии (0,8) и биомассой подстилочных червей (0,79).

Таблица 1. Информационная база по компонентам ландшафтов, опробованным в ходе экспедиции 2022 г. и использованная для подготовки настоящего отчета

Стадии	Количество, шт.						
	Разрезы	Таксационные площадки	Геоботанические описания*	Почвы			Почвенная макрофауна
				подстилка (горизонты L, F и H): химия/запасы	горизонты A, B и C на химию/плотность	на метагеном	
E0	4	0	8	4/20	21/31	8	20
E1	3	0	10	3/15	17/23	6	15
E2	3	1	6	6/30	17/24	6	15
E3	2	1	4	6/27	13/13	4	10
E4	4	1	8	12/54	24/30	8	20
E5	3	1	6	8/40	17/24	6	15
E6	4	1	8	12/56	28/27	8	20

* 20×20 м в лесных сообществах и 10×10 м в луговых. Стадии восстановления ельников (Е): 0 – агроценоз и однолетняя залежь на агроземах, 1 – залежный луг на месте пашни на агроземах реградированных, 2 – молодой лес (возрастом 10 – 30 лет) на месте пашни на постагrogenных ржавоземах или серогумусовых почвах, 3 – средневозрастный лес (возрастом 36 – 64 лет) на месте пашни на постагrogenных дерново-палево-подзолистой или серогумусовой почве, 4 – средневозрастный лес (возрастом 70 – 80 лет) на месте пашни на постагrogenных ржавоземах или дерново-подзолах иллювиально-гумусово-железистых, 5 – старовозрастный лес (возрастом 80 – 100 лет) на месте пашни на постагrogenных ржавоземах грубогумусированных, 6 – старовозрастный лес (возраст древостоя 90 – 150; древостой разновозрастный) на (торфянисто-)подзолах, не пахавшихся или восстановившихся после распашки

Таблица 2. Химико-аналитические работы, выполненные в ходе второго года реализации Проекта

Показатель	Метод определения	Число проанализированных проб
Величина рН (актуальная кислотность)	Потенциометрически	250
Содержание гумуса	Титриметрически с фенилантраниловой кислотой по И.В. Тюрину	250
Гранулометрический состав	Лазерная дифрактометрия	133
Содержание общего С и N	Газовая хроматография	250
Катионно-анионный состав водной вытяжки	Ионная хроматография	250
Подвижные калий и фосфор по Кирсанову	ICP-AES	250
Обменные основания		186
Содержание трудно обменных соединений		186
Содержание комплексных соединений		186
Содержание соединений, сорбированных гидроксидами Fe и Mn		186
Радиоуглеродное датирование	AMS или LSC	23

Таблица 3. Индикаторные виды для стадий еловой хроносерии с указанием уровня значимости

Виды	Стадия						
	Е0	Е1	Е2	Е3	Е4	Е5	Е6
Подъярус А1							
<i>Betula pendula</i>			0.001	0.001	0.001	0.001	
<i>Picea abies</i>					0.001	0.001	0.001
<i>Salix caprea</i>			0.002				
Подъярус А2							
<i>Acer platanoides</i>				0.005		0.005	0.005
<i>Alnus incana</i>				0.003			
<i>Picea abies</i>				0.001	0.001	0.001	0.001
<i>Tilia cordata</i>							0.001
Ярус В							
<i>Acer platanoides</i>				0.001	0.001		0.001
<i>Betula pendula</i>			0.001				
<i>Corylus avellana</i>				0.001		0.001	0.001
<i>Picea abies</i>			0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
<i>Pinus sylvestris</i>			0.004				
<i>Populus tremula</i>			0.001				0.001
<i>Sorbus aucuparia</i>			0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
<i>Tilia cordata</i>				0.007			0.007
Ярус С							
<i>Acer platanoides</i>				0.002	0.002	0.002	0.002
<i>Achillea millefolium</i>	0.001	0.001					
<i>Agrostis capillaris</i>		0.001	0.001	0.001			
<i>Agrostis gigantea</i>	0.001						
<i>Ajuga reptans</i>				0.009			
<i>Artemisia vulgaris</i>	0.001	0.001	0.001				
<i>Calamagrostis arundinacea</i>						0.005	0.005
<i>Calamagrostis epigeios</i>		0.002	0.002				
<i>Campanula patula</i>	0.003	0.003	0.003				
<i>Carex digitata</i>					0.006	0.006	0.006
<i>Carex leporina</i>			0.001	0.001			
<i>Centaurea jacea</i>		0.004					
<i>Cirsium arvense</i>	0.007						
<i>Corylus avellana</i>			0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
<i>Crepis tectorum</i>	0.001						
<i>Dactylis glomerata</i>		0.008					
<i>Daucus carota</i>	0.001						
<i>Dryopteris carthusiana</i>			0.004	0.004	0.004	0.004	
<i>Dryopteris expansa</i>					0.001	0.001	0.001
<i>Elytrigia repens</i>	0.001						
<i>Epilobium montanum</i>			0.002				
<i>Equisetum arvense</i>	0.002	0.002					
<i>Equisetum pratense</i>			0.001				
<i>Festuca rubra</i>	0.001	0.001	0.001				
<i>Fragaria vesca</i>			0.001	0.001			
<i>Frangula alnus</i>			0.001	0.001	0.001	0.001	
<i>Geum urbanum</i>			0.001	0.001			
<i>Hieracium umbellatum</i>		0.001	0.001				
<i>Hypericum perforatum</i>		0.002	0.002	0.002			
<i>Leucanthemum vulgare</i>	0.003		0.003	0.003			
<i>Linnaea borealis</i>							0.002
<i>Lupinus polyphyllus</i>		0.007	0.007				
<i>Luzula pilosa</i>					0.001	0.001	0.001
<i>Lysimachia vulgaris</i>	0.001	0.001	0.001	0.001			
<i>Maianthemum bifolium</i>					0.001	0.001	0.001
<i>Melampyrum nemorosum</i>			0.003	0.003			
<i>Mentha arvensis</i>	0.007						
<i>Moehringia trinervia</i>				0.001			
<i>Myosotis micrantha</i>	0.001						
<i>Oxalis acetosella</i>				0.001	0.001	0.001	0.001
<i>Phleum pratense</i>		0.001					
<i>Picea abies</i>			0.001		0.001	0.001	0.001
<i>Polygonatum multiflorum</i>						0.003	
<i>Populus tremula</i>			0.001		0.001		0.001
<i>Potentilla intermedia</i>	0.001						
<i>Pyrola minor</i>			0.006				
<i>Quercus robur</i>			0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
<i>Ranunculus repens</i>				0.001			
<i>Rubus saxatilis</i>							0.002
<i>Rumex acetosella</i>	0.01		0.01				
<i>Rumex crispus</i>	0.002	0.002					
<i>Salix cinerea</i>			0.003				
<i>Senecio jacobaea</i>			0.001				
<i>Silene pratensis</i>	0.001						
<i>Sorbus aucuparia</i>			0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
<i>Stellaria graminea</i>	0.002	0.002					
<i>Tanacetum vulgare</i>		0.004	0.004	0.004			
<i>Taraxacum officinale</i>		0.006					
<i>Tilia cordata</i>							0.003
<i>Trientalis europaea</i>					0.001	0.001	0.001
<i>Trifolium hybridum</i>	0.003						
<i>Trifolium medium</i>		0.003					
<i>Trifolium pratense</i>	0.001						
<i>Trifolium repens</i>	0.001						
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	0.001						
<i>Ulmus glabra</i>				0.004		0.004	
<i>Vaccinium myrtillus</i>					0.001	0.001	0.001
<i>Verbascum nigrum</i>			0.002				
<i>Veronica chamaedrys</i>	0.001	0.001	0.001	0.001			
<i>Veronica officinalis</i>			0.004	0.004			
<i>Vicia cracca</i>	0.001	0.001					
<i>Vicia sepium</i>	0.01		0.01	0.01			

<i>Viola arvensis</i>	0.006						
Ярус D							
<i>Brachythecium erythrorrhizon</i>				0.004			0.004
<i>Brachythecium salebrosum</i>			0.001			0.001	0.001
<i>Callicladium haldanianum</i>				0.003	0.003		0.003
<i>Dicranum montanum</i>				0.001	0.001		0.001
<i>Dicranum polysetum</i>					0.001	0.001	
<i>Dicranum scoparium</i>					0.001		0.001
<i>Eurhynchium angustirete</i>							0.001
<i>Hylocomium splendens</i>					0.001	0.001	0.001
<i>Oxyrrhynchium hians</i>	0.001	0.001					
<i>Plagiomnium cuspidatum</i>							0.001
<i>Plagiothecium laetum</i>				0.001	0.001		0.001
<i>Pleurozium schreberi</i>					0.001	0.001	0.001
<i>Rhodobryum roseum</i>							0.001
<i>Rhytidiadelphus subpinnatus</i>	0.002	0.002					
<i>Sanionia uncinata</i>				0.007	0.007		0.007
<i>Sciuro-hypnum oedipodium</i>			0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
<i>Stereodon pallescens</i>				0.003	0.003		

Таблица 4. Видовое разнообразие на площадках и соответствующих стадиях

Группа	E0	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Сосудистые	<u>35±7</u>	<u>33±15</u>	<u>40±7</u>	<u>39±6</u>	<u>19±4</u>	<u>26±6</u>	<u>24±6</u>
	94	110	93	90	37	68	54
Мхи	<u>0±1</u>	<u>0±0</u>	<u>3±1</u>	<u>10±3</u>	<u>10±2</u>	<u>5±2</u>	<u>12±3</u>
	2	2	8	18	23	18	31

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

Таблица 5. Параметры биоразнообразия почвенных зооценозов макрофауны в ходе постагрогенного восстановления ельников

Параметры биоразнообразия	Стадия						
	E0	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Общее число семейств	12	14	17	14	17	17	21
Число семейств подстилочной фауны	3	6	9	7	8	8	10
Число семейств почвенной фауны	9	9	9	7	9	9	11
Индекс разнообразия Симпсона общий ($D_{\text{общ.}}$)*	0,80	0,82	0,93	0,89	0,89	0,88	0,85
Индекс разнообразия Симпсона подстилочной фауны ($D_{\text{подст.}}$)*	0,76	0,80	0,84	0,79	0,70	0,67	0,7
Индекс разнообразия Симпсона почвенной фауны ($D_{\text{почв.}}$)*	0,77	0,76	0,81	0,82	0,82	0,81	0,77
Число экологических групп дождевых червей	1	2	2	2	2	2	3

*D – индекс разнообразия Симпсона, $D=1/\sum(N_i/N)^2$, где N – общая численность особей (экз/кв.м), N_i – численность особей i-го таксона (экз/кв.м)

Таблица 6. Преобладающие типы бактерий в горизонтах почв еловой серии

Стадия	Преобладающие таксоны (ТОР-5) бактерий	
	Горизонт А	Почвообразующая порода (горизонт С)
E0	Actinobacteriota > Proteobacteria > Planctomycetota, Acidobacteriota > Chloroflexi	Acidobacteriota> Actinobacteriota > Proteobacteria > Chloroflexi> Planctomycetota
E1	Actinobacteriota > Proteobacteria > Planctomycetota, Acidobacteriota > Verrucomicrobiota	Acidobacteriota, Proteobacteria, Actinobacteriota > Chloroflexi > Firmicutes
E2	Actinobacteriota > Proteobacteria > Planctomycetota, Acidobacteriota	Acidobacteriota, Proteobacteria, Actinobacteriota > Chloroflexi > Planctomycetota
E3	> Verrucomicrobiota	
E4	Acidobacteriota > Chloroflexi > Proteobacteria > Actinobacteriota >	Acidobacteriota, Proteobacteria, Actinobacteriota > Chloroflexi > Firmicutes
E5	Verrucomicrobiota	
E6		Acidobacteriota, Proteobacteria > Actinobacteriota > Chloroflexi > Planctomycetota

Таблица 7 Группировка подвижных форм элементов по изменениям, наблюдаемым в почвах разных стадий восстановления ельников в Смоленском Поозерье

Тренд	Форма	Горизонт		
		О	А	С
Увеличение содержания к поздним стадиям	F0	Al, Ba, Mn	Fe	Al, Fe, Mn
	F1	Ba, Mn, Zn	Al	-
	F2	Ca, Co, Fe, Ti, Zn	Fe	-
	F3	Al, Ba, Co, Mn	-	-
Равномерное распределение	F0	Ca	-	-
	F1	-	-	-
	F2	-	-	-
	F3	Ca	-	-
Снижение содержания к поздним стадиям	F0	Sr	Ba, Ca, Mg, Sr	Ca, Sr
	F1	Sr	Ba, Mn , Sr	Sr
	F2	-	Co, Cu, Mn, Zn	-
	F3	-	Al, Ca, Co, Cu, Fe, Mg, Sr, Zn	Al, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, Mg, Sr, Ti Zn
Немонотонные изменения	F0	Cu, Fe, Mg,	Al, Co, Cu, Mn, Zn	Ba, Co, Cu, Mg, Zn
	F1	Al, Ca, Co, Cu, Fe, Mg	Ca, Co, Cu, Fe, Mg, Ti, Zn	Al, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Ti, Zn
	F2	Al, Ba, Cu, Mg, Mn	Al, Ca, Mg, Sr, Ti	Al, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Sr, Ti, Zn
	F3	Cu, Fe, Mg, Sr, Ti, Zn	Ba, Mn, Ti	Mn
Не данных	F0	Co, Ti, Zr	Ti	Ti
	F1	Ti	-	-
	F2	Sr	Ba	-
	F3	-	-	-