

Влияние различных клонов сосны обыкновенной на свойства дерново-подзолистой почвы

Н. Б. НАУМОВА¹, Р. П. МАКАРИКОВА¹, В. В. ТАРАКАНОВ², К. П. КУЦЕНОГИЙ³,
Л. И. МИЛЮТИН⁴, О. В. ЧАНКИНА³, Т. И. САВЧЕНКО³

¹Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630099 Новосибирск, ул. Советская, 18

²Западно-Сибирский филиал Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
630082 Новосибирск, ул. Жуковского 100/1, а/я 45

³Институт химической кинетики и горения СО РАН
630090 Новосибирск, ул. Институтская, 3

⁴Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036 Красноярск, Академгородок

АННОТАЦИЯ

На 25-летней лесосеменной плантации сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Алтайском крае выявлено достоверное влияние различных клонов этого вида на содержание макро- и микроэлементов, а также тяжелых металлов в поверхностном слое почвы. Показано, что шесть клонов могут быть перспективны с точки зрения выноса из почвы и закрепления в фитомассе некоторых металлов. Проведенные исследования позволяют дополнить и сфокусировать дальнейшие селекционные исследования управления химическим составом растений и уменьшить объем работы, который необходимо провести для детальной оценки процессов трансформации металлов различными клонами деревьев в условиях длительного полевого опыта.

ВВЕДЕНИЕ

Программы по лесной селекции направлены на повышение продуктивности лесобразующих видов растений [1]. При этом программы, нацеленные только на интенсивность роста деревьев, часто оказываются неэффективными в связи с большим количеством экологических факторов, участвующих в регуляции роста деревьев [2–5]. Недостаточно внимания уделяется генетическому разнообразию лесных ресурсов. Существует возможность проведения отбора по другим целевым признакам, в том числе по свойствам расте-

ний, определяющим качество среды обитания человека. Поэтому возникает необходимость либо в новых селекционных программах, либо в расширении уже идущих, изначально нацеленных на отбор по продукционным признакам. В частности, в связи с деградацией органического вещества почв многих ландшафтов и загрязнением территорий актуальной становится селекция основных древесных пород по таким физиологическим признакам, как эффективность использования макро- и микроэлементов, поглощения тяжелых металлов [6], их распределение и накопление в компонентах фитомассы [7].

Управление химическим составом растений в геохимически аномальных районах с целью снижения концентрации потенциально опасных химических элементов представляет основную задачу нового направления – “биогеохимической генетики” [8]. Для лесных регионов Сибири первостепенное значение в этой связи приобретает изучение лесообразующих видов древесных растений, вклад которых в круговорот химических элементов в лесных ценозах является определяющим. Имеющиеся данные о генетической изменчивости древесных растений по химическому составу пока фрагментарны [3, 9–11], но свидетельствуют о существенной генетической обусловленности химического состава растений, что создает предпосылки для более углубленных исследований.

Такие многосторонние и детальные исследования можно проводить с различными клонами древесных растений. Создание экспериментальных объектов для изучения биогеохимических особенностей генотипов древесных растений в полевых условиях требует больших затрат времени, труда и энергии. Поэтому для решения поставленной задачи целесообразно использовать имеющиеся в системе лесного хозяйства России клоновые посадки основных лесообразующих видов: архивы клонов, маточные и лесосеменные плантации, заложенные для сохранения, изучения и использования в селекционно-семеноводческих целях ценного генофонда лесообразующих видов [1].

Известно, что во всех типах сосновых лесов образование наиболее мощного яруса всасывающих корней (до 80 %) происходит в самом поверхностном слое почвы [12]. Цель наших исследований – выявить влияние клонов сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., существенно различающихся по концентрации химических элементов в хвое [10], на содержание макро- и микроэлементов, а также тяжелых металлов в поверхностном слое дерново-подзолистомой почвы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в южной части лесостепной зоны правобережья Оби на лесосеменной плантации сосны, заложенной в

1980 г. на легкосуглинистой дерново-подзолистой почве по стандартной технологии на площади 2,5 га в лесопитомнике Озерского лесхоза Алтайского края [10].

В течение двух лет перед закладкой лесосеменной плантации сосны осуществлялся четырехпольный севооборот: ранний пар, сидеральный пар, сеянцы 1-го года, сеянцы 2-го года, а на участки с рН почвенной вытяжки меньше 4,2 была внесена известь. Для борьбы с сорняками было предусмотрено применение гербицидов (далапон, ТХА, 2,4 ДА, пропазин). В ранний пар внесен торф ($80 \cdot \text{т} \cdot \text{га}^{-1}$) и проведена перепашка на глубину 22–25 см. Ранней весной поле снова перепахали и посеяли бобовые. Запахивали сидераты с одновременным внесением фосфорно-калийных удобрений. Под сеянцы первого года вносили суперфосфат в рядки в дозе $15\text{--}20 \text{ кг} \cdot \text{га}^{-1}$, калийные удобрения под вспашку, а азотные удобрения вносили в виде подкормок, и обрабатывали поле гербицидами. Сеянцы второго года подкармливали мочевиной по мерзлой почве в дозе $30\text{--}40 \text{ кг} \cdot \text{га}$ и обрабатывали пропазином 1–2 раза за сезон по 2 кг д. в. $\cdot \text{га}$.

В 2003 г. возраст привитых растений сосны, высота которых достигала 9–10 м, составил 23 года. Участок покрывала трава, которую ежегодно скашивали на сено. В 2002 г. провели прореживание для улучшения плодоношения деревьев. На участке осталось 16 клонов, по 7–15 рамет (привитых деревьев) на клон.

Основные исследования осуществлены в июле 2003 г. на выборке из 38 рамет 14 клонов. Кроме этого, в 2003–2004 гг. проведен отбор образцов почвы для изучения динамики ее свойств под девятью раметами трех клонов.

Отбор образцов. Для определения элементного состава и содержания различных форм питательных элементов почвенные образцы отбирали в июле 2003 г. из слоя 0–20 см. Вначале на расстоянии 0,7; 1,4 и 2,1 м от ствола в пределах западного и восточного секторов площади питания, т. е. в шести точках подкороновой зоны деревьев, отбирали шесть монолитов, из которых получали один смешанный образец. Образцы почвы отбирали из-под 2–4 деревьев (рамет) одного клона, растущих на разных продольных и попе-

Статистические характеристики химических свойств почвы в среднем по всем изученным клонам

Показатель	Среднее \pm ошибка среднего	Мин + макс	КВ, %	Уровень значимости (P) влияния клонов
pH	4,6 \pm 0,0	4,4 + 4,9	3	0,029
ОВ, %	2,87 \pm 0,07	2,54 + 3,31	12	0,000
N _{общ.} , %	0,069 \pm 0,002	0,054 + 0,082	9	0,001
C/N	22,0 \pm 0,4	19,0 + 24,6	7	0,360
P _{подв.} , мг \cdot кг ⁻¹	1,8 \pm 0,1	1,3 2,6	21	0,553
P _{HCl} , мг \cdot 100 г ⁻¹	47 \pm 1	42 53	7	0,242
N-NO ₃ , мг \cdot кг ⁻¹	6,9 \pm 0,5	4,5 9,9	2	0,041
K _{HCl} , мг \cdot 100 г ⁻¹	11,5 \pm 0,4	8,0 13,9	14	0,009

речных рядах опыта. Таким образом, для каждого клона отбирали по 2–4 индивидуальных почвенных образца (т. е. по 2–4 настоящие статистические повторности). Образцы отобрали из-под 13 клонов. Отметим, что подзолистый горизонт просматривался слабо, в основном ближе к дереву. Для сравнения отобрали аналогичный образец почвы под соседним участком естественного леса.

Перед проведением анализов почву просеивали через сито с диаметром ячеек 3 мм и хранили при температуре +4 °С.

Содержание органического углерода (C_{орг.}) рассчитывали по потере массы навески почвы при сухом сжигании при 900 °С.

Содержание нитратного азота определяли с помощью ионселективного электрода в вытяжке 0,03 н K₂SO₄. Величину pH измеряли в солевом растворе стеклянным электродом. Содержание легкоусвояемой и подвижной форм фосфора определяли колориметрически по методу Карпинского и Замятиной (экстракция 0,03 н K₂SO₄) и по методу Кирсанова (экстракция 0,2 н HCl) соответственно [14]. Содержание калия определяли на пламенном фотометре из той же вытяжки, что и для определения фосфора по методу Кирсанова.

Валовое содержание 20 химических элементов определяли рентгенофлуоресцентным методом с использованием синхротронного излучения на станции элементного анализа Института ядерной физики СО РАН (накопитель ВЭПП-3) [15]. В данных исследованиях использовали монохроматизированный пучок возбуждающего излучения с энергией 23 кэВ. Расчет концентраций элементов проводился методом внешнего стандарта. В качестве образцов сравнения использовали аттестован-

ный почвенный стандарт дерново-подзолистой супесчаной почвы СДПС-2.

Статистическую обработку результатов проводили методами дисперсионного анализа и главных компонент, используя массивы логарифмически трансформированных данных и статистический пакет Statistica v.5.5.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Варьирование большинства характеристик почвы под клонами невелико (табл. 1). Тем не менее, как показал дисперсионный анализ данных, фактор «клоны» статистически достоверно ($P < 0,05$) влияет на содержание органического вещества почвы и общего азота, а также pH. Учитывая, что генетическая изменчивость по интенсивности роста на изучаемом объекте высокая [10], неудивительно, что многолетняя репродукция клонов привела к достоверным различиям по C_{орг.} верхнего слоя почвы подкороновой зоны. Так, содержание C_{орг.} в почве под клонами 21¹, 24 и 31 было 2,86; 2,64 и 3,10 % соответственно, и попарная разница между всеми клонами оказалась статистически значимой ($P < 0,02$). Напомним, что пространственно деревья одного и того же клона, из-под которого отбирались почвенные образцы, часто были значительно удалены друг от друга, находясь в различных продольных и поперечных рядах. Кроме того, за два года предпосевной подготовки почва была значительно выровнена по своим химичес-

¹Номера клонов указаны в соответствии с Государственным реестром деревьев лесосеменных плантаций региона.

ким показателям, хотя, как, к сожалению, часто бывает в случаях длительных опытов [6], начальная информация об этом отсутствует. Таким образом, очевидно, что выявленные межклоновые различия связаны с особенностями круговорота органического вещества, а именно первичного продукционного процесса, распределения фотоассимилятов по различным компонентам древесной фитомассы, поступления надземного и корневого опадов и корневых выделений и закрепления поступившего $C_{\text{орг}}$ в почве.

Схожая картина выявлена и по содержанию общего азота почвы. Его концентрация под клонами 21 и 35 составила 0,069 и 0,054 % соответственно, и разница, хоть и очень небольшая, тоже оказалась статистически значимой ($P < 0,05$). Соотношение C/N у этих клонов (21,6 и 24,6 соответственно) также было статистически значимым. Таким образом, продукционные характеристики клонов сказываются на процессах и компонентах круговорота органического вещества в почве, что отражается на свойствах ее гумусово-аккумулятивного слоя.

Представляет интерес влияние клонов на содержание в почве подвижного $K_{\text{НС}}$. Например, под клонами 21 и 35 его концентрация составила 13 и 8 мг · 100 г⁻¹, и эта существенная разница оказалась статистически значимой ($P < 0,01$). Заметим, что по валовому содержанию калия разница между этими почвенными образцами недостоверна. Можно сделать вывод, что данные почвенные образцы различаются по подвижности калия; скорее всего, за счет различного количества и качества корневых выделений в части, касающейся анионов органических кислот [16, 17].

Максимальное варьирование по изученным клонам наблюдали в содержании $P_{\text{НС}}$ (см. табл. 1). При этом достоверная разница наблюдалась только между клонами 41 и 122 (50 и 44 мг · 100 г⁻¹ соответственно). Очевидно, эта относительная пестрота является следствием совокупности факторов, а именно внесения фосфорных удобрений при посадке и потребления деревьями в ходе продукционного процесса.

В почве из-под некоторых клонов, которые наиболее различаются по содержанию

различных химических элементов в хвое [10], мы определяли содержание различных форм питательных элементов и рН в динамике. Для этого образцы почв из-под контрастных клонов дополнительно отбирали осенью 2003 и летом 2004 гг. Дисперсионный анализ данных выявил, что влияние как клонов, так и сроков отбора было статистически достоверным ($P < 0,001$), а их взаимодействие не оказывало влияния ($P > 0,05$).

Варьирование содержания различных металлов в почве под разными клонами оказалось более выраженным (табл. 2). При этом межклоновые различия во многих случаях по тем или иным элементам были статистически значимы. Так, содержание Cr в почве под клонами 41 и 76 составляло 25 мг · кг⁻¹ и достоверно отличалось от такового под семью другими клонами. Содержание Mn было минимальным в почве под клоном 45 (420 мг · кг⁻¹), достоверно отличаясь от такового для девяти других клонов. Уровень значимости влияния клонов на содержание Ti был очень близок к достоверному, а для таких элементов, как Zr, Ca и Pb, близок к 0,10. Для выявления клонов, наиболее отличающихся по химическому составу почвы, мы оценили суммарную частоту достоверных различий по элементам, продемонстрировавшим достоверное влияние клонов (см. табл. 2). Поскольку всего изучено 13 клонов и для 10 элементов влияние клона было статистически достоверным ($P < 0,05$), то для одного клона максимально возможное число случаев достоверной разницы с остальными клонами составляет $12 \cdot 10 = 120$. По этому показателю сильнее отличаются от других клоны 76, 45, 32, 74 и 41 (рис. 1), которые имеют более 25 % от возможного числа достоверных различий от других клонов.

Эти выводы в основном подтверждает и экстракция главных компонент из матрицы данных с различными клонами и контрольной почвой соседнего ненарушенного леса в качестве объектов (14 строк) и содержанием различных химических элементов в почве в качестве переменных (20 столбцов). Всего экстрагировано пять главных компонент, из которых первая главная компонента отвечает за 55 % от общей дисперсии содержания химических элементов в почве под разными

Статистические характеристики содержания различных элементов в почве
в среднем по всем изученным клонам, мг · кг⁻¹

Элемент	Среднее ± ошибка среднего	Мин ÷ макс	КВ, %	Уровень значимости (P) влияния клонов
Mn	642 ± 36	420 ÷ 848	20	0,0007
Co	51 ± 2	41 ÷ 63	15	0,0023
Cr	45 ± 4	25 ÷ 62	33	0,0053
Y	30 ± 2	25 ÷ 51	23	0,0075
Fe *	18 ± 1	14 ÷ 22	14	0,0084
K*	18 ± 1	14 ÷ 24	18	0,0092
Cu	12 ± 1	9 ÷ 16	20	0,0097
V	37 ± 2	28 ÷ 47	17	0,0180
Ga	18 ± 1	14 ÷ 22	16	0,0211
Zn	39 ± 1	32 ÷ 45	11	0,0256
Ti*	6 ± 0	5 ÷ 7	17	0,0603
Zr	239 ± 14	157 ÷ 332	22	0,1182
Ca*	13 ± 0	9 ÷ 15	12	0,1305
Pb	15 ± 0	12 ÷ 17	10	0,1449
Sr	218 ± 3	202 ÷ 236	5	0,2170
Mo	7 ± 1	3 ÷ 11	30	0,2919
Rb	64 ± 1	61 ÷ 69	3	0,4098
Nb	36 ± 2	28 ÷ 52	17	0,5029
Ni	15 ± 0	14 ÷ 17	6	0,8749
As	5 ± 0	2 ÷ 7	32	0,8885

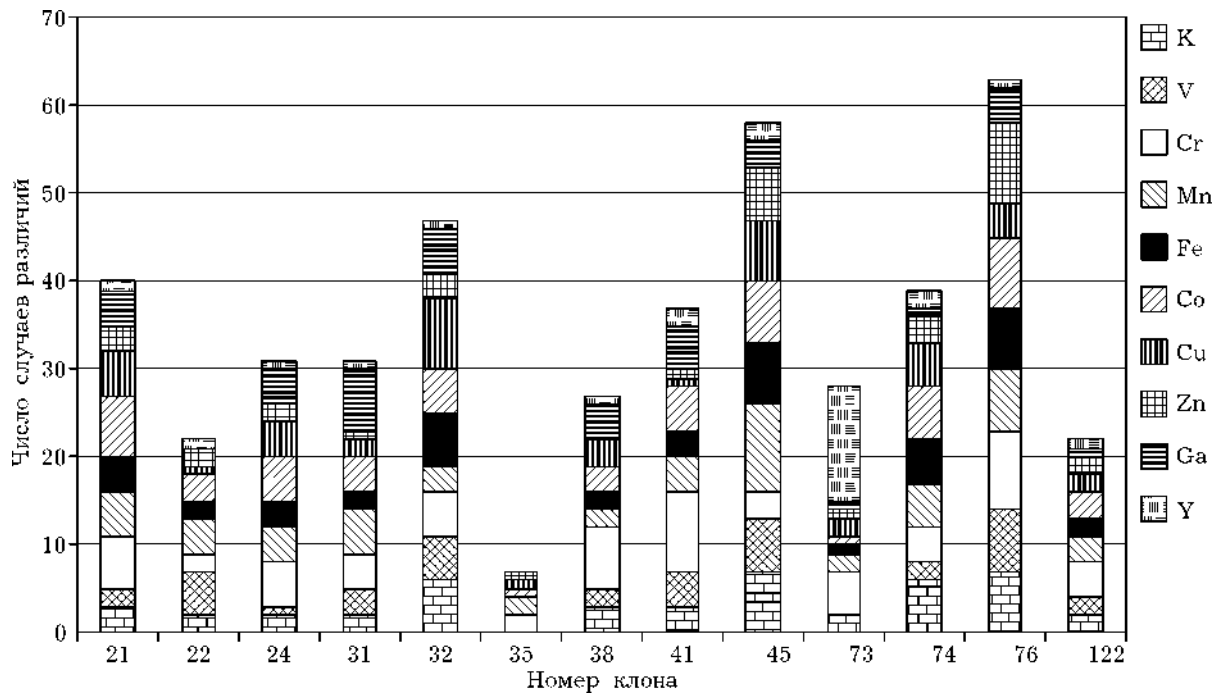
* В г · кг⁻¹.

Рис. 1. Число случаев достоверной разницы между клонами в сумме по 10 элементам.

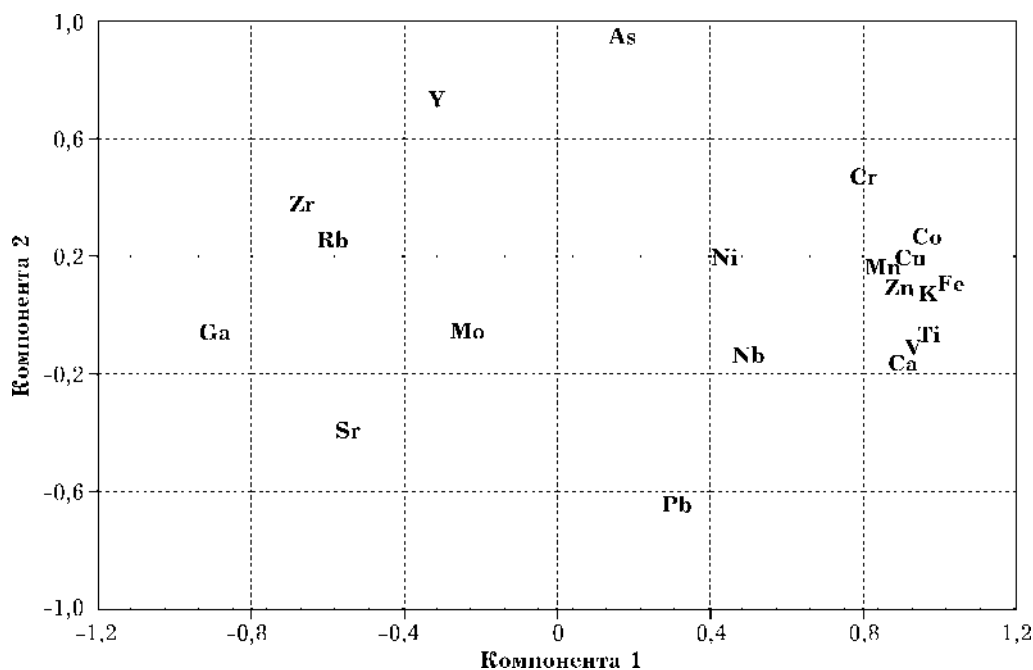


Рис. 2. Анализ методом главных компонент: коэффициенты корреляции исходных переменных (содержания различных элементов в почве) с 1-й и 2-й главными компонентами.

клонами. Обе компоненты поляризованы. Положительный полюс 1-й компоненты (рис. 2) образован целой группой металлов, испытывающих достоверное (Fe, Cu, Mn, Co, Cr, Zn, V) или околостойверное (Ti, Ca) влияние клонов (см. табл. 2). В этой группе находятся и все изученные элементы с большими кларками (Fe, Ca, K, Ti) и элементы, которые относительно более подвижны, вовлечены в биологический круговорот и важны для питания растений. Из этой группы Mn, который является компонентом ряда важных ферментных систем, осуществляющих трансформацию углеводов, положительно коррелирует с содержанием органического вещества (табл. 3), что свидетельствует о его сильной вовлеченности в биологический круговорот. Для других металлов этой группы (Co, Cr и Cu) выявлена достоверная отрицательная связь с содержанием в почве легкоподвижного фосфора, что, скорее всего, обусловлено связыванием легкоподвижного фосфора катионами многовалентных металлов. Содержание V и Ti в почве имело положительную связь с содержанием нитратов (см. табл. 3), что может свидетельствовать об их мобилизации для нейтрализации заряда почвенного ра-

створа в дерново-подзолистой почве, обедненной катионами металлов, и/или нахождения в составе нитратсодержащих минералов. Отрицательный полюс образован Ga, также испытывающим достоверное влияние различных клонов на его содержание в почве.

Положительный полюс 2-й компоненты, которая берет на себя уже небольшую (13 %) долю общей дисперсии данных, определяет As, а отрицательный – Pb. При этом оба элемента имеют маленькие кларки и их содержание в почве не испытывает достоверного влияния клонов (см. табл. 2). Наряду с Mn, содержание Pb оказалось тесно связанным с содержанием ОВ в почве (см. табл. 3), что согласуется с данными других авторов [18, 19] и способностью Pb образовывать устойчивые комплексы с органическими веществами.

Расположение различных почвенных образцов в плоскости первых двух главных компонент представлено на рис. 3. Фактически в каждом квадранте лежит группа образцов, более или менее обособленная от других. Например, клоны 76, 45 и 73 располагаются удаленно от других, на отрицательном полюсе 1-й компоненты. Обратим вни-

Коэффициенты корреляции различных почвенных характеристик

Элемент	pH	P _{подв}	N-NO ₃	K _{НСl}	N _{общ}	ОВ
Mn	-0,04	-0,32	0,33	0,38	0,49	0,56
Co	-0,19	-0,61	0,48	0,12	0,26	0,24
Cr	-0,06	-0,68	0,30	-0,03	0,16	0,10
Y	0,58	-0,22	-0,53	-0,16	-0,03	-0,07
Fe	-0,33	-0,47	0,52	0,23	0,31	0,30
K	-0,35	-0,45	0,51	0,31	0,34	0,36
Cu	-0,17	-0,58	0,49	0,17	0,22	0,27
V	-0,45	-0,35	0,58	0,28	0,28	0,27
Ga	0,07	0,51	-0,46	-0,22	-0,34	-0,30
Zn	-0,20	-0,41	0,47	0,30	0,41	0,42
Ti	-0,44	-0,43	0,60	0,20	0,22	0,22
Zr	0,45	0,07	-0,59	-0,17	-0,27	-0,22
Ca	-0,19	-0,18	0,52	0,39	0,55	0,48
Pb	-0,30	0,61	0,22	0,55	0,51	0,53

П р и м е ч а н и е. Статистически достоверные значения коэффициентов корреляции выделены жирным шрифтом.

мание, что клоны 22, 32 и 122, которые различаются по морфологическим особенностям и, как показано ранее [10], по экстремальным значениям содержания различных

элементов в хвое, лежат довольно близко друг к другу.

Таким образом, даже на фоне в целом небольшого варьирования выявлено досто-

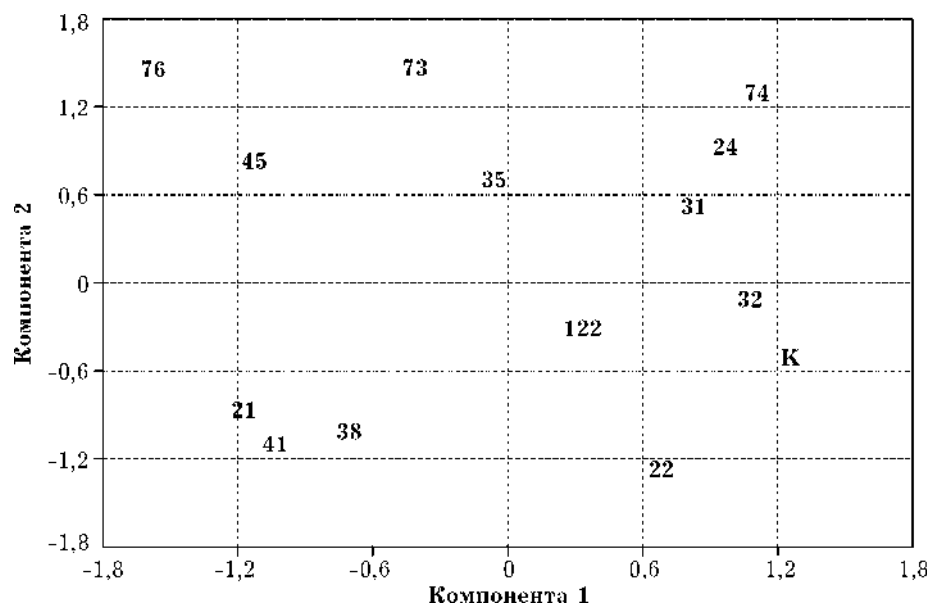


Рис. 3. Анализ методом главных компонент: расположение различных образцов почвы (клонов и контрольного) в плоскости первых двух главных компонент (значения главных компонент для изученных объектов).

верное влияние генетической изменчивости сосны обыкновенной на содержание различных макро- и микроэлементов и катионов тяжелых металлов в поверхностном гумусово-аккумулятивном горизонте почвы. Иначе говоря, 23 лет биологического круговорота с участием древесных растений оказалось достаточно для того, чтобы генетически обусловленные биогеохимические особенности деревьев изменили некоторые характеристики поверхностного слоя почвы. Роль древесных растений в выносе металлов из почвы принципиально важна, так как в зрелом лесном биогеоценозе запас элементов в надземной фитомассе может составлять от 70 до 90 % от запаса во всем биогеоценозе, даже с учетом метровой толщи почвы [11].

Поступление и содержание элементов в поверхностном (гумусовом) слое почвы наземных экосистем обусловлено атмосферными осадками (как жидкими, так и твердыми) и итоговой составляющей процессов биологического круговорота элементов [20], при этом в биологический круговорот элементы входят/выходят за счет выветривания минеральной составляющей почвы и вымывания в подпочвенные слои. В нашем случае поступление с атмосферными осадками не превышает фонового для данной территории, и в любом случае оно одинаково для участка незначительной площади. Кроме того, показано, что в относительно незагрязненных районах концентрация различных элементов в гумусово-аккумулятивном слое почв лесных экосистем является плохим индикатором поступления этих элементов с атмосферными осадками [21]. Выветривание обусловлено в основном воздействием анионов кислот на минеральную составляющую почвенной матрицы, при этом корни растений как непосредственно, за счет корневых выделений, так и опосредованно, за счет развития микоризы, служат одним из основных поставщиков низкомолекулярных органических анионов в почву. Вымывание в подкрановой зоне отдельно стоящих деревьев обусловлено поступлением почвенного раствора в подпочвенные слои, что связано с потреблением влаги деревом, которое, в свою очередь, связано с продукционным процессом. Таким образом, даже процессы

входа и выхода элементов из биологического круговорота в значительной степени тоже опосредуются физиолого-биохимическими особенностями древесного растения, следовательно, его генотипическими особенностями.

Итоговая составляющая процессов биологического круговорота элементов, определяющая их содержание в гумусово-аккумулятивном слое наземных экосистем, зависит от поглощения растениями и возвращения поглощенных элементов в почву с над- и подземными опадами. И если надземный опад может составлять незначительную часть продукции хвойных деревьев, кроме того, транслокация металлов в надземные части может быть затруднена [21], то продукцию и отмирание мелких корней деревьев очень важно учитывать в ходе дальнейшей оценки межклоновых различий. Показано, что до 60–80 % первичной продукции деревьев может быть потрачено на оборот мелких корней [22], при этом транслокация фотоассимилятов в эти органы усиливается при ухудшении условий питания дерева [23]. Кроме того, нам неизвестны работы, которые бы представляли результаты изучения степени и эффективности влияния корневых выделений деревьев основных лесообразующих пород на мобилизацию различных металлов и фосфора из органоминеральных и/или минеральных компонентов почвы в полевых условиях. При этом именно ризосфера определяет доступность различных элементов для растения [24]. Очевидно, и опад, и корневые выделения подвержены значительной генетической изменчивости в пределах одного вида лесообразующих пород. Исходя из полученных результатов и учитывая, что изучаемые клоновые плантации сосны созданы прививкой, можно предположить определяющее влияние генетических особенностей привоя на элементный состав не только надземной, но и подземной фитомассы, имеющей генотип подвоя.

В любом случае в условиях нашего опыта уменьшение содержания металла в гумусово-аккумулятивном горизонте свидетельствует о его большем выносе и закреплении в фитомассе (как над-, так и подземной) деревьями разных клонов. В настоящее время нами

проводится изучение элементного состава компонентов фитомассы деревьев исследуемых клонов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, представленные предварительные результаты позволяют сделать вывод о том, что, по крайней мере, шесть клонов сосны обыкновенной, растущих на лесосеменной плантации Озерского лесхоза Алтайского края, могут быть перспективны с точки зрения выноса из почвы и, следовательно, закрепления в древесине некоторых металлов; при этом такие деревья нужно будет использовать для озеленения или восстановления растительности на загрязненных территориях, но они не должны использоваться на промышленную переработку или в качестве топлива. Другие же клоны, наоборот, не выносят из почвы металлы и обладают определенным потенциалом для производства древесины как промышленного сырья на загрязненных территориях. Мы назвали результаты анализа изменения концентрации элементов в почве под разными клонами предварительными в том смысле, что для однозначных выводов о влиянии того или иного клона на перераспределение элементов по компонентам экосистемы необходимы оценки: а) запасов различных элементов в компонентах растительного вещества сосны, как основного доминанта растительного сообщества, б) интенсивности процессов трансформации элементов и, по возможности, в) полевых опытов в условиях загрязненных территорий. Связанный с этим огромный объем работы с необходимостью выдвигает на первый план настоятельную потребность в применении такого мощного исследовательского инструмента, как математические модели, при этом к настоящему времени разработаны и используются модели круговорота углерода и различных элементов для лесных экосистем. Однако выявление нами перспективных клонов позволяет более целенаправленно проводить дальнейшие селекционные исследования и уменьшить объем работы, который необходимо провести для оценки процессов трансформации металлов

различными клонами деревьев в условиях длительного полевого опыта.

Авторы признательны д-ру биол. наук А. А. Титляновой за замечания, сделанные при подготовке рукописи к печати, и д-ру биол. наук В. М. Ефимову за консультации по статистическому анализу данных. Авторы благодарны ст. лаборанту ИПА СО РАН С. Б. Дроздовой за большой объем аналитической работы и работы, выполненной при подготовке образцов к анализам.

Исследования проведены при финансовой поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 127.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. И. Молотков, И. Н. Патлай, Н. И. Давыдова и др., Селекция лесных пород, М., 1982.
2. С. А. Петров, Разработка основ систем селекции древесных пород, Рига, 1981, 103–105.
3. Z. H. Xu, P. G. Saffigna, G. D. Farquhar et al., *Tree Physiol.*, 2000, **20**: 18, 1209–1217.
4. W. E. Kronstad, D. N. Moss, *Physiology-Beeding of Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments*, INRA, Versailles, 1991, 319–335.
5. M. Mandre, J. Kloseiko, K. Ots, L. Tuulmets, *Environ. Pollution*, 1999, **105**: 2, 209–220.
6. Z. H. Xu, N. Prasolova, K. Lundkvist et al., *For. Ecol. Manage.*, 2003, **186**: 1–3, 359–371.
7. G. Brummer, U. Herms, *Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems*, Dordrecht–Boston–London, 1983, 233–243.
8. А. Л. Ковалевский, Биогеохимия растений, Новосибирск, 1991.
9. Н. Fober, *Arbor. Kor.*, 1986, 31, 195–204.
10. В. В. Тараканов, Структура изменчивости, селекция и семеноводство сосны обыкновенной в Сибири: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук, Красноярск, 2003.
11. J. Mackensen, M. Tillery-Stevens, R. Klinge, H. Folsater, *Plant Ecol.*, 2000, **151**: 1, 101–119.
12. K. Makkonen, H.-S. Helmisaari, *For. Ecol. Manage.*, 1998, **102**: 2–3, 283–290.
13. Агрохимический проект и рекомендации по применению удобрений, гербицидов и ядохимикатов в Первомайском лесном питомнике Озерского ОП ЛПХ (отчет отдела почвоведения и химизации лесного хозяйства Алтайского филиала Центра НОТи УП Минлесхоза РСФСР), Барнаул, 1979.
14. Агрохимические методы исследования почв, М., 1975.
15. В. Б. Барышев, Ю. П. Колмагоров, Г. Н. Кулипанов, А. Н. Скринский, *Журн. аналит. химии*, 1986, 41, 389–401.
16. S. Radersma, P. F. Grierson., *Plant and Soil*, 2004, **259**: 2, 209–219.
17. E. Hoffland, G. R. Findenegg, J. A. Nelemans, *Ibid*, 1989, **113**: 2, 161–165.

18. H-S. Helmisaari, J. Derome, H. Fritze et al., *Water Soil Pollut.*, 1995, **85**: 11, 1727–1732.
19. L. Ukonmaanaho, M. Starr, J. Mannio, T. Ruoho-Airola, *Environ. Pollut.*, 2001, **114**: 1, 63–75.
20. M. G. R. Cannell, R. C. Dewar, *Adv. Ecol. Res.*, 1994, **25**: 1, 59–104.
21. P. Tamminen, M. Starr, E. Kubin, *Plant and Soil*, 2004, **259**: 1, 51–58.
22. B. Yang, W.S. Shu, Z.H. Ye et al., *Chemosphere*, 2003, **52**: 9, 1593–1600.
23. R. Wu, J. E. Grissom, S. E. McKeand, D. M. O'Malley, *BMC Ecology*, 2004, **4**: 14, doi:10.1186/1472-6785-4-14.
24. X. Shan, Z. Wang, W. Wang et al., *Anal. Bioanal. Chem.*, 2003, **375**: 3, 400–407.

Influence of Various Clones of Scots Pine on the Properties of Sod-Podzol Soil

N. B. NAUMOVA, R. P. MAKARIKOVA, V. V. TARAKANOV, K. P. KUTSENOGII,
L. I. MILYUTIN, O. V. CHANKINA, T. I. SAVCHENKO

On a 25-year old seed-forest plantation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Altai region, a significant influence of various clones of this species on the content of macro-and trace elements and on the content of heavy metals in the surface layer of soil is found. It is demonstrated that six clones can be promising from the point of view of carrying out some metals from the soil and their fixation in the phytomass. The study permits supplementing and focusing further studies of breeding in the direction of control of the chemical composition and decrease of the volume of works necessary for a detailed estimation of transformation of metals by various arboreal clones under the conditions of a long-term field experience.