

УДК 631.41

**ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ
ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ
ЛЕСОВ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ПОСТАГРОГЕННОЙ
СУКЦЕССИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА
«СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ» (РОССИЯ)**

П. Р. Енчилик^{1,2)}, О. В. Шопина^{1,2)}, И. Н. Семенов^{1,2)}

¹⁾*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук,
ул. Профсоюзная, 84/32, стр.14, 117997, Москва, Россия, polimail@inbox.ru*

²⁾*МГУ им. М. В. Ломоносова, географический факультет, Ленинские горы, д. 1,
119234, Москва, Россия, semenkov@geogr.msu.ru*

В нацпарке «Смоленское Поозерье» изучена дифференциация подвижных форм 28 элементов в текстурно-дифференцированных почвах под агроценозами, лугами и лесам разного возраста, характеризующими 8 стадий восстановления хвойно-широколиственных лесов. Содержание подвижных форм большинства элементов значительно увеличивается в гумусовом горизонте почв средне- и старовозрастных лесов при большем постоянстве содержания в минеральных горизонтах.

Ключевые слова: агрохимические показатели; плодородие почвы; агроландшафты; тяжёлые металлы и металлоиды; подвижные формы элементов; хроносерия; пространственно-временная замена.

**POSTAGROGENIC DYNAMICS OF CONCENTRATION OF
CHEMICAL ELEMENT MOBILE FRACTIONS IN SOILS OF
CONIFEROUS-DECIDUOUS REFORESTATION
CHRONOSEQUENCE AT THE SMOLENSKOYE POOZERIE
NATIONAL PARK (RUSSIA)**

P. R. Enchilik^{1,2)}, O. V. Shopina^{1,2)}, I. N. Semenov^{1,2)}

¹⁾*Center for Forest Ecology and Productivity of the RAS, st. Profsoyuznaya, 84/32,
building 14, 117997, Moscow, Russia, polimail@inbox.ru*

²⁾*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 1, 119234,
Moscow, Russia, semenkov@geogr.msu.ru*

The differentiation of mobile fractions of chemical elements in the soil horizons at different stages (agrocenosis, meadow and forest with different ages of the tree stand) of coniferous-deciduous reforestation chronosequence was studied at the Smolensk Poozerie National Park. The concentration of elements mobile fractions significantly increased in the humus horizon of soils of middle-aged and old-aged forests. The significance of changes decreased in mineral horizons.

Keywords: ecological indicators; agriculture; soil fertility; heavy metals and metalloids (HMMs); mobile fractions; space-for-time substitution; chronosequence.

Постагрогенное восстановление почв характерно для многих лесных территорий Восточной Европы. Национальный парк «Смоленское Поозерье» расположен между Валдайской и Смоленско-Московской возвышенностью, в области умеренно-континентального климата в переходной полосе между подтаежными широколиственно-хвойными и хвойными лесами. В зависимости от этапа восстановления и возраста хвойно-широколиственных лесов экосистемы Смоленского Поозерья можно разделить на следующие стадии [1]: 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).

Генетические горизонты исследованных почв объединены в группы согласно [2]: органогенные (О, Н) / грубогумусовые, т.е. возникшие в верхней части старопахотного горизонта в ходе естественного лесовосстановления (W, АО, ао), органоминеральные (АУ и переходные к нему, Р), элювиальные (ЕL, ВЕL), срединный (ВТ), порода (С). Из высушенных при +40 °С образцов (всего 188) почв подвижные формы металлов извлечены 4 параллельными вытяжками с соотношением почва:раствор 1:10 [3, 4]: легкообменные – ацетатно-аммонийным буфером с рН 7,0; труднообменные – ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8; комплексные – ацетатно-аммонийным буфером с 1 % ЭДТА; специфически сорбированные (преимущественно непрочно связанные гидроксидами Fe и Mn) – 1n азотной кислотой. Формы металлов в почвенных вытяжках определены методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой в ИПТМ РАН (г. Черноголовка). Значимость различий концентраций форм элементов на разных стадиях постагрогенной сукцессии определена с помощью теста Манна-Уитни. Различия считали значимыми при уровне $p < 0,05$.

В гумусовых горизонтах на всех стадиях восстановления значимы различия концентраций легкообменных соединений Al, В, Ве, Са, Cd, Со, Fe, Mg, Mn и Ti. Содержание В, Ве, Са, Cd, Со, Mg и Sr значимо

изменяются на ранних стадиях сукцессии, а Al, Ba, Cu, Fe, Mn и Zn – на поздних. По мере восстановления растительности в гумусовом горизонте увеличивается концентрация легкообменного Mn и снижается Cu. Содержание Al, B, Be и Fe максимально в почвах под средневозрастными (70–80 лет) березняками (4 стадия восстановления), Ba и Ca – на 5 – 7 стадиях – в почвах под старовозрастными лесами. Содержание Sr и Mg минимально в почвах под средневозрастными (35 – 60 лет) березняками (3 стадии), Cd, Co, Mg и Ti – под средневозрастными (70–80 лет; стадия 4) березняками и Zn – под старовозрастным елово-широколиственным лесом (стадия 6).

Концентрации трудно обменных соединений Co, Ti и Zn в гумусовом горизонте значимо возрастают по мере восстановления хвойно-широколиственных лесов. Содержание Ba, Be, Cd и Mn значимо изменяется на начальных стадиях восстановления, достигая максимальных значений к 5 стадии. На 4 стадии восстановления концентрации Al, Sr, Ca, Cu, Fe возрастают, а B падают.

Для гумусовых горизонтов почв по мере реградации свойственно значимое повышение содержания комплексных соединений Ca, и снижение – Cu. Концентрации Cd в почвах средневозрастных березняков значимо возрастают к 5 стадии. Содержание комплексных соединений Al, Mg, Ba, Be, Co, Fe, Mn, Ti, Sr и Zn значимо увеличиваются на 4 стадии восстановления, а B – значимо снижаются.

Концентрации сорбированных форм Zn значимо возрастают, а Be, Fe и Mg падают в гумусовых горизонтах почв по мере восстановления растительности. Содержание сорбированных соединений Al, Ba, Cd, Cu, B, Ca и Mn максимальны на более поздних (5-6) стадиях восстановления.

В элювиальном горизонте на разных этапах восстановления контрастность изменений содержаний большинства элементов снижается. Значимые изменения концентраций подвижных форм характерны только для отдельных элементов. Так, от ранних стадий восстановления к поздним значимо снижение концентраций легко обменных соединений B, Be, Cd, Co и Ti, трудно обменного B, комплексного Sr и сорбированных Ca и Sr. По мере восстановления растительности в элювиальном горизонте значимо возрастает содержание трудно обменных форм Cd и сорбированного B. Содержание комплексных соединений Be и Cu значимо увеличивается на 4 стадии, сорбированного Sr – значимо снижается на 6 стадии.

В иллювиальном горизонте по мере восстановления растительности от агроценозов к старовозрастным лесам значимо снижается содержание легкообменных форм Ba, Ca, Mn и Sr. На 4 стадии восстановления максимальны содержания легко обменных форм B, Be, Cd, Co и Ti. Концентрация трудно обменных форм Al и Ti возрастают от ранних стадий сукцессии к поздним, а концентрация Mn по мере восстановления растительности снижается. На 4 стадии восстановления содержание трудно обменных Ca и Mg максимально, а Cu – минимально. Концентрация комплексных соединений Ba, Be, Mg и Mn значимо

возрастает на 4 стадии. Содержания сорбированных форм Ti значительно снижаются на 5 стадии.

В породе изменения концентрации форм элементов значимы в единичных случаях. Содержания легко обменного Cu значительно возрастают на 4 стадии. Содержания трудно обменного Zn в породе значительно снижаются в старовозрастных лесах. Концентрации комплексных соединений Ba по мере восстановления почв значительно возрастают. Содержания сорбированных соединений Cd, Cu и Zn значительно снижаются к поздним стадиям. Концентрации всех исследованных подвижных форм многих элементов в породе незначительно возрастают в почвах 4 – 5 стадий восстановления.

Значимые изменения концентраций подвижных форм элементов в зависимости от стадии восстановления после распашки свойственны гумусовым горизонтам постагрогенных почв Смоленского Поозерья, где наиболее интенсивны процессы почвообразования происходят на луговой стадии и стадии зарастания молодым лесом, что приводит к интенсивному накоплению элементов питания [5] и максимальной их аккумуляции в почвах под средневозрастными лесами. Так, в гумусовых горизонтах содержания большинства форм элементов увеличиваются в почвах под средневозрастными (4 стадия восстановления) и старовозрастными лесами (5 стадия восстановления). В нижележащих горизонтах значимость изменений концентраций подвижных форм элементов резко снижается, в породе значимые изменения характерны для минимального числа элементов и только на отдельных, в большинстве случаев поздних, этапах восстановления: легкообменного Cu, труднообменного Zn, комплексного Ba и сорбированных Cd, Cu и Zn. В минеральных горизонтах значимые изменения этих элементов в большей степени характерны для поздних стадий восстановления.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-74-20171).

Библиографические ссылки

1. Stages of restoration of components of post-agrogenic pine forest ecosystems at the National Park “Smolensk Lakeland” / O. V. Shopina [et al.] // Eurasian Soil Science. 2023. Vol. 56. № 1. P. 16–28.
2. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов [и др.]. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. Method of determining loosely bound compounds of heavy metals in the soil / T. Minkina [et al.] // MethodsX. 2018. № 5. P. 217–226.
4. Пансю М., Готеру Ж. Анализ почвы. Справочник. Минералогические, органические и неорганические методы анализа. СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. 800 с.
5. Трансформация органического вещества в постагрогенных почвах средней тайги / Г. Я. Елькина [и др.] // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2019. Vol. 152. P. 100–107.