

CONTEMPORARY DISTRIBUTION
OF RADIONUCLIDES IN FOREST ECOSYSTEMS
OF POLISSYA OF UKRAINE

V. P. KRASNOV, Dr. habil, O. O. ORLOV, PhD,
T. V. KURBET, PhD
Polissya branch of URIFFM

Data on ^{137}Cs distribution in the components of forest ecosystems on the example of pine stands in different forest site conditions – fresh and wet bors and wet subors – are presented. Obtained data can be used for forest rehabilitation after radioactive contamination.

Key words: forest stands, radionuclides, forest ecosystems, radioactive contamination, forest site conditions.

СОВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
РАДИОНУКЛИДОВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ
ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ

В. П. КРАСНОВ., д-р с.-х. наук, А. А. ОРЛОВ,
канд. биол. наук, Т. В. КУРБЕТ, канд. с.-х. наук
Полесский филиал УкрНИИЛХА

В статье представлены материалы относительно распределения ^{137}Cs в компонентах лесных экосистем на примере сосновых насаждений в разных типах лесорастительных условий – свежих и влажных борах, влажных суборах. Полученные данные можно использовать при реабилитации лесов после радиоактивного загрязнения.

Ключевые слова: лесные насаждения, радионуклиды, лесные экосистемы, радиоактивное загрязнение, тип лесорастительных условий.

УДК 630*425

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ОСАДКОВ ПОД ПОЛОГОМ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ

А. А. МАРТЫНЮК, д-р с.-х. наук,
Е. В. ДОРНИЧЕВА,
Т. В. РЫКОВА,
Всероссийский научно-исследовательский
институт лесоводства и механизации лесного
хозяйства (ВНИИЛМ), Россия

Рассматриваются закономерности изменения химического состава природных осадков в сосновых экосистемах, подверженных техногенному воздействию. Максимальные концентрации загрязнителей отмечаются в пробах у стволов деревьев, что формирует наиболее высокие техногенные нагрузки выпадающих веществ на нижние ярусы фитоценоза и лесную почву в пристволевой и подкороновой частях насаждения.

Ключевые слова: загрязнение среды, лесные экосистемы, природные осадки, химический состав, сосновые насаждения, стволовой сток.

Атмосферные осадки играют важную роль в жизнедеятельности лесных экосистем, обеспечивая дополнительное поступление в почву питательных веществ. Насаждения способны не только перераспределять объемы выпадающих осадков, но и изменять их химический состав [1, 5], что особенно важно учитывать при загрязнении среды техногенными выбросами. Знание закономерностей изменения химического состава природных осадков позволяет глубже понять взаимодействие компонентов лесной экосистемы в условиях техногенеза, совершенствовать систему

оценивания уровня их загрязнения и средоохранной роли лесов в неблагоприятной экологической ситуации.

В этой работе изложены основные результаты исследований трансформации химического состава твердых и жидких осадков под древесным пологом сосновых насаждений, подверженных воздействию промышленных выбросов предприятий химической, нефтехимической и строительной промышленности. Исследования проводились в сосняках II и IV классов возраста на пробных площадях в зеленомошно-лишайниковых, зеленомошниковых (A_2) и сложных (B_2) типах леса, расположенных на разном удалении от источников промышленного загрязнения.

Изучение закономерностей пространственного загрязнения снега проводили по смешанным пробам (из 20 – 25 индивидуальных), отобранным снегомером на всю глубину покрова в период наибольшего снегонакопления. Для оценивания изменения химического состава снега его пробы отбирали с пятикратной повторностью у стволов деревьев, под их кронами и в межкороновом пространстве (окнах). Дождевые осадки собирали в пластиковые или стеклянные осадкоприемники, которые устанавливали у стволов деревьев сосны (сбор осуществляли с помощью полиэтиленовых поясов, врезанных в кору), под кронами и в межкороновых пространствах. Количество осадкоприемников в каждом варианте эксперимента колебалось от 3 до 10 единиц, что связывалось с изменчивостью химического состава осадков, а также необходимостью обеспечения минимального количества воды для химанализов. Определение загрязняющих веществ в

Таблица 1

**Химический состав снеговых вод и накопление загрязнителей под сосновыми насаждениями
и на открытых местоположениях**

Показатели загрязнения	Среднее содержание, мг/л		Fa = 0,05		Среднее накопление веществ, кг/га	
	лес	открытое место	факт.	теор.	лес	открытое место
Величина pH	5,94 ± 0,10	5,87 ± 0,09	0,26	1,67	–	–
Плот. остаток	0,10 ± 0,05	0,06 ± 0,03	0,56	2,64	0,09	0,07
Сульфаты	12,50 ± 1,83	5,16 ± 0,65	17,1	1,75	10,8	6,1
Нитраты	0,93 ± 0,09	0,72 ± 0,09	2,7	1,74	0,8	0,85
Аммоний	1,03 ± 0,08	0,60 ± 0,05	23,2	1,75	0,88	0,71
Карбонаты	42,7 ± 4,2	43,0 ± 2,3	0,01	2,74	36,7	50,7
Хлориды	2,63 ± 0,51	1,45 ± 0,20	7,0	1,92	2,3	1,7
Натрий	1,11 ± 0,07	1,02 ± 0,05	1,0	1,73	0,95	1,2
Калий	0,58 ± 0,04	0,46 ± 0,03	7,0	1,73	0,5	0,54
Кальций	6,4 ± 0,99	3,6 ± 0,4	8,5	1,84	5,5	4,2

пробах осадков проводили потенциометрическим (величина pH), аналитическим (соединение азота, сульфаты, хлориды) и плазменно-эмиссионным (металлы) методами [4, 8].

Статистическая обработка данных исследований показывает (табл. 1), что в сосновых насаждениях (расчеты выполнены по объединенной выборке насаждений разных возрастных групп и полнот) снег содержит больше химических соединений, чем на открытых местоположениях (поля, большие прогалины, вырубки). Отмеченная тенденция характерна практически для всех изученных химических веществ, а для сульфатов, соединений азота, хлоридов, калия и кальция различия в концентрациях между лесом и полем достоверны при 95% уровне значимости. Некоторое подщелачивание снеговых вод в сосняках, по сравнению с открытыми местоположениями, объясняется поступлением пылевых компонентов выбросов в снежный покров. Расчеты (при средних влагозапасах в лесу – 86 мм, на открытых местностях – 118 мм) показывают, что за зимний период в снеге сосновых насаждений может накапливаться,

по сравнению с открытым местом, в 1,8 раза больше сульфатов, в 1,4 раза – хлоридов, в 1,3 раза – кальция и пылевых веществ, в 1,2 раза – аммонийного азота.

Различия между содержанием химических веществ в рядах и междурядьях лесных культур достоверны только для аммонийного азота, меди и никеля (табл. 2). В насаждениях старших возрастных групп, для которых характерны отсутствие рядового размещения деревьев и относительно сниженная сомкнутость полога древостоя, различия в содержании химических веществ в пробах из-под кроны и стволов деревьев, по сравнению с данными для межкрупных пространств, достоверны по сере сульфатов, хлоридам и меди. Вместе с тем, для обеих групп насаждений просматривается устойчивая тенденция к повышению концентраций большинства веществ в пробах снега, отбираемых у стволов и под кроной при сравнении с межкрупными пространствами.

Изучение химического состава дождевых осадков в спелых насаждениях показывает (табл. 3), что достоверные различия (при $\alpha = 0,05$) между

Таблица 2

Изменение химического состава снега под сосновыми насаждениями (1995–1996 гг.)

Показатели загрязнения	Среднее содержание (мг/л) в местах отбора проб				
	Молодняки		Зрелые		
	в рядах культур	в междурядьях	у стволов	под кронами	в «окнах»
Величина pH	7,63 ± 0,17	7,57 ± 0,14	7,50 ± 0,05	7,36 ± 0,06	7,48 ± 0,10
N – NO ₃ ⁻	0,76 ± 0,23	0,75 ± 0,24	0,65 ± 0,18	0,47 ± 0,07	0,50 ± 0,14
N – NH ₄ ⁺	0,62* ± 0,16	0,31 ± 0,06	0,22 ± 0,06	0,34 ± 0,09	0,30 ± 0,09
S – SO ₄ ²⁻	1,20 ± 0,18	1,13 ± 0,25	1,29* ± 0,07	1,29* ± 0,37	0,70 ± 0,14
Cl ⁻	3,32 ± 0,35	4,01 ± 0,28	3,80* ± 0,24	4,28* ± 0,59	3,01 ± 0,29
Ca ²⁺	11,89 ± 2,87	14,54 ± 3,30	4,49 ± 0,44	3,66 ± 0,43	3,89 ± 0,38
Mg ²⁺	1,24 ± 0,24	1,32 ± 0,30	1,13 ± 0,10	0,81 ± 0,10	0,94 ± 0,06
K ⁺	2,30 ± 0,34	2,56 ± 0,22	1,61 ± 0,29	1,72 ± 0,41	1,16 ± 0,15
Cu ²⁺	0,10** ± 0,04	0,03 ± 0,01	0,05** ± 0,01	0,05** ± 0,03	0,02 ± 0,003
Zn ²⁺	0,08 ± 0,01	0,14 ± 0,08	0,09 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,09 ± 0,007
Ni ²⁺	0,06* ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,02	0,03 ± 0,016

Примечание: * – различия достоверны с $\alpha = 0,05$; ** – различия достоверны с $\alpha = 0,10$

Изменение концентрации некоторых химических элементов в пробах дождевых вод из-под зрелых древостоев сосны

Показатели	Средние концентрации в местах отбора, мг/л		
	стволовой сток	осадки под кроной	осадки в «окнах»
рН	5,19 ± 0,27	6,65 ± 0,09	6,32 ± 0,08
Хлориды	15,9 ± 1,7	13,1 ± 0,7	12,1 ± 1,1
Сера сульфатов	49,1 ± 4,9	15,4 ± 2,4	1,6 ± 0,2
Азот нитратов	4,9 ± 0,7	1,6 ± 0,4	0,6 ± 0,2
Азот аммония	4,8 ± 0,03	3,9 ± 0,2	1,1 ± 0,2
Кальций	5,9 ± 8,1	19,1 ± 1,9	4,1 ± 0,7
Железо	0,9 ± 0,1	0,3 ± 0,02	0,14 ± 0,01
Калий	0,02	0,01	0,01
Кадмий	0,02 ± 0,004	0,01 ± 0,002	0,01 ± 0,002
Медь	0,06 ± 0,01	0,08 ± 0,03	0,02 ± 0,008
Цинк	7,3 ± 0,9	5,7 ± 0,8	4,6 ± 1,1
Никель	0,12 ± 0,02	0,12 ± 0,02	0,08 ± 0,02
Кобальт	0,08 ± 0,04	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01

данными по стволу стоку и осадками в межкрупных пространствах отмечаются для всех изученных химических элементов и величин рН. Те же выводы (за исключением меди и цинка) можно сделать для различий в пробах стока со стволов и отобранных под кронами сосны. Как и для твердых осадков, наибольшие изменения химизма лесной среды создаются в подкрупном пространстве и особенно у стволов деревьев. Стволовой сток наиболее концентрирован: среднее за летний период содержание в нем серы сульфатов и соединений азота существенно (в 4–35 раз) выше, чем в межкрупных пространствах. Повышено здесь также содержание хлоридов, калия, кадмия, цинка, никеля, кобальта, меди и кальция. Величина рН стволового стока сдвинута в сторону подкисления, по сравнению с другими местами отбора проб, что объясняется специфическими особенностями влияния коры сосны на химизм осадков [7].

Следующим этапом трансформации химического состава атмосферных осадков является их взаимодействие с почвой, которое включает сложный комплекс явлений физико-химической и биологической природы. Лизиметрические воды (использовали лизиметры конструкции Шиловой), прошедшие через лесную подстилку (горизонт А0) и горизонт А₂–А₂В (глубина 30–35 см, где сосредоточена основная масса корней лесной растительности) с приближением к источникам загрязнения имели повышенную щелочность. В этих водах увеличивается содержание сульфатной серы, азота нитратов, калия, меди и кадмия, что согласуется с повышенным содержанием большинства загрязнителей в органогенном горизонте лесных почв [6].

Анализ обобщенных данных по изменению некоторых показателей химического состава дождевых осадков по вертикальному профилю экосистемы показывает (табл. 4), что величина кислотности осадков на всех пробных площадях повышается по мере приближения к источ-

никам загрязнения. Это связано с подщелачивающим действием преимущественно пылевых выбросов предприятий строительного комплекса (цементных заводов). Подщелачивающее воздействие промышленности проявляется по всему надземному профилю фитоценоза и в слое лесной подстилки. Под элювиальным (элювиально-иллювиальным) горизонтом почв величина рН лизиметрических вод в условиях техногенного загрязнения и на фоновых участках выравнивается. При этом наиболее низкие величины рН отмечаются в стволовом стоке (особенно в фоновых условиях), что обусловлено спецификой влияния сосны на химизм природных осадков.

Содержание сульфатной серы в дождевых осадках на всех пробных площадях увеличивается по ряду: над кронами < в окнах < под подстилкой < под кронами < под элювиальным горизонтом почв < в стволовом стоке. Те же закономерности относятся, в целом, к нитратному и аммонийному азоту. С приближением к промышленным предприятиям наблюдается выраженная тенденция к увеличению концентрации выбрасываемых химических веществ в дождевых осадках, что согласуется с выводами других исследователей [2, 3].

ВЫВОДЫ

Химический состав атмосферных осадков лесных экосистем неразрывно связан с общим уровнем и составом химического загрязнения среды промышленными выбросами. При этом в снеговом покрове под сосновыми насаждениями накапливается на 20–80% больше загрязняющих веществ, чем на открытых пространствах.

Древесный полог насаждений значительно влияет на перераспределение загрязняющих веществ, поступающих с атмосферными осадками, внутри лесной экосистемы. Содержание большинства изученных анионов в дождевых осадках увеличивается по ряду: над кронами < в окнах < под лесной подстилкой < под кронами < под элювиальным

Изменение химического состава жидких осадков по вертикальному профилю сосновых экосистем на разном удалении от источников выбросов (пр. пл. 1–4 км; пр. пл. 2–5 км; пр. пл. 14–18 км)

№№ пр. пл.	Показатели химического состава в разных местах отбора проб					
	над кроной	в окнах	под кроной	сток по стволу	ниже A ₀	ниже A ₂ (A ₂ B)
<i>Величина pH</i>						
1	6,6	6,8	6,9	5,2	6,2	5,6
2	7,0	6,7	6,6	5,6	7,1	5,8
14	6,4	6,3	5,3	4,0	5,6	5,5
<i>Сера сульфатов, мг/л</i>						
1	2,9	2,5	14,6	49,1	6,5	26,5
2	11,1	12,8	38,3	68,2	24,8	9,6
14	1,1	1,3	1,3	5,6	3,6	13,5
<i>Азот нитратный, мг/л</i>						
1	1,4	1,5	1,8	4,9	4,8	3,8
2	10,4	3,0	5,6	6,6	2,2	1,8
14	1,2	1,8	2,2	3,1	2,2	2,7
<i>Азот аммонийный, мг/л</i>						
1	2,0	0,7	1,9	4,8	0,8	1,4
2	0,8	0,1	3,6	1,8	0,8	2,5
14	0,8	0,1	8,8	0,1	0,8	0,8

горизонтом почв < в стволовом стоке. Первоочередное подкисление лесной среды природными осадками за счет повышения pH стволового стока происходит вблизи стволов деревьев. Максимальные концентрации загрязнителей наблюдаются в пробах снега у стволов деревьев и дождевых осадков стволового стока, что приводит к формированию наиболее высоких техногенных нагрузок выпадающих веществ на нижние ярусы насаждений и лесную почву в приствольной и подкороновой частях насаждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Воронков Н. А.** Роль лесов в охране вод / Н. А. Воронков. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 286 с.
2. **Давыдова Н. Д.** Ландшафтно-геохимический анализ состояния геосистем территории промышленного воздействия / Н. Д. Давыдова, В. Г. Волкова // География почв и геохимия ландшафтов Сибири. – Иркутск: СО АН СССР. Ин-т географии, 1988. – С. 56 – 75.
3. **Дончева А. В.** Ландшафт в зоне воздействия промышленности / А. В. Дончева. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 98 с.
4. **Дроздова В. М.** Химический состав атмосферных осадков на Европейской части территории СССР / В. М. Дроздова, О. П. Петренчук, Е. Е. Селезнева, М. В. Свистов. – М.: Гидрометеиздат, 1964. – 160 с.
5. **Карпачевский Л. О.** Лес и лесные почвы / Л. О. Карпачевский. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 264 с.
6. **Мартынюк А. А.** Загрязнение лесных подстилок и почв сосновых экосистем выбросами промышленных предприятий / А. А. Мартынюк, А. В. Костенко, Л. Л. Коженков // Антропогенное изменение почв Севера в индустриально развитых регионах. – Апатиты: КНЦ РАН. – 1995. – С. 62 – 63.
7. **Мелехов И. С.** Лесоведение / И. С. Мелехов. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 408 с.
8. **Новиков Ю. В.** Методы исследования качества воды водоемов / Ю. В. Новиков, К. О. Ласточкина, З. Н. Болдина. – М.: Медицина, 1990. – 400 с.

CHANGES OF CHEMICAL COMPOSITION OF NATURAL PRECIPITATION UNDER PINE FOREST CANOPY CROWNS IN CONDITIONS OF TECHNOGENIC CONTAMINATION OF ENVIRONMENT

A. A. MARTINYUK, Dr Habil, K. V. DORONICHEVA, T. V. RYKOVA

All-Russian Research Institute of Forestry and Forest Mechanization(VNIILM), Russia

Regularities of change of chemical composition of natural precipitation in pine ecosystems subjected to technogenic influence are considered. Maximal concentration of pollutants are found in the samples near tree stems. It provides the highest technogenic loading of pollutants on the lower layers of phytocenosis and forest soil near stems and under crowns.

Key words: environment pollution, forest ecosystems, natural precipitation, chemical composition, pine stands, stem flow.

ЗМІНИ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПРИРОДНИХ ОПАДІВ ПІД НАМЕТОМ СОСНОВИХ НАСАДЖЕНЬ В УМОВАХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ СЕРЕДОВИЩА

О. О. МАРТИНЮК, д-р с.-х. наук, К. В. ДОРОНИЧЕВА, Т. В. РИКОВА

Всероссийский научно-дослідний інститут лісівництва і механізації лісового господарства(ВНДІЛМ), Росія

Розглянуто закономірності зміни хімічного складу природних опадів у соснових екосистемах в умовах техногенного забруднення. Максимальні концентрації забруднювачів визначено в пробах біля стовбурів дерев, що обумовлює найвище техногенне навантаження речовин, що випадають з атмосфери, на нижні яруси фітоценозу та лісові ґрунти у пристовбуровій і підкороновій частинах насадження.

Ключові слова: забруднення середовища, лісові екосистеми, природні опади, хімічний склад, соснові насадження, стовбуровий стік.