

УДК 550.47+504.064.2

КУМУЛЯЦИЯ, МИГРАЦИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ФОСФОРА В ПОЧВАХ ГОРОДА АРХАНГЕЛЬСКА

Попова Л.Ф., Никитина М.В.

ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова»,
Институт естественных наук и биомедицины, Архангельск, e-mail: natsciences@narfu.ru

Проведен сравнительный анализ содержания фосфора как одного из основных элементов питания растений в различных типах почв техногенно-антропогенных (культуроземы, урбаноземы, реплантоземы) и природно-антропогенных (дерновые, торфяные) зон города Архангельска, подверженных значительному антропогенному воздействию. Дана оценка степени обеспеченности почвенного покрова города этим химическим элементом. Установлено что, в целом все типы почв селитебной зоны и торфяные почвы городских лесов характеризуются избыточным содержанием фосфат-ионов (> 700 мг/кг). Для них характерно антропогенное «зафосфачивание». Наоборот, все почвы промышленной зоны и дерновые почвы городских лугов испытывают недостаток фосфат-ионов (< 50 мг/кг). Высокое содержание подвижных фосфатов является одной из основных тенденций трансформации городских почв. По содержанию наиболее подвижных фосфатов (1 и 2 группы) почвы городских лугов и техногенно-антропогенных зон города можно считать высоко и очень высоко обеспеченными фосфором. Почвы городских лесов характеризуются средней и повышенной степенью обеспеченности наиболее подвижными формами фосфора. Распределение подвижных форм фосфора по профилю почв природно-антропогенных зон Архангельска, как правило, имеет гумусово-аккумулятивный характер. В почвах техногенно-антропогенных зон наблюдается резкое колебание содержания фосфора как между почвенными разрезами, так и между горизонтами одного профиля.

Ключевые слова: элементы питания, фосфор, функциональные зоны города, основные типы городских почв, кумуляция, миграция, трансформация, антропогенное зафосфачивание почв

CUMULATION, MIGRATION AND TRANSFORMATION OF PHOSPHORUS IN SOIL OF ARKHANGELSK

Popova L.F., Nikitina M.V.

*Northern (Arctic) Federal University Named After M. Lomonosov, Institute of Natural Science and
Biomedicine, Arkhangelsk, e-mail: natsciences@narfu.ru*

A comparative analysis of phosphorus as one of the major plant nutrients in technogenically anthropogenic (kulturozem, urbanozem, replantozem) and natural-anthropogenic (sod, turf) types of soils areas of the city of Arkhangelsk was conducted. Assessment of the content of this chemical element in the soil cover of the city is given. Established that, in general, all types of residential areas soils and peat soils of urban forests are characterized by excessive content of phosphate (> 700 mg/kg). On the contrary, all soils of the industrial zone and sod soils of the urban meadows lack of phosphate (< 50 mg/kg). The high content of mobile phosphates is one of the major trends of transformation of urban soils. According to the content of the most mobile phosphates (groups 1 and 2) soil of the urban meadows and technogenically anthropogenic areas of the city can be considered as the high and very high group. Urban forest soils are characterized by medium and high content of the most mobile forms of phosphorus. Usually, distribution of mobile forms of phosphorus in the soil profile of natural-anthropogenic zones of Arkhangelsk has a humus-accumulative nature. In soils of technogenically anthropogenic zones observed the acute oscillation of the phosphorus content between soil profiles and horizons between one profile.

Keywords: nutrients, phosphorus, functional areas of the city, the main types of urban soils, accumulation, migration, transformation

Элементы питания в почвенном покрове определяют уровень устойчивости и самовосстановления экосистем, поэтому их содержание, наряду с поллютантами, позволяет выявить уровень техногенно-антропогенного воздействия на урбоэкосистемы. Однако оценка этого воздействия должна сводиться к выявлению не столько изменения содержания элементов, сколько к установлению изменений их подвижности [3].

Цель исследования – проанализировать кумуляцию, миграцию и трансформацию фосфора в типичных почвах основных функциональных зон г. Архангельска, оценить уровень их антропогенного зафосфачивания.

Материалы и методы исследований

Объектом исследования был выбран почвенный покров основных функциональных зон г. Архангельска. Техногенно-антропогенные зоны города (промышленная и селитебная) представлены антропогенно преобразованными почвами (урбаноземы, культуроземы, урбоестественные почвы) и искусственно созданными почвоподобными образованиями (реплантоземы). Природно-антропогенные зоны (городские луга и леса) расположены на естественных почвах, несколько преобразованных антропогенным воздействием. Городские луга в основном представлены дерновыми почвами, на которых производится сенокос (как правило, с подсевом трав). Почвы городских лесов представлены в основном высокозольным торфом. Отбор, хранение и транспортировка проб почв, отобранных для химического анализа, осуществлялись в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 [1].

На базе лаборатории биогеохимических исследований Института естественных наук и биомедицины САФУ фосфор (P_2O_5) определяли методом Кирсано-ва в модификации ЦИНАО согласно ГОСТ 26207-91

[2], а групповой состав фосфатов – по упрощенному варианту метода Ф.В. Чирикова [5], основанного на извлечении основных форм фосфатов из почвы различными экстрагентами (табл.1).

Таблица 1

Схема группового состава фосфатов в почве по Ф.В. Чирикову [5]

Группа фосфатов	Растворитель, применяемый для вытеснения фосфатов из почвы	Предполагаемые фосфаты, входящие в группу
1	$H_2O + CO_2$ (0,05 – 0,06 Н)	Все фосфаты щелочных металлов и аммония; $MgHPO_4$, $CaHPO_4$, $Mg_3(PO_4)_2$ и частично $Ca_3(PO_4)_2$
2	0,5 Н раствор $C_2H_4O_2$	$Ca_3(PO_4)_2$, часть фосфоритов и апатитов, часть $AlPO_4$ и фитина
3	0,5 Н раствор HCl	Фосфориты и апатиты, $AlPO_4$, $FePO_4$, основные фосфаты железа и алюминия, фитин
4	3,0 Н раствор $NH_3 \cdot H_2O$	Нуклеины, нуклеопротеиды, комплексные соединения фосфатов и гуминовых кислот

Уровень обеспеченности различных типов почв основных функциональных зон г. Архангельска подвижным фосфором оценивался с использованием биогеохимических коэффициентов и общепринятых шкал экологического нормирования [4]. В качестве фоновых значений использовались данные по содержанию фосфора в пробах, отобранных на относительно незагрязнённой территории, расположенной в 30 км от Архангельска.

Результаты исследований и их обсуждение

Содержание в городских почвах фосфат-ионов варьирует в широких пределах:

от 6 до 5870 мг/кг при фоновых значениях 170-290 мг P_2O_5 /кг (табл. 2). При этом культуроземы и урбаноземы селитебной зоны и торфяные почвы городских лесов характеризуются достаточно высоким содержанием подвижного фосфора (коэффициент концентрации $K_k > 1,0$), а в опесчаненных реплантоземах промышленной зоны и дерновых почвах городских лугов, наоборот, концентрация P_2O_5 ниже, чем в природной почве ($K_k < 1,0$). Избыточное содержание фосфат-ионов (> 700 мг/кг) в почвах Архангельска свидетельствует об антропогенном зафосфачивании их.

Таблица 2

Среднее содержание подвижных форм фосфора, мг/кг, в почвах г. Архангельска

Функциональные зоны				Фон (n = 3)
Техногенно-антропогенные		Природно-антропогенные		
Промышленная (n = 50)	Селитебная (n = 136)	Городские луга (n = 25)	Городские леса (n = 15)	
34,5-384,0* 181,1 ± 12,5	6,0-5870,0 717,8 ± 295,8	13,7-207,3 76,8 ± 6,7	9,0-436,0 279,2 ± 26,9	170,0-290,0 225,0 ± 20,2
Городские почвы				
Культуроземы (n=10)	Урбаноземы (n=101)	Реплантоземы (n=75)	Дерновые (n=25)	Торфяные (n=15)
167,0-1003,0 541,2 ± 195,8	18,7-5870 707,5 ± 227,5	6,0-1239,5 245,8 ± 36,7	13,7-207,3 76,8 ± 6,7	9,0-436,0 279,2 ± 26,9

* в числителе минимальное и максимальное содержание, в знаменателе – среднее

Антропогенным источником фосфора в городах служат выбросы, обогащенные крупно пылеватыми фракциями с высоким содержанием фосфатов. Поступление

соединений фосфора на поверхность почв возможно из промышленных и твердых бытовых отходов. Наблюдающееся в условиях Севера антропогенное зафосфачивание

городских почв снижает доступность растениям микроэлементов и отрицательно сказывается на состоянии почвенной биоты. Антропогенное зафосфачивание городских почв относится к одному из видов техногенного загрязнения, поэтому нами была разработана шкала экологического нормирования подвижных форм фосфора (табл. 3), позволяющая оценивать уровень обеспеченности или степень загрязнения почв данным химическим элементом.

Подвижный фосфор в почвах природно-антропогенных зон аккумулируется в верхнем гумусовом горизонте почвы, за счет связывания с гуминовыми кислотами, которые в силу своей низкой растворимо-

сти концентрируются преимущественно в верхних горизонтах почв. В почвах техногенно-антропогенных зон наблюдается резкое колебание содержания P_2O_5 как между почвенными разрезами, так и между горизонтами одного профиля. В верхних слоях почв 17% реплантоземов и 42% урбаноземов содержание подвижного фосфора гораздо ниже, чем в подстилающих слоях. Такие резкие колебания подвижного фосфора обусловлены тем, что горизонты урбаноземов и реплантоземов имеют антропогенное происхождение. Толща этих почв захлавлена и содержит различные грунты и техногенные отходы (торф, шлак и др.), используемые при их создании.

Таблица 3

Шкала экологического нормирования подвижных форм фосфора, P_2O_5 , мг/кг

Уровень обеспеченности		Степень загрязнения (зафосфачивания)	
Очень низкий	< 20	Очень низкая	251-500
Низкий	26-50	Низкая	501-750
Средний	51-100	Средняя	751-1000
Повышенный	101-150	Повышенная	1001-2000
Высокий	151-250	Высокая	2001-3000
Очень высокий	251-500	Очень высокая	>3000

Наиболее подвижными в почве являются соединения фосфора первой (все фосфаты щелочных металлов и аммония; $MgHPO_4$, $CaHPO_4$, $Mg_3(PO_4)_2$ и частично $Ca_3(PO_4)_2$) и второй ($Ca_3(PO_4)_2$, часть фос-

форитов и апатитов, часть $AlPO_4$ и фитина) групп фосфатов (см. табл. 1). Доля этих форм может использоваться как показатель обеспеченности растений фосфором и степени зафосфачивания почвы (рис. 1).

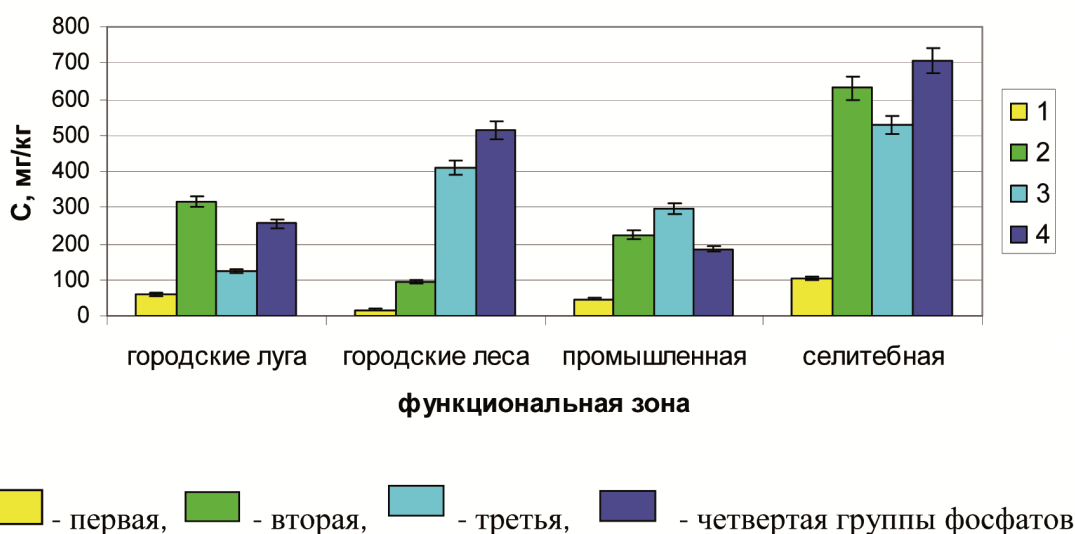


Рис. 1. Содержание трансформационных форм фосфора в почвах основных функциональных зон г. Архангельска

По содержанию наиболее подвижных фосфатов (1 и 2 группы) почвы городских лугов и техногенно-антропогенных зон города можно считать высоко и очень высоко обеспеченными фосфором. Их общее содержание в каждой зоне превышает 200 мг/кг, а в некоторых почвах достигает 720 мг/кг, что соответствует уже низкой и средней степени зафосфачивания согласно разработанной нами шкалы (см. табл. 3).

Почвы городских лесов характеризуются средней и повышенной степенью обеспеченности фосфором (от 60 до 110 мг/кг). Высокое содержание подвижных фосфатов является одной из основных тенденций трансформации городских почв.

Распределение разных фракций фосфора по почвенному профилю может быть диагностическим признаком почвенных процессов (рис. 2).

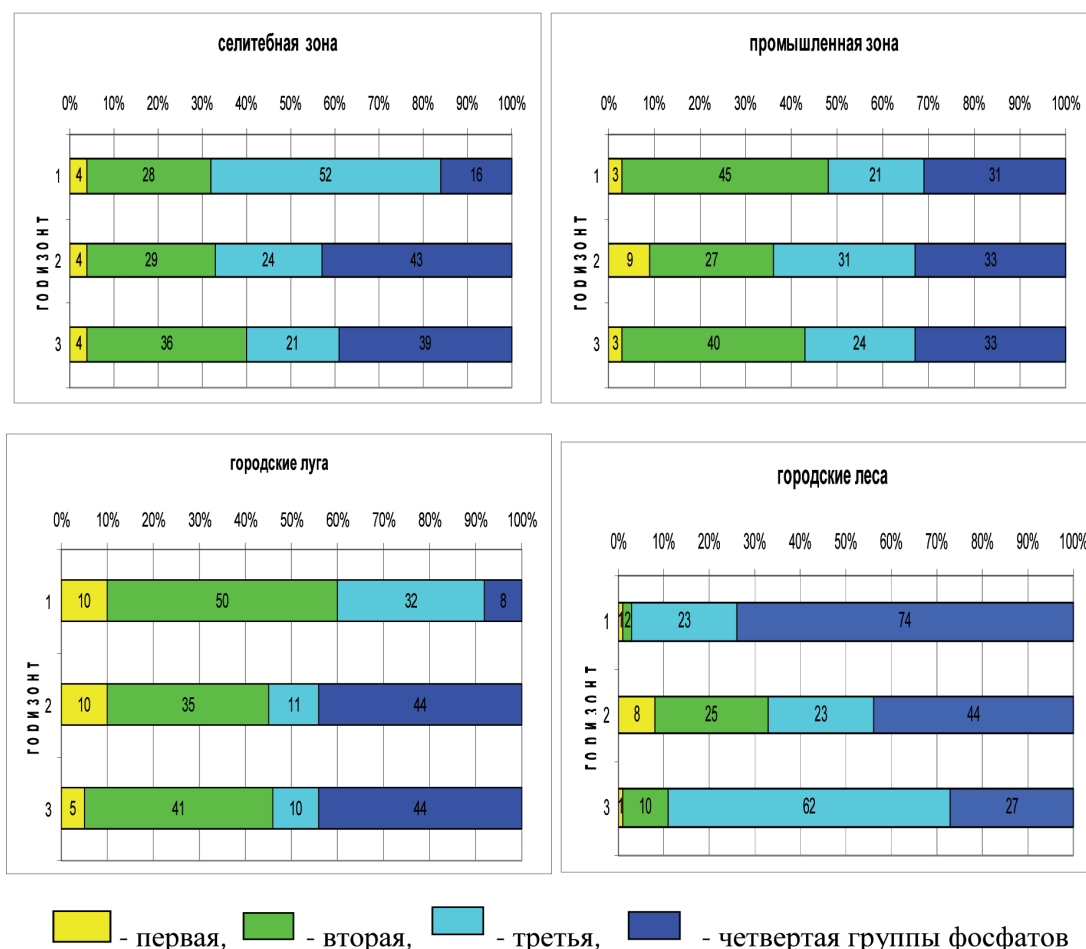


Рис. 2. Массовая доля трансформационных форм подвижного фосфора в почвах основных функциональных зон г. Архангельска, %

В промышленной зоне распределение разных форм фосфатов по почвенному профилю не претерпевает существенных изменений, что может быть связано с сильным преобразованием в ходе их формирования, которое проводилось в форме отсыпки. Отмечаются корреляционные зависимости между содержанием фосфатов 3 группы (фосфориты и апатиты, $AlPO_4$, $FePO_4$, основные фосфаты железа и алюминия, фитин) и содержанием алюминия (коэффициент корреляции $r = +0,70$) и железа

($r = +0,62$). Зависимости между содержанием органического углерода и содержанием фосфатов 4 группы (нуклеины, нуклеопротеиды, комплексные соединения фосфатов и гуминовых кислот) не отмечается ($r = -0,2$), что может быть объяснено антропогенным происхождением органического углерода, так как его часть здесь может быть представлена, например, нефтепродуктами или сажей. В почвах городских лесов вниз по профилю происходит снижение доли фракции фосфора, связанного с органическим

веществом. В верхнем горизонте содержание фосфатов этой фракции максимально, так как фосфор является органоменом, и его аккумуляция связана в первую очередь с накоплением в почвах растительных остатков и продуктов их трансформации, которые, в свою очередь, накапливаются в верхнем горизонте ($r = +0,84$). При увеличении доли глинистых компонентов вниз по профилю снижается доля этой фракции за счет увеличения содержания фосфатов, связанных с алюминием ($r = +0,58$) и железом ($r = +0,60$). В почвах городских лугов наблюдается противоположная зависимость – с глубиной увеличивается доля фосфатов, связанных с органическим веществом ($r = +0,58$), что может объясняться высоким содержанием перегноя и дерновых компонентов в нижних горизонтах почвы в связи с проводимыми мелиоративными работами.

Таким образом, почвы г. Архангельска имеют высокую обеспеченность фосфором в целом и особенно соединениями фосфора 1 и 2 групп (все фосфаты щелочных металлов и аммония; $MgHPO_4$, $CaHPO_4$, $Mg_3(PO_4)_2$, $Ca_3(PO_4)_2$, часть фосфоритов и апатитов, часть $AlPO_4$ и фитина), вследствие чего в почвах наблюдается антропогенное их зафосфачивание, снижающее доступность растениям калия, железа, цинка, меди и других важнейших элементов питания и отрицательно сказывающееся на состоянии почвенной биоты, поэтому контроль за антропогенным зафосфачиванием городских почвах крайне необходим для последующего использования полученных данных в градостроительной практике и решения экологических проблем города.

Список литературы

1. ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. Введен в действие 01.01.1986. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.
 2. ГОСТ 26207-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Введен в действие 01.07.1993. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 7 с.
 3. Е.Н. Наквасина, Л.Ф. Попова, Т.А. Карельская, Ю.М. Никонова. Биогеохимическая индикация экологического состояния почвенно-растительного покрова центральной части г. Архангельска. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2009. – 243 с.
 4. А. С. Пискунов. Методы агрохимических исследований. – М.: КолосС, 2004. – 312 с.
 5. Пуховский А.В. Экспрессный метод определения подвижности почвенных фосфатов // Агрохимический вестник. – 2000. – №6. – С. 32-34.
- #### References
1. GOST 17.4.4.02-84 Ohrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlja himicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza. Vvedjon v dejstvie 01.01.1986. – M.: Izd-vo standartov, 1985. – p. 8.
 2. GOST 26207-91 Pochvy. Opredelenie podviznyh soedinenij fosfora i kalija po metodu Kirsanova v modifikacii CINAО. Vvedjon v dejstvie 01.07.1993. – M.: Izd-vo standartov, 1992. – p. 7.
 3. E.N. Nakvasina, L.F. Popova, T.A. Karel'skaja, Ju.M. Nikonova. Biogeoхимическая индикация экологического состояния почвенно-растительного покрова центральной части г. Архангельска. – Arhangel'ska. – Arhangel'sk: Izd-vo AGTU, 2009. – p. 243.
 4. A. S. Piskunov. Metody agrohimicheskikh issledovanij. – M.: KolosS, 2004. – p. 312.
 5. Puhovskij A.V. Jekspressnyj metod opredelenija podvizhnosti pochvennyh fosfatov // Agrohimičeskij vestnik. – 2000. – no. 6. – pp. 32-34.
- #### Рецензенты:
- Наквасина Е.Н., д.с.-х.н., профессор, профессор кафедры лесоводства и почвоведения Лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова Минобрнауки РФ, г. Архангельск;
- Беляев В.В., д.с.-х.н., профессор, главный научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск.
- Работа поступила в редакцию 04.06.2014.