

УДК 502.53+504.064.2

ПОПОВА Людмила Фёдоровна, кандидат химических наук, доцент кафедры химии института естественных наук и биомедицины Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 130 научных публикаций, в т. ч. двух монографий и двух учебно-методических пособий

БЕЧИНА Ирина Николаевна, аспирант кафедры ботаники и общей экологии института естественных наук и биомедицины Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор трех научных публикаций

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И МИГРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ПОЧВАХ ГОРОДА НОВОДВИНСКА

В статье проанализированы особенности накопления и миграции основных элементов питания растений (азота, фосфора и калия) в почвах г. Новодвинска и влияние на них морфологических особенностей и физико-химических свойств почв. Дается оценка экологического состояния почв по агрохимическим показателям.

Ключевые слова: элементы питания, промышленная и селитебная зоны города, урбаноземы, реплантоземы, агрохимические показатели.

Почвы города являются одним из основных компонентов урбоэкосистемы и представляют собой относительно новый специфический объект, изучению которого в последние годы придается все большее значение. Это обусловлено тем, что они выполняют важнейшие функции для поддержания стабильного эколого-гигиенического состояния урбоэкосистемы. Ежедневно почвы города испытывают антропогенную и техногенную нагрузку, связанную с развитием промышленности, увеличением транспортного потока на улицах города, расширением жилищного строительства. Физико-химические свойства почвы отражают результат многолетнего воздействия источников загрязнения на них, обеспечивая почвам роль «индикатора» загрязнения окружающей среды [7].

В настоящее время города Архангельской области столкнулись с экологической проблемой, связанной с ухудшением качества городских почв. Одним из таких городов является Новодвинск. Это один из центров целлюлозно-бумажной промышленности области. Его изначальное возникновение как рабочего поселка и развитие связано со строительством и ростом ЦБК, который находится в черте города и поэтому вносит основной вклад в загрязнение окружающей среды. Помимо ЦБК крупными промышленными предприятиями, влияющими на экологическое состояние городской среды, являются ЗАО «Архангельский фанерный завод», предприятия теплоэнергетики, а также крупные стоянки АТП.

Техногенное и антропогенное влияние на почвенный покров города приводит к его химическому загрязнению, угнетению растительности и почвенной микрофлоры. Для благоприятного развития растений и активности жизнедеятельности микроорганизмов очень важны оптимальные значения рН почвенного раствора, достаточное содержание в почве гумуса и биогенных элементов, особенно элементов питания (азота, фосфора и калия).

Для оценки обеспеченности почв элементами питания на территории г. Новодвинска в местах с разным возрастом застройки было заложено 30 пробных площадей (далее – ПП) и 10 почвенных разрезов. Для диагностики горизонтов и определения типологической принадлежности городских почв использовалась классификация М.Н. Строгановой с соавторами [10], уточненная Е.Н. Наквасиной и др. [8]. В Новодвинске можно выделить две зоны: промышленную и селитебную. В промышленной зоне сконцентрированы крупные промышленные предприятия, преимущественно это северная и северо-восточная часть города. Селитебная зона – это комплексы жилых построек, парковые зоны. Основными подтипами почв на территории г. Новодвинска являются урбаноземы и реплантоземы.

Урбанозёмы (собственно) – почвы уличных газонов и дворов, современных построек. Есть гумусовый горизонт «урбик» – перемещенный горизонт с примесью антропогенных включений. Формируются на грунтах разного происхождения и на культурном слое.

Реплантозёмы – почвы, состоящие из мало-мощного гумусового слоя, слоя торфокомпостной смеси и органоминерального вещества, нанесенных на поверхность рекультивируемой породы из смеси насыпных или других природных или техногенных грунтов. Формируются в районах городских промышленных и селитебных новостроек, на новых газонах.

В почвенном покрове г. Новодвинска реплантоземы и урбаноземы составляют 46,7 и 53,3 % ПП соответственно. По гранулометрическому составу городские почвы преиму-

щественно песчаные и супесчаные. Среднее содержание физической глины очень низкое и составляет в реплантоземах 6,4 %, в урбаноземах – 7,4 %. Это обусловлено характером преобразования почвенного слоя при строительстве города: отсыпкой песчаной подушки поверх строительного мусора в районах новостроек или внесением строительного мусора (битой кирпичной крошки, щебня или шлака). Опесчаненность почв вносит изменения в их свойства: усиливается пористость, водопроницаемость, миграционные свойства веществ, снижается способность к самоочищению.

Для оценки особенностей кумуляции и миграции элементов питания (N, P, K) их содержание определяли как в верхнем слое (0-20 см) почв, так и по горизонтам почвенного профиля. В качестве фоновой была выбрана условно чистая дерновая маломощная легкосуглинистая почва, сформировавшаяся на суходольном лугу в районе д. Бабонегово Приморского района Архангельской области. Отбор проб и их пробободготовка были выполнены согласно ГОСТ 17.4.4.02-84 [4]. Анализ почвенных образцов на содержание в них неорганического азота (NH_4^+ , NO_3^-), фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) проводили на базе лаборатории биогеохимических исследований при кафедре химии института естественных наук и биомедицины САФУ имени М.В. Ломоносова. Для определения подвижного калия, нитратного азота (ГОСТ 26951-86) и рН водных почвенных вытяжек (ГОСТ 26483-85) использовали метод прямой потенциометрии [6, 9]; для определения аммонийного азота и подвижных форм фосфора (ГОСТ 26207-91) – фотометрический метод [1, 5]. Оценка почв по обеспеченности элементами питания дана на основании литературных данных, представленных в *табл. 1* [2]. Данные химического эксперимента представлены в *табл. 2* и на *рис. 1–3*.

рН водной вытяжки поверхностного слоя (0-20 см) почв г. Новодвинска колеблется от 5,81 до 9,15 и в среднем составляет 7,16 при рН природной почвы 4,8. Реакция среды почв Новодвинска смещена в щелочную сторону,

Таблица 1

ГРУППИРОВКА ПОЧВ ПО ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПИТАНИЯ, мг/кг ПОЧВЫ [2]

Уровень обеспеченности	$N-NH_4 + N-NO_3$	P_2O_5	K_2O
Низкий	5,1–10,0	26,0–50,0	41,0–80,0
Средний	10,1–20,0	51,0–100,0	81,0–120,0
Повышенный	20,1–40,0	101,0–150,0	121,0–170,0
Высокий	более 40,0	151,0–250,0	171,0–270,0

Таблица 2

СРЕДНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ (0-20 СМ) РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПОЧВ НОВОДВИНСКА, мг/кг

Тип почвы	$N-NH_4$	$N-NO_3$	P_2O_5	K_2O
Реплантаземы (n = 14)	2,54 – 19,73 11,00 ± 3,16	4,00 – 20,77 10,95 ± 2,97	85,52 – 401,64 212,07 ± 3,13	130,11 – 427,95 258,67 ± 3,53
Урбаноземы (n = 16)	1,99 – 41,23 11,83 ± 4,63	4,33 – 25,70 12,67 ± 1,36	68,82 – 217,03 146,37 ± 1,27	36,55 – 632,32 169,55 ± 2,26

Примечание: n – количество ПП; в числителе указана минимальная и максимальная концентрация элементов питания, в знаменателе – средняя концентрация.

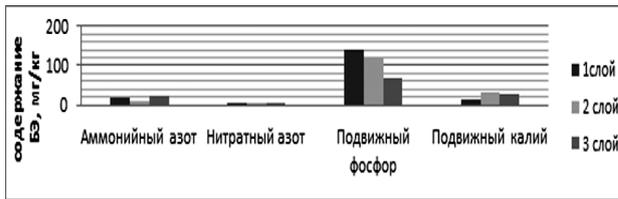


Рис. 1. Распределение элементов питания по почвенному профилю реплантоземов, мг/кг (ПП № 8)

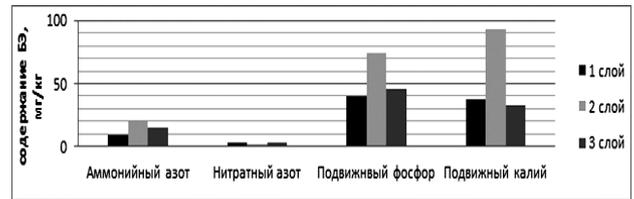


Рис. 2. Распределение элементов питания по почвенному профилю урбаноземов, мг/кг (ПП № 6)

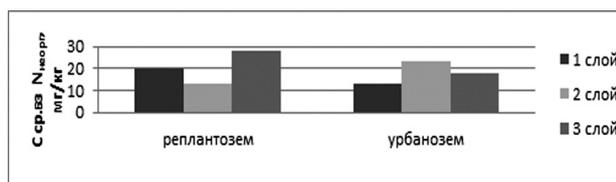


Рис. 3. Распределение неорганического азота по почвенному профилю городских почв: реплантоземов – ПП № 8, урбаноземов – ПП № 6, мг/кг

что является общей тенденцией, отмеченной для городских почв [3]. На 30 % ПП почвы характеризуются слабокислой и нейтральной реакцией среды почвенного раствора (5,80–7,12 рН), на 70 % ПП наблюдается слабощелочная реакция среды (7,12–9,15 рН). Высокая щелочность почв может

привести к образованию труднорастворимых фосфатов и, начиная со значений рН 8–9, делает почву непригодной для роста большинства растений [3]. Щелочная реакция среды почвенного раствора характерна для почв окраин города и территорий, прилегающих к комплексу промышлен-

ленных предприятий. Эти почвы представлены обедненной травянистой растительностью.

Содержание гумуса в почвах города варьирует от 1,01 до 7,28 % и составляет в среднем 3,53 %. В природной почве содержание гумуса – 3,90 %. На 50 % ПП количество гумуса больше, чем в фоновой почве, что является особенностью городских почв [3]. Высокие показатели по гумусу (органическому углероду) могут быть результатом промышленного загрязнения вследствие попадания в почву и адсорбции почвенными частицами нефтепродуктов, выбросов в атмосферу технического углерода – сажи.

Содержание неорганического азота в почвах 60 % ПП города характеризуется как среднее, в почвах 30 % ПП – как повышенное и лишь в почвах двух ПП зафиксировано высокое содержание неорганического азота (52,40 и 40,13 мг/кг соответственно), а в почве одной ПП – низкое (8,30 мг/кг).

В почвах 50 % ПП в общем балансе азота доля аммонийного азота выше, чем нитратного. Данный факт указывает на преимущественное протекание процессов аммонификации по сравнению с процессами нитрификации. Этому способствуют условия внешней среды, оптимальные для жизнедеятельности микроорганизмов-аммонификаторов (температура окружающей среды 15-20 °С и значения рН (в среднем 7,16), близкие к нейтральным значениям). Кроме того, на нейтральных и слабощелочных почвах г. Новодвинска значительно увеличивается фиксация NH_4^+ в почвенно-глобальном комплексе (далее – ППК).

Миграционные особенности неорганического азота. Вниз по почвенному профилю содержание неорганического азота увеличивается.

Это обусловлено тем, что почвы города имеют легкий гранулометрический состав и представлены в основном супесью, что приводит к вымыванию NO_3^- и NH_4^+ и их накоплению в нижних слоях почвы. Однако распределение N- NH_4^+ по профилю реплантоземов и урбаноземов неравномерное. Максимум его содержания в урбаноземах приходится на средние слои, в реплантоземах – обратная картина: в средних слоях почвенного профиля зафиксировано

низкое содержание N- NH_4^+ . Это связано с тем, что урбаноземы имеют более мощный органический слой «урбик» по сравнению с реплантоземами, приводящий к активному закреплению NH_4^+ в ППК и его частичному вымыванию в нижележащие слои. Высокое содержание N- NH_4^+ в верхнем слое реплантоземов связано с активностью процессов аммонификации в верхних слоях почвы и дальнейшим вымыванием NH_4^+ в нижние слои почвы, поскольку легкий гранулометрический состав их не позволяет аммонийному азоту закрепляться в ППК [2].

Содержание нитратного азота в почвах города не превышает предельно допустимой концентрации (ПДК = 29,55 мг/кг) и колеблется от 4,00 до 25,70 мг/кг почвы. Поступление нитратов в почвы носит техногенный характер. Практически все ПП, в почвах которых зафиксировано повышенное содержание N- NO_3^- , находятся недалеко от крупных автостоянок и объездных дорог. В реплантоземах содержание N- NO_3^- вниз по профилю увеличивается равномерно, что связано с промывным типом водного режима почв, характерным для данного региона, и наличием маломощного гумусового горизонта. В урбаноземах максимум содержания N- NO_3^- наблюдается в верхних гумусированных слоях. К тому же в летний период при оптимальных значениях температуры окружающей среды (25-32 °С) и нейтральной реакции среды почвенного раствора активна деятельность организмов-нитрификаторов, что способствует активизации процессов нитрификации и, как следствие, накоплению NO_3^- в гумусовом горизонте [2].

Содержание подвижного фосфора в реплантоземах и урбаноземах в среднем составляет 212,07 и 46,37 мг/кг соответственно. Почвы 23 % ПП характеризуются повышенным содержанием фосфора, на 63 % ПП содержание его высокое и очень высокое и только на четырех ПП – среднее. В условиях города значительные количества подвижного фосфора приносятся в почву вместе со сточными водами, т. к. фосфор входит в состав всех синтетических моющих средств. Поскольку для растений доступно лишь 10-20 % всего

фосфора, содержащегося в почве, то дальнейшее его накопление может привести к «зафосфачиванию» почв города [10]. Корреляционный анализ выявил обратную зависимость между рН почвенного раствора и содержанием подвижного фосфора (P_2O_5) в почвах (коэффициент корреляции $r = -0,98$). Это связано с тем, что при переходе реакции среды почвенного раствора от кислой к нейтральной и слабощелочной содержание минеральных форм фосфора уменьшается, что подтверждается низким содержанием P_2O_5 в почвах ПП, для которых характерна щелочная реакция среды почвенного раствора ($pH \geq 7,0$).

В реплантоземах содержание подвижного фосфора вниз по профилю снижается, аккумулируясь в верхнем горизонте, более богатом гумусом, чем нижележащие слои, представленные супесью. В урбаноземах содержание его изменяется скачкообразно, достигая максимума в среднем слое.

Содержание подвижного калия в почвах Новодвинска высокое и составляет в среднем для реплантоземов 258,67 мг/кг, урбаноземов – 169,55 мг/кг. Высокое содержание подвижного калия наблюдается в реплантоземах – почвах новостроек, что связано с антропогенным характером поступления его в почву. Распределение подвижного калия по профилю почвы неравномерное, при этом как в реплантоземах, так и в урбаноземах максимум содержания K_2O зафиксирован в средних слоях почв.

Таким образом, почвы Новодвинска характеризуются повышенным содержанием подвижного фосфора и неорганического азота, высоким содержанием подвижного калия, что указывает на антропогенный и техногенный характер поступления в почвы города этих биогенных элементов. Несмотря на преимущественно высокое содержание органического углерода в городских почвах, промывной тип водного режима почв данного региона и легкий гранулометрический состав не позволяют элементам питания скапливаться в верхнем слое почв, поэтому, как правило, накопление элементов питания наблюдается в нижней части почвенного профиля.

Поскольку почвы Новодвинска характеризуются довольно высоким по сравнению с ненарушенными дерновыми почвами содержанием неорганического азота (21,95–24,5 мг/кг почвы), подвижных форм фосфора (146,37–212,07 мг/кг почвы) и калия (169,55–258,67 мг/кг), преимущественно слабо щелочной реакцией среды почвенного раствора, то возникает экологическая проблема угнетения процессов развития растительности и активности почвенной микрофлоры, которые, в свою очередь, выполняют важную экологическую функцию, играя роль санитарного барьера при загрязнении почв тяжелыми металлами и металлоидами.

Список литературы

1. Агрохимические методы исследования почв. М., 1975. 656 с.
2. Агрохимия / под ред. А.В. Петербургского, П.М. Смирнова. 3-е изд., перераб. и доп. М., 1975. 495 с.
3. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация / М.И. Герасимова, М.Н. Стрoганова, Н.В. Мoжарова, Т.В. Прокофьева. Смоленск, 2003. 268 с.
4. ГОСТ 17.4.4.02-84 Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М., 1984. 7 с.
5. ГОСТ 26207-28 Почвы. Определение подвижных форм фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М., 1987. 7 с.
6. ГОСТ 26951-86 Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. М., 1986. 8 с.
7. Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв. М., 2007. 237 с.
8. Полевой практикум по почвоведению / под ред. Е.Н. Наквасиной, В.С. Серого, Б.А. Семёнова. Архангельск, 2007. 127 с.
9. Практикум по агрохимии / под ред. А.С. Радова, И.В. Пустового, А.В. Королькова. 4-е изд., перераб. и доп. М., 1987. 512 с.
10. Стрoганова М.Н. Городские почвы: генезис, классификация, функции // Почва, город, экология. М., 1997. С. 15–88.

References

1. *Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv* [Agrochemical Methods of Soil Investigation]. Moscow, 1975. 656 p.
2. *Agrokhimiya* [Agricultural Chemistry]. Ed. by Peterburgsky A.V., Smirnov P.M. 3rd ed. Moscow, 1975. 495 p.
3. Gerasimova M.I., Stroganova M.N., Mozharova N.V., Prokof'eva T.V. *Antropogennye pochvy: genesis, geografiya, rekul'tivatsiya* [Anthropic Soils: Genesis, Geography, Reclamation]. Smolensk, 2003. 268 p.
4. *State Standard 17.4.4.02-84 Nature Protection. Soils. Methods for Sampling and Preparation of Soils for Chemical, Bacteriological and Helminthological Analysis*. Moscow, 1984. 7 p. (in Russian).
5. *State Standard 26207-28 Soils. Determination of Mobile Compounds of Phosphorus and Potassium by Kirsanov Method Modified by CINAО*. Moscow, 1987. 7 p. (in Russian).
6. *State Standard 26951-86 Soils. Determination of Nitrates by Ionometric Method*. Moscow, 1986. 8 p. (in Russian).
7. Motuzova G.V., Bezuglova O.S. *Ekologicheskii monitoring pochv* [Environmental Monitoring of Soils]. Moscow, 2007. 237 p.
8. *Polevoy praktikum po pochvovedeniyu* [Field Practical Session on Soil Science]. Ed. by Nakvasina E.N. et al. Arkhangelsk, 2007. 127 p.
9. *Praktikum po agrokhimii* [Practical Training Session on Agricultural Chemistry]. Ed. by Radov A.S. et al. 4th ed. Moscow, 1987. 512 p.
10. Stroganova M.N. *Gorodskie pochvy: genesis, klassifikatsiya, funktsii* [Urban Soils: Genesis, Classification, Functions]. *Pochva, gorod, ekologiya* [Soil, City, Environment]. Moscow, 1997, pp. 15–88.

Popova Lyudmila Fedorovna

Institute of Natural Sciences and Biomedicine,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

Bechina Irina Nikolaevna

Postgraduate Student, Institute of Natural Sciences and Biomedicine,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

PECULIARITIES OF NUTRIENT ACCUMULATION AND MIGRATION IN THE SOILS OF NOVODVINSK

The article dwells on the accumulation and migration of key nutrients (nitrogen, phosphorus and potassium) in plants growing in the soils of the town of Novodvinsk. In addition, it analyzes the effect produced on them by the morphological and physicochemical properties of the soils. Furthermore, it provides an assessment of the ecological condition of the soils by agro-chemical indices.

Keywords: *nutrient, industrial area, residential area, urbanozem, replantozem, agrochemical index.*

Контактная информация:

Попова Людмила Фёдоровна

адрес: 163002, г. Архангельск, просп. Ломоносова, д. 4;

e-mail: ludap9857@mail.ru

Бечина Ирина Николаевна

адрес: 163002, г. Архангельск, просп. Ломоносова, д. 4;

e-mail: linki44@yandex.ru

Рецензент – *Наквасина Е.Н.*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и почвоведения лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова